



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE MEDICIÓN Y GESTIÓN
DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE UTILIZANDO TECNOLOGÍA
INALÁMBRICA WI-SUN PARA LA JUNTA DE AGUAS DE LA COMUNA “ELOY
ALFARO” TURUCU DE LA PARROQUIA SAN FRANCISCO EN LA CIUDAD DE
COTACACHI.”**

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

AUTOR: KARLA JOHANNA GUEVARA PANAMÁ

DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

ASESOR: MSC. LUIS EDILBERTO SUÁREZ ZAMBRANO

Ibarra-Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

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

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	100409154-0		
APELLIDOS Y NOMBRES	Guevara Panamá Karla Johanna		
DIRECCIÓN	Simón Bolívar (17-21) y 24 de mayo		
E-MAIL	kjguevarap@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	062554263	TELÉFONO MÓVIL	0959683697

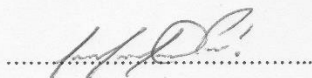
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“Desarrollo de un sistema inteligente de medición y gestión del consumo de agua potable utilizando tecnología inalámbrica Wi-SUN para la Junta de Aguas de la Comuna “Eloy Alfaro” Turucu de la parroquia San Francisco en la ciudad de Cotacachi”
AUTOR	Guevara Panamá Karla Johanna
FECHA	24 de abril, 2023
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO	Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación
DIRECTOR	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 24 días del mes de abril, 2023

LA AUTORA



Karla Johanna Guevara Panamá

CI: 100409154-0



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE
TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación "DESARROLLO DE UN SISTEMA
INTELIGENTE DE MEDICIÓN Y GESTIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE
UTILIZANDO TECNOLOGÍA INALÁMBRICA WI-SUN PARA LA JUNTA DE AGUAS
DE LA COMUNA "ELOY ALFARO" TURUCU DE LA PARROQUIA SAN FRANCISCO
EN LA CIUDAD DE COTACACHI." Ha sido desarrollado por la señorita Guevara Panamá
Karla Johanna bajo mi supervisión.

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

Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MSc.

1002198438

DIRECTOR

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco entera y completamente a mis padres y hermanos quienes han sido fuerza y voluntad en cada paso para la culminación de esta etapa de mi vida.

A mis amigos Mely, Lucian, Andrés y Pablo con quienes he tenido la grata suerte de coincidir.

Finalmente, a mi tutor de proyecto por su tiempo y guía en el desarrollo de este trabajo de titulación.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	23
1.1. Tema	23
1.2. Problema	23
1.3. Objetivos	24
1.3.1. Objetivo General.....	24
1.3.2. Objetivos Específicos.....	25
1.4. Alcance	25
1.5. Justificación	27
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	28
2.1. Infraestructura de Medición Avanzada (Advanced Metering Infrastructure AMI)	28
2.1.1. Infraestructura del Sistema AMI.....	29
2.1.1.1. Medidor Inteligente.....	29
2.1.1.2. Concentrador de Datos o Puerta de Enlace (Gateway).....	30
2.1.1.3. Red de Comunicación	31
2.1.1.4. Sistema de gestión de datos	31
2.2. Medición de Agua Potable.....	32
2.2.1. Medidores de Presión Diferencial.....	32
2.2.2. Medidores Mecánicos	33
2.2.2.1. Medidores Por Desplazamiento Positivo	33
2.2.2.2. Medidores Por Turbina	33

2.2.3. Caudalímetros Efecto Hall	33
2.2.4. Caudalímetros Ultrasónicos	33
2.2.4.1. Medida del Caudal Mediante “Tiempo de Tránsito”	33
2.2.4.2. Medida de Caudal Mediante "Doppler"	34
2.3. Wi – SUN (Wireless Smart Utility Network)	34
2.3.1. Especificaciones Técnicas	35
2.3.2. Capa Física (802.15.4g)	35
2.3.2.1. SUN FSK PHY	36
2.3.2.1.1 Modulación y codificación para SUN FSK	36
2.3.2.2. SUN OFDM	39
2.3.2.3. Velocidades de datos para SUN OFDM	39
2.3.2.4. SUN-OQPSK	41
2.3.3. Capa MAC (802.15.4e).....	41
2.3.3.1. Comportamientos MAC.....	41
2.3.3.1.1 RFID (Identificación por radiofrecuencia)	41
2.3.3.1.2 AMCA (Adaptación Multicanal Síncrona).....	42
2.3.3.1.3 DSME (Extensión Multicanal Síncrona eterminista).....	42
2.3.3.1.4 LLDN (Redes Deterministas de Baja Latencia)	42
2.3.3.1.5 TSCH (Salto de canal con ranura de tiempo)	42
2.4. Componentes de Hardware	43
2.4.1. Microcontrolador	43

2.4.2. Microprocesador	43
2.4.3. Transceptor inalámbrico	44
2.4.4. Electroválvulas.....	44
2.4.4.1. Clases de electroválvulas	44
2.4.4.1.1 De tipo directo.....	44
2.4.4.1.2 Asistidas.....	44
2.4.5. Sensores	45
2.4.6. Baterías	45
2.5. Componentes Software	45
2.5.1. Software libre.....	45
2.5.2. Tipos de Software	46
2.5.2.1. Software de sistemas.....	46
2.5.2.2. Software de programación	46
2.5.2.3. Software de aplicación.....	46
2.5.3. Cloud Computing.....	46
2.5.3.1. Modelos de Servicio de Cloud Computing.....	47
2.5.3.1.1 SaaS (Software as a Service)	47
2.5.3.1.2 PaaS (Platform as a Service).....	47
2.5.3.1.3 IaaS (Infrastructure as a Service)	48
2.6. Aplicaciones WEB.....	48
2.7. Protocolos de mensajería para IoT.....	49

	10
2.7.1. MQTT (Message Queue Telemetry Transport)	49
2.7.2. MQTT-SN.....	51
2.8. Metodología en V	52
2.8.1. Etapas de verificación del modelo en V	53
2.8.1.1. Análisis de requisitos	53
2.8.1.2. Diseño del sistema	54
2.8.1.3. Diseño arquitectónico	54
2.8.1.4. Diseño de módulos.....	54
2.8.1.5. Fase de codificación.....	54
2.8.2. Etapas de validación del modelo V.....	55
2.8.2.1. Pruebas unitarias	55
2.8.2.2. Pruebas de integración	55
2.8.2.3. Prueba del sistema.....	55
2.8.2.4. Pruebas de aceptación	55
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA	56
3.1. Descripción general del sistema.....	56
3.2. Análisis de situación actual.....	57
3.2.1. Junta Administradora de Agua Potable de la comunidad de TURUCU	57
3.3. Propósito	63
3.4. Limitaciones.....	63
3.5. Requerimientos del sistema	64

3.5.1. Stakeholders	65
3.5.2. Requerimientos de Stakeholders.....	66
3.5.3. Requerimientos de sistema	67
3.5.4. Requerimientos de arquitectura	69
3.6. Selección de hardware y software.....	72
3.6.1. Selección de hardware	72
3.6.1.1. Placa de procesamiento.....	72
3.6.1.2. Módulo de comunicación inalámbrica.....	74
3.6.1.3. Microprocesador	76
3.6.1.4. Sensor de flujo de agua.....	78
3.6.1.5. Electroválvula	80
3.6.1.6. Batería	82
3.6.1.6.1 Análisis de durabilidad de la batería.....	82
3.6.1.6.2 Selección de batería	84
3.6.2. Selección de Software.....	86
3.6.2.1. Entorno de programación de la placa de procesamiento	86
3.6.2.2. Sistema Operativo RIOT.....	87
3.6.2.3. Plataforma de almacenamiento	88
3.6.2.4. Plataforma en la nube.....	88
3.7. Diseño del sistema	89
3.7.1. Arquitectura del sistema	89

	12
3.7.1.1. Nodo – Cliente	91
3.7.1.1.1 Diagrama de flujo Nodo - Cliente.....	91
3.7.1.1.2 Calibración del sensor de flujo de agua	92
3.7.1.1.3 Medición del consumo de agua.....	94
3.7.1.2. Comunicación inalámbrica	95
3.7.1.3. Nodo Central	96
3.7.1.3.1 Diagrama de flujo Nodo - Central	96
3.7.1.4. Almacenamiento	97
3.7.1.4.1 Modelo relacional de base de datos	98
3.7.1.4.2 Desarrollo de la base de datos.....	99
3.7.1.5. Desarrollo aplicación WEB	100
3.7.1.6. Almacenamiento en la nube.....	101
3.7.2. Diagramas de conexión.....	102
3.7.2.1. Diagrama de conexión Nodo Cliente.....	102
3.7.2.2. Diagrama de conexión Nodo Servidor.....	103
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA	105
4.1. Implementación del sistema.....	105
4.1.1. Implementación Nodo Cliente	105
4.1.1.1. Medición del consumo de agua potable.....	107
4.1.1.2. Implementación Nodo Servidor.....	108
4.1.2. Pruebas de conectividad.....	110

4.1.3. Pruebas de rendimiento.....	115
4.1.3.1. Pruebas de inicio de sesión	116
4.1.3.2. Pruebas de gestión de usuarios	118
4.1.4. Pruebas de habilitación y corte del servicio.....	120
4.1.4.1. Pruebas de visualización del consumo por parte de los usuarios.....	121
4.1.4.2. Pruebas del sistema de facturación	123
4.1.5. Pruebas del sistema de base datos.....	126
4.2. Presupuesto del sistema	127
4.2.1. Presupuesto de Hardware.....	127
4.2.2. Presupuesto de Software	128
4.2.3. Presupuesto de infraestructura	128
4.2.4. Presupuesto total del sistema	129
4.2.5. Presupuesto de Implementación del sistema.....	129
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
5.1. Conclusiones	131
5.2. Recomendaciones	134
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	140

ANEXOS

Anexo 1. Carta de Auspicio por parte del presidente de la comunidad	140
Anexo 2. Autorización del uso del agua	141
Anexo 3. Código de programación medición del agua.....	147
Anexo 4. Código utilizado en el desarrollo de la página web.	150
Anexo 5. Estructura base de datos	150
Anexo 6. Fotografías instalación del sistema	155
Anexo 7. Datasheet de Arduino	159
Anexo 8. Datasheet Raspberry Pi 4	161
Anexo 9. Datasheet OpenMote B	165
Anexo 10. Datasheet sensor YF-S201	169
Anexo 11. Manuales de administrador y usuario.....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Infraestructura AMI.....	29
Figura 2 Medidor inteligente de agua	30
Figura 3 Envío de datos desde los dispositivos finales hacia el Gateway	31
Figura 4: Modelos de Servicio de Cloud Computing	47
Figura 5. Arquitectura aplicaciones Web.....	49
Figura 6. Funcionamiento protocolo MQTT	50
Figura 7. Arquitectura MQTT - SN	52
Figura 8. Modelo en V	53
Figura 9. Ubicación Comuna Eloy Alfaro Turucu desde el Centro de la Ciudad de Cotacachi.....	58
Figura 10. Zona de cobertura de la Comuna Eloy Alfaro Turuco	59
Figura 11. Tanques de captación de agua proveniente de la vertiente natural	60
Figura 12. Tanque de reserva.....	61
Figura 13. Zonas de delimitación para la implementación del sistema de medición y gestión del consumo de agua	64
Figura 14. Arduino Uno R3	73
Figura 15. OpenMote B	75
Figura 16. Raspberry Pi 3 Model B+	77
Figura 17. Sensor de flujo de agua YF-S201	79
Figura 18. Electroválvula normalmente abierta.....	81
Figura 19 Batería Forza FUB 1245.....	85
Figura 20. Arquitectura del sistema	90
Figura 21. Diagrama de flujo nodo cliente	92
Figura 22. Programación para el cálculo de consumo del servicio de agua	95

Figura 23. Consumo de agua de un volumen de 2 litros.....	95
Figura 24. Recepción de datos	96
Figura 25. diagrama de flujo nodo - servidor	97
Figura 26. Diagrama de flujo Base de Datos del sistema	98
Figura 27. Iniciación de puertos de MySQL y Apache	99
Figura 28. Creación de la base de datos.....	100
Figura 29 Características de almacenamiento Instancia VM en la nube	101
Figura 30 Asignación de direcciones IP interna y externa y reglas de firewall.....	101
Figura 31. Esquema de conexión nodo cliente	103
Figura 32. Diagrama de conexión Nodo Servidor	104
Figura 33. Implementación nodo cliente	106
Figura 34. Instalación del sensor de caudal de agua y electroválvula	107
Figura 35. Implementación del nodo servidor o Gateway.....	109
Figura 36. Equipos de enrutamiento para el nodo servidor o Gateway	110
Figura 37. Zonas de cobertura comunidad Turucu	111
Figura 38. Inicio de sesión como administrador.....	116
Figura 39. Acceso a la aplicación web como administrador	117
Figura 40. Inicio de sesión incorrecto.....	117
Figura 41. Lista de usuarios actualmente registrados	118
Figura 42. Registro de usuarios nuevo.....	118
Figura 43. Registro de usuarios nuevos	119
Figura 44. Registro de consumo de usuarios	120
Figura 45. Deshabilitación del servicio	120
Figura 46. Visualización información de consumo	122
Figura 47. Búsqueda de consumo a partir del ID de usuario	122

Figura 48. Generación de factura a partir del ID de usuario.....	124
Figura 49. Generación de factura.....	124
Figura 50. Lista de facturas generadas.....	125
Figura 51. Tabla usuario de la base de datos	126
Figura 52. Registro del consumo del servicio por parte del usuario ID1	126
Figura 53. Facturas generadas.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones técnicas de Wi-SUN.....	35
Tabla 2 Modulación SUN FSK y parámetros de canal.....	37
Tabla 3 Tasas de datos para SUN OFDM PHY.....	39
Tabla 4. Resumen de datos informativos sobre la Junta Administradora de Agua Potable.....	62
Tabla 5. Nomenclatura utilizada para la descripción de requerimientos de usuario, sistema y arquitectura	65
Tabla 6. Stakeholders.....	65
Tabla 7. Requerimientos de stakeholders	66
Tabla 8. Requerimientos de sistema	68
Tabla 9. Requerimientos de arquitectura	70
Tabla 10 . Selección de placa de procesamiento.....	73
Tabla 11. Características Arduino Uno R3	74
Tabla 12. Selección módulo de procesamiento.....	75
Tabla 13. Detalles técnicos OpenMote B	76
Tabla 14. Selección microprocesador.....	77
Tabla 15. Detalles Técnicos Raspberry Pi 3 Model B+.....	78
Tabla 16. Selección sensor de flujo de agua	79
Tabla 17. Características Técnicas YF-S201	80
Tabla 18. Selección de electroválvula	81
Tabla 19. Características técnicas electroválvula	82
Tabla 20. Consumo energético por dispositivo.....	83
Tabla 21. Selección de baterías.....	84
Tabla 22. Características técnicas batería Forza FUB 1245	85

Tabla 23. Selección entorno de programación.....	86
Tabla 24. Selección Sistema Operativo IoT	87
Tabla 25. Selección plataforma de almacenamiento.....	88
Tabla 26. Selección plataforma de almacenamiento en la nube	89
Tabla 27. Medición de pulsos con diferentes volúmenes de agua.....	93
Tabla 28. Medición del consumo para el sistema tradicional y el sistema electrónico	108
Tabla 29. Distancia y altura de nodos cliente respecto al Gateway.....	110
Tabla 30. Modos SUN (Smart Utility Network) utilizados en el despliegue.	112
Tabla 31. Pruebas de conectividad para cada una de las modulaciones soportadas por Wi-SUN	112
Tabla 32. Pruebas de rendimiento a partir de los parámetros de RSSI y PDR por modulación.....	115
Tabla 33. Prueba de gestión de usuarios	119
Tabla 34. Pruebas de aplicación de habilitación y cortes del servicio.....	121
Tabla 35. Registro de consumo por parte de los usuarios.....	122
Tabla 36. Generación de facturas.....	125
Tabla 37. Presupuesto hardware	127
Tabla 38. Presupuesto de Software	128
Tabla 39. Presupuesto de infraestructura	128
Tabla 40. Presupuesto total del sistema	129
Tabla 41. Presupuesto de implementación del sistema.....	129

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo total de la capacidad de batería.....	83
Ecuación 2 Calculo consumo de energía del sistema	83
Ecuación 3 Cálculo tiempo de respaldo de batería	84
Ecuación 4. Cálculo de factor de conversión.....	93
Ecuación 5: Variación del tiempo.....	94

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo el desarrollo de un sistema inteligente de medición y gestión del consumo de agua potable orientado hacia la comunidad de Turucu en Cotacachi. Para ello se ha planteado utilizar tecnología inalámbrica Wi-SUN con el fin de evaluar sus prestaciones en cuanto a su desempeño dentro del proyecto. Así mismo, su desarrollo está planteado bajo la utilización de la metodología en V, que propone la ejecución de procesos de manera secuencial a partir de un modelo de verificación y validación, es decir, se desarrollará una fase de prueba para cada etapa de desarrollo correspondiente

De esta forma se realiza la automatización de los medidores tradicionales utilizados actualmente, por medidores digitales a partir de sensores quienes serán los encargados de tomar las medidas de consumo por parte de los usuarios, enviarlos a través de comunicación inalámbrica hacia un servidor quien los almacenará dentro de una base de datos que posteriormente será enviada hacia la nube con el fin de contar con un backup de la información obtenida. Por otro lado, este sistema está complementado por una página web intuitiva de fácil manejo con dos perfiles tanto para los usuarios de la comunidad como para el personal de administración quien contará con un sistema de facturación.

La implementación de este sistema a gran escala, es decir, extendido hacia toda la comunidad pretende dar solución a problemas presentados con el sistema tradición. De esta forma se ofrece una confiabilidad del 99.98% en cuanto a la medición del consumo por parte de los usuarios, funcionamiento de la página web y por ende del sistema de facturación con valores reales de acuerdo a lo consumido y habilitación y corte del servicio, Por otro lado, la comunicación inalámbrica a partir de Wi-SUN varía en cuanto al porcentaje de confiabilidad esto con respecto a las distancias a las que se establecen los enlaces de red.

ABSTRACT

The objective of this degree project is the development of an intelligent system for the measurement and management of drinking water consumption oriented towards the community of Turucu in Cotacachi. For this purpose, it has been proposed to use Wi-SUN wireless technology in order to evaluate its performance within the project. Likewise, its development is proposed under the use of the V methodology, which proposes the execution of processes in a sequential way from a verification and validation model, that is to say, a test phase will be developed for each corresponding development stage.

In this way, the automation of the traditional meters currently used, by digital meters from sensors who will be responsible for taking the consumption measurements by users, send them through wireless communication to a server who will store them in a database that will later be sent to the cloud in order to have a backup of the information obtained. On the other hand, this system is complemented by an intuitive and user-friendly web page with two profiles for both the community users and the administration staff, who will have a billing system.

The implementation of this system on a large scale, i.e., extended to the entire community, is intended to solve the problems presented with the traditional system. In this way, a reliability of 99.98% is offered in terms of consumption measurement by the users, operation of the web page and therefore of the billing system with real values according to consumption and enabling and cutting of the service. On the other hand, wireless communication from Wi-SUN varies in terms of the percentage of reliability with respect to the distances at which the network links are established.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

El capítulo presentado a continuación muestra de forma global lo relacionado al tema de investigación, el planteamiento del problema a resolver, los objetivos propuestos para el desarrollo del proyecto, el alcance donde se describe por etapas las metas a ser alcanzadas de acuerdo a la metodología en V, finalmente una justificación que define el porqué de la realización del proyecto

1.1. Tema

Desarrollo de un sistema inteligente de medición y gestión del consumo de agua potable utilizando tecnología inalámbrica Wi-SUN para la Junta de Aguas de la Comuna “Eloy Alfaro” Turucu de la parroquia San Francisco en la ciudad de Cotacachi

1.2. Problema

Hoy en día el servicio de agua potable es uno de los sectores con menor avance tecnológico dentro de los servicios básicos que se prestan a la ciudadanía. Puesto que, en la mayoría de sectores del país se ha venido trabajando con un sistema tradicional donde la medición y control del servicio de agua potable es realizado periódicamente por operarios de las empresas prestadoras del servicio. (Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), 2016) Actualmente la gestión del servicio de agua potable en la comuna “Eloy Alfaro” Turucu está a cargo de la Junta de Aguas de esta comuna, (Constitución de la República del Ecuador, 2014) donde la distribución de agua potable se realiza a partir de un ojo de agua.

Antes de iniciar con la distribución de agua hacia los domicilios, esta es reservada en un taque donde se realiza el proceso de potabilización para su posterior distribución. Por otro lado, para realizar la medición del consumo del servicio se designa a una persona, quien es la encargada de asistir a cada domicilio y tomar la medición de forma manual en hojas de papel. Posteriormente esta información es utilizada para determinar de acuerdo al valor del metro cúbico la tarifa a ser cancelada mensualmente por los usuarios

Aunque el sistema tradicional utilizado para la medición y control del servicio de agua potable cumple con sus funciones, no ha sido el más eficiente hasta cierto punto. Dado que este sistema representa que los operarios encargados de la lectura del medidor recorran distancias considerables bajo diferentes condiciones climáticas, utilizando como medio de transporte bicicletas que son proporcionadas por ellos mismos. Por otro lado, a pesar de existir una ordenanza donde se indica que los medidores de agua deberán estar instalados en la parte externa de las residencias, (GAD Municipal de Santa Ana de Cotacachi, 2014) existen residencias que aún mantienen el medidor internamente, por lo que se dificulta el acceso a los mismos, o en algunos casos se debe volver en otra ocasión al domicilio. Así mismo, al ser este un sistema manual, existe mayor probabilidad de errores de lectura.

Como solución a los problemas planteados anteriormente en cuanto a la medición y gestión del servicio de agua potable en la comuna. Se propone, el desarrollo de un sistema inteligente, que permita la transmisión de información a partir de los medidores, estos deberán ser capaces de recopilar información sobre el consumo en tiempo real y transmitirlos a través de Wi-SUN que será la tecnología inalámbrica aplicada, hacia un sistema de recopilación de datos. Posteriormente deberán ser enviados a un sistema de gestión y análisis de datos para proporcionar aplicaciones en el servicio de facturación y gestión del agua potable. Así mismo, aunque este trabajo de titulación está enfocado al servicio de agua potable, podría mostrarse como una base para que puedan implementarse nuevos servicios.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema inteligente de medición del consumo de agua potable utilizando tecnología inalámbrica Wi-SUN para la gestión del servicio de agua potable en la Junta de Aguas de la Comuna “Eloy Alfaro” Turucu de la parroquia San Francisco en la ciudad de Cotacachi

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis bibliográfico sobre AMI (Infraestructura de Medición Avanzada), tecnología inalámbrica Wi-SUN y los sistemas de medición en el servicio de agua potable para determinar la fundamentación teórica
- Analizar la situación actual del manejo del sistema de agua potable dentro de la comuna para determinar los requerimientos del sistema
- Determinar el Hardware y el Software de acuerdo a las necesidades de los usuarios y requerimientos de la red de comunicación en base a la situación actual de la comuna
- Diseñar el sistema de medición del consumo de agua potable y plataforma de visualización que permita gestionar el consumo y facturación del servicio
- Realizar pruebas del sistema de medición del consumo del servicio y la red de comunicación para valorar el correcto funcionamiento del sistema.

1.4. Alcance

El presente trabajo de grado tiene como objetivo el desarrollo de un sistema inteligente de medición y gestión del consumo de agua potable utilizando tecnología inalámbrica Wi-SUN en beneficio de los usuarios de la comuna “Eloy Alfaro” Turucu en la ciudad de Cotacachi, lo que les permitirá solventar los inconvenientes presentados en el manejo del servicio de agua potable con el sistema tradicional. Para su desarrollo se ha planteado la utilización de la metodología en V, que propone la ejecución de procesos de manera secuencial a partir de un modelo de verificación y validación (Maida & Pacienza, 2015), es decir, se desarrollará una fase de prueba para cada etapa de desarrollo correspondiente (Callejas-Cuervo et al., 2017).

En primera instancia se realizará un análisis bibliográfico donde se consideran temas de importancia como la Infraestructura de medición avanzada AMI, tomando en cuenta cada uno de sus subsistemas (Gold et al., 2020), el sistema de agua potable, la tecnología

inalámbrica Wi-SUN basado en el estándar IEEE 802.15.4 considerando las especificaciones de Capa Física y Capa MAC (IEEE Computer Society, 2020), implementos de hardware y software. Lo que permitirá determinar la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo del sistema propuesto.

Seguido de la fundamentación teórica se realizará un estudio de la situación actual del sistema de agua potable dentro de la comuna para establecer los requerimientos del sistema. De acuerdo a este estudio se determinará los elementos tanto de hardware como de software basándose en las necesidades de los usuarios y los requerimientos de la red de comunicación.

A continuación, se plantea el diseño del sistema basado en una arquitectura AMI compuesta por los dispositivos finales o nodos que serán ubicados en las residencias de los usuarios. Estos nodos están conformados por sensores conectados a un sistema embebido que permite la recolección y el procesamiento de la información (Rashed Mohassel et al., 2014a), y una electroválvula que permite la gestión remota del servicio desde la oficina central de recaudación.

La transmisión de los datos recolectados será ejecutada dentro de una red de comunicación de acuerdo a los requerimientos dentro de la comuna, para ello se utilizará tecnología inalámbrica Wi-SUN. La información del consumo del servicio por parte de los usuarios será almacenada dentro de un repositorio de datos para posteriormente ser gestionada y visualizada a través de una interfaz de aplicación que muestre el consumo del servicio y el valor a ser cancelado por el mismo (Alvarado, 2011) Finalmente se ejecutará la etapa de validación del sistema realizando pruebas de funcionamiento los domicilios donde se implementó el sistema y en la oficina central de recaudación del servicio de la Junta de aguas de la comuna, evaluando el cumplimiento de las necesidades de los usuarios y los requerimientos de la red de comunicación.

1.5. Justificación

Actualmente las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se han convertido en herramientas de gran importancia tanto en las actividades de los diferentes tipos de organizaciones, como en el vivir diario de la sociedad (Arellano & Cámara, 2017). Sin embargo, el servicio de agua potable en la mayoría de zonas del país, no se ha visto beneficiado por estas tecnologías (Molina et al., 2018). De allí la importancia de lograr la incorporación de las TIC con las estructuras físicas ya existentes con el fin de automatizar el sistema tradicional del consumo de agua potable y tener un aprovechamiento de los recursos.

Por otro lado, el Plan Nacional del Buen Vivir plantea a la innovación, la ciencia y la tecnología como ejes fundamentales para el cambio de la matriz productiva del país (Senplades, 2017). Es así que una de las políticas del objetivo 5 de este plan, se plantea la promoción de la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, en articulación con las necesidades sociales, para impulsar el cambio de la matriz productiva. Adicionalmente, se define como una de sus metas para el 2021, incrementar de 4,6 a 5,6 el índice de desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación.

En base a lo planteado anteriormente, la realización de este proyecto contribuye al avance tecnológico dentro del sistema de consumo y gestión del servicio de agua potable, dejando una base para la automatización no solo de este servicio sino también de otros que puedan presentarse posteriormente. Así mismo contribuye al Plan Nacional del Buen Vivir en el incremento del índice de desarrollo utilizando las TIC.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El capítulo mostrado a continuación muestra la fundamentación teórica para el desarrollo del proyecto, en primera instancia se aborda el tema de Infraestructura de Medición Avanzada AMI, que indica la automatización de servicios a través de medidores inteligentes, redes de comunicación, sistemas de gestión de datos y medios de aplicación. Por otro lado, se muestra los sistemas de medición de agua potable, un sondeo de la tecnología inalámbrica a utilizarse en este caso Wi-SUN, tomando en cuenta las especificaciones de su Capa Física y su Capa MAC, el hardware y software a implementarse y finalmente la metodología aplicada para el desarrollo del proyecto

2.1. Infraestructura de Medición Avanzada (Advanced Metering Infrastructure AMI)

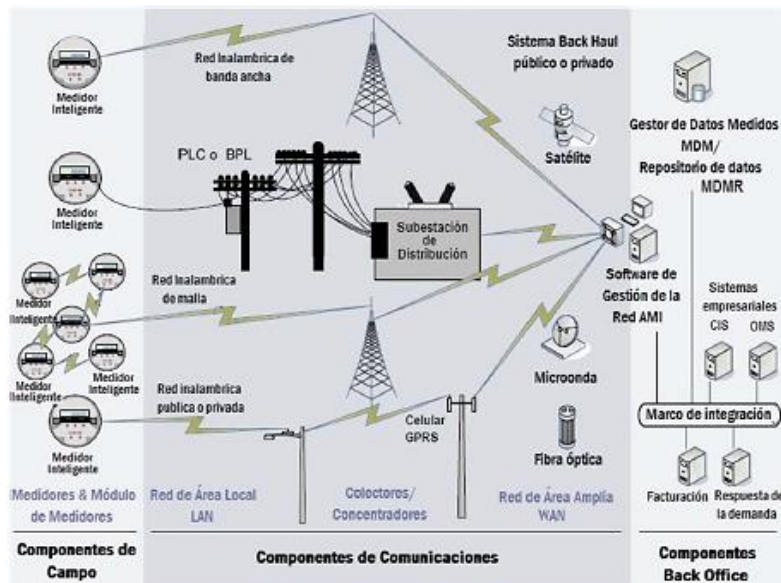
AMI hace referencia a la tecnología que permite la medición, recolección y posterior análisis de datos de sistemas generalmente relacionados a los servicios públicos como la electricidad, el gas y el agua. Se plantea como una infraestructura de comunicación bidireccional que da paso al intercambio de información entre una empresa de servicios públicos y medidores inteligentes instalados en el predio del cliente.

AMI se presenta no solamente como una única tecnología, sino más bien, es una infraestructura configurada que integra una serie de tecnologías para lograr sus objetivos. La infraestructura incluye medidores inteligentes, redes de comunicación en diferentes niveles de la jerarquía de la infraestructura, sistemas de gestión de datos de medidores (MDMS) y medios para integrar los datos recopilados en interfaces y plataformas de aplicaciones de software. Como se muestra en la Figura 1 el usuario está equipado con un medidor inteligente que recopila datos basados en el tiempo. Estos medidores pueden transmitir los datos recopilados a través de redes fijas comúnmente disponibles, como banda ancha sobre línea eléctrica (BPL), comunicaciones de línea eléctrica, Radio Frecuencia Fija, así como redes públicas como telefonía fija, celular y buscaperonas. Los datos de consumo medido son

recibidos por el sistema host AMI. Posteriormente, se envía a un MDMS que gestiona el almacenamiento y análisis de datos y proporciona la información de forma útil al proveedor de servicios públicos. (Gold et al., 2020).

Figura 1

Infraestructura AMI



Fuente:(Alvarado, 2011)

2.1.1. Infraestructura del Sistema AMI

La infraestructura de AMI está compuesta principalmente por los siguientes componentes: medidores inteligentes, redes de comunicación en diferentes niveles de la jerarquía de la infraestructura, sistemas de gestión de datos de medidores (MDMS) y medios para integrar los datos recopilados en interfaces y plataformas de aplicaciones de software.

2.1.1.1. Medidor Inteligente.

Conocido mundialmente como “Smart Meter” se componen de hardware y software capaz de realiza la medición, registro y almacenamiento de datos relacionados al consumo de un servicio, registrar eventos y parámetros de utilidad para mejor la calidad del servicio. Estos dispositivos tienen una comunicación establecida con el Gateway o concentrador de datos y son capaces de transmitir dicha información en los intervalos de tiempo requeridos en

tiempo real. La comunicación en AMI es bidireccional; por lo tanto, los dispositivos pueden aceptar señales de comando y actuar en consecuencia. (Asghar et al., 2017)

Desde el punto de vista del fenómeno medido, los medidores inteligentes tienen tres categorías distintas en una visión más amplia: eléctrica, de fluidos y térmica. También hay una serie de sensores o dispositivos que miden factores como la humedad, la temperatura y la luz que contribuyen al consumo de servicios públicos. Los sensores podrían ampliarse según las necesidades y deseos del usuario o diseñador del sistema, considerando su costo y funcionalidad. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de un medidor inteligente ultrasonido de agua (Abate et al., 2019)

Figura 2

Medidor inteligente de agua



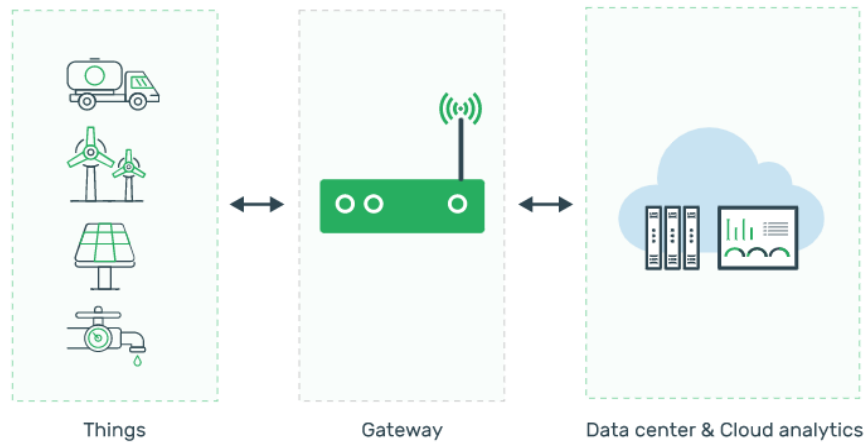
Fuente: (ADD GRUP, 2022)

2.1.1.2. Concentrador de Datos o Puerta de Enlace (Gateway)

El Concentrador de Datos o Gateway es un equipo con mayor capacidad de almacenamiento de información, al que llegan de forma programada datos transmitidos desde el medidor inteligente. Este es el encargado de recolectar los datos de una cantidad determinada de medidores inteligentes para posteriormente transmitirlos a través de una red de comunicación hacia la empresa prestadora de los servicios, como se muestra en la Figura 2. El Concentrador de datos agrega todos los datos, traduce los protocolos de los dispositivos finales y procesa previamente los datos antes de enviarlos. (Siqueira de Carvalho et al., 2018)

Figura 3

Envío de datos desde los dispositivos finales hacia el Gateway



Fuente: (Siqueira de Carvalho et al., 2018)

2.1.1.3. Red de Comunicación

Como se ha mencionado antes la comunicación deberá realizarse en sentido bidireccional, por lo tanto, es una parte esencial de AMI. Teniendo en cuenta la cantidad de usuarios y medidores inteligentes en cada centro, se requiere una red de comunicación altamente confiable para transferir el gran volumen de datos.

Se pueden utilizar varias topologías y arquitecturas para la comunicación en redes inteligentes. La arquitectura más practicada es recopilar los datos de grupos de medidores en concentradores de datos locales y luego transmitir los datos mediante un canal de retorno al receptor central donde residen los servidores, las instalaciones de procesamiento y almacenamiento de datos, así como las aplicaciones de administración y facturación. (Rashed Mohassel et al., 2014a) Como se encuentran disponibles diferentes tipos de arquitecturas y redes para la realización de AMI, también existen varios medios y tecnologías de comunicación para este propósito como se muestra en la Figura 1

2.1.1.4. Sistema de gestión de datos

En el extremo del proveedor de servicios públicos, se necesita un sistema para almacenar y analizar los datos con fines de facturación. MDM (Gestor de datos medidos)

podría considerarse el módulo central del sistema de gestión con las herramientas analíticas necesarias para la comunicación con otros módulos incorporados en él. También tiene la responsabilidad de realizar la validación, edición y estimación de los datos de la AMI para garantizar un flujo de información preciso y completo desde el cliente hasta los módulos de gestión ante posibles interrupciones en las capas inferiores. (Rashed Mohassel et al., 2014b)

2.2. Medición de Agua Potable

Generalmente la medición del servicio de agua potable se lo realiza a través de un medidor de agua, este es un dispositivo que mide el flujo de agua que pasa a través de una tubería medido en $\frac{m^3}{s}$. Los medidores de agua pueden ser clasificados en función de la forma de medir el flujo de agua. Entre los medidores que se citaran en este capítulo se encuentran: Los medidores de presión diferencial, medidores con accionamiento mecánico, es decir los medidores de desplazamiento positivo y los medidores de tipo turbina, finalmente los medidores de caudal efecto hall y de tipo ultrasónico

2.2.1. Medidores de Presión Diferencial

Esta clase de medidores presenta una reducción de la sección de paso del fluido, dando lugar a que el fluido aumente su velocidad, lo que origina un aumento de su energía cinética y, por consiguiente, su presión tiende a disminuir en una proporción equivalente, de acuerdo con el principio de la conservación de la energía, creando una diferencia de presión estática entre las secciones aguas arriba y aguas abajo del medidor. Entre los principales tipos de medidores de presión diferencial se pueden destacar los siguientes: placas de orificio, toberas, tubos Venturi, tubos Pitot, tubos Annubar, codos, medidores de área variable, medidores de placa.

2.2.2. Medidores Mecánicos

2.2.2.1. Medidores Por Desplazamiento Positivo

Los medidores por desplazamiento positivo miden la cantidad de flujo que pasa a través de un conducto, fraccionando el flujo en segmentos volumétricos conocidos, logrando así realizar el conteo del volumen desplazado mediante un tren de engranajes colocados en cada uno de los rotores del medidor. Dentro de los diferentes tipos de medidores por desplazamiento positivo se encuentran los siguientes: medidores de tipo pistón, medidores de paletas deslizantes y medidores de engranajes (García, 2017)

2.2.2.2. Medidores Por Turbina

Los medidores de flujo por turbina emplean la energía mecánica del flujo para hacer girar un rotor en el caudal de flujo. La velocidad de rotación es directamente proporcional a la velocidad del fluido que se desplaza a través del medidor. Dentro de los medidores por turbina tenemos, los medidores de chorro único y los medidores de chorro múltiple.

2.2.3. Caudalímetros Efecto Hall

El caudalímetro de efecto Hall está equipado con una hélice o turbina que se activa al paso del fluido a través de ella. Un imán ubicado en la turbina emite un campo magnético provocando pulsos eléctricos por efecto Hall que son enviados por un sensor en forma de onda cuadrada como una señal digital a través de un circuito eléctrico. La frecuencia de la onda es proporcional al caudal ya que cuanto mayor sea el caudal del líquido más rápido gira la turbina (Jarabo Friedrich et al., 2018)

2.2.4. Caudalímetros Ultrasónicos

2.2.4.1. Medida del Caudal Mediante “Tiempo de Tránsito”

Este tipo de caudalímetros miden el tiempo que requiere una señal ultrasónica para ser transmitida desde un sensor que se encuentra aguas arriba, atraviere una tubería diagonalmente y se lo reciba por un segundo sensor que se encuentra aguas abajo y,

viceversa. Ahora se contrastan las dos medidas de tiempo, el tiempo de tránsito en las dos direcciones será el mismo si no existe flujo, si existe flujo la señal viaja rápidamente a su favor y lentamente en dirección contraria. La diferencia de tiempo medida depende directamente de la velocidad del fluido a través de la tubería y es el valor notable para monitorizar y medir el flujo de líquidos y gases.

2.2.4.2. Medida de Caudal Mediante "Doppler"

El caudalímetro de efecto Doppler se basa en la reflexión de un frente de ondas que se propaga a través de un medio no homogéneo. Si las partículas contenidas en el fluido, burbujas de aire o impurezas, viajan a la misma velocidad que este, la desviación Doppler es linealmente proporcional a la velocidad del fluido. La mayoría de los caudalímetros Doppler comerciales requieren partículas con tamaños mínimos entre 25 y 30 mm y concentraciones de al menos 25 ppm. (UNA AUDITORÍA, 2018)

2.3. Wi – SUN (Wireless Smart Utility Network)

Wi-Sun por sus siglas en inglés, es un estándar que permite trabajar con redes IoT al aire libre en gran escala, como redes de malla inalámbricas para infraestructura de medición avanzada (AMI), administración de energía doméstica, automatización de distribución y otras aplicaciones de redes al aire libre a gran alcance. Se puede utilizar en varias aplicaciones, tanto en entornos urbanos como rurales, ya que proporciona comunicaciones de bajo consumo y bajo costo a largas distancias. (Righetti et al., 2019)

La especificación de la capa física (PHY) de Wi-SUN se basa en el estándar IEEE 802.15.4g que define las especificaciones de las capas físicas alternativas. Wi-SUN también incluye especificaciones adicionales de control de acceso al medio (MAC) basada en el estándar IEEE 802.15.4e, adaptación, protocolos de capas de red y transporte estandarizados por IEEE e IETF para soportar varias aplicaciones. (IEEE Computer Society, 2020).

2.3.1. Especificaciones Técnicas

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las especificaciones técnicas para el estándar Wi-SUN

Tabla 1

Especificaciones técnicas de Wi-SUN

Especificaciones Técnicas Wi-SUN	
Cobertura	Hasta 4 Km
Banda de frecuencias	868 MHz Europa 915 MHz Estados Unidos 2.4 GHz bandas ISM
Velocidad de datos	Hasta 400 kbps
Latencia	0.02s
Eficiencia energética	<2 uA en reposo 8 mA en actividad
Escalabilidad	Hasta 5000 dispositivos Millones de dispositivos finales

Fuente (Urquiza Morales, 2020)

2.3.2. Capa Física (802.15.4g)

El estándar IEEE 802.15.4g define una enmienda al Estándar IEEE 802.15.4 para cumplir con los requisitos de las redes inalámbricas de servicios inteligentes (Wi-SUN), es decir, redes inalámbricas para aplicaciones de medición inteligente. Estas aplicaciones requieren velocidades de datos bajas, con un rango de comunicación superior al permitido por la tecnología IEEE 802.15.4. El estándar IEEE 802.15.4 presenta limitaciones como sensibilidad a interferencias externas y desvanecimiento de múltiples rutas, corto alcance de comunicación (alrededor de 100-200 m en entornos al aire libre) que requiere la introducción de nodos de retransmisión en la red (IEEE Computer Society, 2020)

La enmienda IEEE 802.15.4g aborda explícitamente las dos limitaciones expuestas anteriormente. Opera en frecuencias sub-GHz, donde la señal inalámbrica puede propagarse a distancias más largas, en comparación con los 2,4 GHz del estándar heredado, con la misma potencia de transmisión. Esto permite ampliar el rango de comunicación sin aumentar la potencia de transmisión. Además, esta banda de frecuencia está menos saturada y, por lo tanto, las interferencias son menos frecuentes.

De igual forma, la enmienda introduce esquemas de modulación adicionales para contrastar los efectos del desvanecimiento por trayectos múltiples. El estándar define tres capas físicas alternativas (PHY) que se diferencian por la eficiencia energética y la velocidad de datos que pueden proporcionar. (Harada et al., 2017)

2.3.2.1. SUN FSK PHY

La modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) proporciona velocidades de datos entre 5 y 400 Kbps dependiendo de la configuración de los parámetros de radio, utiliza la corrección de errores de reenvío (FEC) para reducir la tasa de errores de bits y por tanto la probabilidad de retransmisión. (Harada et al., 2017)

2.3.2.1.1 Modulación y codificación para SUN FSK

SUN-FSK puede utilizarse en varias bandas de frecuencias, lo que lo hace adecuado para diferentes regiones. En concreto, la banda de 2,4 GHz está permitida en todo el mundo, y la de 863-870 MHz en Europa. Para cada banda de frecuencias se definen tres modos de funcionamiento diferentes. El modo de funcionamiento define los parámetros de modulación y de canal, como el tipo de modulación (2-FSK o 4-FSK), la separación de canales y el Índice de modulación. La Tabla 2 muestra los parámetros de modulación y de canal para los modos de funcionamiento de la PHY (IEEE Computer Society, 2020)

Tabla 2*Modulación SUN FSK y parámetros de canal*

Banda (MHz)	Parámetro	Modo	Modo	Modo
		operativo #1	operativo #2	operativo #3
169	Velocidad de datos	4.8	2.4	9.6
	Modulación	2-FSK	2-FSK	4-FSK
	Índice modulación	0.5	2.0	0.33
	Espaciado canales	12.5	12.5	12.5
450	Velocidad de datos	9.6	4.8	-
	Modulación	4-FSK	2-FSK	-
	Índice modulación	0.33	1.0	-
	Espaciado canales	12.5	12.5	-
470	Velocidad de datos	50	100	150
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	1.0	0.5	0.5
	Espaciado canales	200	200	200
779	Velocidad de datos	50	100	200
	Modulación	2-FSK	2-FSK	4-FSK
	Índice modulación	1.0	1.0	0.33
	Espaciado canales	200	400	400
863	Velocidad de datos	50	100	150
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	0.5	0.5	0.5
	Espaciado canales	100	200	200
866	Velocidad de datos	50	100	150

	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	0.5	0.5	0.5
	Espaciado de canales	100	200	200
896	Velocidad de datos	10	20	40
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	0.5	0.5	0.5
	Espaciado de canales	12.5	12.5	12.5
901	Velocidad de datos	10	20	40
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	0.5	0.5	0.5
	Espaciado de canales	12.5	12.5	12.5
915	Velocidad de datos	50	150	200
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	1.0	0.5	0.5
	Espaciado canales	200	400	400
917	Velocidad de datos	50	150	200
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	1.0	0.5	0.5
	Espaciado canales	200	400	400
928b	Velocidad de datos	10	20	40
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	0.5	0.5	0.5
	Espaciado canales	25	25	25
1427b	Velocidad de datos	10	20	40
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK

	Índice modulación	0.5	0.5	0.5
	Espaciado canales	25	25	25
2450b	Velocidad de datos	50	150	200
	Modulación	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Índice modulación	1.0	0.5	0.5
	Espaciado canales	200	400	400

Fuente: (IEEE Computer Society, 2020)

2.3.2.2. SUN OFDM

La tecnología SUN-OFDM se definió para proporcionar altas velocidades de datos y un largo alcance, al tiempo que se hace frente a los problemas de interferencia y desvanecimiento multitrayectoria. A diferencia de FSK y OQPSK, OFDM no se ha utilizado ampliamente para las comunicaciones inalámbricas de baja potencia, debido a los estrictos requisitos de procesamiento, memoria y consumo de energía. (Tuset-Peiró et al., 2020)

El SUN-OFDM puede utilizarse en diferentes bandas de frecuencia (tanto en Sub-GHz como en 2,4 GHz) y admite velocidades de datos que van de 12,5 kb/s a 2400 kb/s. Se definen cuatro opciones diferentes, cada una con un número distinto de tonos activos. (IEEE Computer Society, 2020)

2.3.2.3. Velocidades de datos para SUN OFDM

Como se ha descrito anteriormente existen cuatro opciones OFDM, cada una con un número diferente de tonos activos. (Industrial Shields, 2022) La Tabla 3 muestra las diferentes velocidades de datos

Tabla 3

Tasas de datos para SUN OFDM PHY

	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM
Parámetro	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4

Ancho de banda nominal (kHz)	1094	552	281	156
Espaciado canales (kHz)	1200	800	400	200
Tamaño DFT	128	64	32	16
Tonos activos	104	52	26	14
Tonos pilotos	8	4	2	2
Tonos de datos	96	48	24	12
MCS0 (kb/s)	100	50	25	12.5
(BPSK tasa $\frac{1}{2}$ con repetición de frecuencia 4x)				
MCS1 (kb/s)	200	100	50	25
(BPSK tasa $\frac{1}{2}$ con repetición de frecuencia 2x)				
MCS2 (kb/s)	400	200	100	50
(QPSK tasa $\frac{1}{2}$ con repetición de frecuencia 2x)				
MCS3 (kb/s)	800	400	200	100
(QPSK tasa $\frac{1}{2}$)				
MCS4 (kb/s)	1200	600	300	150
(QPSK tasa $\frac{3}{4}$)				
MCS5 (kb/s)	1600	800	400	200
(16-QAM tasa $\frac{1}{2}$)				
MCS6 (kb/s)	2400	1200	600	300
(16-QAM tasa $\frac{3}{4}$)				

Fuente: (IEEE Computer Society, 2020)

2.3.2.4. SUN-OQPSK

La modulación OQPSK se introdujo en la primera versión del estándar IEEE 802.15.4, en 2003, sólo para la banda de 2,4 GHz, y proporcionando una tasa de bits de 250 kbps. En la norma IEEE 802.15.4g se definieron otros modos de uso, que permitían utilizar la modulación OQPSK también en otras bandas de frecuencias, y para tasas de bits que variaban de 6,25 a 500 kbps. El SUN-OQPSK emplea el espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS) con diferentes factores de ensanchamiento. El uso de DSSS permite una mayor resistencia a las interferencias. Para algunas bandas, es posible utilizar un modo de propagación alternativo, denominado DSSS multiplexado (MDSSS). (Tuset-Peiró et al., 2020)

2.3.3. Capa MAC (802.15.4e)

El IEEE 802.15.4e, fue propuesto como una enmienda del estándar IEEE 802.15.4, para satisfacer requerimientos de aplicaciones emergentes de IoT, particularmente en el dominio industrial. El IEEE 802.15.4e define cinco comportamientos, de esta forma, aumenta su flexibilidad para adecuarse a diferentes tipos de requisitos de aplicación.

2.3.3.1. Comportamientos MAC

El IEEE 802.15.4e proporciona cinco comportamientos MAC diferentes: identificación por radiofrecuencia (RFID), adaptación multicanal asíncrona (AMCA), extensión multicanal síncrona determinista (DSME), redes de baja latencia y deterministas (LLDN) y salto de canal síncrono de tiempo (TSCH). (de Guglielmo et al., 2014)

2.3.3.1.1 RFID (Identificación por radiofrecuencia)

El modo RFID es una de las tecnologías más populares utilizadas para el seguimiento de la ubicación y la identificación de artículos y personas, es así que, ha sido implementada en mercados globales para identificar y etiquetar productos.

2.3.3.1.2 AMCA (*Adaptación Multicanal Síncrona*)

El modo AMCA se dirige a grandes implementaciones como redes de monitoreo de infraestructura, redes de servicios inteligentes, etc. Estas aplicaciones requieren adaptaciones multicanal y de enlace para comunicarse entre varios dispositivos sin comprometer el rendimiento de la red. Sin embargo, trabaja en el modo de operación sin baliza, lo que resulta en una considerable disipación de energía. Esto se debe a que los dispositivos permanecen activos durante toda su vida útil sin el apoyo de ningún mecanismo de sincronización.

2.3.3.1.3 DSME (*Extensión Multicanal Síncrona determinista*)

El comportamiento MAC de Extensión multicanal sincrónica determinista (DSME) apunta a aplicaciones con requisitos de QoS, como latencia determinista, alta confiabilidad y escalabilidad. Las aplicaciones de control de procesos y automatización industrial son conocidas por ser sensibles a la pérdida de datos, considerando la criticidad de la información intercambiada. DSME proporciona soluciones para aplicaciones con este tipo de requisitos.

2.3.3.1.4 LLDN (*Redes Deterministas de Baja Latencia*)

El comportamiento MAC de las redes deterministas de baja latencia (LLDN) apunta a aplicaciones que normalmente exigen robustez debido a la naturaleza crítica de los datos. Por ejemplo, LLDN es un comportamiento MAC adecuado para levantamientos topográficos, donde se inspeccionan grandes áreas geográficas para capturar su dinámica temporal.

2.3.3.1.5 TSCH (*Salto de canal con ranura de tiempo*)

El modo TSCH proporciona garantías muy altas de la confiabilidad y del tiempo crítico. Es un candidato adecuado para la implantación de redes de sensores en las industrias del petróleo y el gas que se definen como críticas para la seguridad. TSCH soporta el mecanismo de frecuencia Hopping, que mejora en gran medida la fiabilidad de la red al mitigar eficazmente los efectos de la interferencia y el desvanecimiento por trayectos múltiples a una escala considerable. (Kurunathan et al., 2018)

2.4. Componentes de Hardware

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se ha decidido utilizar hardware libre ya que su código fuente, especificación de procesos de fabricación y diseño conceptual están disponibles de forma tal que ofrecen: libertad de uso, de estudio y modificación, de distribución, y de redistribución de las mejoras. A continuación, se detalla brevemente el hardware a implementarse.

2.4.1. Microcontrolador

La tecnología de los microcontroladores pertenece a la categoría de sistemas informáticos integrados que siguen las reglas del método de programación convencional (secuencial) y no ejecutan un sistema operativo (SO). Este último atributo diferencia a los microcontroladores de la tecnología aliada de los microprocesadores. (Bolanakis, 2019) Uno de los microcontroladores más utilizado actualmente es Arduino, basado en el microcontrolador ATMEL. Es una plataforma de electrónica de código abierto apoyado en software y hardware libre, flexible y fácil de usar lo que permite generar un sinnúmero de proyectos

2.4.2. Microprocesador

La tecnología de microprocesadores ha dado forma a los actuales ordenadores de placa única (como la placa Raspberry Pi), en los que el sistema operativo suele cargarse en una tarjeta digital segura (SD) integrada. Donde la programación y el desarrollo de aplicaciones pueden realizarse de forma similar a la de los ordenadores personales (PC). (Bolanakis, 2019) La Raspberry Pi es una computadora muy económica que ejecuta Linux, pero también proporciona un conjunto de pines GPIO (entrada/salida de uso general), lo que le permite controlar los componentes electrónicos para la computación física y explorar el Internet de las cosas (IoT). (Raspberry Pi Foundation, 2022)

2.4.3. Transceptor inalámbrico

Un transceptor inalámbrico es un dispositivo que contiene un transmisor y un receptor que admiten el envío y recepción de información, es decir la comunicación se realiza de forma bidireccional, utilizando como medio de transmisión el aire.

2.4.4. Electroválvulas

Al referirnos a una electroválvula, nos estamos refiriendo a un sistema electromagnético diseñado para dirigir el flujo que pasa a través de un conducto, generalmente dispone solamente de dos modos, uno abierto y otro cerrado. Su movimiento se realiza a través de la acción de una bobina solenoide, lo que las caracteriza de las válvulas motorizadas, este tipo de válvulas cambian de estado a través de un mecanismo manejado por un motor.

2.4.4.1. Clases de electroválvulas

Las electroválvulas de agua constan de dos partes básicas: la válvula y solenoide, para algunas válvulas el encargado de convertir la energía eléctrica en mecánica es el solenoide, lo que acciona la válvula, por otro lado, se encuentran las válvulas que utilizan dos solenoides que realizan el trabajo de abrir y cerrar la válvula. Partiendo del modo de configuración de estas dos partes básicas, se pueden clasificar diversos tipos de electroválvulas de agua.

2.4.4.1.1 De tipo directo

Este tipo de electroválvulas utilizan un solenoide para mantenerse abiertas o cerradas, esto conjuntamente con la fuerza del flujo de agua, generalmente están instaladas en sistemas de riego, lavaplatos y lavadoras.

2.4.4.1.2 Asistidas

Este tipo de electroválvulas no están controladas directamente por el solenoide, sino más bien, este ejerce sus influencias sobre una válvula piloto secundaria. (Arco, 2020)

2.4.5. Sensores

Término utilizado para describir dispositivos que son sensibles a alguna forma de energía ambiental, puede ser en un entorno lumínico, térmico, cinético, relacionando información sobre una cantidad física que debe medirse, como: temperatura, presión, velocidad, corriente, aceleración, posición etc. Un sensor no siempre tiene las características eléctricas necesarias para ser utilizado en un sistema de control. Normalmente, la señal de salida debe ser manipulada antes de ser leída en el sistema de control. (Wendling, 2010)

2.4.6. Baterías

Las baterías pueden ser definidas como un componente eléctrico que permite almacenar corriente continua, lo que da paso a volver a utilizar esta corriente acumulada para la alimentación eléctrica de un circuito. (Domínguez, 2017)

2.5. Componentes Software

Los componentes de Software hacen referencia a las instrucciones, procedimientos o pautas que dan paso a la realización de diferentes tareas en un sistema informático, también pueden ser definidos como un programa o conjunto de programas que forman parte de las operaciones de un sistema informático

2.5.1. Software libre

Según Stallman en “La definición de Software libre” establece a este como la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software. Se refiere especialmente a cuatro tipos de libertad: (Stallman, 2020)

Libertad 0: libertad de ejecución del programa sin importar el fin

Libertad 1: libertad para el estudio del funcionamiento del programa y adecuarlo según las necesidades

Libertad 2: libertad para la redistribución de copias

Libertad 3: libertad para realizar mejoras en el programa y publicarlo

2.5.2. Tipos de Software

2.5.2.1. Software de sistemas

Este tipo de software está conformado por programas cuyo principal objetivo es ayudar al desarrollo o al funcionamiento de otros programas. Entre ellos están sistemas operativos, compiladores, editores, entornos gráficos, programas de telecomunicaciones entre otros varios. El software de sistemas ofrece al usuario y programador interfaces de alto nivel fiables, que deben cumplir de forma estricta las especificaciones para las que fueron creados. Un ejemplo de este tipo de software son los sistemas operativos como Windows y Linux

2.5.2.2. Software de programación

Este tipo de software hace referencia a las herramientas a través de las cuales el programador puede desarrollar programas informáticos, haciendo uso de diferentes alternativas y lenguajes de programación. Dentro de este tipo de software se encuentran los entornos de desarrollo integrados IDE, que usualmente utilizan un entorno visual que facilita el trabajo del programador en cuanto a compilar, interpretar depurar, etc.

2.5.2.3. Software de aplicación

Este tipo de software está diseñado para llevar a cabo varias tareas específicas, en diferentes medios de actividad aptos de ser automatizados o asistido, especialmente dedicado a los negocios. Incluye entre varios otros: aplicaciones para Control de sistemas y automatización industrial, aplicaciones ofimáticas, software educativo y empresarial, bases de datos, software de diseño asistido (CAD), software de control numérico (CAM) entre otro sin número de aplicaciones (J. Sánchez, 2018)

2.5.3. Cloud Computing

La computación en la nube es una evolución de la tecnología de la información y un modelo comercial dominante para la entrega de recursos de TI. Da lugar a la posibilidad de obtener servicios ubicuos, acceso de red conveniente y bajo demanda a un conjunto

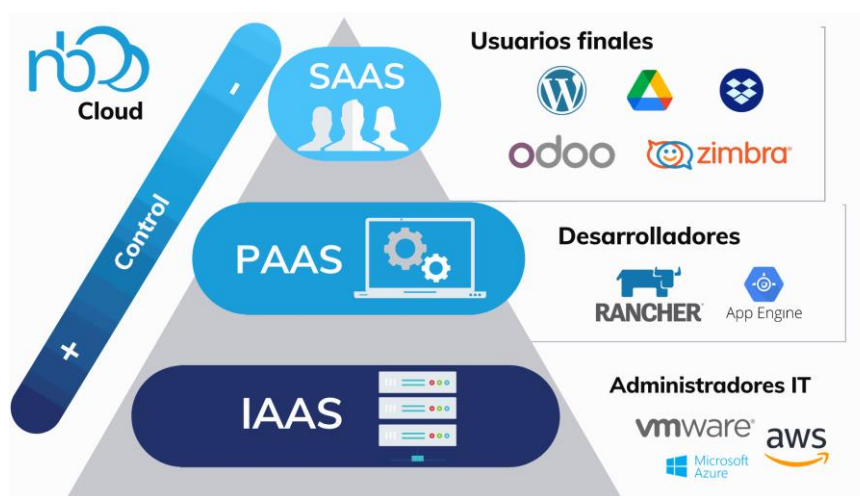
compartido de recursos informáticos conFigurables. Estos recursos deben aprovisionarse y liberarse rápidamente con un esfuerzo de gestión mínimo.

2.5.3.1. Modelos de Servicio de Cloud Computing

La computación en la nube maneja y entrega recursos de acuerdo con tres modelos de servicio predefinidos: Infraestructura como servicio (IaaS), Plataforma como servicio (PaaS) y Software como servicio (SaaS) (Yangui, 2020)

Figura 4:

Modelos de Servicio de Cloud Computing



Fuente: (Nanobytes, 2022)

2.5.3.1.1 SaaS (Software as a Service)

Este modelo de servicio permite a los usuarios acceder a sus aplicaciones a través de un navegador en lugar de instalar software en sus propias computadoras. Proporciona configuración y alojamiento centralizados, así como actualizaciones automáticas, liberando a los usuarios de la instalación y el mantenimiento del software y simplemente permitiéndoles el acceso a través de Internet. (Palos-Sanchez et al., 2017) Como ejemplo de SaaS tenemos a Gmail, Dropbox, Google Docs,

2.5.3.1.2 PaaS (Platform as a Service)

Proporciona un medio para que el desarrollador construya aplicaciones y programas y los distribuya en la red sin que se instale o gestione el entorno de producción. El cliente no

está a cargo del hardware de la nube, como los servidores, las redes, el almacenamiento y el sistema operativo. Sin embargo, el cliente controla las aplicaciones y su configuración.

(Palos-Sanchez et al., 2017) Ejemplo de PaaS es Microsoft Azure y el Motor de aplicaciones de Google. Se centra en la creación y el uso de software en la nube por parte de los implementadores y desarrolladores.

2.5.3.1.3 IaaS (Infrastructure as a Service)

En este modelo el usuario no maneja la infraestructura de la nube, pero puede tener control sobre los sistemas operativos, el almacenamiento y las apps, y puede tener poco control sobre componentes de red seleccionados como el Firewall. (Palos-Sanchez et al., 2017)Ejemplo: Amazon EC2 ofrece servicios físicos y virtuales a los clientes incluye especificaciones de consumo, memoria, sistema operativo y almacenamiento.

2.6. Aplicaciones WEB

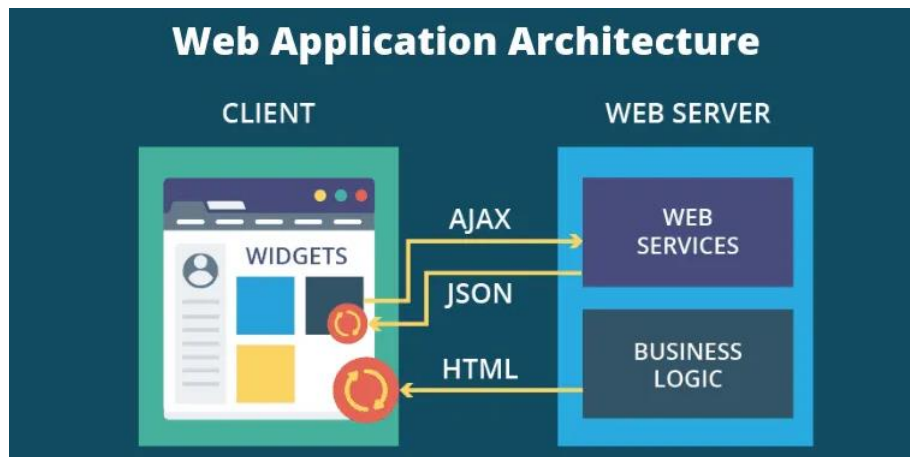
Una aplicación web puede ser definida como un programa de aplicación que se almacena en un servidor remoto y se entrega a través de Internet mediante una interfaz de navegador. Los servicios web son aplicaciones web por definición y muchos sitios web, aunque no todos, contienen aplicaciones web.

Las aplicaciones web realizan la gestión de almacenamiento y recuperación de información como se muestra en la arquitectura de la Figura 5 mediante lenguajes de programación como PHP y ASP, esto por parte del servidor, del lado del cliente se utiliza lenguajes de programación como HTML y JavaScript que permite mostrar la información a los usuarios. Esto da lugar a que los usuarios puedan interactuar con la empresa a través de sistemas de administración, sistemas de facturación, carritos de compras, formularios en línea y más. Así mismo, una aplicación web permite a los usuarios generar documentos, colaborar en proyectos, compartir información y trabajar en documentos comunes sin limitaciones de espacio y tiempo.

Por otra parte, las aplicaciones web, que originalmente fueron concebidas para permitir el diálogo usuario-sistema, se amplían con servicios web, que permiten la interacción sistema-a-sistema, y con primitivas de control de procesos, que permiten la implementación de los negocios requeridos. (Brambilla et al., 2016)

Figura 5.

Arquitectura aplicaciones Web



Fuente:(Network Encyclopedia, 2022)

2.7. Protocolos de mensajería para IoT

Los recursos de Internet de las cosas (IoT) utilizan cierto tipo de protocolo de mensajería para permitir que cada dispositivo IoT se comunique dentro del sistema. Estos protocolos de mensajería son usados para enviar mensajes desde dispositivos IoT a un centro de mensajería IoT o Broker. Los dos protocolos de mensajería más habituales que se utilizan para las soluciones de IoT son MQTT y AMQP; sin embargo, hay varios otros protocolos utilizados y compatibles con varios hardware de IoT. Para el desarrollo de este sistema se recomienda utilizar los protocolos MQTT y MQTT-SN, que son prácticamente iguales, a diferencia de algunas variantes que veremos a continuación.

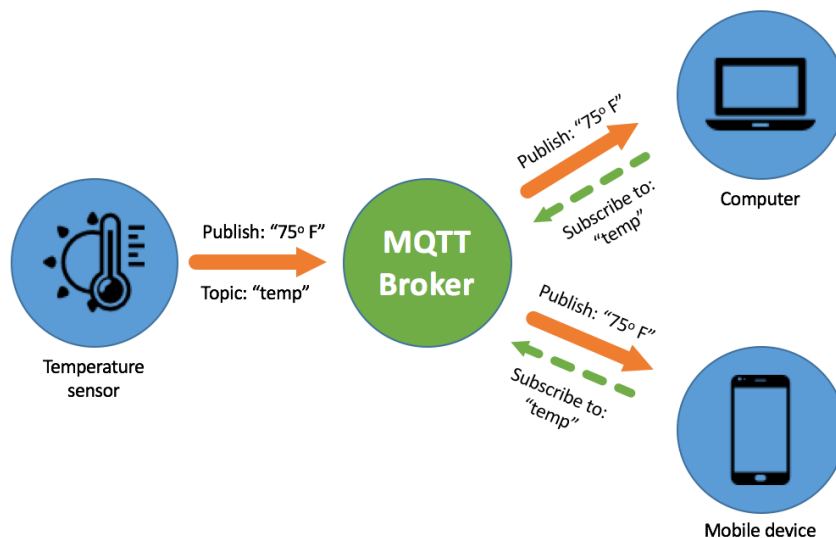
2.7.1. MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

Es un protocolo empleado para la comunicación en un entorno IoT basado en TCP. El protocolo fue fundado por IBM como un método fácil de comunicación entre

máquinas. MQTT fue estandarizado por ISO/IEC 20922 y luego adoptado como parte de OASIS. En esencia, MQTT es un protocolo de mensajería que utiliza un modelo de comunicación de suscripción pública, como se muestra en la Figura 6, donde los clientes no necesitan actualizarse, lo que a su vez reduce los recursos usados, haciendo que este modelo sea el más adecuado para su uso en entornos de bajo consumo de ancho de banda. Además, el protocolo opera en un sistema cliente-servidor donde un servidor llamado broker envía actualizaciones a los clientes MQTT. (Associated Press, 2019) Los clientes no se envían mensajes directos entre sí, sino que confían en el broker para hacerlo. Cada mensaje MQTT contiene un tema constituido en una estructura de árbol al que los clientes pueden suscribirse o publicar. El bróker receipta los mensajes publicados por clientes que contienen valores o comandos específicos y envía esta información a todos los clientes suscritos a ese tema en particular.

Figura 6.

Funcionamiento protocolo MQTT



Fuente: (Thangavel et al., 2014)

Como se observa, el protocolo MQTT está delineado para la comunicación asíncrona donde diferentes dispositivos se susciben o publican en paralelo. El protocolo asimismo es capaz de proporcionar un transporte confiable al elegir uno de los tres tipos de mecanismos

de confiabilidad, también conocidos como calidad de servicio (QoS). En balance con otros protocolos como HTTP, el protocolo MQTT tiene una huella mucho más pequeña, lo que hace que MQTT, como se mencionó anteriormente, sea más óptimo para entornos con recursos limitados. A pesar de las muchas ventajas del protocolo MQTT, no todos los brokers basados en MQTT tienen capacidades de encriptación o autenticación de dispositivos similares o comparables. Mosquitto, la aplicación de código abierto de Eclipse, proporciona la mayoría de las funciones estandarizadas del protocolo MQTT, como SSL/TLS y compatibilidad con certificados de clientes. De manera predeterminada, el corredor de Mosquitto no brinda seguridad para su esquema de mensajería, la información de autenticación se envía en texto sin formato; por lo tanto, requiere mecanismos de seguridad para proteger la información transmitida. (Thangavel et al., 2014)

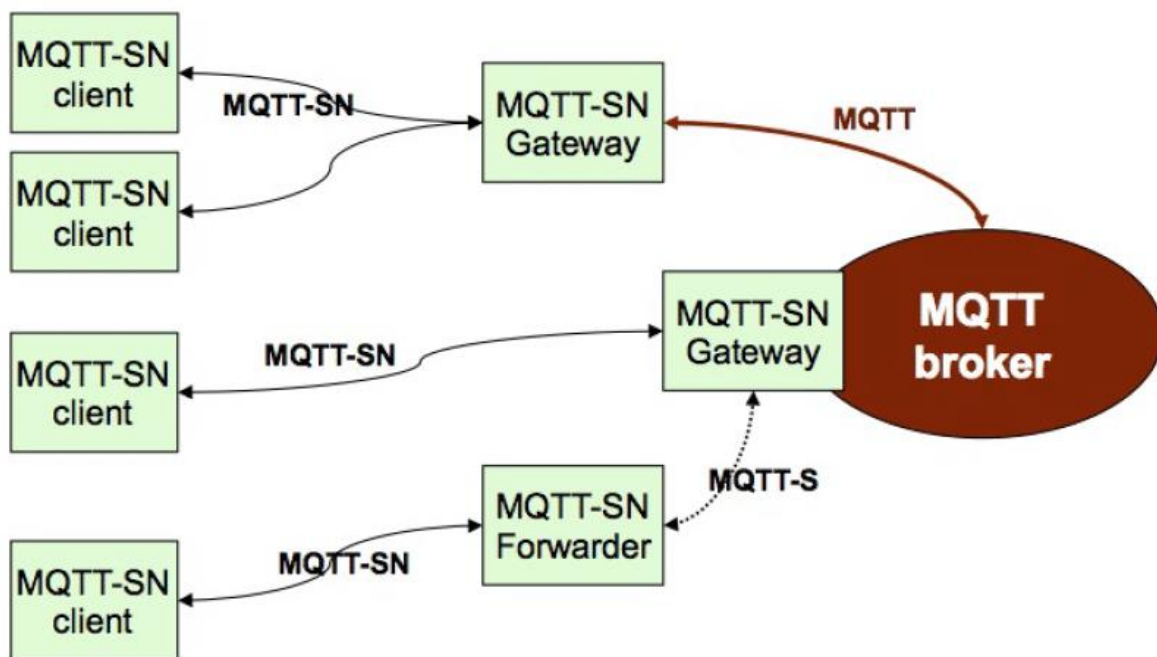
2.7.2. MQTT-SN

Se puede pensar en MQTT-SN como una versión de MQTT que es adecuada para manejar nodos limitados, tanto desde una perspectiva de espacio/complejidad como para tener en cuenta el hecho de que los nodos limitados pueden no ser compatibles con TCP/IP. MQTT-SN puede operar sobre cualquier protocolo de red bidireccional, con pérdidas y sin fallas. MQTT-SN usa conexiones UDP especialmente porque UDP es mucho más simple que TCP sobre enlaces inalámbricos. Para reducir el tamaño del paquete, MQTT-SN admite el ID del tema (2 bytes) en lugar de nombres de temas codificados en UTF-8. Cuando un cliente remite una solicitud de registro a un broker, proporciona la identificación del sujeto y el nombre del sujeto asociado. Por lo tanto, solo se usará el ID del tema para futuras solicitudes. La arquitectura de MQTT-SN se muestra en la Figura 7. La función principal de la puerta de enlace MQTT-SN es convertir entre MQTT y MQTT-SN. Publica/suscribe mensajes a/desde broker MQTT utilizando MQTT tradicional sobre TCP/IP. MQTT-SN es compatible con un cliente de corta

distancia y el dispositivo limitado entra en suspensión y recibe mensajes del servidor después de despertarse. Los clientes de MQTT-SN también pueden acceder a las puertas de enlace de MQTT-SN mediante un reenviador de MQTT-SN si la puerta de enlace no está directamente conectada a su red. (Sadio et al., 2019)

Figura 7.

Arquitectura MQTT - SN



Fuente:(Sadio et al., 2019)

Un mensaje MQTT-SN consta de dos partes: una cabecera de 2 ó 4 bytes de longitud y una parte variable opcional. El mensaje PUBLISH, es utilizado tanto por los clientes como por las pasarelas para publicar datos de un determinado tema. El campo Data corresponde a la carga útil de un mensaje MQTT PUBLISH. Tiene una longitud variable y contiene los datos de la aplicación que se están publicando.

2.8. Metodología en V

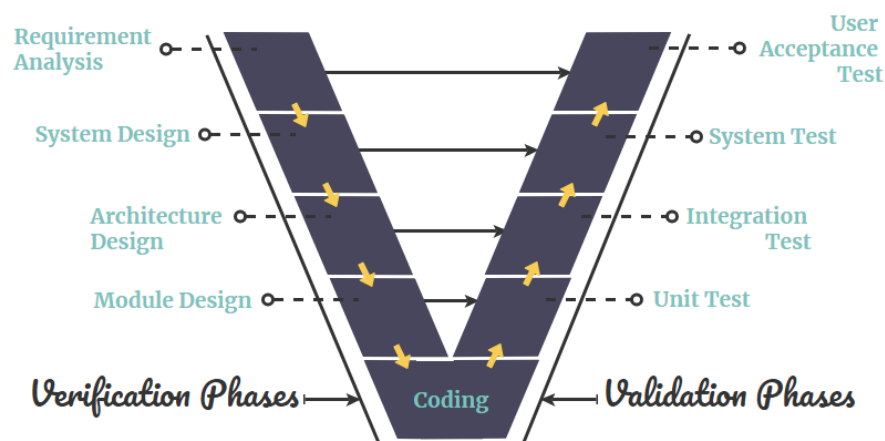
El modelo en V es un desarrollo mejorado del modelo estándar en cascada con el fin de corregir los defectos encontrados de forma tardía en el ciclo de vida, ya que las pruebas no se realizan sino hasta el final del proyecto. El modelo en V sostiene que la realización de

pruebas debe introducirse lo más pronto posible en el ciclo de vida del proyecto, también define que las pruebas no se basan en la ejecución simplemente, sino, en una variedad de actividades que deben realizarse antes de finalizar la fase de codificación. (M. Sánchez, 2017)

Este modelo aporta una metodología de calidad y control a los procesos de desarrollo del proyecto. En la Figura 8 se puede apreciar que mientras el ramal izquierdo de la V se muestra como una cascada encargada de los procesos propios a las tareas de desarrollo, el ramal derecho se encarga de los procesos propios de control sobre el trabajo que se va realizando en el otro ramal, y su validación e implementación dentro del proceso global

Figura 8.

Modelo en V



Fuente:(Gómez, 2017)

2.8.1. Etapas de verificación del modelo en V

En este modelo, las fases de desarrollo y prueba se realizan en paralelo para cada paso. Cada paso tiene sus correspondientes fases de desarrollo y prueba y pasa al siguiente paso una vez que se han completado ambas fases. Entonces, sólo se inicia el siguiente paso.

2.8.1.1. Análisis de requisitos

El paso preliminar en el desarrollo de software es recopilar requisitos. Los requisitos forman parte de los requisitos comerciales que deben cumplirse durante el proceso de desarrollo de software.

El análisis de requisitos comerciales consiste en comprender un aspecto desde la perspectiva del cliente poniéndose en su lugar para analizar completamente la funcionalidad de una aplicación desde el punto de vista del usuario. De ahora en adelante, se prepara un diseño de criterios de aceptación para correlacionar las tareas realizadas durante el proceso de desarrollo con el resultado final del esfuerzo general.

2.8.1.2. Diseño del sistema

Esto incluye la creación de un esquema de diseño para el sistema a desarrollar. El objetivo del diseño del sistema es escribir especificaciones detalladas de hardware y software. El diseño del sistema se divide en subcategorías de diseño de módulos y arquitectura, como se muestra a continuación.

2.8.1.3. Diseño arquitectónico

El diseño arquitectónico implica desarrollar un enfoque técnico para lograr las metas de desarrollo de software. El diseño arquitectónico frecuentemente se denomina diseño de alto nivel y tiene como objetivo proporcionar una visión general de soluciones, plataformas, sistemas, productos y servicios.

2.8.1.4. Diseño de módulos

El diseño modular se denomina diseño de bajo nivel y tiene como meta catalogar la lógica de construcción de un sistema. En esta etapa, tratamos de mostrar la relación entre los módulos y el orden en que se relacionan.

2.8.1.5. Fase de codificación

Una vez que se completa el diseño, comienza la fase de codificación, se elige el lenguaje de programación apropiado de acuerdo a sus necesidades. Hay algunos estándares y pautas para la codificación. La versión final está optimizada para obtener el máximo rendimiento y el código se revisa varias veces para probar el rendimiento antes de que se registre en el repositorio. (PROFESSIONAL QA, 2019)

2.8.2. Etapas de validación del modelo V

Los pasos de validación implican la ejecución de código para realizar pruebas funcionales y no funcionales. Ayuda a evaluar el software inmediatamente del desarrollo para certificar que el producto final cumpla con los requisitos del cliente. Las fases de validación del modelo se muestran a continuación.

2.8.2.1. Pruebas unitarias

En el Modelo V, el Plan de prueba unitario (UTP) se desarrolla durante la etapa de diseño del módulo. Se realizan estas UTP para la depuración a nivel de código o dispositivo. Una unidad es el módulo más pequeño que puede existir de forma independiente, como un módulo de programa. Las pruebas unitarias confirman que las unidades más pequeñas funcionan correctamente cuando están aisladas del resto del código/unidad.

2.8.2.2. Pruebas de integración

El plan de prueba de integración se desarrolla durante la etapa de diseño arquitectónico. Estas pruebas confirman que los grupos creados y probados de manera independiente pueden coexistir y comunicarse entre sí.

2.8.2.3. Prueba del sistema

Un plan de prueba del sistema se desarrolla durante la etapa de diseño del sistema. A diferencia de los planes de prueba de unidad e integración, los planes de prueba del sistema son creados por la fuerza de ventas del cliente. Las pruebas del sistema certifican que se cumplan las perspectivas del desarrollador de la aplicación.

2.8.2.4. Pruebas de aceptación

Las pruebas de aceptación implican ensayar el producto de software en el entorno del usuario. Las pruebas de aceptación dejan ver inconvenientes de compatibilidad con diferentes sistemas, también revelan problemas no funcionales, como errores de carga y rendimiento en entornos de usuarios reales.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA

En el capítulo a continuación se muestra una descripción general del sistema de medición, la situación actual del manejo del sistema de agua potable dentro de la Junta de Aguas de la comuna Eloy Alfaro “Turucu”, el planteamiento de los requerimientos para determinar el Hardware y el Software a utilizarse en el diseño y desarrollo del sistema.

3.1. Descripción general del sistema

El presente trabajo de grado tiene como objetivo el desarrollo de un sistema inteligente de medición y gestión del consumo de agua potable utilizando tecnología inalámbrica Wi-SUN en beneficio de la Junta de Aguas de la Comuna “Eloy Alfaro” Turucu en la ciudad de Cotacachi.

La Junta Administradora de Agua Potable de la comuna tiene como fin la prestación de los servicios de Agua Potable, tendiente a preservar la salud de los habitantes y garantizar un servicio social de calidad, eficiente y seguro, que la conservación del medio ambiente y el adecuado uso del agua. Obteniendo una rentabilidad social y económica para el mantenimiento, operación y sostenibilidad de los sistemas de Agua Potable.

Actualmente la Junta Administradora no maneja un cobro de la tarifa en relación al servicio consumido, en su lugar se maneja una tarifa base y a partir de ella se realiza el cobro del servicio. Por consiguiente, el sistema inteligente propone la medición del consumo del servicio y gestión de tarifas de acuerdo al porcentaje de agua potable consumido. Para ello se plantea el diseño del sistema basado en una arquitectura AMI, este tipo de arquitectura está conformada por 4 componentes principalmente: medidores inteligentes, red de comunicación, sistema de gestión de datos y aplicación.

Los medidores inteligentes que se aplicarán en este proyecto serán dispositivos conformados por sensores conectados a un sistema embebido lo que permitirá la recolección

y el procesamiento de la información, así mismo se implementará una electroválvula que permite la gestión remota del servicio desde la oficina central de recaudación.

La red de comunicación utilizada para la transmisión de los datos recolectados será ejecutada de acuerdo a los requerimientos dentro de la comuna, para ello se utilizará tecnología inalámbrica Wi-SUN. La información del consumo del servicio por parte de los usuarios será almacenada dentro de un repositorio de datos para posteriormente ser gestionada y visualizada a través de una interfaz de aplicación que muestre el consumo del servicio y el valor a ser cancelado por el mismo.

3.2. Análisis de situación actual

El análisis de la situación actual es una evaluación de los factores del entorno en el que vamos a trabajar, lo que permite tener un punto de inicio para conocer las condiciones planteadas actualmente y de esta forma establecer los requerimientos para el diseño del sistema

3.2.1. Junta Administradora de Agua Potable de la comunidad de TURUCU

La Junta Administradora de Agua Potable de la comunidad de TURUCU, se fundamenta y se constituye mediante la Ley de la Junta Administradora de Agua Potable, otorgada mediante Decreto N°3327 y publicada en el Registro Oficial No 802 Cuya denominación será JAAP DE TURUCU, como consta en el Anexo 1. La Junta Administradora de Agua Potable “TURUCU”, tendrá una duración de 2 años y su número de usuarios será ilimitado, pero podrá disolverse, liquidarse o reestructurarse por voluntad mayoritaria de sus usuarios y por mandato legal.

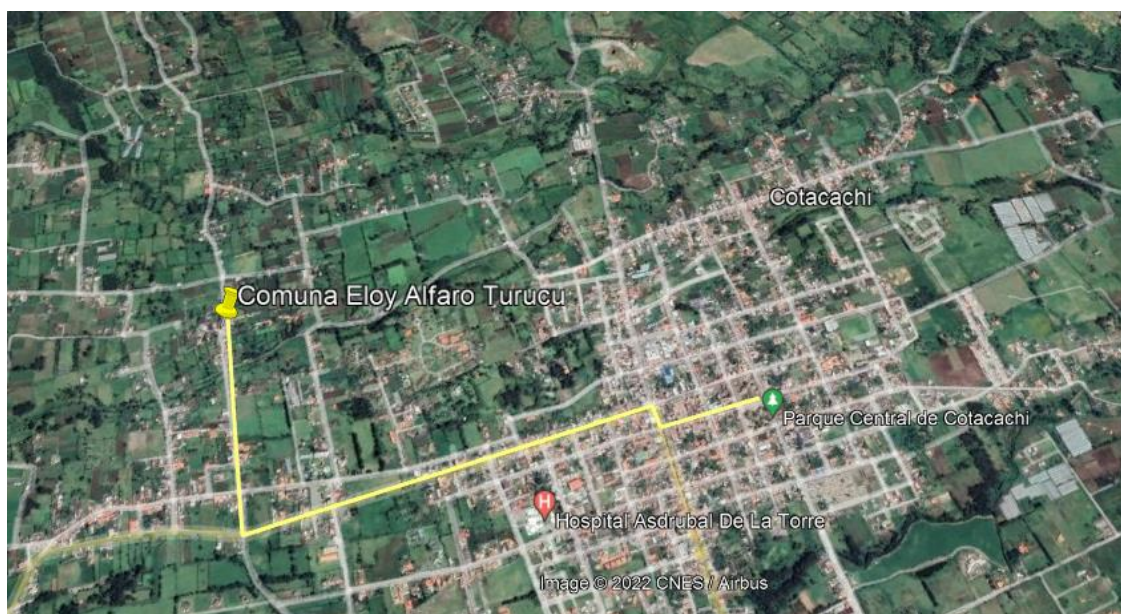
Está conformada por el presidente de la comuna el Sr. Alberto Bonilla quien ejerce la representación legal, judicial y extrajudicial de la Junta, además es el encargado de velar por el fiel cumplimiento de La Ley de las Juntas Administradora de Agua Potable, y su Reglamento General, el Reglamento Interno y resoluciones de la Asamblea General, tesorero

Sr. Rumiñahui Andrango quien se encarga de recibir de las recaudadoras (es), los ingresos económicos de la Junta de agua Potable, las tarifas por consumo de agua potable a los usuarios, tazas por conexión y re conexión de guías, multas, mora y demás cuotas o tazas ordinarias, extraordinarias u otros fondos o valores que por cualquier concepto ingresen a la Junta y un operador el Sr. Joselo Alta, quien es el encargado de realizar las lecturas en cada domicilio y de dar mantenimiento al sistema.

De acuerdo al presidente de la comuna actualmente prestan el servicio de agua potable a 90 usuarios, es decir se cuenta con 90 medidores para el consumo del servicio. La comunidad de Turuco se encuentra ubicada a 1.2 km al sur oeste del Cantón Cotacachi, en la parroquia San Francisco, a una distancia de 2 km aproximadamente del centro de Cotacachi. Su ubicación geográfica se muestra en la Figura 9 mostrada a continuación

Figura 9.

Ubicación Comuna Eloy Alfaro Turucu desde el Centro de la Ciudad de Cotacachi



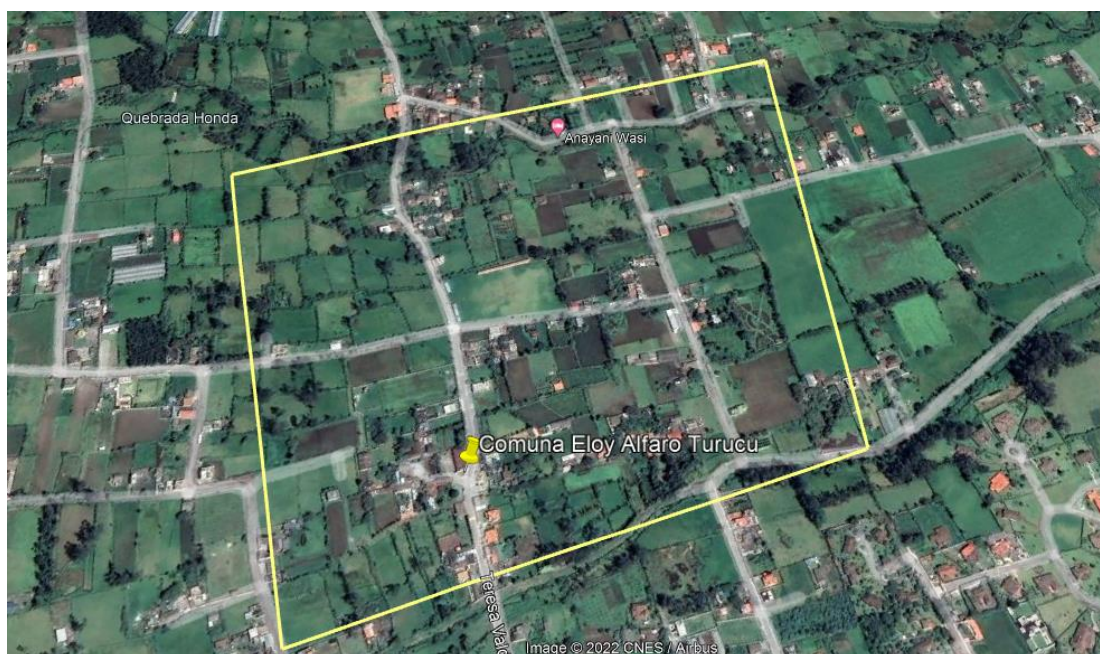
Fuente: Google Earth Pro

Según el último Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del Cantón Cotacachi planteado en el 2011, la comuna de Turuco se encuentra delimitada al norte con el Barrio "San Miguel", al sur con el Barrio "Húmedo" al este con el Barrio "El Ejido" y al

Oeste el cerro Cotacachi. La Figura 10 muestra la zona de cobertura a cargo de la Junta Administradora de Aguas de la comuna

Figura 10.

Zona de cobertura de la Comuna Eloy Alfaro Turucu



Fuente: Google Earth Pro

Por otro lado, en septiembre del 2021 se resuelve autorizar a favor de la Comuna Eloy Alfaro de Turuco, representada por el Sr. Luis Alberto Bonilla Bonilla en calidad de Presidente, el derecho de uso y aprovechamiento de las aguas de cuatro vertientes que afloran en el sector de Itaqui, parroquia Sagrario, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, en un caudal permanente de 1.94 It/sg para uso doméstico y consumo humano de los sectores Eloy Alfaro, Topo Grande, Anrabi y San Miguel, a captarse en las coordenadas geográficas siguientes: Latitud: 10.033.059 mN; Longitud: 800.522 mE; Cota 2.551 msnm. La presente Autorización de uso, destinada para consumo humano se otorga por un plazo de 20 años renovables.

La red de captación y distribución de agua cuenta con 4 tanques de captación, estos tanques, son los encargados de recolectar la cantidad suficiente de agua misma que proviene

de la vertiente asignada para la comuna a través de túneles construidos para su recolección.

En la Figura 11 se muestra la estructura de los tanques de captación.

En este caso los tanques de captación solo tienen la función de almacenar el agua para satisfacer la demanda de la comuna y no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas, puesto que, se han realizado estudios y el agua es apta para el consumo humano sin necesidad de pasar por un tratamiento de aguas. La red de distribución del servicio cuenta con tuberías de 2 pulgadas para exteriores y con tuberías de ½ pulgada para la tubería soterrada dirigida hasta el tanque reservorio

Figura 11.

Tanques de captación de agua proveniente de la vertiente natural



Fuente: Junta Administradora de Aguas Comuna Eloy Alfaro Turucu

El tanque de reserva que se observa en la Figura 12 tiene una capacidad de 30m³, es decir, 30.000 litros de agua, a partir de este se realiza la distribución hacia los domicilios de los usuarios dentro de la comuna

Figura 12.

Tanque de reserva



Fuente: Junta Administradora de Aguas Comuna Eloy Alfaro Turucu

Para la medición del consumo de agua potable, se cuenta con medidores de tipo mecánico de chorro único ubicados en los domicilios de los usuarios. De acuerdo al reglamento interno de la junta administradora de agua el pago por el servicio de agua potable prestado se debe realizar de acuerdo a los siguientes artículos:

Art. 44- El tipo Real de usuarios se establecen en categorías de clientes por el tipo de conexión y uso del servicio.

Art. 45- Los abonados del servicio de agua potable por su tipo de conexión y uso del servicio se determinan en las siguientes categorías:

Residencial 1.- En esta categoría están comprendidas las instituciones de asistencia social, las educacionales gratuitas, los discapacitados.

Residencial 2.- En esta categoría se consideran a todos los abonados que utilizan el servicio de agua potable con el objeto de atender las necesidades vitales.

Comercial. - Se consideran dentro de esta categoría los locales destinados a fines comerciales tales como: inmuebles de arriendo con medidor general, oficinas, bares, restaurantes, salones, clubs, frigoríficos, establecimientos educacionales particulares.

Industrial. - Pertenece a esta categoría todo infraestructuras o locales destinados a actividades industriales que utilicen o no el agua potable como materia prima y además: hoteles, residenciales, pensiones, y que realicen actividades que utilicen como materia prima el agua potable para la prestación de sus servicios.

Art. 46.- Los abonados del servicio de agua potable por la categoría antes indicadas se establecen los siguientes componentes:

Costo 15m³ básico mensual: \$ 1.25 y el exceso 0.10 c/m³

Por categorías:

Residencial 1 escuela, casa comunal estadio, capilla: - El 0% del costo m³ básico.

Residencial 2.- El valor básico de \$ 1.25 y tercera edad el 50%.

Industrial. - El valor básico de \$1.25 dólares y el exceso 0.20 ctvs. de dólar el derecho de conexión para los residentes en la comunidad será de \$130 dólares incluido materiales y accesorios.

A personas no residentes en la comunidad será de \$ 250 dólares sin materiales ni accesorios

A continuación, la Tabla 4 muestra una recopilatoria con los datos más importantes dentro de la Junta Administradora de Agua Potable

Tabla 4.

Resumen de datos informativos sobre la Junta Administradora de Agua Potable

Junta Administradora de Agua Potable “Turucu”	
Ubicación	Cotacachi – Parroquia San Francisco
Delimitación	Norte con el Barrio” San Miguel”, al sur con el Barrio “Húmedo “al este con el Barrio “El Ejido” y al Oeste el cerro Cotacachi.
Número de usuarios (medidores)	90

Cantidad de captación de agua	1.3 l/s
Dimensión de la tubería de transporte	2 pulgadas
Dimensión de la tubería de distribución	1/2 pulgadas
Capacidad taque de reserva	30m ³ (30.000 litros)
Tipo de medidor	Medidor mecánico de chorro único

Fuente: Autoría

3.3. Propósito

El desarrollo del presente trabajo de grado tiene como objetivo automatizar el sistema de gestión y medición del consumo de agua potable de la comuna Eloy Alfaro Turuco, esto a través de la implementación de dispositivos electrónicos, que transforma el sistema tradicional de los medidores de agua, por medidores inteligentes que permitan la recolección de datos para un posterior tratamiento de los mismos con el fin de determinar el pago del servicio de agua potable en función de su consumo utilizando un sistema de facturación.

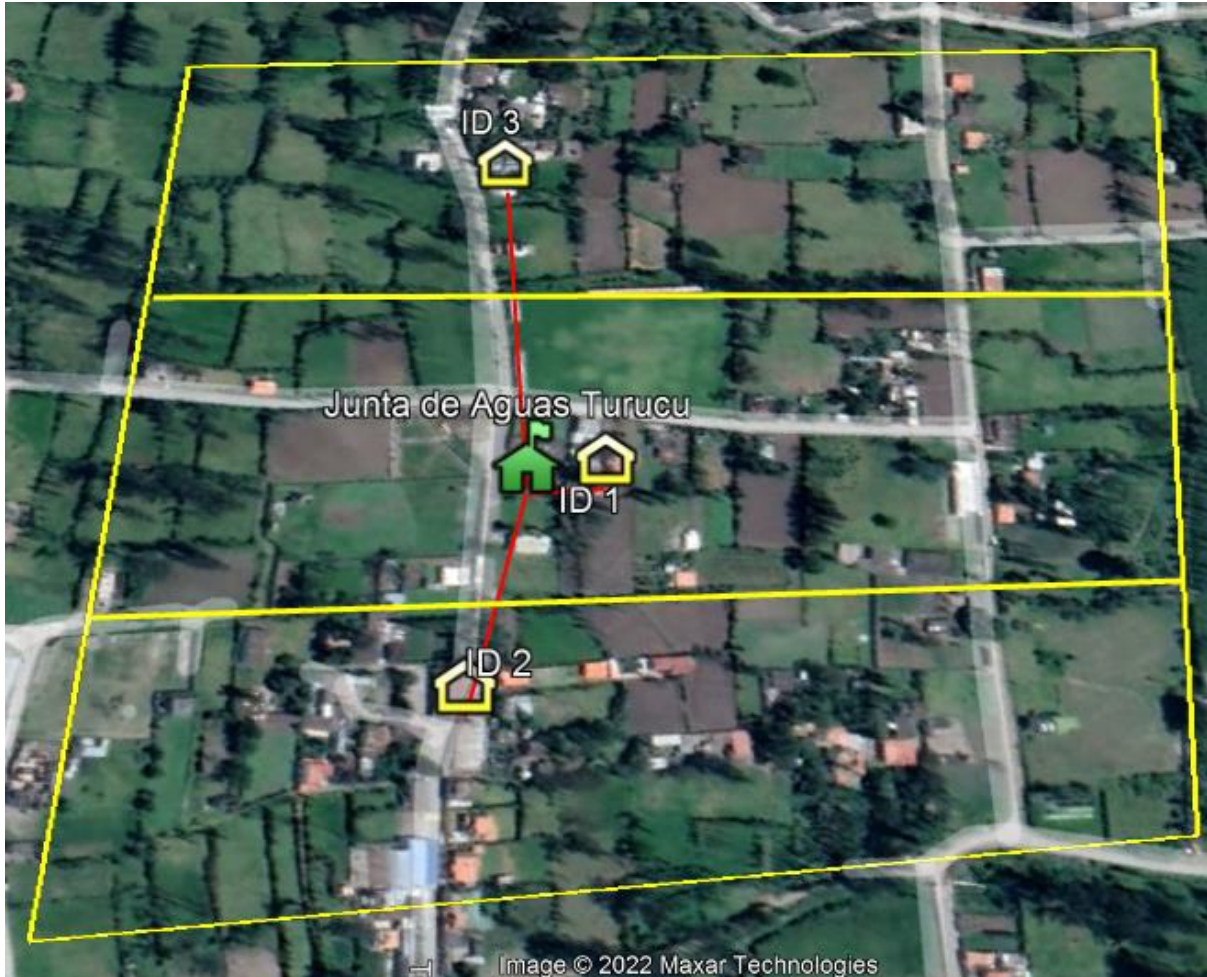
3.4. Limitaciones

Debido al alto costo que implicaría la implementación de los dispositivos utilizados para realizar la red de comunicación inalámbrica en cada uno de los 90 domicilios que cubre la comuna, la implantación del sistema se realizará en tres zonas específicas a diferentes distancias con el fin de validar la comunicación de la red en cada una de estas zonas. En la Figura 13 se muestran las tres zonas que cubrirán la implementación del sistema

El Sistema de reserva de energía a través de baterías tendrá una duración aproximada de 3 horas, por lo que, si no se realiza la reconexión de energía en este tiempo, el consumo de agua realizado en este periodo no será registrado.

Figura 13.

Zonas de delimitación para la implementación del sistema de medición y gestión del consumo de agua



Fuente: Google Earth Pro

3.5. Requerimientos del sistema

De acuerdo a la metodología en V la primera etapa para el desarrollo del proyecto hace referencia a la definición de requerimientos, esto en base a las necesidades del usuario, sistema y de arquitectura, lo que permite realizar una óptima selección de dispositivos de hardware y software para el desarrollo del sistema. A continuación, se describe en la Tabla 5 la nomenclatura utilizada para la descripción de los requerimientos descrito anteriormente.

Tabla 5.

Nomenclatura utilizada para la descripción de requerimientos de usuario, sistema y arquitectura

Abreviatura	Requerimiento
RSK	Requerimientos de Stakeholders del sistema
RSS	Requerimientos del sistema
RAS	Requerimientos de arquitectura del sistema

Fuente: Autoría

3.5.1. Stakeholders

Los stakeholders hace referencia a aquellos grupos e individuos que pueden afectar, o se ven afectados, por el cumplimiento de los objetivos de la organización. Cada uno de estos grupos desempeña un papel vital en el éxito del desarrollo del proyecto. Cada uno de estos grupos tiene un interés, de ahí el término "stakeholders"

Tabla 6.

Stakeholders

Stakeholders			
No.	Involucrados	Clasificación (Directo–Indirecto)	Función
1	Habitantes de la comuna Eloy Alfaro “Turucu”	Indirecto	Usuarios del sistema de agua potable de la comuna Eloy Alfaro “Turucu”
2	Sr. Alberto Bonilla	Indirecto	Presidente la comuna Eloy Alfaro “Turucu”
3	MSc Jaime Michilena	Directo	Director del trabajo de titulación
4	MSc Luis Suárez	Directo	Asesor del trabajo de titulación
6	Srta. Karla Guevara	Directo	Autor del trabajo de titulación

Fuente: Autoría

Para el establecimiento de requerimientos de stakeholders se utilizó como método de recolección de datos una entrevista aplicada al presidente de la comuna el Sr. Alberto Bonilla quien ejerce la representación legal, judicial y extrajudicial de la Junta, además es el encargado de la gestión y administración del servicio de agua potable. A través de esta entrevista se pretende recolectar información acerca de la situación actual del sistema de agua potable manejado en la comuna referente a: vertientes de agua utilizadas, estructura de la red de transporte y captación del agua, red de distribución, gestión de cobro del servicio y otras variables de importancia para establecer detallada su situación actual. Por otro lado, se presentó los requerimientos para la implementación del sistema inteligente en cuanto a dispositivos, tecnología inalámbrica para red de comunicación y aplicación para facturación.

3.5.2. *Requerimientos de Stakeholders*

Los requerimientos de stakeholders hacen referencia a aquellas características visibles que cualquier individuo interesado demanda que estén contenidas en el sistema. A continuación, en la Tabla 7 se muestran los requerimientos de stakeholders planteados para el desarrollo del proyecto

Tabla 7.

Requerimientos de stakeholders

Requerimientos de Stakeholders (RSK)				
Requerimientos operacionales				
No.	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
		Relación		
RSK 1	El dispositivo debe mantener una alimentación continua a la energía eléctrica	x		

RSK 2	El dispositivo debe mantener un funcionamiento de manera ininterrumpida durante todo el ciclo del día	x
RSK 3	La red de comunicación deberá ser implementada a través de comunicación inalámbrica	x
RSK 4	El consumo energético del dispositivo debe ser moderado de tal forma que no afecte considerablemente el aumento del consumo	x

Requerimientos de usuario

RSK 5	La información sobre el consumo del servicio deberá ser accesible para los usuarios en cualquier momento	x
RSK 6	Las dimensiones del dispositivo deberán ser comparables con las de un medidor mecánico	x
RSK 7	información actualizada sobre el consumo	x

Fuente: Autoría

3.5.3. Requerimientos de sistema

Los requerimientos de sistema son declaraciones que definen las propiedades, capacidades, cualidades y/o características que el sistema debe cumplir para cubrir las necesidades de los usuarios. Para el establecimiento de los requerimientos de sistema en el presente proyecto se han subdividido en 5 requerimientos: de uso, rendimiento, modos/estados y físicos. La Tabla 8 muestra a descripción de cada uno de los requerimientos planteados.

Tabla 8.*Requerimientos de sistema*

Requerimientos de Sistema (RSS)					
Requerimientos de uso					
No.	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
RSS 1	El dispositivo debe mantener una alimentación continua a la energía eléctrica	x			RSK1
RSS 2	Sensor encargado de la recolección de datos del consumo de agua	x			
RSS 3	La red de comunicación deberá implementarse a través de comunicación inalámbrica	x			RSK3
RSS4	El acceso a la información del consumo de agua por parte de los usuarios deberá darse de forma fácil y amigable a la vista	x			
Requerimientos de funcionalidad					
RSS 5	El consumo energético del dispositivo debe ser moderado de tal forma que no afecte considerablemente el aumento del consumo	x			RSK4
RSS 6	Precisión fiable de la medición del caudal	x			
RSS 7	El paso y cierre del servicio deberá darse a través de una electroválvula abierta	x			
RSS 8	El sistema deberá contar con un sistema de alimentación de energía de respaldo	x			

Requerimientos de interfaz

- | | | |
|--------|---|---|
| RSS 9 | El microcontrolador utilizado deberá contar con puertos compatibles con la placa de procesamiento y el módulo inalámbrico | x |
| RSS 10 | La placa de procesamiento debe contar con entradas/salidas digitales configurables | x |

Requerimientos de modos/estados

- | | | | |
|--------|---|---|------|
| RSS 11 | El dispositivo debe mantener un funcionamiento de manera ininterrumpida durante todo el ciclo del día | x | RSS1 |
| RSS 12 | La Alimentación de energía de respaldo deberá habilitarse una vez no exista energía en el dispositivo | x | |

Requerimientos físicos

- | | | |
|--------|--|---|
| RSS 13 | El dispositivo deberá ser instalado junto al medidor mecánico para validar la correcta toma de datos | x |
|--------|--|---|

Fuente: Autoría

3.5.4. Requerimientos de arquitectura

Los requerimientos de arquitectura describen una condición o capacidad específica que debe desempeñar el sistema en cuanto al hardware y software que se seleccionará posteriormente para el desarrollo del sistema. en la Tabla 9 se describen a detalle los requerimientos de arquitectura.

Tabla 9.

Requerimientos de arquitectura

Requerimientos de Arquitectura (RAS)					
Requerimientos lógicos					
No.	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
RAS 1	La placa de procesamiento debe contar con entradas/salidas digitales programables para el manejo de módulos y sensores	x			
RAS 2	La electroválvula a implementarse deberá ser de estado normalmente abierta	x			
Requerimientos de diseño					
RAS 3	El sistema deberá contar con una estructura protectora que contenga los dispositivos que conforman el mismo	x			
RAS 4	El hardware y software deberá ser de distribución libre	x			
Requerimientos de software					
RAS 5	El entorno de programación a utilizarse para el desarrollo de la comunicación entre módulos deberá ser compatible con el módulo inalámbrico	x			RAS 4
RAS 6	El entorno de programación utilizado para la recolección de datos, deberá contar con	x			

librerías compatibles con el sensor de flujo de agua

- RAS 7 El sistema deberá contar con una plataforma que permita el almacenamiento de datos x
- RAS 8 El software utilizado para el desarrollo de la aplicación de facturación deberá ser compatible con la plataforma de almacenamiento de datos x

Requerimientos hardware

- RAS 9 La placa de procesamiento deberá ser compatible con el entorno de desarrollo de programación y de software libre x RAS 4
- RAS 10 El módulo de comunicación inalámbrica deberá soportar las especificaciones de Wi-SUN x
- RAS 11 El sensor utilizado para la toma de datos y la electroválvula deberán tener una medida de ½ pulgada al igual que las tuberías de distribución dentro de los domicilios x
- RAS 12 La electroválvula a implementarse deberá ser de estado normalmente abierta para permitir el paso del agua en un estado de reposo x RSS 7

Requerimientos eléctricos

RAS 13	El sistema deberá contar con una fuente de energía no menor a 12V para la alimentación de los diferentes dispositivos en el sistema	x
RAS 14	El sistema de respaldo de alimentación de energía deberá realizarse a través de baterías	x

Fuente: Autoría

3.6. Selección de hardware y software

Al valorar varias alternativas para la implementación de un dispositivo, cada alternativa debe ser descrita y evaluada por forma separada, más aún en el caso de la selección de hardware y software (entornos de programación, placas de procesamientos, sistemas operativos, gestores de bases de datos). Es muy improbable que exista una sola alternativa que cubra las necesidades de brindar una solución satisfactoria, es por ello que todas las alternativas deberán ser consideradas cuidadosamente. En el caso del presente proyecto la selección de hardware y software se la realizara a partir de un análisis de los requerimientos planteados en la sección anterior. La selección consiste en la evaluación de las diferentes componen de acuerdo con los requerimientos, es decir, el componente con mejor valoración será el seleccionado.

3.6.1. Selección de hardware

En esta sección se realizará la selección de los componentes de software de acuerdo a los requerimientos planteados anteriormente, una vez se evalúe los componentes y se realice la selección, se realizará una descripción de las principales características de cada uno de los componentes seleccionados

3.6.1.1. Placa de procesamiento

Para realizar la selección de la placa de procesamiento se toma en cuenta los requerimientos que esta necesita en función de las necesidades de los dispositivos que irán

conectados a la misma. Como se muestra en la Tabla 10 se evaluarán 3 placas de procesamiento, estos se puntuarán con un valor de “1” si cumplen el requerimiento indicado o con “0” en caso de no hacerlo, aquel que tenga más puntos al final se considerará como la primera opción.

Tabla 10 .

Selección de placa de procesamiento

Placa procesamiento	Requerimientos						Valoración
	RAS1	RAS5	RAS6	RAS9	RSS9	RSS10	
Arduino Uno R3	1	1	1	1	1	1	6
Arduino Mega	1	1	1	1	1	1	6
Arduino Nano	1	1	1	1	0	0	4
Cumple = 1 No cumple = 0							

Fuente: Autoría

Las placas de procesamiento con mayor valoración son el Arduino Uno R3 y el Arduino Mega, las dos placas cumplen con todos los requerimientos necesarios en cuanto a contar con entradas/salidas digitales, IDE compatible con la placa de procesamiento, soporte de librerías y adaptación para el módulo de comunicación inalámbrica, sin embargo, la placa de Arduino Uno mostrado en la Figura 14 tiene un costo menor, por lo que será la seleccionada. A continuación, se muestra una Tabla descriptiva de la placa

Figura 14.

Arduino Uno R3



Fuente: Datasheet Arduino Uno R3

Tabla 11.

Características Arduino Uno R3

Características Arduino Uno R3	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Pines de E/S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por pin de E/S	40 mA
Corriente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memoria Flash	32 KB de los cuales 0,5 KB utilizados por el bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: Datasheet Arduino Uno

3.6.1.2. Módulo de comunicación inalámbrica

Para la selección del módulo de comunicación tenemos que tomar en cuenta el estándar con el que vamos a trabajar, en este caso trabajaremos con tecnología inalámbrica Wi-SUN misma que trabaja con el estándar IEEE 802.15.4g para capa física, de esta forma el módulo seleccionado deberá ser capaz de soportar las diferentes modulaciones para este estándar.

Tabla 12.*Selección módulo de procesamiento*

Módulo Cx Inalámbrica	Requerimientos					Valoración
	RSK3	RSS3	RSS5	RAS10	RSS11	
OpenMote B	1	1	1	1	1	5
IDIOT CC1352R A	1	1	1	1	0	4
Cumple = 1 No cumple = 0						

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 12, el módulo seleccionado es OpenMote B mostrado en la Figura 15, siendo este el módulo que cumple con todos los requerimientos necesarios, el módulo IDIOT CC1352R A, fue descartado por no cumplir con el requerimiento de compatibilidad con la placa de procesamiento seleccionada. OpenMote B es un hardware para aplicaciones IoT de ultra bajo consumo, están construidas alrededor del microcontrolador CC2538 ARM-Cortex-M. Los dispositivos cuentan con operación multibanda simultánea en las bandas ISM de 2,4 GHz y 868/915 MHz con soporte para los últimos estándares IEEE 802.15.4, incluido IEEE802.15.4g, puede ser programado por plataformas Open Source. La Tabla 13 muestra detalles técnicos para este dispositivo.

Figura 15.*OpenMote B***Fuente: (Industrial Shields, 2022)**

Tabla 13.*Detalles técnicos OpenMote B*

Detalles Técnicos OpenMote B	
Características principales	Ti CC2538 SoC (512kb Flash 32kb RAM) Atmel AT86RF215 SubGHz Radio (868 / 915MHz) Admite todas las modulaciones IEEE802.15.4g. Operación simultánea de radio dual
Programación	Programación sobre BSL Compatible con Contiki y OpenWSN para experimentación IETF6TiSCH Compatible con JTAG y OCD Interfaz USB
Características técnicas	Sensores de temperatura, humedad relativa Indicadores LED 4x Marcador de posición de batería 2xAA Antena SMA de 2,4 GHz Antena SMA de SubGHz

Nota: El consumo depende de la funcionalidad y conectividad del dispositivo.

Fuente: (Industrial Shields, 2022)

3.6.1.3. Microprocesador

La selección del microprocesador a utilizarse se realizará en base a la compatibilidad del mismo con la placa de procesamiento y el módulo de comunicación inalámbrica ya que este será el encargado de realizar la comunicación entre el cliente y el servidor, además de alimentar a los mismos.

Tabla 14.*Selección microprocesador*

Microprocesador	Requerimientos			Valoración
	RAS4	RAS5	RSS9	
Raspberry Pi 3 Model B+	1	1	1	3
Raspberry Pi 4 Model B	1	1	1	3

Cumple = 1 No cumple = 0

Fuente: Autoría

Como se observa en la Tabla 14 los dos microprocesadores cumplen con los requisitos solicitados sin embargo se utilizará la Raspberry Pi 3 model B+ mostrado en la Figura 16, puesto que este tiene un costo menor. A continuación, se muestra una Tabla con las características técnicas para este microprocesador

Figura 16.*Raspberry Pi 3 Model B+***Fuente: Datasheet Raspberry Pi 3 Model B+**

Tabla 15.*Detalles Técnicos Raspberry Pi 3 Model B+*

Detalles Técnicos Raspberry Pi 3 Model B+	
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC
Frecuencia de reloj	1,4 GHz
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
Conectividad inalámbrica	2.4GHz/5GHz IEEE802.11.b/g/n/ac Bluetooth 4.2, BLE
Conectividad de red	Gigabit Ethernet over USB 2.0 (300 Mbps de máximo teórico)
Puertos	GPIO 40 pines HDMI 4 x USB 2.0 CSI (cámara Raspberry Pi) DSI (pantalla tácil) Toma auriculares / vídeo compuesto Micro SD Micro USB (alimentación) Power-over-Ethernet (PoE)

Fuente: Datasheet Raspberry Pi 3 Model B+**3.6.1.4. Sensor de flujo de agua**

La elección del sensor de flujo de agua es clave en el desarrollo del sistema puesto que de este depende la toma de datos del consumo de agua potable, es importante tomar en cuenta que el sensor escogido mantenga las medidas de acuerdo a la red de distribución

dentro de los domicilios y a la electroválvula para la gestión de cortes del servicio. En la Tabla 16 se muestran 3 posibles dispositivos que serán evaluados para su selección.

Tabla 16.

Selección sensor de flujo de agua

Sensor flujo de agua	Requerimientos				Valoración
	RSS2	RSS6	RAS12	RAS14	
YF-S201	1	1	1	1	4
YF-S401	1	1	0	1	3
FS400A	1	1	0	1	3

Cumple = 1 No cumple = 0

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 16 el módulo seleccionado es YF-S201 mostrado en la Figura 17, dado, cumple con todos los requerimientos necesarios, se ha descartado las otras alternativas debido a que la medida de la red de distribución no coincide con la medida de estos sensores. El sensor YF-S201 es un caudalímetro electrónico efecto hall, compatible con sistemas digitales como Arduino, PIC, Raspberry Pi, PLCs. En la Tabla 17 se muestra a detalle las características más importantes de este dispositivo.

Figura 17.

Sensor de flujo de agua YF-S201



Fuente: Datasheet YF-S201

Tabla 17.*Características Técnicas YF-S201*

Características Técnicas YF-S201	
Tipo de sensor	Efecto Hall
Rango de medición	1 a 30 litros/minuto
Voltaje de alimentación	5 a 24 VDC
Corriente de operación	15mA @ 5 VDC
Presión máxima	2.00 MPa
Temperatura de operación	-25 a 80 grados centígrados
Humedad para operación	35 a 80%
Precisión	+/- 10%
Ciclo de trabajo de la señal de salida	50% +/- 10%
Característica de la señal de salida	Frecuencia = 7.5 * Caudal (litros/minuto)
Pulsos por litro	450
Longitud del cable	15 centímetros
Conexión para tubería	estándar de 1/2 pulgada

Fuente: Datasheet YF-S201**3.6.1.5. Electroválvula**

La selección de la electroválvula se deberá realizar en función de su estado, y la conexión para tubería, en este caso es necesario que la electroválvula mantenga un estado normalmente abierto lo que da paso al fluido cuando está en reposo, impidiendo el paso del fluido al momento de energizarla, de igual forma deberá mantener una conexión de tubería estándar de ½ pulgada al igual que la tubería de distribución del sistema de agua potable con el que se va a trabajar. En la Tabla 18 se muestran 2 alternativas de electroválvulas que serán evaluadas para su selección.

Tabla 18.*Selección de electroválvula*

Electroválvulas	Requerimientos			Valoración
	RSS7	RAS2	RAS12	
Electroválvula normalmente abierta	1	1	1	3
Electroválvula normalmente cerrada	1	0	1	2
Cumple = 1 No cumple = 0				

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 16 la electroválvula seleccionada es la que mantiene un estado de normalmente abierta mostrada en la Figura 18, este tipo de electroválvulas están diseñadas para dar paso al fluido en un estado de reposo e impide el paso del fluido cuando revise un pulso de energía. En la Tabla 19 se muestra una descripción de las características técnicas de este dispositivo

Figura 18.*Electroválvula normalmente abierta***Fuente: Datasheet electroválvula**

Tabla 19.*Características técnicas electroválvula*

Características técnicas electroválvula	
Medio de trabajo	agua, aceite
Operación, tipo	Acción Directa
Estado	Normalmente Abierta
Flujo de diámetro	16mm
CV	4,8
Tamaño de la tubería	1/2"
Operating Viscosidad	En 20CST
Presión de funcionamiento	0-10
temperatura de funcionamiento	-5 ~ 80 grados
Voltaje	DC 12V

Fuente: Datasheet Electroválvula**3.6.1.6. Batería**

Al ser este un sistema que depende de energía eléctrica directamente, deberá contar con un sistema de respaldo de alimentación de energía, para este caso se ha optado por realizar un sistema a base de baterías, para ello se deberá realizar un análisis de durabilidad de la batería de respaldo mostrado en la siguiente sección

3.6.1.6.1 Análisis de durabilidad de la batería

Como se ha mencionado en el apartado anterior el sistema contara con un sistema de respaldo de alimentación de baterías, aunque actualmente en la comuna donde se aplicara el proyecto no ha presentado cortes de energía, esto no exígeme que puedan registrarse en un futuro. Dado esto se presenta un análisis de durabilidad de batería que respaldara el sistema. En la Tabla 20 se muestra el consumo energético de cada uno de los dispositivos que componente el sistema

Tabla 20.*Consumo energético por dispositivo*

Consumo energético por dispositivo		
Dispositivo	Voltaje	Corriente
Raspberry Pi	5V	2000mA
Arduino Uno R3	7-12V	170mA
OpenMote B	5V-6V	62mA
Sensor YF-S201	5V	15mA
Módulo Relay 2 canales	5V	4mA
Electroválvula	12V	600mA

Fuente: Autoría

Determinado el consumo energético por dispositivo vamos a realizar el cálculo total de la capacidad de la batería, esto, a través de la ecuación 1 que muestra el producto entre el voltaje y la corriente

Ecuación 1:*Cálculo total de la capacidad de batería*

$$C_{bat} = (V_{bat})(I_{bat})$$

Fuente: (TEMPEL GROUP, 2022)

$$C_{bat} = (12V)(4.5Ah)$$

$$C_{bat} = 54[W]h$$

Ahora calcularemos el consumo del sistema utilizando la ecuación 2, esto a partir de la corriente que consumo el sistema y el voltaje de la batería, datos mostrados en la Tabla 22

Ecuación 2*Calculo consumo de energía del sistema*

$$C_{sis} = (V_{bat})(I_{sis})$$

Fuente: (TEMPEL GROUP, 2022)

$$C_{sis} = (12V)(2.851A)$$

$$C_{sis} = 34.212[W]$$

Obtenido el consumo de energía del sistema vamos a determinar el periodo de tiempo de respaldo que proporcionara la batería, a través de una relación entre la capacidad y el consumo de energía de la batería, esto, utilizando la ecuación 3

Ecuación 3

Cálculo tiempo de respaldo de batería

$$tiempo_{res} = \frac{C_{bat}}{C_{sis}}$$

Fuente: (TEMPEL GROUP, 2022)

$$tiempo_{res} = \frac{54[W]h}{34.212[W]}$$

$$tiempo_{res} = 1.58h$$

Como resultado obtenemos una duración de 1 hora y 58 minutos utilizando una batería de 12V a 4.5A, siendo este tiempo suficiente para gestionar los cortes de energía en caso de darse.

3.6.1.6.2 Selección de batería

Como se muestra en la Tabla 21 se evaluarán dos alternativas de baterías, y se seleccionara una que cumpla con los requerimientos necesarios para satisfacer las necesidades del sistema de respaldo de alimentación de energía

Tabla 21.

Selección de baterías

Baterías	Requerimientos				Valoración
	RSK2	RSS1	RSS8	RAS14	
Forza FUB 1245 (12V- 4.5A)	1	1	1	1	4
FirstPower FP6120	1	1	1	0	3
Cumple = 1 No cumple = 0					

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 21 la batería con mayor valoración es la Forza FUB 1245 mostrada en la Figura 19, dado que cumple con todos los requisitos necesarios para satisfacer la demanda del sistema de respaldo de alimentación de energía. En la Tabla 22 se muestran las características técnicas principales para este dispositivo.

Figura 19

Batería Forza FUB 1245



Fuente: Datasheet Batería Forza FUB 1245

Tabla 22.

Características técnicas batería Forza FUB 1245

Características técnicas batería Forza FUB 1245	
Capacidad mínima	4500mAh
Temperatura de funcionamiento nominal	25°C±3°C (77°F±5°F)
Corriente de carga máxima	0.6A
Material	Cobre
Peso	0.82kg (1.76lbs) ± 5%
Tamaño del paquete	7.01 x 1,38 x 2,4 mm
Corriente máxima de descarga	30 ^a (5 sec.)

Fuente: Datasheet Batería Forza FUB 1245

3.6.2. Selección de Software

Finalizada la etapa de selección de hardware, iniciaremos con el proceso de selección de software, el cual está enfocado en la recolección de información de proveedores lo que permite evaluar la mejor alternativa de acuerdo a los requerimientos del sistema en cuanto al entorno de desarrollo, plataformas y todo lo relacionado al software utilizado para el desarrollo del sistema.

3.6.2.1. Entorno de programación de la placa de procesamiento

El entorno de programación para la placa de procesamiento es una herramienta fundamental para el desarrollo del sistema, por consiguiente, es importante que el entorno seleccionado cumpla con los requerimientos necesarios para el desarrollo del sistema uno de los más importantes es que debe ser soportado por la placa de procesamiento y los sensores ya seleccionados. En la Tabla 23 se muestran 3 opciones de entorno de programación que serán evaluadas y seleccionadas de acuerdo a sus características

Tabla 23.

Selección entorno de programación

Entorno de programación de la placa de procesamiento	Requerimientos			Valoración
	RAS4	RAS5	RAS6	
IDE Arduino	1	1	1	3
Atom.Io y Platformio	1	1	1	3
IDE Eclipse para Arduino	1	1	1	3
Cumple = 1 No cumple = 0				

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 23 los tres entornos cumplen con los requerimientos necesarios para el desarrollo del sistema, sin embargo, en esta ocasión se seleccionará el IDE de Arduino dado que este es un programa que no necesita realizar modificaciones a nivel de

software para realizar la carga del sketch a la placa. Lo que sucede con las dos alternativas, para realizar el proceso de carga del sketch a la placa se deberá configurar el IDE previamente.

3.6.2.2. Sistema Operativo RIOT

Otro de los pilares en el desarrollo del sistema, es el sistema operativo utilizado para la programación de los módulos de comunicación inalámbrica. Este tipo de sistemas operativos están pensados principalmente para cubrir las necesidades de los dispositivos del internet de las cosas IoT: alta eficiencia energética, capacidad de actuar en tiempo real, bajo consumo de memoria y comunicación modular y configurable. Como se muestra en la Tabla 24 se evaluarán dos sistemas operativos de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Tabla 24.

Selección Sistema Operativo IoT

Sistema Operativo IoT	Requerimientos			Valoración
	RAS4	RAS5	RAS6	
RIOT	1	1	1	3
Contiki	1	1	1	3
Cumple = 1 No cumple = 0				

Fuente: Autoría

Como se observa en la Tabla 24 los dos sistemas operativos cumplen con los requerimientos establecidos, sin embargo, se ha tomado como primera opción RIOT dado que este sistema operativo cuenta con mayor investigación en cuanto al trabajo realizado conjuntamente con el módulo de comunicación inalámbrica seleccionado. RIOT es un Sistema Operativo open source con soporte para microprocesadores y dispositivos de bajo consumo, además de transmisores de radio. Permite trabajar bajo programación en C y C++

3.6.2.3. Plataforma de almacenamiento

La plataforma de almacenamiento permite la recolección organizada de los datos que serán recolectados mediante el sensor de flujo de agua. Actualmente la gestión de datos se la realiza a través de filas y columnas en una sucesión de Tablas que permita el procesamiento y la consulta de datos de forma eficaz. De esta forma se puede organizar, gestionar, controlar, modificar y actualizar fácilmente los datos. En la Tabla 25 se muestran tres opciones plataformas a ser evaluadas según los requerimientos del sistema

Tabla 25.

Selección plataforma de almacenamiento

Plataforma de almacenamiento	Requerimientos		Valoración
	RAS4	RAS7	
MemSQL	1	1	2
MySQL	1	1	2
Cumple = 1 No cumple = 0			

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 25 las dos plataformas de almacenamiento cumplen con los requisitos del sistema, sin embargo, se seleccionó MySQL sobre MemSQL debido a que esta cuenta con mayor aceptación e investigación dentro del campo de base de datos en IoT

3.6.2.4. Plataforma en la nube

Para dar respaldo a la información censada, una vez los datos son recolectados por el sensor, estos serán enviados hacia una plataforma en la nube que dará un refuerzo a la accesibilidad de los datos. Para ello se han tomado en cuenta dos plataformas que serán evaluadas a continuación de acuerdo a los requerimientos del sistema

Tabla 26.*Selección plataforma de almacenamiento en la nube*

Plataforma en la nube	Requerimientos				Valoración
	RSK5	RSK7	RAS7	RAS8	
Google Cloud	1	1	1	1	4
Amazon Cloud	1	1	1	1	4
Cumple = 1 No cumple = 0					

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 26 las dos plataformas analizadas cumplen con los requerimientos del sistema, sin embargo, se ha seleccionado la plataforma de Google Cloud, ya que esta cuenta con una larga lista de funciones con más de 100 servicios y productos que dan paso a nuevas soluciones y posibilidades de acuerdo al objetivo para el que se esté utilizando la plataforma, por otro lado, al ser usuario nuevo esta ofrece un crédito de \$300

3.7. Diseño del sistema

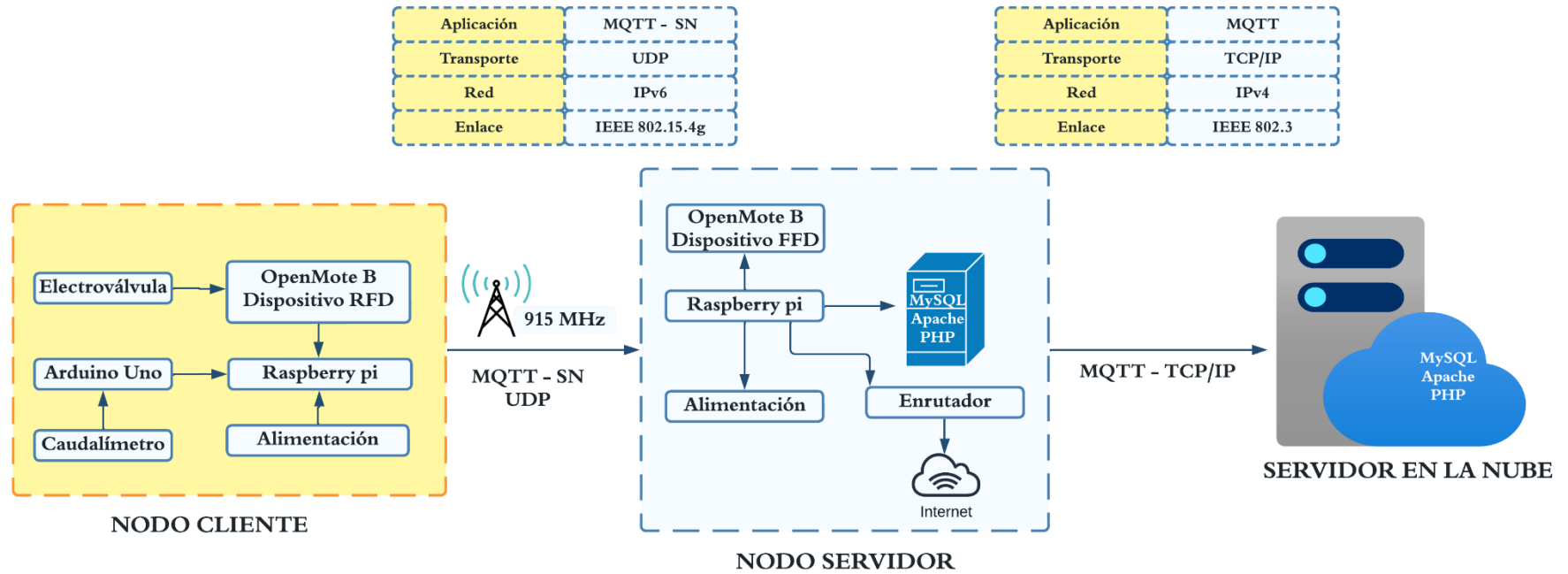
Culminada la etapa de selección de hardware y software para la realización del sistema, de acuerdo al modelo en V, inicia la etapa de diseño del sistema, donde se describe a detalle el desarrollo de cada subsistema y la integración de los mismos para el funcionamiento del sistema en general

3.7.1. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema mostrado en la Figura 20 permite dar una representación gráfica de la funcionalidad del sistema, a partir de la integración de las subetapas que serán descritas a continuación lo que permiten llegar al resultado final

Figura 20

Arquitectura del sistema



Fuente: Autoría

3.7.1.1. Nodo – Cliente

En este bloque se realiza la adquisición de datos a través del sensor de flujo de agua, por medio de la placa de procesamiento Arduino, la cual está programada para calcular la frecuencia de los pulsos del sensor y obtener el caudal, una vez se obtiene este parámetro se realiza el cálculo de volumen o consumo de agua. La placa de procesamiento además estará conectada a un módulo relé que permite el cambio de estado de la electroválvula para gestionar los cortes del servicio.

La comunicación entre la placa de procesamiento Arduino y OpenMote – B que es el módulo de comunicación inalámbrica, se la realiza mediante un microprocesador raspberry pi para posteriormente realizar la transmisión de los datos recolectados hacia el nodo servidor.

3.7.1.1.1 Diagrama de flujo Nodo - Cliente

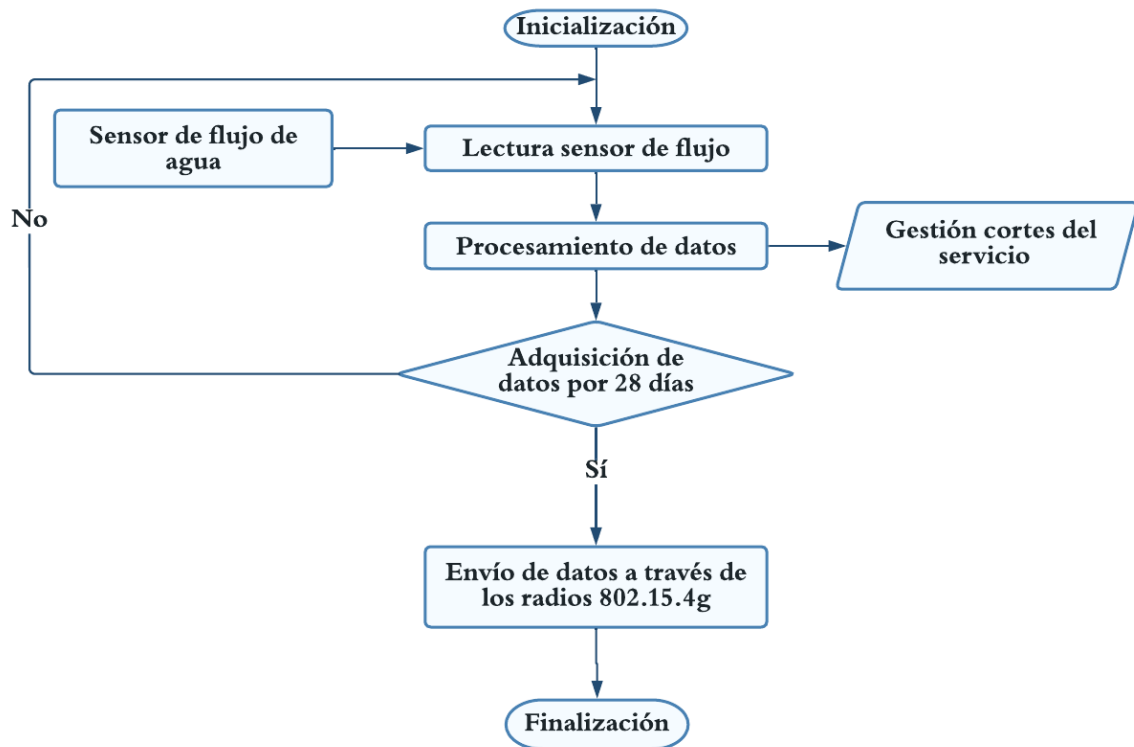
El diagrama de flujo mostrado a continuación describe el proceso de adquisición y envío de datos. Inicia con la adquisición de datos donde se realiza la programación para dar lectura a los datos tomados por el sensor de flujo de agua, en este caso al ser un sensor de efecto hall, se tomarán como datos pulsos, tomados los datos se realiza el procesamiento de los mismos, donde se calcula la frecuencia de los pulsos del sensor para obtener el caudal y a partir de éste el cálculo del consumo de agua.

El proceso de recolección de datos se realizará durante un periodo de 30 días, desde allí deberá iniciarse nuevamente el proceso de recolección de datos. Una vez se ha cumplido con la condición del periodo de los 30 días los datos serán enviados hacia el nodo central a través de los radios 802.15.4g.

La gestión de los cortes y habilitación de agua se la realizará cada vez que el nodo cliente reciba una notificación desde el nodo central, de esta forma el nodo cliente sabe que tiene que cambiar de un estado normalmente abierto a un estado cerrado o viceversa.

Figura 21.

Diagrama de flujo nodo cliente



Fuente: Autoría

3.7.1.1.2 Calibración del sensor de flujo de agua

El sensor de flujo de agua YF-S201 al ser un sensor de efecto hall emite pulsos eléctricos que posteriormente serán convertidos a flujo de agua. La salida de pulsos emitidos por el sensor corresponde a una onda cuadrada con una frecuencia proporcional al caudal. El sensor YF-S201 de ½" mantiene un factor de conversión de 7.5 de acuerdo a la hoja de datos proporcionada por el fabricante.

Para garantizar la precisión de la medición del sensor de flujo, es necesario calibrar y calcular el factor de conversión para este caso lo llamaremos k. Dicho factor será utilizado para transformar la frecuencia de pulsos (Hz) a caudal de agua (L/m). Para su cálculo vamos a medir la cantidad de pulsos a partir de un sketch en Arduino y con la ayuda de un recipiente con graduación tomar las medidas de cantidad de agua, a partir de estas dos variables y

utilizando la formula mostrada a continuación podremos calcular el factor de conversión

donde:

k= Factor de conversión

n° de pulsos= número de pulsos medidos por el sensor de acuerdo al volumen de agua

volumen= cantidad de agua que pasa por el sensor

60= número de segundos en un minuto

Ecuación 4.

Cálculo de factor de conversión

$$k = \frac{n^{\circ} \text{ de pulsos}}{(\text{volumen})(60)}$$

Fuente: (NAYLAMP MECHATRONICS, 2022)

Para la precisión en la medición de pulsos es conveniente realizar varias tomas de muestras y realizar el promedio de las mismas a continuación se muestra en la Tabla 27 la toma de varias muestras para 2 y 4 litros, de allí se sacará el promedio para cada medida y se tomará el factor de conversión promedio entre estos

Tabla 27.

Medición de pulsos con diferentes volúmenes de agua

Litros	Pulsos	k
2	792	6.6
2	775	6.46
2	802	6.68
2	800	6.66
Promedio	792.25	6.55
4	1560	6.5
4	1550	6.458
4	1530	6.375

4	1565	6.52
Promedio	1551.25	6.46
Promedio general	6.5	

Fuente: Autoría

Para los niveles de agua de 2 litros se obtuvo un promedio de 6.55 y para los niveles de agua de 4 litros se obtuvo un promedio de 6.46, lo que nos da un promedio general de 6.505, el cual será tomado como k constante de conversión.

3.7.1.1.3 Medición del consumo de agua

Una vez hemos obtenido el factor de conversión vamos a calcular la frecuencia de los pulsos enviados por el sensor y con esta el cálculo del caudal de agua en litros por hora. Teniendo en cuenta el caudal de agua medido vamos a calcular el volumen o consumo de agua a partir de la variación del volumen con respecto al tiempo, de allí podremos calcular el volumen como se muestra en la ecuación 6

Ecuación 5:

Variación del tiempo

$$Q = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$V = V_0 + Q\Delta t$$

Fuente: (NAYLAMP MECHATRONICS, 2022)

En la Figura 22 mostrada a continuación se muestra parte del sketch de Arduino utilizado para realizar el cálculo de la frecuencia, caudal en litros por hora, volumen y metros cúbicos consumidos

Figura 22.

Programación para el cálculo de consumo del servicio de agua

```
void loop ()
{
  if (Serial.available()) {
    if(Serial.read()=='r')volumen=0;//restablecemos el volumen si recibimos 'r'
  }
  float frecuencia=ObtenerFrecuecia(); //obtenemos la frecuencia de los pulsos en Hz
  float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m
  float caudal_L_h=caudal_L_m*60; //calculamos el caudal en L/h
  dt=millis()-t0; //calculamos la variación de tiempo
  t0=millis();
  volumen=volumen+(caudal_L_m/60)*(dt/1000); // volumen(L)=caudal(L/s)*tiempo(s)
  float m3=volumen/1000;
```

Fuente: Autoría

Para comprobar que el cálculo del consumo de agua sea el correcto a partir de la constante de conversión calculada se realizó la medida de 2 y 4 litros de agua a un flujo constante dando como resultado la medida exacta del volumen de agua medido. La Figura 23 muestra los resultados para un volumen de 2 litros

Figura 23.

Consumo de agua de un volumen de 2 litros

Frecuencia	Caudal	Volumen	Metros cúbicos
35.000Hz	323.077L_h	1.810L	0.002m3
33.000Hz	304.615L_h	1.895L	0.002m3
33.000Hz	304.615L_h	1.979L	0.002m3
19.000Hz	175.385L_h	2.028L	0.002m3
0.000Hz	0.000L_h	2.028L	0.002m3
0.000Hz	0.000L_h	2.028L	0.002m3
0.000Hz	0.000L_h	2.028L	0.002m3

Fuente: Autoría

3.7.1.2. Comunicación inalámbrica

Después que los datos han sido recolectados por el sensor de caudal de agua a través del Arduino, estos son almacenados en buffer para inmediatamente ser enviados mediante comunicación serial hacia el Raspberry Pi quien los lee bit a bit y los envía hacia el OpenMote – B de igual forma a través de comunicación serial. Una vez el OpenMote-B llega

a obtener los datos, este los enviará a través de los radios 802.15.4g. El Gateway recibe los datos enviados por el nodo cliente a través de los radios 802.15.4g para almacenarlos en la base de datos local y posteriormente enviarlos hacia la nube. La Figura 24 muestra la recepción de los datos una vez se ha establecido comunicación.

Figura 24.

Recepción de datos



```

2. 192.168.0.107 (pi) 3. 192.168.0.107 (pi)
datos 10.0000.0000.000
data published
Conexion exitosa al servidor Broken.
datos 10.0000.0000.000
data published
Conexion exitosa al servidor Broken.
datos 10.0000.0000.000
data published
Conexion exitosa al servidor Broken.
datos 10.0000.0000.000
data published

```

Fuente: Autoría

3.7.1.3. Nodo Central

En el nodo central va a realizar la recepción de los datos una vez estos sean enviados desde el nodo cliente. Este nodo está compuesto por un módulo OpenMote B que tiene soporte para 802.15.4g, conectado directamente hacia una Raspberry Pi previamente instalada el sistema operativo RIOT-OS donde se realiza el proceso de recepción de datos a través de los radios 802.15.4g y el protocolo MQTT-SN

3.7.1.3.1 Diagrama de flujo Nodo - Central

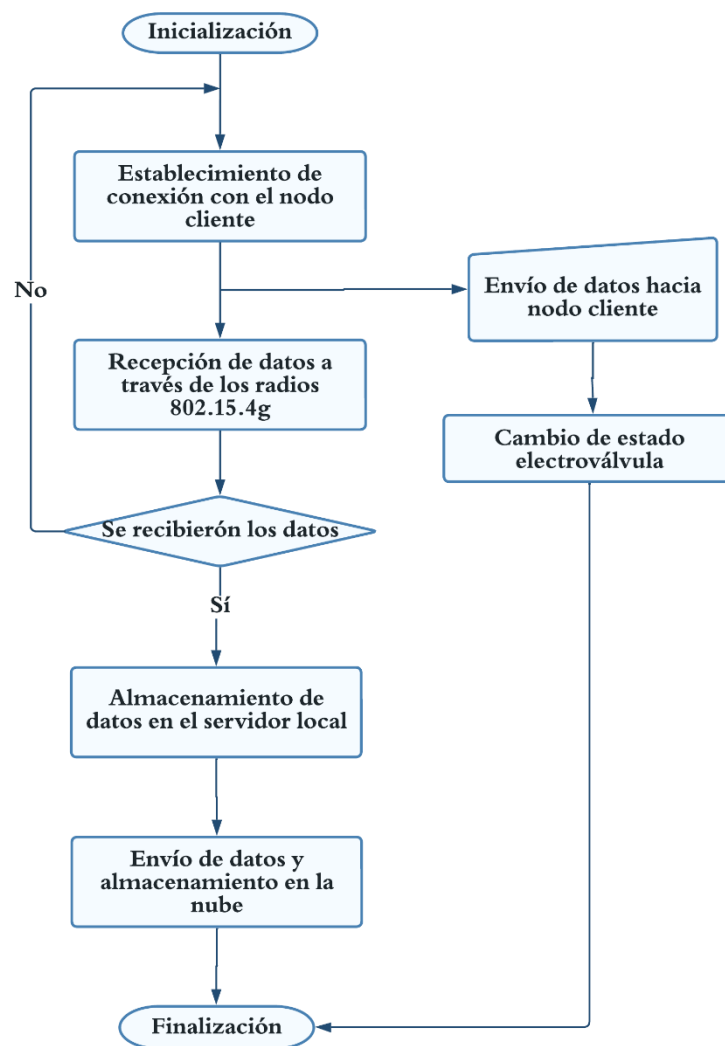
El diagrama de flujo mostrado en la Figura 25 describe el proceso realizado para la recepción de datos recolectados por los nodos cliente. Inicia con la recepción de los datos, la comunicación entre el nodo cliente y el nodo central se realiza a través de los radios del módulo OpenMote B que mantiene un soporte para 802.15.4g en este caso se realiza una

transmisión a través de la frecuencia de 915MHz, una vez se reciben los datos estos serán procesados y almacenados para su posterior envío hacia la nube la nube a través de MQTT

La gestión de los cortes y habilitación del servicio se realizará en el nodo central a través de una aplicación que permita al administrador de la red gestionar de forma remota

Figura 25.

diagrama de flujo nodo - servidor



Fuente: Autoría

3.7.1.4. Almacenamiento

Para el almacenamiento de la información del sistema se ha seleccionado la base de datos MySQL que es un sistema de administración de base de datos relacionales RDBMS

desarrollado por Oracle, se basa en un lenguaje de consulta estructurado SQL, lo que permitirá la gestión de usuario y consumo a partir de una aplicación web.

3.7.1.4.1 Modelo relacional de base de datos

Como se mencionó anteriormente MySQL es un tipo de base de datos relacional, es decir, es un almacén digital que recopila datos y los organiza de acuerdo al modelo relacional que se plantee. En este modelo, las Tablas constan de filas y columnas y las relaciones entre los elementos de datos siguen una estructura lógica estricta. Para el desarrollo del sistema se han conformado 5 Tablas como se muestra en la Figura 26, donde se establece la primera relación entre la Tabla usuario conceptuada como una entidad fuerte y las Tablas consumo y datos conceptuadas como entidades débiles, a partir de la columna idusuario. La segunda relación se establece entre la Tabla rol y la Tabla usuario a partir de la columna idrol, finalmente se establece la última relación entre la Tabla consumo y la Tabla factura a partir de la columna nfactura. La relación entre Tablas permite vincularlas y garantizar la integridad referencial de cada uno de sus datos.

Figura 26.

Diagrama del modelo relacional de base de datos



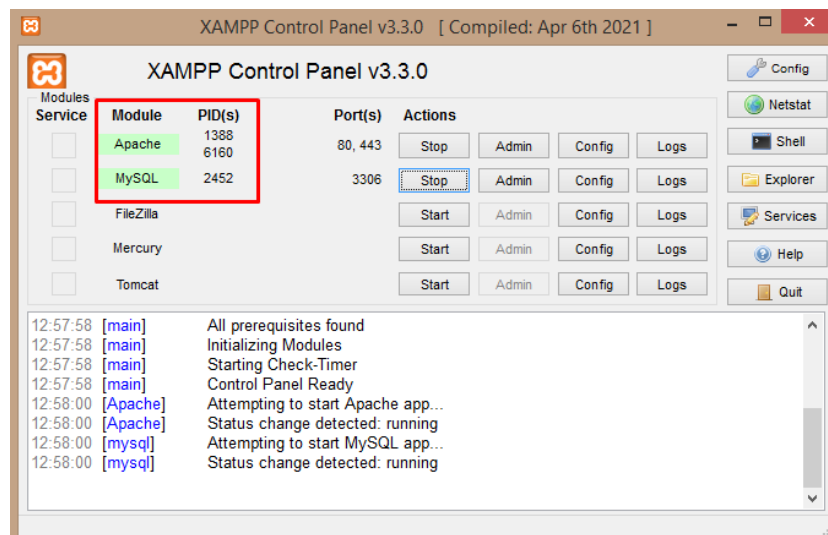
Fuente: Autoría

3.7.1.4.2 Desarrollo de la base de datos

Para el desarrollo de la base de datos se utilizó la herramienta XAMPP, esta es una distribución de Apache que proporciona servicios de varios software libres, incluido bases de datos y lenguajes de programación. El almacenamiento de datos utilizado en este sistema se dará a partir de MySQL y el desarrollo de la aplicación WEB a partir de PHP. Para ello se realiza primero la instalación de esta herramienta y se inician los puertos de MySQL y Apache como se muestra en la Figura 27

Figura 27.

Iniciación de puertos de MySQL y Apache

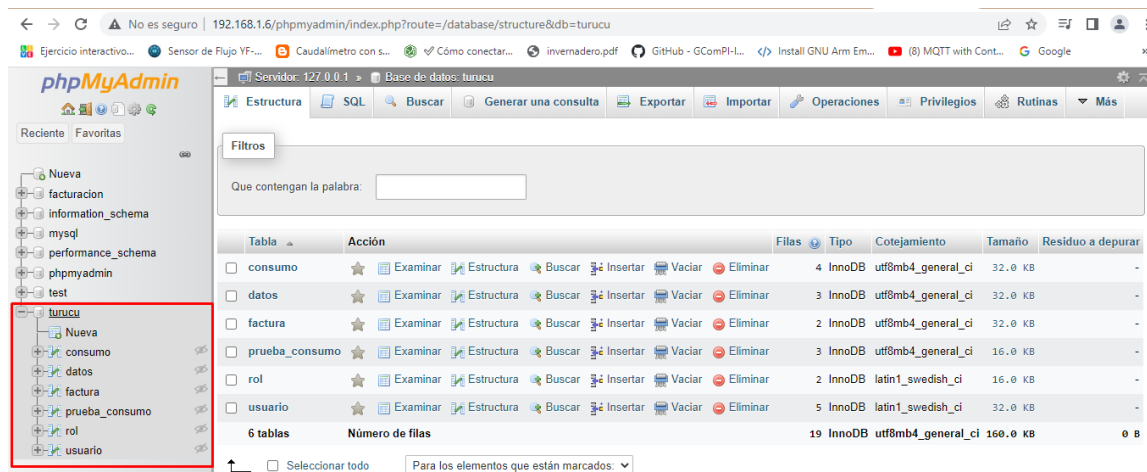


Fuente: Autoría

Iniciados los puertos digitamos en el buscador localhost o la dirección IP de nuestro ordenador y accedemos a phpMyAdmin como se muestra en la Figura 28 donde crearemos la base de datos en el cual se guardará toda la información recolectada por los sensores y la información correspondiente a cada uno de los usuarios. Para este sistema se creó una base de datos con el nombre Turucu que corresponde al nombre de la comunidad la relación entre Tablas se la realizo de acuerdo a diagrama mostrado en la Figura 26

Figura 28.

Creación de la base de datos



Fuente: Autoría

3.7.1.5. Desarrollo aplicación WEB

Una vez los datos han sido almacenados en la base de datos estos serán llamados a través de una aplicación WEB que permita visualizar de forma fácil y entendible el consumo del servicio por parte de los usuarios y el administrador del sistema. Para ello se ha diseñado una aplicación WEB utilizando lenguaje PHP que consta de varias secciones.

La primera sección permite el inicio de sesión de los usuarios de acuerdo al rol establecido para cada uno de ellos, para este sistema se han creado dos tipos de roles un administrador y un no administrador llamado usuario. El administrador tendrá acceso a tres secciones una de gestión de usuarios que permite crear, editar y eliminar usuarios, otra de gestión del consumo del servicio donde se muestra información sobre el consumo realizado por los usuarios mensualmente y finalmente la sección de facturación que permite generar facturas a partir del consumo realizado por los usuarios. Sin embargo, un usuario no administrador tendrá acceso únicamente a la sección de monitoreo de consumo donde podrá visualizar el consumo del servicio realizado mensualmente.

3.7.1.6. Almacenamiento en la nube

Con fin de mantener la información disponible al momento en caso de que el sistema falle o que ocurra un corte de energía o un desastre natural se ha optado por el almacenamiento en la nube a través de la plataforma de Google Cloud, para ello se ha creado una instancia de VM con las características mostradas en la Figura 29, donde se han creado reglas de firewall que permite el tráfico proveniente desde los puertos correspondientes a mysql y mqtt por defecto estas instancias cuentan con el tráfico abierto para http y https, así mismo, se ha instalado los paquetes de Python, un servidor XAMPP y un servidor de MQTT.

Figura 29

Características de almacenamiento Instancia VM en la nube

Almacenamiento

Disco de arranque

Nombre ↑	Imagen	Tipo de interfaz	Tamaño (GB)	Nombre del dispositivo	Tipo	Arquitectura	Encriptación
instance-1	ubuntu-minimal-1804-bionic-v20220901	SCSI	15	instance-1	Disco persistente equilibrado	x86-64	Administrada por Google

Fuente: Autoría

Una vez se ha creado la instancia automáticamente se nos asigna una dirección IP interna principal y una dirección externa, la dirección externa asignada como 34.125.62.221 será dirección utilizada para enlazar el servidor local instalado en el nodo servidor.

Figura 30

Asignación de direcciones IP interna y externa y reglas de firewall

Firewalls	
Tráfico HTTP	Activo
Tráfico HTTPS	Activo

Etiquetas de red				
express	http-server	https-server	mqtt	mysql

Interfaces de red							
Nombre ↑	Red	Subred	Dirección IP interna principal	Rangos de alias de IP	Tipo de pila	Dirección IP externa	Nivel de
nic0	default	default	10.182.0.2		IPv4	servidor (34.125.62.221)	Premiur

Fuente: Autoría

3.7.2. Diagramas de conexión

Una vez descritos los subsistemas que conforman el sistema general se mostraran los diagramas de conexión utilizados para sus integración y posterior implementación

3.7.2.1. Diagrama de conexión Nodo Cliente

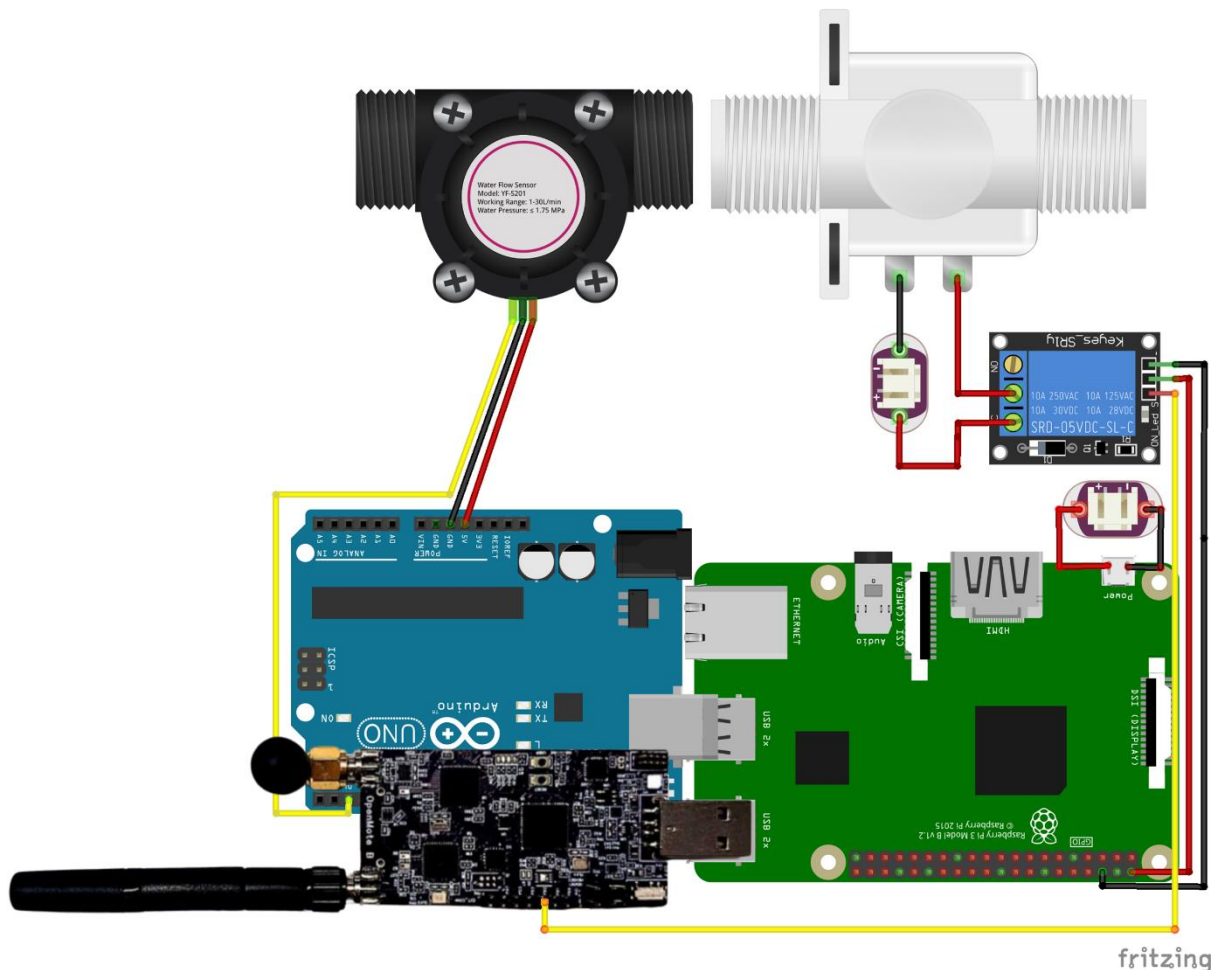
El diagrama de conexión correspondiente al nodo cliente está conformado por un sensor de caudal de agua yf-s201, una placa de procesamiento Arduino Uno, una placa OpenMote – B, un módulo relé, una electroválvula y un microprocesador Raspberry Pi. El sensor de caudal de agua cuenta con tres cables de conexión: rojo-VCC, negro-GND y amarillo-datos, mismos que serán conectados al Arduino en los pines correspondientes a la alimentación y al pin 2 de datos. La electroválvula está conectada directamente hacia un módulo relé quien es el encargado de dar apertura o cierre de la electroválvula de acuerdo a la orden recibida por el nodo servidor, el módulo relé cuenta con 3 cables de conexión en el lado derecho: rojo-VCC, negro-GND y amarillo de datos, los cables de alimentación VCC y GND estarán conectados directamente al raspberry - pi quien energiza al relé y el cable de datos estará conectado hacia la placa Openmote-B ya que esta es la que recibe la orden de cambio de estado enviado desde el nodo central.

Al lado izquierdo del módulo relé se encuentran tres pines: NC normalmente cerrado, C común y NO normalmente abierto. De esta forma el pin común estará directamente conectado a un pin de la electroválvula y el pin normalmente abierto estará conectado al pin positivo de una fuente externa, en este caso de 12V, el otro pin de la electroválvula estará conectado al pin negativo de la fuente externa. Una vez realizadas estas conexiones tanto la placa de procesamiento Arduino y la placa OpenMote – B estarán conectados directamente al microprocesador Raspberry Pi, puesto que, este es el encargado de enviar los datos desde Arduino hacia la placa OpenMote-B para su posterior envío a través de los radios 802.15.4g.

En la Figura 31 se muestra un esquema general de todas las conexiones correspondientes al nodo cliente.

Figura 31.

Esquema de conexión nodo cliente



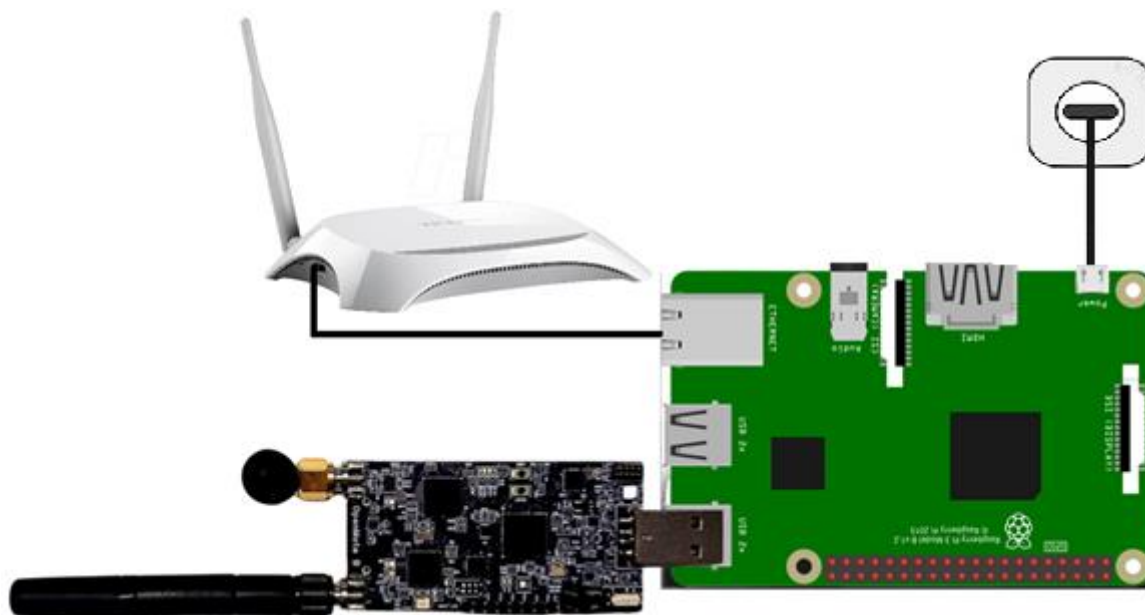
Fuente: Autoría

3.7.2.2. Diagrama de conexión Nodo Servidor

El diagrama de conexión mostrado en la Figura 32 está conformado por un módulo inalámbrico OpenMote-B conectado directamente a un microprocesador Raspberry Pi quien es el encargado de recibir los datos enviados desde el nodo cliente mediante los radios 802.15.4g y un router Huawei quien proporciona salida a internet. La alimentación del Gateway se realiza a través de una fuente de alimentación externa a 5 VDC conectada al microprocesador

Figura 32.

Diagrama de conexión Nodo Servidor



Fuente: Autoría

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA

El capítulo a continuación, detalla la implementación y evaluación del sistema una vez se han desarrollado las subetapas del mismo, de esto modo se evaluará el funcionamiento individual de la toma de datos, comunicación de la red, funcionamiento de la página web, almacenamiento de información en la base de datos, almacenamiento en la nube y finalmente la integración del sistema.

4.1. Implementación del sistema

Una vez se han desarrollado cada uno elementos que conforman el sistema, se inicia la etapa de implementación, para ello se dividirá en tres zonas de la comunidad, una zona cercana, intermedia y otra lejana respecto al Gateway o nodo central, esto con el fin de evaluar el comportamiento del sistema en zonas diferentes en cuanto a presión del agua en la tubería y cobertura de la tecnología inalámbrica dentro de la comunidad.

4.1.1. Implementación Nodo Cliente

La implementación del sistema de medición parte de la instalación del nodo cliente en cada una de las viviendas de los usuarios, mismo que, como se muestra en el diagrama de conexión mostrado en la Figura 31 cuenta con varios dispositivos electrónicos por lo que se adecuó una caja protectora con el fin de acoplar y unificar todo el sistema. La Figura 33 muestra el resultado final de los nodos cliente a instalarse.

Figura 33.*Implementación nodo cliente***Fuente:** autoría

Realizada la instalación del nodo cliente quien es el encargado de recibir los datos que serán censados por el sensor de caudal de agua, se realiza la instalación del sensor de caudal de agua y la electroválvula en las tuberías de distribución de los usuarios. Tanto el sensor como la electroválvula están instalados junto al medidor convencional esto con el fin de corroborar que las medidas tomadas por el sistema eléctrico sean iguales en comparación al sistema convencional. La Figura 34 muestra la instalación de los dispositivos en uno de los domicilios de los usuarios de la Junta de Aguas de la comunidad

Figura 34.

Instalación del sensor de caudal de agua y electroválvula



Fuente: Autoría

4.1.1.1. Medición del consumo de agua potable

Instalado el nodo cliente en las viviendas de los usuarios, se realizan tomas de medidas del consumo del servicio de agua potable, tanto en el sistema electrónico como en el sistema tradicional, lo que permite comparar las medidas de lectura entre los dos sistemas.

La toma de medidas se realizó con un volumen de 10L en base a diferentes niveles de presión: bajo, intermedio y alto, en cada uno de estos niveles se realizaron tres muestras lo que permite calcular el margen de error entre los dos sistemas. La Tabla 28 muestra las medidas tomadas para cada sistema y el margen de error correspondiente a la comparación entre los dos sistemas.

Tabla 28.*Medición del consumo para el sistema tradicional y el sistema electrónico*

Nivel	Medidor tradicional (L)	Sistema electrónico (L)	Margen error (%)
Bajo	10	9.98	0.02
	10	9.99	0.01
	10	9.99	0.01
Intermedio	10	10.01	0.01
	10	9.99	0.01
	10	10.02	0.02
Alto	10	10.02	0.02
	10	10.01	0.01
	10	10	0

Fuente: Autoría

Tomadas las medidas en cada nivel de presión para los dos sistemas, se calcula el promedio del margen de error dando como resultado un promedio de 0.012%, cayendo dentro del rango mostrado en la hoja de datos del sensor correspondiendo a un 5%. De esta forma se comprueba que el sistema electrónico tiene un margen de precisión del 99.98% lo que permite garantizar la toma de medidas del consumo de agua potable.

4.1.1.2. Implementación Nodo Servidor

El Nodo Servidor representado en la Figura 35, fue instalado en la Junta de Aguas de la comunidad con ubicación céntrica a una altura de 10 metros aproximadamente, esto, para conseguir línea de vista con los nodos cliente ubicados a diferentes distancias y alturas dependiendo de su ubicación. Así mismo este cuenta con una caja protectora que compacta el nodo servidor.

Figura 35.

Implementación del nodo servidor o Gateway

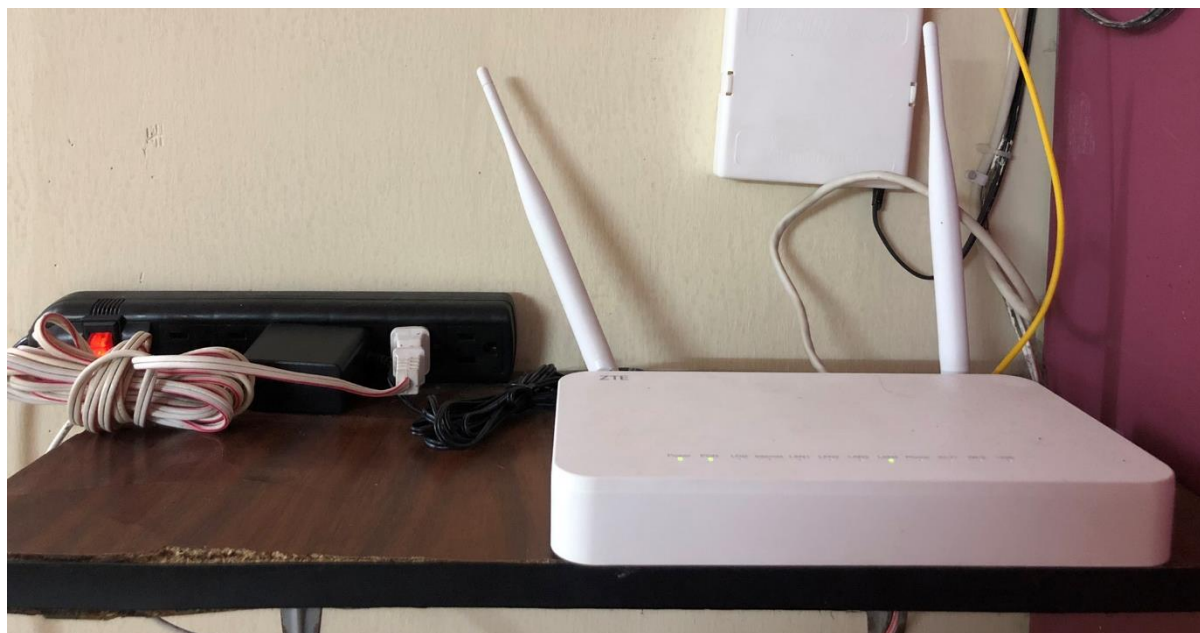


Fuente: Autoría

Una vez se realiza la implementación del nodo servidor este estará conectado directamente por conexión ethernet hacia un router quien es el encargado de asignarle una dirección IP lo que le permite a este funcionar como enrutador para toda la red. La Figura 35 muestra los equipos utilizados en la implementación del nodo servidor.

Figura 36.

Equipos de enrutamiento para el nodo servidor o Gateway



Fuente: autoría

4.1.2. Pruebas de conectividad

Realizado la instalación del nodo servidor y el nodo cliente en cada una de las viviendas de los usuarios se evaluará la conectividad de la red en tres distintas zonas como se indica en el diagrama mostrado en la Figura 37 una cercana, intermedia y una lejana en relación a la posición del Gateway. La Tabla 29 muestra los identificadores de los nodos (es decir, el ID asignado a cada nodo), la distancia al Gateway, y la altura de instalación.

Tabla 29.

Distancia y altura de nodos cliente respecto al Gateway

Identificador (ID)	Distancia (m)	Altura (m)
ID 1	39.8	4.5
ID 2	121	6.8
ID 3	178	8.5

Fuente: Autoría

Figura 37.

Zonas de cobertura comunidad Turucu



Fuente: Autoría

Los parámetros de configuración para las diferentes modulaciones soportadas por Wi-SUN que se utilizan para transmitir los paquetes de datos se resumen en la Tabla 30. Como puede observarse, todas las modulaciones proporcionan una velocidad de datos efectiva de 50 kbps, pero compensan el presupuesto del enlace y el ancho de banda ocupado.

Tabla 30.

Modos SUN (Smart Utility Network) utilizados en el despliegue.

	SUN-FSK	SUN-OQPSK	SUN-OFDM
Descripción	Modo 1	Modo 3	Opción 1 MCS0
Data rate (kbps)	50	50	100
Tipo de modulación	BFSK	OQPSK	BPSK
Potencia de transmisión (dBm)	15	15	9
Sensibilidad (dBm)	-114	-116	-111

Fuente:

La prueba de conectividad consiste en realizar el envío de datos recolectados por los nodos clientes en cada una de las modulaciones soportadas por Wi-SUN, es decir, para SUN-FSK, SUN-OQPSK y SUN-OFM. El envío de datos es realizado cada 5 segundos en un periodo de un minuto, se realizarán tres pruebas de este tipo por cada una de las zonas, de esta forma el nodo servidor o Gateway deberá recibir un total de 12 muestras por minuto. La Tabla 31 a continuación muestra el resultado obtenido en la aplicación de esta prueba.

Tabla 31.

Pruebas de conectividad para cada una de las modulaciones soportadas por Wi-SUN

SUN-FSK		
ID del nodo	Nº muestras recibidas	% de datos recibidos
ID 1	12	100
	12	100
	12	100
	Promedio	100
ID 2	12	100
	12	100

	11	91.67
	Promedio	97.22
ID 3	10	83.34
	10	83.34
	8	66.67
	Promedio	77.78

SUN-OQPSK

ID del nodo	Nº muestras recibidas	% de datos recibidos
ID 1	12	100
	12	100
	12	100
	Promedio	100
ID 2	12	100
	9	75
	9	75
	Promedio	83.33
ID 3	8	66.67
	8	66.67
	6	50
	Promedio	61.11

SUN-OFDM

ID del nodo	Nº muestras recibidas	% de datos recibidos
ID 1	12	100
	12	100
	12	100

	Promedio	100
ID 2	8	66.67
	8	66.67
	7	58.33
	Promedio	63.89
ID 3	6	66.67
	4	33.33
	4	33.33
	Promedio	44.44

Fuente: Autoría

Como puede observarse, SUN-FSK y SUN-OQPSK proporcionaron un porcentaje mayor de muestras recibidas en comparación con SUN-OFDM. Esto puede explicarse porque SUN-FSK y SUN-OQPSK tienen una mayor sensibilidad en comparación con SUN-FSK,) lo que permite recibir con éxito paquetes con mayor probabilidad.

Así mismo, la distancia y la línea de vista existentes en los enlaces creados entre el nodo cliente y el nodo servidor tienen influencia directa sobre el rendimiento de la red, esto debido a que los nodos experimentan diferentes deficiencias en la comunicación como propagación multirrayecto e interferencias externas. Debido a esto el nodo ID3 que es el nodo más alejado en relación al Gateway independientemente de la modulación con la que esté trabajando este presenta mayor pérdida de paquetes ya que mantenerlo con línea de vista completa se dificulta debido a la presencia de árboles lo que hace que este enlace sea el más vulnerable a pérdida de potencia.

4.1.3. Pruebas de rendimiento

Esta sección presenta un análisis de los paquetes enviados a través de un ping desde el nodo cliente hacia el nodo servidor o Gateway donde se evalúan los valores RSSI, y PDR, que se definen como:

- RSSI (Received Signal Strength Indicator): potencia media (dBm) de un paquete que ha sido recibido por el Gateway;

- PDR (Packet Delivery Ratio): porcentaje de paquetes que han sido recibidos con éxito por el Gateway en un periodo de tiempo determinado.

Para el análisis de dichos parámetros se enviarán 200 paquetes ICMP desde cada uno de los nodos clientes (es decir desde los nodos ID1, ID2 y ID3), para cada una de las modulaciones soportadas. La Tabla 32 muestra los resultados obtenidos en la aplicación de esta prueba

Tabla 32.

Pruebas de rendimiento a partir de los parámetros de RSSi y PDR por modulación

ID	SUN-FSK			SUN-OQPSK			SUN-OFDM		
	RCV	RSSI (dBm)	PDR (%)	RCV	RSSI (dBm)	PDR (%)	RCV	RSSI (dBm)	PDR (%)
ID1	200	-78.5	100	200	-85.9	100	196	81.2	98
ID2	158	-88.9	79	142	-96	71	121	99.4	60.5
ID3	132	-99.6	66	139	-99.2	69.5	97	106	48.5
Promedio	163	-88.83	81.66	155.33	-93.70	80.1	138	95.53	68.83

Fuente: Autoría

Una vez aplicadas las pruebas se puede observar en la Tabla 32 que para SUN-FSK, la RSSI promedio de 88,83 dBm sólo es capaz de proporcionar una PDR del 81,66% a pesar de que el límite de sensibilidad es de 114 dBm. Del mismo modo, para SUN-OQPSK, la RSSI promedio de 93.70 dBm sólo puede proporcionar una PDR de capa física del 80,1%

con un límite de sensibilidad de 116 dBm. Por último, para SUN-OFDM, la RSSI media de 95,53 dBm sólo puede proporcionar una PDR de la capa física del 68.83% con un límite de sensibilidad de 111 dBm.

4.1.3.1. Pruebas de inicio de sesión

Como se menciona en el desarrollo de la aplicación web en la sección 3.7.1.5 se han programado dos tipos de usuarios uno administrador el cual tiene acceso a todas las opciones conFiguradas y un usuario no administrador o usuario quien tendrá únicamente acceso a la sección de monitoreo de consumo para visualizar el consumo realizado mensualmente.

Antes de iniciar con la prueba de inicio de sesión se crea un usuario desde la base de datos aplicando el rol de administrador y a partir de este se crean los usuarios clientes desde la aplicación web, una vez se ha creado el usuario administrador este podrá acceder a la aplicación web con las credenciales aplicadas como se observa en la Figura 38 y 39

Figura 38.

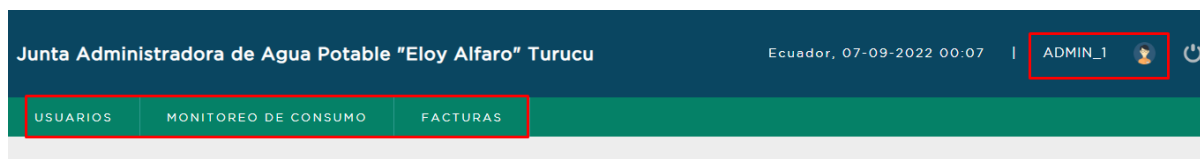
Inicio de sesión como administrador



Fuente: Autoría

Figura 39.

Acceso a la aplicación web como administrador



Fuente: autoría

En caso de no digitar correctamente el usuario o la contraseña se mostrará un mensaje indicando que una de las credenciales aplicadas no es correcta como se muestra en la Figura 40, lo mismo sucede si se trata de acceder con un usuario que no existe.

Figura 40.

Inicio de sesión incorrecto

Fuente: autoría

4.1.3.2. Pruebas de gestión de usuarios

La sección de usuarios esta direcciona a la gestión de usuarios permitiendo crear, editar y eliminar usuarios, además de mostrar una lista con los usuarios actualmente registrados como se muestra en la Figura 41, esto, siempre y cuando el usuario que ha iniciado sesión sea el administrador

Figura 41.

Lista de usuarios actualmente registrados

USUARIOS MONITOREO DE CONSUMO FACTURAS							
Lista de Usuarios Crear Usuarios							
ID	Nombre	Apellido	Correo	Usuario	Rol	Configuración	Acciones
1	Karla	Guevara	karla@gmail.com	admin	Administrador	Editar	Habilitar o Deshabilitar
2	Pamela	Guevara	pamela@gmail.com	user1	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar
3	Andrés	Paredes	andresparedes@gmail.com	user3	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar

Fuente: autoría

A continuación, se crea un usuario nuevo mostrador en la Figura 42, mismo que se registra automáticamente en la lista de usuarios actual y en la base de datos como se muestra en la Figura 43. Aplicadas las pruebas se puede observar el correcto funcionamiento de cada una de las opciones configuradas para la gestión de usuarios

Figura 42.

Registro de usuarios nuevo

Usuario registrado correctamente.

Nombre

Apellido

Correo Electrónico

Usuario

Clave

Tipo de Usuario

Fuente: Autoría

Figura 43.

Registro de usuarios nuevos

Lista de Usuarios Crear Usuarios							
ID	Nombre	Apellido	Correo	Usuario	Rol	Configuración	Acciones
1	Karla	Guevara	karla@gmail.com	admin	Administrador	Editar	Habilitar o Deshabilitar
2	Pamela	Guevara	pamela@gmail.com	user1	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar
3	Andrés	Paredes	andresparedes@gmail.com	user3	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar
10	Salma	Gómez	salmagomez@gmail.com	salmagomez	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar

	idusuario	nombre	apellido	correo	usuario
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	Karla	Guevara	karla@gmail.com	admin
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	Pamela	Guevara	pamela@gmail.com	user1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	Andrés	Paredes	andresparedes@gmail.com	user3
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	10	Salma	Gómez	salmagomez@gmail.com	salmagomez

Fuente: autoría

Para verificar el correcto funcionamiento de la gestión de usuarios se han creado, eliminado y editado varios usuarios. La Tabla 33 muestra los datos recolectados en la aplicación de esta prueba

Tabla 33.

Prueba de gestión de usuarios

Pruebas de gestión de usuarios		
	Número de usuarios	Error
Crear nuevo usuario	10	0%
Editar usuario	10	0%
Eliminar usuario	10	0%
Lista de usuarios	10	0%

Fuente: autoría

Como se muestra en la Tabla 33 se crearon, editaron, eliminaron y mostraron en lista 10 usuarios de forma correcta en todos los casos, de esta forma se puede verificar que la sección de gestión de usuarios tiene una funcionalidad del 100%

4.1.4. Pruebas de habilitación y corte del servicio

Como complemento al sistema se ha agregado una acción dentro de la sección usuarios que permite al administrador gestionar los cortes o habilitación del servicio de forma remota. Como se observa en la Figura 44 se muestra el consumo de 3 usuarios que mantienen el servicio activo, para deshabilitar a uno de estos usuarios el administrador tendrá que dirigirse hacia la sección usuarios y aplicar la acción de habilitar o deshabilitar, esta redirigirá al administrador hacia una nueva pestaña representada en la Figura 45 que permite seleccionar una de las acciones.

Inicialmente la electroválvula mantiene un estado de normalmente abierta, está controlada a través de un relé que permite el cambio de estado de la misma. Una vez el administrador aplica la acción de deshabilitar el relé recibe un pulso eléctrico cambiado de estado a la electroválvula hacia un cerrado. De esta misma forma el administrador podrá habilitar el servicio a través de la acción habilitar, cambiando la electroválvula de un estado cerrado hacia uno abierto.

Figura 44.

Registro de consumo de usuarios

USUARIOS MONITOREO DE CONSUMO FACTURAS							
Lista de Consumo							
ID	Nombre	Apellido	Consumo(litros)	Consumo(m3)	Valor a pagar(\$)	Fecha	Estado
1	Karla	Guevara	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:32	Activo
3	Andrés	Paredes	12 L	17 m3	1.45 \$	2022-08-31 19:04:27	Activo
4	Salma	Alboran	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:50	Activo

Fuente: Autoría

Figura 45.

Deshabilitación del servicio

USUARIOS MONITOREO DE CONSUMO FACTURAS			
Sistema de Control de Acciones Nombre: Karla Guevara Consumo: 10 L Estado: Activo			
<input type="button" value="Habilitar"/>		<input type="button" value="Deshabilitar"/>	

Fuente: Autoría

Para la aplicación de la prueba de habilitación y corte del servicio se realizaron 20 pruebas de habilitación y 20 pruebas de deshabilitación del servicio. La Tabla 34 muestra el resultado obtenido en esta prueba.

Tabla 34.

Pruebas de aplicación de habilitación y cortes del servicio

Acción	Nº de muestras enviadas	Nº de muestras recibidas	Error (%)
Deshabilitar	20	19	5
Habilitar	20	20	0
Promedio			2.5

Fuente: Autoría

Aplicadas las pruebas de habilitación y deshabilitación del servicio, se obtuvieron 20 de las 20 muestras enviadas y 19 de las 20 muestras enviadas respectivamente dando un porcentaje de error del 2.5% lo que permite dar una validez del 97.5% en la gestión de los cortes del servicio.

4.1.4.1. Pruebas de visualización del consumo por parte de los usuarios

Las pruebas de monitoreo de consumo están dirigidas principalmente a la visualización del consumo por parte de los usuarios, aunque, como ya se mencionó anteriormente el administrador también tendrá acceso a esta sección.

A partir de las credenciales entregadas el usuario puede acceder únicamente a la sección de monitoreo de consumo donde se encuentran las pestañas lista de consumo y buscar usuario, estas pestañas muestran los siguientes datos: ID de usuario, nombre completo, consumo en litros, consumo en metros cuadrados, el valor a pagar, fecha de emisión de la factura, y estado, así mismo la pestaña de búsqueda permite buscar el consumo del usuario a partir de nombre o ID asignado, como se muestra en las Figuras 46 y 47

Figura 46.

Visualización información de consumo

ID	Nombre	Apellido	Consumo(litros)	Consumo(m3)	Valor a pagar(\$)	Fecha	Estado
1	Karla	Guevara	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:32	Activo
3	Andrés	Paredes	12 L	17 m3	1.45 \$	2022-08-31 19:04:27	Activo
4	Salma	Alboran	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:50	Activo

Fuente: Autoría

Figura 47.

Búsqueda de consumo a partir del ID de usuario

ID	Nombre	Apellido	Consumo(litros)	Consumo(m3)	Valor a pagar(\$)	Fecha	Estado
3	Andrés	Paredes	12 L	17 m3	2.50 \$	2022-08-31 19:04:27	Activado

Fuente: Autoría

Para verificar el correcto funcionamiento del monitoreo de consumo se envía desde los domicilios de tres usuarios una prueba de consumo lo que permite el registro del consumo de cada usuario en la base de datos y posteriormente esta se verá reflejada en la aplicación web. La Tabla 35 muestra los datos recolectados en la aplicación de esta prueba

Tabla 35.

Registro de consumo por parte de los usuarios

Pruebas de monitoreo de consumo		
	Registro de consumo	Error
Usuario 1	Si	0%
Usuario 2	Si	0%
Usuario 3	SI	0%

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 27 el registro de consumo enviado desde los domicilios de los 3 usuarios a quienes se aplicó la prueba fueron realizados con éxito, lo que evidencia el correcto funcionamiento de la visualización de los datos de consumo por parte de los usuarios desde la aplicación web.

4.1.4.2. Pruebas del sistema de facturación

Una vez los datos han sido registrados mensualmente en la base de datos el administrador puede generar una factura de acuerdo al consumo realizado por los usuarios, para ello el administrador ingresa a la página web con las credenciales asignadas lo que le permite tener acceso a todas las opciones en la página web. La generación de la factura se la realiza en la opción facturas donde se despliega la pestaña generar factura, allí podrá buscar al usuario a partir de su ID como se muestra en la Figura 48 y generar la factura del mes correspondiente

Figura 48.

Generación de factura a partir del ID de usuario

Fuente: Autoría

Una vez se digita el ID del usuario o su nombre automáticamente se genera la factura del último consumo registrado, que en este caso se lo realiza mensualmente. De acuerdo al reglamento de la Junta de Aguas de la comunidad de Turucu el consumo menor a 15 metros cúbicos tiene un valor de \$1.25, sin embargo, si el consumo excede los 15 metros cúbicos se cobrará 0.10 centavos más por metro cúbico excedido. La Figura 49 muestra la factura generada para el usuario 3 donde existe un excedente de 2 metros cúbicos, por lo que se aumentaran 0.20 centavos al valor inicial dando un total de \$1.45.

Figura 49.

Generación de factura

CANTÓN COTACACHI - PARROQUIA SAN FRANCISCO
Junta de Aguas "Turucu"

Dirección: Calle Intinan
 Correo: comunidadturucu@gmail.com

RUC:123	No de factura:1	
Nombre:Andrés Paredes	Cédula:1004091540	
Fecha:06-09-2022 23:04	Telefono:554263	
Dirección:cotacachi		
Detalle	Consumo	Precio Total
Valor por el servicio de agua potable	17 m3	1.45 \$
Total a pagar:	1.45 \$	

Fuente: Autoría

Una vez las facturas han sido generadas estas podrán ser visualizadas en la pestaña lista de facturas, así mismo, en caso de requerir la eliminación de una factura por parte del administrador también podrá hacerlo a través de la opción eliminar factura. La Figura 50 muestra la lista de facturas generadas por el consumo de los usuarios

Figura 50.

Lista de facturas generadas

Numero de factura	Nombre	Apellido	Fecha de emisión de factura	Total del pago (\$)	Acción
1	Andrés	Paredes	08-09-2022 12:41	1.45 \$	Eliminar Factura
2	Karla	Guevara	08-09-2022 12:43	1.25 \$	Eliminar Factura
3	Salma	Alboran	08-09-2022 12:43	1.25 \$	Eliminar Factura

Fuente: Autoría

Para verificar el funcionamiento del sistema de facturación se han generado varias facturas de los consumos registrados anteriormente por los usuarios. La Tabla 36 muestra los datos recolectados en la aplicación de esta prueba.

Tabla 36.

Generación de facturas

Pruebas del sistema de facturación		
	Número de usuario	Error
Generación de facturas	3	0%
Eliminación de facturas	3	0%
Listado de facturas	3	0%

Fuente: Autoría

Como se muestra en la Tabla 28 se han generado, eliminado y mostrado en lista 3 facturas correspondientes al consumo realizado por los usuarios.

4.1.5. Pruebas del sistema de base datos

Una vez han sido aplicadas las pruebas de la aplicación web podrá ser verificado el funcionamiento de la base de datos, dado que esta está enlazada a la aplicación web. Para ello se accederá al servidor de base de datos instalado en el nodo servidor o Gateway y se verificará que las Tablas mantengan los datos ingresados a través de la página web. La Figura 51 muestra la Tabla usuario donde refleja el usuario administrador creado anteriormente desde la base de datos, y los usuarios creados a través de la página web por el administrador.

Figura 51.

Tabla usuario de la base de datos



	idusuario	nombre	apellido	correo	usuario	clave	rol
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	Karla	Guevara	karla@gmail.com	admin	123	1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	Pamela	Gómez	pamela@gmail.com	user1	123	2
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	Andrés	Paredes	andresparedes@gmail.com	user3	123	2
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	4	Salma	Alboran	salmagomez@gmail.com	salmagomez	12345678	2

Fuente: Autoría

Así mismo, se mostrará la Tabla consumo donde se registra el consumo cada 20 segundos realizado durante 3 minutos por parte del usuario asignado como ID1, generando 9 registros en la Tabla consumo. La Figura 52 refleja los registros descritos anteriormente. Por otro lado, hay que tomar en cuenta que el registro exitoso de los datos dentro de la base dependerá del rendimiento del enlace establecido entre el nodo cliente y el nodo servidor.

Figura 52.

Registro del consumo del servicio por parte del usuario ID1



	idusuario	litros	metros	caudal	fecha	estado	nfactura
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	12	17	12	2022-08-31 19:04:27	1	1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	10	10	10	2022-09-08 12:24:32	1	2
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	4	10	10	10	2022-09-08 12:24:50	1	3

Fuente: Autoría

Finalmente se muestra a través de la Figura 54 el número de facturas generadas

Figura 53.

Facturas generadas

The screenshot shows a web application interface. On the left is a tree view with nodes: turucu, Nueva, consumo, datos, factura, and rol. On the right is a table with columns: nfactura, fecha, nombre, apellido, total, and metros. The table contains three rows of data.

	nfactura	fecha	nombre	apellido	total	metros
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	08-09-2022 12:41	Andrés	Paredes	1.45	0
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	08-09-2022 12:43	Karla	Guevara	1.25	0
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	08-09-2022 12:43	Salma	Alboran	1.25	0

Fuente: Autoría

4.2. Presupuesto del sistema

Esta sección presenta una descripción del presupuesto utilizado para el desarrollo del sistema tomando en cuenta el presupuesto de hardware, software e infraestructura

4.2.1. Presupuesto de Hardware

El presupuesto de hardware incluye todos los dispositivos electrónicos utilizados en el diseño del sistema. para su descripción se muestra la Tabla 37 costo para cada uno de ellos.

Tabla 37.

Presupuesto hardware

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Arduino UNO	1	\$10	\$10
OpenMote B	2	\$112	\$224
Raspberry-PI4	2	\$100	\$200
Router	1	\$25	\$25
Sensor YF-S201	1	\$7.50	\$7.50
Modulo Relé de 1 canal	1	\$2.50	\$2.50
Batería Forza	1	\$22	\$22
Electroválvula	1	\$60	\$60
Total			\$551

Fuente: Autoría

4.2.2. Presupuesto de Software

El presupuesto de Hardware hace referencia al costo cancelado por el manejo de los programas utilizados en el desarrollo del sistema. Para el desarrollo del sistema se utilizó software libre por lo que no se generó ningún costo, sin embargo, la Tabla 38 muestra una descripción del Software utilizado

Tabla 38.

Presupuesto de Software

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
IDE de Arduino	1	\$0	\$0
S.O. RIOT	1	\$0	\$0
XAMPP	1	\$0	\$0
Sublime Text	1	\$0	\$0
Google Cloud	1	\$0	\$0
Total			\$0

Fuente: Autoría

4.2.3. Presupuesto de infraestructura

El presupuesto de infraestructura hace referencia al material utilizado para protección y compactación de los dispositivos del sistema. la Tabla 39 muestra una descripción del material utilizado.

Tabla 39.

Presupuesto de infraestructura

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cajas protectoras	2	\$5	\$10
Total			\$10

Fuente: Autoría

4.2.4. Presupuesto total del sistema

Obtenido el presupuesto de hardware, software e infraestructura se realiza una sumatoria de los mismos, para obtener el presupuesto total del sistema descrito en la Tabla

Tabla 40.

Presupuesto total del sistema

Descripción	Costo
Presupuesto Hardware	\$526
Presupuesto de Software	\$0
Presupuesto de Infraestructura	\$10.
Total	\$536

Fuente: Autoría

4.2.5. Presupuesto de Implementación del sistema

Realizado el presupuesto utilizado en la implementación del prototipo del sistema, es necesario realizar un presupuesto de implementación en caso de realizarse para toda la comunidad que actualmente cuenta con 90 familias que podrían beneficiarse del sistema. el presupuesto mostrado en la Tabla 41 basado en el presupuesto de hardware, software e infraestructura mostrado en el apartado anterior, está asignado para un nodo servidor o Gateway y 90 nodos clientes.

Tabla 41.

Presupuesto de implementación del sistema

Presupuesto de implementación del sistema			
Presupuesto de hardware			
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Arduino UNO	90	\$10.00	\$900
OpenMote B	91	\$112.00	\$10.192
Raspberry-PI4	91	\$100.00	\$9.100

Sensor YF-S201	90	\$7.50	\$675
Modulo Relé de 1 canal	90	\$2.50	\$225
Batería Forza	91	\$22.00	\$2.002
Electroválvula	90	\$60.00	\$5.400
Total, presupuesto de hardware			\$28.494

Presupuesto de software

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
IDE de Arduino	1	\$0	\$0
S.O. RIOT	1	\$0	\$0
XAMPP	1	\$0	\$0
Sublime Text	1	\$0	\$0
Google Cloud	1	\$0	\$0
Total, presupuesto de software			\$0

Presupuesto de infraestructura

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cajas protectoras	91	\$5	\$455
Total, presupuesto de infraestructura			\$455

Presupuesto total de implementación \$28.949

Fuente: Autoría

Una vez calculado el costo necesario para la implementación del sistema dentro de toda la comunidad tanto de hardware, software e infraestructura, se calcula un valor total de \$28.949 lo que permitiría el beneficio del sistema para 90 usuario.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta sección presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo del sistema.

5.1. Conclusiones

- la fundamentación teórica utilizada en el desarrollo del presente proyecto está basada en los sistemas de medición inteligente en el servicio de agua potable, específicamente en la infraestructura de medición avanzada AMI y la red inalámbrica de servicios públicos inteligentes Wi SUN. Lo que permitió tener una base en cuanto a la información existente relacionada al desarrollo del sistema
- El análisis de la situación actual que se maneja en la comunidad permite conocer de forma real la situación en cuanto a factores de ubicación, delimitación, cantidad de usuarios, dimensión de tuberías, capacidad de los tanques de reserva, cantidad de captación de agua, formas de pago, entre otros factores importantes lo que permitió tener un punto de inicio para conocer las condiciones planteadas actualmente y de esta forma establecer los requerimientos del sistema
- La definición de requerimientos para el sistema, está basada en las necesidades del usuario, sistema y de arquitectura, lo que permitió realizar una óptima selección de dispositivos de hardware y software para el desarrollo del sistema.
- El diseño del sistema inteligente está complementado por una aplicación web que permite gestionar de forma sencilla e intuitiva el consumo del servicio. Así mismo la implementación del sistema presenta una gran oportunidad para abrirse paso dentro de la automatización en el ámbito de los servicios básicos, permitiendo sacar ventaja en cuanto a la reducción del error humano, reducción

de gastos de funcionamiento, beneficios del almacenamiento y procesamiento de datos en la nube, entre otros.

- En el desarrollo del presente trabajo de grado se ha mostrado un despliegue en un gran entorno en condiciones del mundo real utilizando las modulaciones SUN (Smart Utility Network), soportadas por Wi-SUN introducidas en el estándar IEEE 802.15.4-2021, que, a pesar de estar dentro de una zona urbana, este presenta las condiciones de un entorno casi rural. Los datos resultantes, muestra que, aunque se manejaron grandes distancias entre los enlaces, es decir, enlaces de hasta 178m, la aplicación de modulaciones SUN por sí solo no garantiza los requisitos mínimos de PDR para aplicaciones industriales y de redes inteligentes que manejan un PDR > 99% esto debido a la propagación multitrayecto y a los efectos de las interferencias externas presentes en un escenario como el propuesto en este trabajo de grado.
- Como se ha podido observar en las pruebas de rendimiento de la red en base a los parámetros de RSSI y PDR las modulaciones SUN-FSK y SUN-OQPSK tienen una mayor sensibilidad en comparación con SUN-OFDM, lo que le permite recibir con éxito paquetes que se recibieron con un RSSI más bajo con mayor probabilidad. De esta forma SUN-FSK y SUN-OQPSK cuenta con un PDR similar que oscila entre 81.66% y 80.1% respectivamente, haciendo que la aplicación de estas modulaciones sea la más apropiada en comparación a la modulación SUN-OFDM que ofrece un PDR del 68.83%, siendo este un PDR crítico en un escenario de envío de datos en tiempo real
- Teniendo en cuenta que el consumo realizado por parte de los usuarios se almacena dentro de una base de datos local, el contar con un respaldo del servidor local a través de una máquina virtual en la plataforma de Google Cloud mantiene

los archivos y datos disponibles al momento en caso de que el sistema falle o que suceda un corte de energía o un desastre natural. Por otro lado, permite la expansión simple y sencilla del espacio en la nube siendo esto beneficioso en caso de aumentar usuarios dentro de la comunidad.

5.2. Recomendaciones

- Es primordial que, al momento de la instalación de los nodos, se instale e inicie como primero al nodo servidor o Gateway antes que los nodos clientes, esto con el fin de facilitar el establecimiento del enlace de comunicación entre los nodos.
- Una vez se ha iniciado el nodo servidor o Gateway es importante resetear el mismo, debido a que en primera instancia este no reconoce las interfaces de red, por lo que no se establecerá conexión hasta que se hayan reconocido.
- Por defecto el sensor de caudal YF-S201 cuenta con un factor de conversión de 7.5 mismo que al momento de realizar la toma de datos establece un porcentaje de error aproximado del 13.33% por lo que su calibración es fundamental para acercarse a un porcentaje de error casi nulo.
- Tanto la instalación del nodo servidor como el nodo cliente deberá realizar en un lugar alto que les permita establecer línea de vista completa con el fin de reducir el desvanecimiento debido a propagación multitrayecto lo que puede provocar distorsión y atenuación de las señales en trayectos con visibilidad directa y, por consiguiente, puede degradar la calidad de funcionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Abate, F., Carratù, M., Liguori, C., & Paciello, V. (2019). A low cost smart power meter for IoT. *Measurement*, *136*, 59–66.
- ADD GRUP. (2022). *Water Metering*.
- Alvarado, J. (2011). *Servicios de Medición avanzada (AMI) para Redes Inteligentes y su Adaptabilidad en el Marco de la Legislación Ecuatoriana*.
- AP, H. (2019). Secure-MQTT: an efficient fuzzy logic-based approach to detect DoS attack in MQTT protocol for internet of things. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, *2019*(1), 1–15.
- Arco. (2020, March 2). *Electroválvulas: Qué es y para qué sirve*.
- Arellano, A., & Cámara, N. (2017). La importancia de las TIC en las necesidades de la sociedad: una aproximación a través de la óptica de Maslow. *ECONOMÍA DIGITAL*, 1–16.
- Asghar, M. R., Dán, G., Miorandi, D., & Chlamtac, I. (2017). Smart meter data privacy: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *19*(4), 2820–2835.
- Bolanakis, D. E. (2019). A survey of research in microcontroller education. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, *14*(2), 50–57.
- Brambilla, M., Ceri, S., Fraternali, P., & Manolescu, I. (2016). Process Modeling in Web Applications. *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.*, *15*(4), 360–409.
<https://doi.org/10.1145/1178625.1178627>
- Callejas-Cuervo, M., Alarcón-Aldana, A. C., & Álvarez-Carreño, A. M. (2017). Modelos de calidad del software, un estado del arte. *Entramado*, *13*(1), 236–250.
- Constitución de la República del Ecuador. (2014). *LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*.

- de Guglielmo, D., Anastasi, G., & Seghetti, A. (2014). From ieee 802.15. 4 to ieee 802.15. 4e: A step towards the internet of things. In *Advances onto the Internet of Things* (pp. 135–152). Springer.
- Domínguez, E. J. (2017). *Baterías (Sistemas de carga y arranque)*. Editex.
- GAD Municipal de Santa Ana de Cotacachi. (2014). *Ordenanza sustitutiva que regula el cobro de tasas por la prestación de servicios de agua potable, que se preste en el cantón Cotacachi*.
- García, L. (2017). *TEORÍA DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES Y VOLÚMENES DE AGUA E INSTRUMENTAL NECESARIO DISPONIBLE EN EL MERCADO* (pp. 22–38).
- Gold, R., Waters, C., & York, D. (2020). Leveraging Advanced Metering Infrastructure to Save Energy. *Washington DC: American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)*.
- Gómez, A. (2017). *Diseño funcional y de la interactividad de productos multimedia. ARGN0110* (Primera Edición). IC Editorial.
- Harada, H., Mizutani, K., Fujiwara, J., Mochizuki, K., Obata, K., & Okumura, R. (2017). IEEE 802.15. 4g based Wi-SUN communication systems. *IEICE Transactions on Communications, 100(7)*, 1032–1043.
- IEEE Computer Society. (2020). *IEEE Std 802.15.4™-2020*.
- Industrial Shields. (2022). *OpenMote B*.
- Jarabo Friedrich, F. E., García Álvarez, F. J., & Elórtegui Escartín, N. (2018). *Incorporación de caudalímetros (electrónicos) de bajo coste a prácticas de laboratorio de fluidos*.
- Kurunathan, H., Severino, R., Koubaa, A., & Tovar, E. (2018). IEEE 802.15. 4e in a nutshell: Survey and performance evaluation. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20(3)*, 1989–2010.

- Maida, E. G., & Pacienza, J. (2015). *METODOLOGIAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA SANTA MARIA DE LOS BUENOS AIRES.
- Molina, A., Pozo, M., & Serrano, J. C. (2018). *Agua, saneamiento e higiene: Medición de los ODS en Ecuador*.
- Nanobytes. (2022, February 22). *Nanobytes*. <https://Nanobytes.Es/Blog/Blog-Nanobytes-1/Cloud-Computing-Diferencia-Entre-Iaas-Paas-y-Saas-7>.
- NAYLAMP MECHATRONICS. (2022, November). *TUTORIAL SENSOR DE FLUJO DE AGUA*.
- Network Encyclopedia. (2022). *What is a Web Application?*
- Palos-Sanchez, P. R., Arenas-Marquez, F. J., & Aguayo-Camacho, M. (2017). Cloud computing (SaaS) adoption as a strategic technology: Results of an empirical study. *Mobile Information Systems, 2017*.
- PROFESSIONAL QA. (2019, September 6). *V Model*.
- Rashed Mohassel, R., Fung, A., Mohammadi, F., & Raahemifar, K. (2014a). A survey on Advanced Metering Infrastructure. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 63*, 473–484. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.06.025>
- Rashed Mohassel, R., Fung, A., Mohammadi, F., & Raahemifar, K. (2014b). A survey on Advanced Metering Infrastructure. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 63*, 473–484. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.06.025>
- Raspberry Pi Foundation. (2022). *Raspberry Pi* .
- Righetti, F., Vallati, C., Comola, D., & Anastasi, G. (2019). Performance Measurements of IEEE 802.15.4g Wireless Networks. *2019 IEEE 20th International Symposium on “A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks” (WoWMoM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2019.8793051>

- Sadio, O., Ngom, I., & Lishou, C. (2019). Lightweight Security Scheme for MQTT/MQTT-SN Protocol. *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)*, 119–123.
<https://doi.org/10.1109/IOTSMS48152.2019.8939177>
- Sánchez, J. (2018). *SOFTWARE 1. Sistema Operativo. Software de Aplicación*.
- Sánchez, M. (2017). *UF2404 - Principios de la programación orientada a objetos (5.0)*. EDITORIAL ELEARNING S.L.
- Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA). (2016). *Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento (ENAS)*. <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/REVISTA-SENAGUA.compressed.pdf>
- Senplades. (2017). *PLAN NACIONAL BUEN VIVIR PARA EL 2017-2021*.
- Siqueira de Carvalho, R., Kumar Sen, P., Nag Velaga, Y., Feksa Ramos, L., & Neves Canha, L. (2018). Communication system design for an advanced metering infrastructure. *Sensors*, 18(11), 3734.
- Stallman, R. (2020). La definición de Software libre. *Communiars. Revista de Imagen, Artes y Educación Crítica y Social*, 3, 151-154.
- TEMPEL GROUP. (2022, November). *Cómo calcular la capacidad de las baterías*. <https://Ar.Tempelgrouplatam.Com/Como-Calcular-La-Capacidad-de-Las-Baterias/>.
- Thangavel, D., Ma, X., Valera, A., Tan, H.-X., & Tan, C. K.-Y. (2014). Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware. *2014 IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, 1–6.
- Tuset-Peiró, P., Gomes, R. D., Thubert, P., & Vilajosana, X. (2020). Evaluating IEEE 802.15.4g SUN for Dependable Low-Power Wireless Communications In Industrial Scenarios. *Preprints*.

UNA AUDITORÍA, D. E. (2018). 5.2. MEDIOS MATERIALES PARA LA TOMA DE

DATOS 5.2. 1. Analizadores de redes eléctricas. *Manual de Auditorías Energéticas En Comunidades de Regantes*, 59.

Urquiza Morales, M. (2020). *Tecnología de comunicaciones WISUN como solución IOT para las redes eléctricas inteligentes*.

Wendling, M. (2010). Sensores. *Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2010*, 20.

Yangui, S. (2020). A Panorama of Cloud Platforms for IoT Applications Across Industries. *Sensors*, 20(9). <https://doi.org/10.3390/s20092701>

ANEXOS

Anexo 1. Carta de Auspicio por parte del presidente de la comunidad



COMUNA "ELOY ALFARO" TURUCU
 CANTÓN COTACACHI - PARROQUIA SAN FRANCISCO
FILIAL UNORCAC - FENOCIN

Acuerdo Ministerial N° 464
 Fundada legalmente el 12 de Mayo / 1938
 por el Ministerio de Previsión Social

CARTA DE AUSPICIO

18 de agosto, 2021

Ing. Daniel Jaramillo V, MSc
COORDINADOR CIERCOM-CITEL

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

Presente

Reciba un cordial y atento saludo a nombre de la Comuna Eloy Alfaro Turucu, a su vez deseándole éxitos en las funciones que desempeña dentro de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.

Por este conducto me permito informar a usted que yo, Luis Alberto Bonilla Bonilla en calidad de Presidente de la Comuna Eloy Alfaro Turucu, me comprometo a apoyar a la estudiante Guevara Panamá Karla Johanna con cedula de identidad número 100409154-0 en todo lo concerniente a información y acceso a la comuna para la aplicación del proyecto Desarrollo de un sistema inteligente de medición y gestión del consumo de agua potable utilizando tecnología inalámbrica Wi-SUN para la Junta de Agua de la Comuna Eloy Alfaro Turucu de la parroquia San Francisco en la ciudad de Cotacachi que ejecutará la mencionada estudiante.

Es todo cuanto puedo informar en el presente documento

Atentamente,

Sr. Luis Alberto Bonilla Bonilla
PRESIDENTE DE LA COMUNA ELOY ALFARO TURUCU

Anexo 2. Autorización del uso del agua



Ministerio del Ambiente y Agua,
y Transición Ecológica

I-1743-2020 (Aut)
AUTORIZACION DE USO DE AGUA
SEPTIEMBRE-2021

MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICION ECOLOGICA - DIRECCIÓN ZONAL 1 IMBABURA - OFICINA TECNICA IBARRA- Ibarra, 09 de septiembre del 2021, a las 09h44.- **VISTOS:** Avoco conocimiento de la presente causa en calidad de Responsable de la Oficina Técnica Ibarra - Dirección Zonal Imbabura – Ministerio del Ambiente y Agua, según Memorando Nro. MAAE-DZDI-2020-0815-M de fecha 22 de julio de 2020. A esta dependencia comparece el Sr. Luis Alberto Bonilla Bonilla, Presidente de la Comuna Eloy Alfaro de Turuco, quien manifiesta y solicita: que en concesión de fecha 4 de octubre de 1994, el Ex CNRH concesiono a favor de la comuna Eloy Alfaro el derecho de uso de 5 vertientes de agua ubicadas en el sector de Iltaqi Chiquito, en un caudal de 1.94 lt/sg por tiempo indefinido. Que con resolución del fecha 10 de diciembre de 2019 la Ex SENAGUA procedió a la Cancelación de las aguas en base a la normativa legal que prohíbe los usos de agua en tiempo indefinido. Con este antecedente solicita nuevamente la autorización de uso de agua de los 5 ojos de agua e4n un caudal de 1.94 lt/sg para uso de las comunas Eloy Alfaro, Topo Grande, Anrabi y San Miguel. Concluida la causa y estando en estado de resolver se considera lo siguiente: **PRIMERO.- DE LA COMPETENCIA:** Los artículos 12, 313 y 318 de la Constitución de la República del Ecuador consagran el principio de que el agua es patrimonio nacional estratégico, de uso público, dominio inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos, reservando para el Estado el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos. Prohibiendo toda forma de privatización y prescribiendo que el Estado a través de la Autoridad Única del Agua, será responsable directa de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano y riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. De conformidad a lo establecido en el Art. 123 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, la Autoridad Única del Agua ejerce jurisdicción nacional en materia de recursos hídricos y por delegación la autoridad administrativa en la jurisdicción respectiva. La Autoridad Única del Agua en sus niveles desconcentrados ejercerá la competencia administrativa para conocer, tramitar y resolver, en primera instancia, las peticiones que para el otorgamiento de autorizaciones de uso o aprovechamiento del agua se presenten así como para ordenar su registro, mediación y resolución de conflictos, sin perjuicio de los derechos colectivos y de conformidad al Decreto Ejecutivo Nro. 1007 de 04 de marzo de 2020, Acuerdo al Ministeriales MAAE-2020-023 Y MAAE-2020-024, la Dirección Zonal 1 Imbabura es competente, para conocer tramitar y Resolver la presente causa. A la solicitud se le ha dado el trámite estipulado de conformidad a la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua y su Reglamento de Aplicación a la Ley, sin que se haya omitido solemnidad sustancial alguna que influya en su decisión, por lo que se declara la



Dirección: Calle 10 de Agosto y Calle 10 de Agosto, Quito, Ecuador. Código postal: 170100, Ibarra, Imbabura.
Teléfono: 05-31-313131 y 05-31-313131

Gobierno del Encuentro | Juntos lo logramos



República
del Ecuador

Ministerio del Ambiente y Agua,
y Transición Ecológica

validez de todo lo actuado. **SEGUNDO - MEDIOS APORTADOS AL PROCESO.-** A la solicitud presentada se le ha dado el trámite estipulado en el Art. 108 y 109 del Reglamento General para la Aplicación de la Ley de Recursos Hídricos Uso y Aprovechamiento del Agua y, con fundamento en el derecho del debido proceso, a la tutela efectiva, imparcial y expedita, establecido en la Constitución de la República del Ecuador, sujeto a los principios de seguridad jurídica, de inmediación, celeridad y a una justicia sin dilaciones; y, sin que se haya omitido solemnidad sustancial alguna, se declara la validez del proceso de todo lo actuado, en concordancia con el Art. 76 ibídem. a.- De autos consta la solicitud de autorización de uso de agua presentada por el Sr. Luis Alberto Bonilla Bonilla, Presidente de la Comuna Eloy Alfaro de Turuco, quien adjunta la documentación de respaldo. De autos consta la providencia de calificación de la petición de autorización de uso de agua, se fija número de expediente, razón de la secretaria jurídica, sobre la entrega de las comisiones de fijaciones de carteles dirigidas mediante comisión librada al señor Comisario Nacional del cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. b.- De autos no consta oposiciones al pedido de autorización de la comuna Eloy Alfaro de Turuco. De autos consta la providencia en la cual se señala día y hora para el cumplimiento de la diligencia de Inspección Técnica, designando al Ing. Juan Carlos Orbe, Analista Técnico del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, para que lleve a cabo la diligencia de inspección técnica; se adjunta la razón de notificación y acta de posesión de perito. c.- De autos consta el informe técnico Nro. MAAE-DZI-JCO-069-2021, remitido por el Ing. Juan Carlos Orbe, en el cual manifiesta en el acápite "6.- **CONCLUSIONES.-** a.- *La Comuna Eloy Alfaro de Turuco, representada por el Sr. Luis Alberto Bonilla Bonilla en calidad de Presidente, solicita la autorización de uso de agua de los 5 ojos de agua en un caudal de 1.94 lt/sg permanentes para uso de las comunas Eloy Alfaro, Topo Grande, Anrabi y San Miguel, toda vez que se aplicó la Transitoria Séptima de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos a su derecho establecido por tiempo indefinido.* b.- *Realizada la diligencia correspondiente, se confirma que los peticionarios actualmente están haciendo uso de 4 vertientes ubicadas a pocos metros unas de otras, en el sector de Iltaquí, parroquia San Francisco, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, y únicamente se está legalizando un derecho de uso de agua.* c.- *La comuna Eloy Alfaro deberá conformarse en junta de usuarios de agua Eloy Alfaro, por ser este la entidad legal que debe administrar el agua con todos sus derechos y obligaciones, para lo cual se debe dar un tiempo para su conformación.* 6.- **RECOMENDACIONES.-** a.- *Que es procedente emitir la correspondiente AUTORIZACION DE USO DE AGUAS a favor de la Comuna Eloy Alfaro, representada por el Sr. Luis Alberto Bonilla Bonilla en calidad de Presidente, del derecho de uso de cuatro vertientes que afloran en el mismo sector de Iltaquí, parroquia San Francisco, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, en un caudal permanente de 1.94 lt/sg para uso doméstico y consumo de los sectores Eloy Alfaro, Topo Grande, Anrabi y San Miguel, a captarse en las coordenadas geográficas siguientes: Latitud: 10.033.059 mN; Longitud: 800.522 mE; Cota 2.551 msnm.* b.- *Se deberá mantener la zona de afloramiento de las aguas sin explotación forestal y de ser posible aumentar la zona de cobertura vegetal para garantizar la permanencia de dichas fuentes de agua en el sitio..."* c.- De autos consta la



República
del Ecuador

Ministerio del Ambiente y Agua,
y Transición Ecológica

providencia en la cual se agrega al proceso el Estudio Técnico realizado por el Ing. Juan Carlos Orbe y se corre traslado a las partes por el plazo de tres días a fin de que apruebe o realice observaciones pertinentes, de igual forma constan los escritos presentados por los peticionarios del agua, donde aprueba el informe técnico y solicita la respectiva resolución. Una vez que se ha cumplido con las diligencias previstas y solicitadas a petición de parte, sin más diligencias que evacuar, pasan los autos a resolver. **TERCERO: FUNDAMENTACIÓN JURIDICA: DEL DEBIDO PROCESO Y LA GARANTIA DE LA MOTIVACIÓN:** El derecho al debido proceso está configurado por un amplio abanico de garantías constitucionales, el cual debe ser interpretado como un mínimo de presupuestos y condiciones que se debe tomar en cuenta desde el ingreso al proceso y durante el transcurso de toda la instancia, para concluir con una decisión motivada que encuentre concreción en la ejecución de lo dispuesto por los jueces o autoridades administrativas. En ese sentido, el derecho al debido proceso se muestra como un conjunto de garantías con las cuales se pretende que el desarrollo de las actividades en el ámbito judicial o administrativo se sujete a reglas mínimas, con el fin de salvaguardar los derechos protegidos por la Constitución, constituyéndose en un límite a la actuación discrecional de los jueces y demás autoridades administrativas. Por lo tanto, el derecho al debido proceso es el eje articulador de la validez procesal, ya que la vulneración de sus garantías constituye un atentado grave a los derechos de las personas dentro de una causa, considerando que precisamente las garantías del debido proceso son las encargadas de asegurar que una causa se desarrolle bajo el total respeto de derechos y demás garantías constitucionales. Estas previsiones constitucionales tienen su correspondencia con la Convención Americana Sobre Derechos Humanos (Pacto de San José) del 22 de noviembre de 1969, ordenamiento jurídico interamericano del cual es suscriptor el Ecuador, y por el que se exige a los Estados partes, la observancia de Garantías Judiciales como la prevista en el Artículo 8.1 en el sentido de que *"Toda persona tiene derecho a ser oída, con las debidas garantías y dentro de un plazo razonable por un juez o tribunal competente, independiente e imparcial, establecido con anterioridad por la ley, en la sustanciación de cualquier acusación penal formulada contra ella..."*. Así pues, conforme se puede constatar en autos, que el debido proceso se constituye en el principio básico de observancia fiel en el presente caso. De este modo, el debido proceso constituye el conjunto de garantías sustantivas y procesales tendientes a proteger a las partes dentro de un proceso administrativo o judicial con el fin de evitar arbitrariedades por parte de los operadores de justicia, que benefician a una parte en detrimento de la otra. En este sentido, una decisión adecuadamente fundamentada, será aquella en la que se identifiquen las normas y principios jurídicos adoptados en la causa y la explicación de su pertinencia dentro del caso concreto; de tal modo que *"facilite el entendimiento y permita entrever (...) la prolijidad en la utilización de la lógica y la argumentación jurídica y que den cuenta a las partes y al auditorio social en general, de que la decisión adoptada ha sido precedida por un verdadero ejercicio intelectual (...)"*¹. **De la motivación:** La Corte

¹ Corte Constitucional del Ecuador, sentencia N.º 076-13-SEP-CC, caso N.º 1242-10-EP





República
del Ecuador

Ministerio del Ambiente y Agua,
y Transición Ecológica

Constitucional del Ecuador en su sentencia Nro. 012-17-SEP-CC, emitida en el caso Nro. 1270-11-EP ha establecido que la motivación en las resoluciones o actos, como garantía del debido proceso, han de cumplir con tres criterios: **Razonabilidad**: “Una resolución razonable será aquella que hace referencia a la determinación, especificación e individualización de las normas jurídicas constitucionales e infraconstitucionales y demás fuentes de derecho, aplicadas en la resolución de un caso concreto. La Corte Constitucional se ha referido a la razonabilidad como aquel elemento que permite “(...) la determinación clara de las fuentes de derecho en las que la autoridad jurisdiccional fundamenta sus razonamientos, afirmaciones y finalmente su decisión²; **Lógica**: el parámetro de la lógica implica la observancia de dos factores: “la coherencia que debe existir entre las premisas y la conclusión final, y entre ésta y la decisión adoptada; así como, el cumplimiento de la carga argumentativa que el derecho exige para los razonamientos, afirmaciones y finalmente la decisión adoptada por las autoridades jurisdiccionales³; y, **Comprensibilidad** “la aptitud de la decisión para ser fácilmente entendida por parte de los intervinientes en el proceso y del auditorio social en general, que es la ciudadanía (...)”⁴. **CUARTO: MARCO JURÍDICO APLICABLE AL CASO** El Art. 123 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, la Autoridad Única del Agua ejerce jurisdicción nacional en materia de recursos hídricos y por delegación la autoridad administrativa en la jurisdicción respectiva. La Autoridad Única del Agua en sus niveles desconcentrados ejercerá la competencia administrativa para conocer, tramitar y resolver, en primera instancia, las peticiones que para el otorgamiento de autorizaciones de uso o aprovechamiento del agua se presenten así como para ordenar su registro, mediación y resolución de conflictos, sin perjuicio de los derechos colectivos. El Art. 108 del Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua “El procedimiento para atender las autorizaciones de uso y aprovechamiento del agua, será el procedimiento general establecido en este Reglamento” ; **En todo lo demás, esto es, respecto a la información requerida, las condiciones y obligaciones que deben asumir los titulares de una autorización, se estará a lo previsto en esta Ley**, y hallándose la causa en estado de resolver, esta Autoridad **MENCIONA**: Por las consideraciones que anteceden, esta Autoridad con fundamento Técnico y Jurídico. Indicando al recurrente que deberá respetar los derechos de la naturaleza establecidos en el Artículo 71 inciso I y el caudal ecológico de conformidad a lo establecido en el Artículo 318 Inc. IV de la Constitución de la República del Ecuador; respetar el derecho adquirido de las autorizaciones legalmente otorgadas, las mismas estarán sujetas a los derechos y condiciones establecidas en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua; **RESUELVE**: Dentro del expediente de Autorización del derecho de uso del agua, signado con el N° **I-1743-2020 (Aut)** respetar los derechos de la naturaleza establecidos en el Artículo 71 inciso I y el caudal ecológico de conformidad a lo

² Corte Constitucional del Ecuador, sentencia N.º 0295-16-SEP-CC, caso N.º 1435-12-EP

³ Corte Constitucional del Ecuador, sentencias Nros. 021-16-SEP-CC y 295-16-SEP-CC, dictadas dentro de los casos Nros. 0540-12-EP y 1435-12-EP, respectivamente

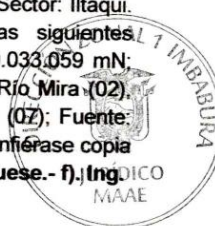
⁴ Corte Constitucional del Ecuador, sentencia Nro. 012-17-SEP-CC, caso Nro. 1270-11-EP



República del Ecuador
Ministerio del Ambiente y Agua,
y Transición Ecológica

Ministerio del Ambiente y Agua,
y Transición Ecológica

establecido en el Artículo 318 Inc. IV de la Constitución de la República del Ecuador; respetar el derecho adquirido de las autorizaciones legalmente otorgadas, las mismas estarán sujetas a los derechos y condiciones establecidas en la Ley vigente. **ACEPTAR**, la petición de Autorización del Derecho de Uso de Agua para consumo humano requerido por la Comuna Eloy Alfaro de Turuco y se dispone: **1.- AUTORIZAR** a favor de la Comuna Eloy Alfaro de Turuco, representada por el Sr. Luis Alberto Bonilla Bonilla en calidad de Presidente, el derecho de uso y aprovechamiento de las aguas de cuatro vertientes que afloran en el mismo sector de Iltaqi, parroquia Sagrario, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, en un caudal permanente de **1.94 lt/sg** para uso doméstico y consumo humano de los sectores Eloy Alfaro, Topo Grande, Anrabi y San Miguel, a captarse en las coordenadas geográficas siguientes: Latitud: 10.033.059 mN; Longitud: 800.522 mE; Cota 2.551 msnm. **2.-** La presente Autorización de Uso, destinada para consumo humano de conformidad al artículo 87 numeral 2 lit. a) de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, se da por el plazo de **veinte años renovables** contados a partir de la ejecutoria de esta resolución. **3.-** Las actividades del uso de agua para la provisión de servicios de agua potable no estará sujeta a tarifa alguna, conforme lo indica el Art. 140 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. **4.-** La Comuna Eloy Alfaro de Turuco, debe conformar una junta de agua de consumo humano quienes serán los que administren el recurso, dotando del servicio a los consumidores, conforme lo establecen la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua y con las reglamentaciones dadas para este tipo de servicio. **5.-** La Comuna Eloy Alfaro de Turuco, Beneficiaria de la presente Autorización de Uso deberá construir las correspondientes obras de captación y regulación de agua a fin de aprovechar únicamente el caudal autorizado, para lo cual en el plazo de 90 días deberán entregar al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica los diseños de las obras de captación reguladas en base al caudal autorizado para su aprobación y posterior orden de construcción. **6.-** La Comuna Eloy Alfaro de Turuco es corresponsable en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua autorizadas así como evitar la tala indiscriminada del bosque andino en el sitio, la quema de vegetación existente en el sector, quedando prohibido todo tipo de contaminación del recurso hídrico, caso contrario se iniciara el procedimiento administrativo sancionador. **7.-** Dese fiel cumplimiento a lo manifestado en el Acuerdo Ministerial 0128 de fecha **13 de diciembre** del 2006, en su Art. 5, literal a, numeral 1, 2 y 3 y Regulación N. DIR-ARCA-RG-008-2017 Reformada. **8.-** Las fuentes hídricas materia de esta Autorización se encuentran ubicadas de acuerdo a la división política territorial y **División Hidrográfica del Ecuador** para la Administración del Agua así: Provincia: Imbabura (**10**), Cantón: Cotacachi (**03**), Parroquia: Sagrario (**01**), Sector: Iltaqi. Código Pfafstetter 15485. La captación se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: cuatro vertientes que afloran en el mismo sector Latitud: 10.033.059 mN; Longitud: 800.522 mE; Cota 2.551 msnm. Vertiente: Pacífico (P), Sistema Río Mira (02), Cuenca: Río Mira (02), Subcuenca: Río Mira (01), Microcuenca: Río Ambi (07); Fuente: cuatro vertientes sin nombre. Ejecutoriada que sea la presente resolución, confíese copia certificada para su inscripción y el Registro Público del Agua.- **Notifíquese.- f), Ing.**



Dirección: Quito, Ecuador Código postal: 170100 Teléfono: +593 2 222 2222

Gobierno | Juntos
del Encuentro | lo logramos



República del Ecuador

Ministerio del Ambiente y Agua,
y Transición Ecológica

Bolívar Montenegro Verdugo – Responsable de Oficina Técnica Ibarra - Dirección Zonal Imbabura – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. CERTIFICO.-

Lo notifico para los fines pertinentes.


Abg. Carla Isabel Torres R.
Secretaría Jurídica.



Dirección: ... Código postal: ...
Teléfono: ...



Anexo 3. Código de programación medición del agua

```

volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos

int PinSensor = 2; //Sensor conectado en el pin 2

float factor_conversion=7.11; //para convertir de frecuencia a caudal

float volumen=0;

float datot;

long dt=0; //variación de tiempo por cada bucle

char datoS[30]= " ";

unsigned long t0 = 0; //millis() del bucle anterior

unsigned long t_ini = 0; //Tiempo de referencia contador.

unsigned long t_imp = 5000 ; //Colocar intervalo de impresión en milisegundos (ms)
// Impresión semanal t_imp = 613566756.4 ms = 7.101467088 días

int i = 0;

//---Función que se ejecuta en interrupción-----
void ContarPulsos ()
{
    NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}

//---Función para obtener frecuencia de los pulsos-----
int ObtenerFrecuencia()
{
    int frecuencia;

    NumPulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos

    interrupts(); //Habilitamos las interrupciones

```

```

delay(1000); //muestra de 1 segundo

noInterrupts(); //Desabilitamos las interrupciones

frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo)

return frecuencia;
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  pinMode(PinSensor, INPUT);

  attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING); //(Interrupcion 0(Pin2),funcion,Flanco de
subida)

  // Serial.println ("Envie 'r' para restablecer el volumen a 0 Litros");

  t0=millis();
}

void loop ()
{
  if (Serial.available()) {

    if(Serial.read()=='r')volumen=0;//restablecemos el volumen si recibimos 'r'

  }

  float frecuencia=ObtenerFrecuencia(); //obtenemos la Frecuencia de los pulsos en Hz

  float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m

  float caudal = (caudal_L_m);

  //float caudal_L_h=caudal_L_m*60; //calculamos el caudal en L/h

  dt=millis()-t0; //calculamos la variación de tiempo

```



```

t0=millis();

volumen=volumen+(caudal_L_m/60)*(dt/1000); // volumen(L)=caudal(L/s)*tiempo(s)

float m3 = volumen/1000;

char c[10] = "";

char vol[10] = "";

char m[10]= "";

dtostrf(caudal,5,3,c);

dtostrf(volumen,5,3,vol);

dtostrf(m3,5,3,m);

// char* formato= "Bucle %s";

sprintf(datoS,"v,%s,m,%s,c,%s",vol,m,c);

//----Enviamos por el puerto serie-----

//Serial.print ("FrecuenciaPulsos: ");

// Serial.print (frecuencia,0);

//Serial.print ("C");

if (t0 - t_ini >= t_imp){

    t_ini = t0;

    i++;

    if (i == 4){

        Serial.print (datoS);

        delay (500);

        Serial.print (datoS);

        //Serial.print (" , t: ");

        //Serial.print (t0);

        //Serial.println (" ms");

```

```

    i = 0;

    volumen = 0;

}

}

}

```

Anexo 4. Código utilizado en el desarrollo de la página web.

```

https://utneduec-
my.sharepoint.com/:f/g/personal/kjguevarap_utn_edu_ec/Eq3z371YToZGgnxVeZnueuoBM
_LYBBjRrZGtyMyTqo-B5A?e=7HMDcL

```

Anexo 5. Estructura base de datos

```

-- phpMyAdmin SQL Dump
-- version 5.2.0
-- https://www.phpmyadmin.net/
--
-- Servidor: 127.0.0.1
-- Tiempo de generación: 23-10-2022 a las 20:56:15
-- Versión del servidor: 10.4.24-MariaDB
-- Versión de PHP: 7.4.29

SET SQL_MODE = "NO_AUTO_VALUE_ON_ZERO";
START TRANSACTION;
SET time_zone = "+00:00";

/*!40101 SET @OLD_CHARACTER_SET_CLIENT=@@CHARACTER_SET_CLIENT */;
/*!40101 SET @OLD_CHARACTER_SET_RESULTS=@@CHARACTER_SET_RESULTS */;
/*!40101 SET @OLD_COLLATION_CONNECTION=@@COLLATION_CONNECTION */;
/*!40101 SET NAMES utf8mb4 */;

--
-- Base de datos: `turucu`
--
--
-- -----
--
-- Estructura de tabla para la tabla `consumo`
--
CREATE TABLE `consumo` (
  `idusuario` int(20) DEFAULT NULL,
  `litros` float DEFAULT NULL,
  `metros` float DEFAULT NULL,
  `caudal` float DEFAULT NULL,

```

```

    `fecha` timestamp NULL DEFAULT current_timestamp(),
    `estado` int(20) DEFAULT NULL,
    `nfactura` int(20) NOT NULL
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4;

--
-- Volcado de datos para la tabla `consumo`
--

INSERT INTO `consumo` (`idusuario`, `litros`, `metros`, `caudal`,
`fecha`, `estado`, `nfactura`) VALUES
(3, 12, 17, 12, '2022-09-01 00:04:27', 1, 1),
(1, 10, 10, 10, '2022-09-08 17:24:32', 1, 2),
(4, 10, 10, 10, '2022-09-08 17:24:50', 1, 3);

-----

--
-- Estructura de tabla para la tabla `datos`
--

CREATE TABLE `datos` (
  `idusuario` int(20) DEFAULT NULL,
  `cedula` int(20) DEFAULT NULL,
  `telefono` int(20) DEFAULT NULL,
  `direccion` text DEFAULT NULL,
  `nit` int(20) DEFAULT NULL,
  `nfactura` int(20) DEFAULT NULL
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4;

--
-- Volcado de datos para la tabla `datos`
--

INSERT INTO `datos` (`idusuario`, `cedula`, `telefono`, `direccion`,
`nit`, `nfactura`) VALUES
(1, 1004091540, 554263, 'cotacachi', 123456, 2),
(2, 1002301452, 554263, 'Cotacachi', 123, 2),
(3, 1004091540, 554263, 'cotacachi', 123, 2),
(4, 1002301453, 2554263, NULL, 100230145, NULL);

-----

--
-- Estructura de tabla para la tabla `factura`
--

CREATE TABLE `factura` (
  `nfactura` int(20) DEFAULT NULL,
  `fecha` varchar(50) DEFAULT NULL,
  `nombre` varchar(50) DEFAULT NULL,
  `apellido` varchar(50) DEFAULT NULL,
  `total` double DEFAULT NULL,
  `metros` int(20) NOT NULL
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4;

```

```

--
-- Volcado de datos para la tabla `factura`
--

INSERT INTO `factura` (`nfactura`, `fecha`, `nombre`, `apellido`,
`total`, `metros`) VALUES
(1, '08-09-2022 12:41', 'Andrés', 'Paredes', 1.45, 0),
(2, '08-09-2022 12:43', 'Karla', 'Guevara', 1.25, 0),
(3, '08-09-2022 12:43', 'Salma', 'Alboran', 1.25, 0);

-----

--
-- Estructura de tabla para la tabla `rol`
--

CREATE TABLE `rol` (
  `idrol` int(11) NOT NULL,
  `rol` varchar(20) DEFAULT NULL
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1;

--
-- Volcado de datos para la tabla `rol`
--

INSERT INTO `rol` (`idrol`, `rol`) VALUES
(1, 'Administrador '),
(2, 'Usuario');

-----

--
-- Estructura de tabla para la tabla `usuario`
--

CREATE TABLE `usuario` (
  `idusuario` int(11) NOT NULL,
  `nombre` varchar(50) DEFAULT NULL,
  `apellido` varchar(50) DEFAULT NULL,
  `correo` varchar(100) DEFAULT NULL,
  `usuario` varchar(15) DEFAULT NULL,
  `clave` varchar(100) DEFAULT NULL,
  `rol` int(11) DEFAULT NULL
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1;

--
-- Volcado de datos para la tabla `usuario`
--

INSERT INTO `usuario` (`idusuario`, `nombre`, `apellido`, `correo`,
`usuario`, `clave`, `rol`) VALUES
(1, 'Karla', 'Guevara', 'karla@gmail.com', 'admin', '123', 1),
(2, 'Pamela', 'Gómez', 'pamela@gmail.com', 'user1', '123', 2),
(3, 'Andrés', 'Paredes', 'andresparedes@gmail.com', 'user3', '123',
2),

```

```

(4, 'Salma', 'Alboran', 'salmagomez@gmail.com', 'salmagomez',
'12345678', 2);

--
-- Índices para tablas volcadas
--
--
-- Indices de la tabla `consumo`
--
ALTER TABLE `consumo`
  ADD PRIMARY KEY (`nfactura`),
  ADD KEY `idusuario` (`idusuario`) USING BTREE;

--
-- Indices de la tabla `datos`
--
ALTER TABLE `datos`
  ADD UNIQUE KEY `idusuario` (`idusuario`);

--
-- Indices de la tabla `factura`
--
ALTER TABLE `factura`
  ADD UNIQUE KEY `nfactura` (`nfactura`);

--
-- Indices de la tabla `rol`
--
ALTER TABLE `rol`
  ADD PRIMARY KEY (`idrol`);

--
-- Indices de la tabla `usuario`
--
ALTER TABLE `usuario`
  ADD PRIMARY KEY (`idusuario`),
  ADD KEY `rol` (`rol`);

--
-- AUTO_INCREMENT de las tablas volcadas
--
--
-- AUTO_INCREMENT de la tabla `consumo`
--
ALTER TABLE `consumo`
  MODIFY `nfactura` int(20) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  AUTO_INCREMENT=500;

--
-- AUTO_INCREMENT de la tabla `rol`
--
ALTER TABLE `rol`
  MODIFY `idrol` int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT, AUTO_INCREMENT=3;

```

```
--
-- AUTO_INCREMENT de la tabla `usuario`
--
ALTER TABLE `usuario`
  MODIFY `idusuario` int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  AUTO_INCREMENT=11;

--
-- Restricciones para tablas volcadas
--

--
-- Filtros para la tabla `consumo`
--
ALTER TABLE `consumo`
  ADD CONSTRAINT `consumo_ibfk_1` FOREIGN KEY (`idusuario`)
  REFERENCES `usuario` (`idusuario`) ON DELETE CASCADE ON UPDATE
  CASCADE;

--
-- Filtros para la tabla `datos`
--
ALTER TABLE `datos`
  ADD CONSTRAINT `datos_ibfk_1` FOREIGN KEY (`idusuario`) REFERENCES
  `usuario` (`idusuario`) ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE;

--
-- Filtros para la tabla `factura`
--
ALTER TABLE `factura`
  ADD CONSTRAINT `factura_ibfk_1` FOREIGN KEY (`nfactura`)
  REFERENCES `consumo` (`nfactura`) ON DELETE CASCADE ON UPDATE
  CASCADE;

--
-- Filtros para la tabla `usuario`
--
ALTER TABLE `usuario`
  ADD CONSTRAINT `usuario_ibfk_1` FOREIGN KEY (`rol`) REFERENCES
  `rol` (`idrol`) ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE;
COMMIT;

/*!40101 SET CHARACTER_SET_CLIENT=@OLD_CHARACTER_SET_CLIENT */;
/*!40101 SET CHARACTER_SET_RESULTS=@OLD_CHARACTER_SET_RESULTS */;
/*!40101 SET COLLATION_CONNECTION=@OLD_COLLATION_CONNECTION */;
```

Anexo 6. Fotografías instalación del sistema

Figura 1. Acoplamiento de los dispositivos correspondientes al nodo cliente dentro de su caja protectora



Figura 2. Acoplamiento del nodo servidor o Gateway dentro de su caja protectora



Figura 3. Instalación del nodo servidor en la Junta Administradora de Aguas



Figura 4. Instalación del nodo servidor en la Junta Administradora de Aguas



Figura 4. Instalación del sensor y electroválvula en uno de los domicilios de los usuarios



Figura 5. Instalación del sensor y electroválvula en uno de los domicilios de los usuarios



Figura 6. Instalación del nodo cliente en uno de los domicilios de los usuarios



Anexo 7. Datasheet de Arduino



Arduino® UNO R3

Product Reference Manual
SKU: A000066



Description

The Arduino UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile microcontroller is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor. This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

Target areas:

Maker, introduction, industries

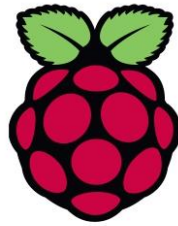


Features

- **ATMega328P** Processor
 - **Memory**
 - AVR CPU at up to 16 MHz
 - 32KB Flash
 - 2KB SRAM
 - 1KB EEPROM
 - **Security**
 - Power On Reset (POR)
 - Brown Out Detection (BOD)
 - **Peripherals**
 - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
 - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
 - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
 - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
 - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
 - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
 - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
 - Six PWM channels
 - Interrupt and wake-up on pin change
- **ATMega16U2** Processor
 - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
- **Memory**
 - 16 KB ISP Flash
 - 512B EEPROM
 - 512B SRAM
 - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
- **Power**
 - 2.7-5.5 volts

Anexo 8. Datasheet Raspberry Pi 4

DATASHEET



Raspberry Pi 4 Model B

Release 1

June 2019

Copyright 2019 Raspberry Pi (Trading) Ltd. All rights reserved.



2 Features

2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
 - Up to 6x UART
 - Up to 6x I2C
 - Up to 5x SPI
 - 1x SDIO interface
 - 1x DPI (Parallel RGB Display)
 - 1x PCM
 - Up to 2x PWM channels
 - Up to 3x GPCLK outputs



2.3 Software

- ARMv8 Instruction Set
- Mature Linux software stack
- Actively developed and maintained
 - Recent Linux kernel support
 - Many drivers upstreamed
 - Stable and well supported userland
 - Availability of GPU functions using standard APIs

3 Mechanical Specification

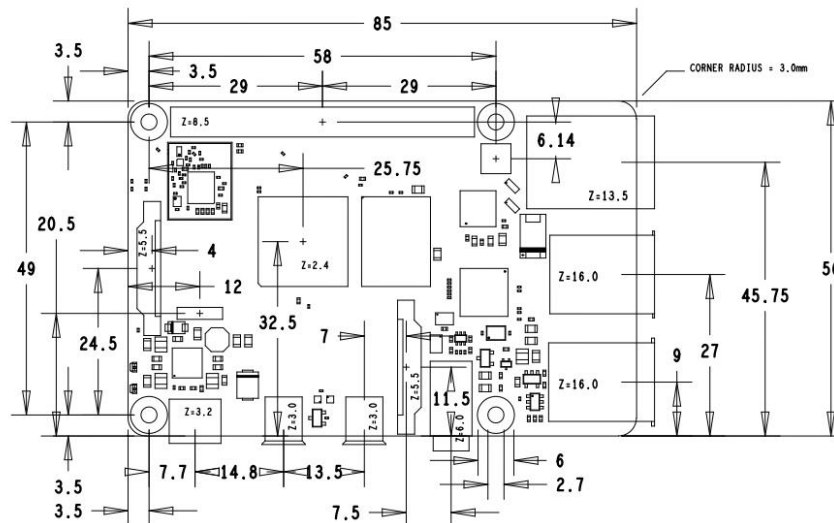


Figure 1: Mechanical Dimensions

4 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 2 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.



Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
V _{IN}	5V Input Voltage	-0.5	6.0	V

Table 2: Absolute Maximum Ratings

Please note that VDD_IO is the GPIO bank voltage which is tied to the on-board 3.3V supply rail.

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V _{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	-	-	TBD	V
V _{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	TBD	-	-	V
I _{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	TBD	μA
C _{IN}	Input capacitance	-	-	TBD	-	pF
V _{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOL = -2mA	-	-	TBD	V
V _{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOH = 2mA	TBD	-	-	V
I _{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 0.4V	TBD	-	-	mA
I _{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 2.3V	TBD	-	-	mA
R _{PU}	Pullup resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ
R _{PD}	Pulldown resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

Table 3: DC Characteristics

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time ^a	-	TBD	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time ^a	-	TBD	-	ns

^a Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IO = 3.3V

Table 4: Digital I/O Pin AC Characteristics



Figure 2: Digital IO Characteristics

Anexo 9. Datasheet OpenMote B

SKU: IS.OMB-001

Rev. 0: 22-08-2019



INDUSTRIAL SHIELDS

OPEN MOTE B

[Open Mote B User Guide:](#)





INDUSTRIAL SHIELDS



1 General Description Open Mote B product

1.1 Industrial Internet of Things development platform

The OpenMote B is the ultimate hardware development and prototyping platform for the Industrial Internet of Things (IIoT), specifically to researchers and developers working towards next-generation long-range and low-power wireless field area networks based on the IPv6 stack. It is built around the well-supported Texas Instruments CC2538 ARM-Cortex-M3 micro-controller, and it features simultaneous multi-band operation in the 2.4 GHz and 868/915MHz ISM bands with complete support for the latest IEEE 802.15.4 standards, including the MR-OFDM modulations of IEEE 802.15.4g-2012.

2 Technical Specifications

2.1 Micro-Controller (Texas Instruments, CC2538)

- **ARM Cortex-M3 with code pre-fetch**
 - Running at 16 MHz or 32 MHz
 - 32 Kbytes RAM
 - 512 Kbytes FLASH
- **On-chip peripherals:**
 - 4x general purpose, 1x sleep timer
 - 1x 12 bit ADC with 8 channels
 - 2x SPI, 2x UART, 1x I2C
- **Security hardware acceleration:**
 - AES-128/256/SHA2 encryption
 - ECC-128/256 secure key exchange
- **Low-power operation:**
 - Active mode: 7/13mA (16/32 MHz)
 - LPM1: 600uA (full retention, 4us wake-up)
 - LPM2: 1.3 uA (16 Kbyte RAM retention, 128us wake-up, wake-up from RTC)
 - LPM3: 0.4 uA (16 Kbyte RAM retention, 128us wake-up, wake-up from GPIO)

2.2 Transceiver 1 (Texas Instruments, CC2538)

- **Operates in the 2.4 GHz ISM band with support for IEEE 802.15.4-2006**
 - Modulation: OQPSK with DSSS
 - Data rate: 250 kbps
 - Receiver sensitivity: -97 dBm
 - Transmit power: 7 dBm
 - Transmit current: 24 mA at 0 dBm
 - Receive current: 20 mA

2.3 Transceiver 2 (ATMEL, AT86RF215)

- **Operates in the 868/915MHz and 2.4 GHz ISM bands with support for IEEE 802.15.4g-2012**
 - Modulation: MR-FSK/OFDM/O-QPSK
 - Data rate: 6.25 kbps to 2400 kbps
 - Receiver sensitivity: -123 dBm
 - Transmit power: 14.5dBm
 - Transmit current: 62 mA at 14 dBm
 - Receive current: 28 mA

3 Platform Characteristics

- **Human interfacing:** The main board includes 4 LEDs (Green, Yellow, Orange and Red) and a user button which are intended for debugging purposes. In addition, the main board also includes a reset button that allows to perform a hardware reset.
- **Serial communications:** The main board can communicate with a computer using a UART port on the CC2538. The solution is based on the FTDI FT2232H chip, a Serial-to-USB converter that allows to communicate with a computer using a standard UART port. In addition, the FTDI chip allows to program the CC2538 directly using the internal bootloader and the cc2538-bsl Python script.
- **Board expansion:** The main OpenMote-B board includes an expansion port (8 pins with 2.54 mm spacing) that can be used for debugging or to connect daughter boards, i.e., the OpenMote-B sensors board. The expansion board includes a VCC (2.5V) and a GND pin, as well as six configurable pins.
- **Extended security:** The main OpenMote-B board includes hardware-accelerated support for cryptographic functions using SHA2, AES-128/256, ECC-128/256 and RSA algorithms.

- **Antenna connectors:** The main board includes two SMA antenna connectors for the Sub-GHz and 2.4 GHz antennas. The Sub-GHz antenna connector is directly connected to the Sub-GHz radio on the AT86RF215. The 2.4 GHz antenna is multiplexed using an RF switch to the CC2538 and the AT86RF215 radio transceivers. The direction of the RF switch can be controlled using two CC2538 pins.
- **Power:** The main board can be powered from a USB port (5V) through an A male plug connector, or from two AA batteries (3V) located on the back of the board. The board features an auto-switching mechanism that selects the USB source whenever it is available and seamlessly transitions to the AA batteries when disconnected. Finally, the board includes an on/off button to disconnect the two AA batteries when not used.
- **Current sensing:** The main board includes two ports (3 pins with 2.54 mm spacing) to measure current consumption of the whole system during operation. The first port measures the current consumption of the CC2538 chip, whereas the second port measures the current consumption of the AT86RF215 chip.
- **JTAG port:** The main board includes a 10-pin ARM connector that allows to load and debug code using an external JTAG probe. The interface is compatible with the main toolchains: Code Composer Studio, IAR Embedded Workbench and ARM.

4 System overview

4.1 Texas Instruments CC2538

The Texas Instruments CC2538 is a wireless micro-controller SoC (System on Chip) targeted at high-performance applications. It combines a powerful ARM Cortex-M3 running at 32 MHz, with 32 Kbytes of RAM and 512 Kbytes of Flash, with a robust 2.4 GHz radio transceiver compatible with the IEEE 802.15.4 standard. In addition, the CC2538 includes various peripherals to interface the processor with other systems: 2x SPI, 2x UART, 1x I2C.

Anexo 10. Datasheet sensor YF-S201

MODEL: YF-S201

Description:

Water flow sensor consists of a plastic valve body, a water rotor, and a hall-effect sensor. When water flows through the rotor, rotor rolls. Its speed changes with different rate of flow. The hall-effect sensor outputs the corresponding pulse signal. This one is suitable to detect flow in water dispenser or coffee machine. We have a comprehensive line of water flow sensors in different diameters. Check them out to find the one that meets your need most.

Features:

- Compact, Easy to Install
- High Sealing Performance
- High Quality Hall Effect Sensor
- RoHS Compliant

Specifications:

- Working Voltage: DC 4.5V~24V
- Normal Voltage: DC 5V~18V
- Max. Working Current: 15mA (DC 5V)
- Load capacity: ≤ 10 mA (DC 5V)
- Flow Rate Range: 1~30L/min
- Load Capacity: ≤10mA (DC 5V)
- Operating Temperature: ≤80°C
- Liquid Temperature: ≤120°C
- Operating Humidity: 35%~90%RH
- Allowing Pressure: ≤1.75MPa
- Storage Temperature: -25~+ 80°C
- Storage Humidity: 25%~95%RH
- Electric strength 1250V/min
- Insulation resistance ≥ 100MQ
- External threads: 1/2"
- Outer diameter: 20mm
- Intake diameter: 9mm
- Outlet diameter: 12mm



Application:

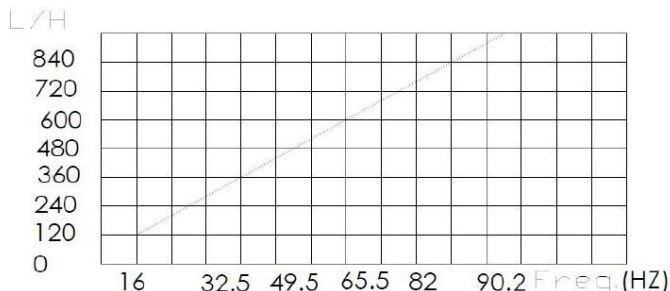
Water heaters, credit card machines, water vending machine, flow measurement device!

Circuit:

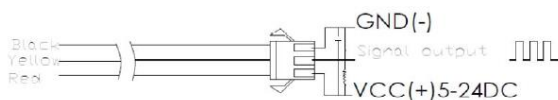
- Red: Positive
- Black: GND
- Yellow: Output signal

Flow Range: 100L/H-1800H-L/H

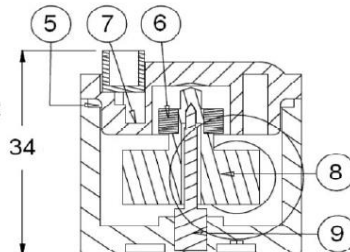
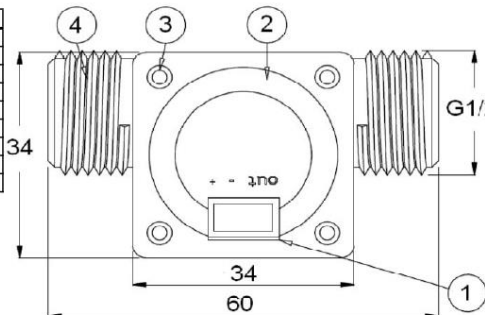
Flow (L/H)	Freqz. (Hz)	Erro range
120	16	±10 5%
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	



Connection method:



N°	Item	Material
1	Wire	PVC
2	Bonnet	PA
3	Screw	Zinc Plated
4	Valve Body	PA
5	Press Valve	
6	Magnet	
7	Hall	
8	Impeller	POM
9	Steel Shaft	SUS304



Closed

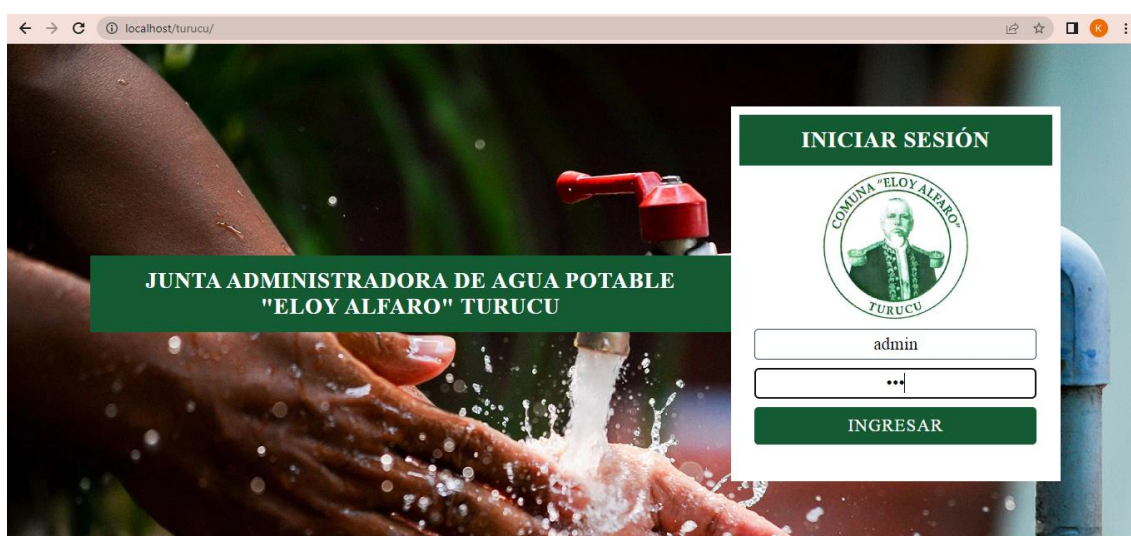
Anexo 11. Manuales de administrador y usuario

MANUAL DE ADMINISTRADOR

Como primer paso el usuario administrador deberá dirigirse a un navegador y colocar la dirección IP correspondiente al servidor local en este caso 192.168.1.15, una vez se digite la dirección se mostrará la ventana de inicio de sesión representada en la Figura 1 donde se deberán digitar las credenciales entregadas al usuario administrador

Figura 1

Ventana de inicio de sesión

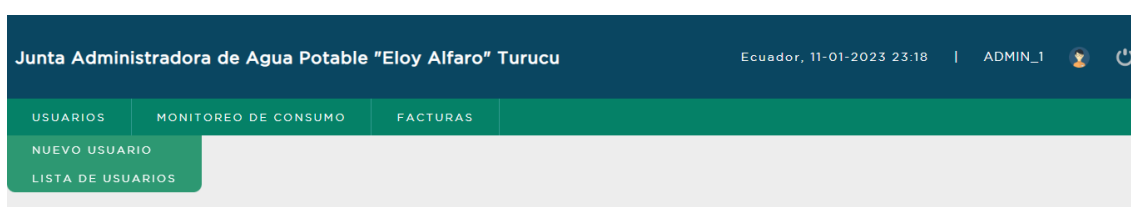


Fuente: Autoría

Una vez se ha iniciado sesión se mostrará la ventana representada en la Figura 2 que cuenta con 3 pestañas una de USUARIOS, MONITOREO DE CONSUMO Y FACTURAS

Figura 2

Ventana Principal



Fuente: Autoría

Usuarios

Creación de usuarios.

Para la creación de usuarios, deberá dirigirse a la pestaña nuevo usuario, llenar todos los campos solicitados y asignar un rol, este puede ser de usuario administrador con acceso a todas las funciones, o solo de usuario con acceso únicamente a la pestaña de monitoreo de consumo. Una vez llenos todos los campos se crea el nuevo usuario como se muestra en la Figura 3

Figura 3

Creación de nuevo usuario



The screenshot shows a web application interface with a green header and a sidebar. The header contains three tabs: 'USUARIOS', 'MONITOREO DE CONSUMO', and 'FACTURAS'. The sidebar has two buttons: 'NUEVO USUARIO' (highlighted with a red box) and 'LISTA DE USUARIOS'. The main content area displays a form for creating a new user with the following fields:

- Nombre: Daniel
- Apellido: Toledo
- Correo Electrónico: danieltoledo@gmail.com
- Usuario: danieltoledo
- Clave:
- Tipo de Usuario: Usuario (dropdown menu)

A blue button labeled 'Crear Usuario' is located at the bottom right of the form. The browser address bar at the bottom left shows 'localhost/turucu/sistema/registro_usuario.php'.

Fuente: Autoría

Creado el nuevo usuario se puede verificar su creación en la pestaña LISTA DE USUARIOS como se muestra en la Figura 4, así mismo, cada usuario creado podrá ser editado o eliminado en las opciones mostradas en la parte derecha de cada uno

Figura 4*Lista de usuarios*

ID	Nombre	Apellido	Correo	Usuario	Rol	Configuración	Acciones
1	Karla	Guevara	karla@gmail.com	admin	Administrador	Editar	Habilitar o Deshabilitar
2	Pamela	Gómez	pamela@gmail.com	user1	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar
3	Andrés	Paredes	andresparedes@gmail.com	user3	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar
4	Salma	Alboran	salmagomez@gmail.com	salmagomez	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar
11	Juan	Perez	juanperez@gmail.com	user4	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar
12	Daniel	Toledo	danieltoledo@gmail.com	danieltoledo	Usuario	Editar Eliminar	Habilitar o Deshabilitar

Fuente: Autoría

Habilitación y deshabilitación del servicio

Para la gestión del corte del servicio deberá dirigirse a la sección USUARIOS en la pestaña LISTA de USUARIOS se seleccionará la acción Habilitar o Deshabilitar con lo cual se mostrará la ventana representada en la Figura 5. En este caso vamos a Deshabilitar el servicio por lo que seleccionaremos la acción Deshabilitar.

Figura 5*Sistema de control de acciones*

Junta Administradora de Agua Potable "Eloy Alfaro" Turucu

Ecuador, 04-12-2022 14:28 | ADMIN_1

USUARIOS | MONITOREO DE CONSUMO | FACTURAS

Sistema de Control de Acciones
 Nombre: Karla Guevara
 Consumo: 0.00 L
 Estado: Inactivo

Habilitar | **Deshabilitar** | Enviar

Fuente: Autoría

Realizado el paso anterior deberá regresar nuevamente a la acción Habilitar y Deshabilitar en la pestaña LISTA USUARIOS (Figura 5). Una vez estamos nuevamente en la ventana del Sistema de control de acciones presionamos la acción Enviar como se muestra en la Figura 6 y se mostrará un mensaje en parte superior izquierda de la ventana lo que es un indicativo de que el sistema ha sido deshabilitado.

Figura 54

Sistema de control de acciones



Fuente: Autoría

Monitoreo de consumo

Esta sección permite visualizar el consumo realizado por parte de los usuarios, para ello cuenta con dos pestañas LISTA DE CONSUMO donde se muestra el consumo del servicio de todos los usuarios como se muestra en la Figura 7

Figura 7

Lista de consumo

ID	Nombre	Apellido	Consumo(litros)	Consumo(m3)	Valor a pagar(\$)	Fecha	Estado
3	Andrés	Paredes	12 L	17 m3	1.45 \$	2022-08-31 19:04:27	Activo
1	Karla	Guevara	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:32	Activo
4	Salma	Alboran	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:50	Activo
1	Karla	Guevara	0 L	0 m3	1.25 \$	0000-00-00 00:00:00	Inactivo

Fuente: Autoría

La pestaña BUSCAR USUARIO le permite buscar el usuario de acuerdo al nombre de usuario o ID asignado como se muestra en la Figura 8

Figura 8*Buscar usuario*


Junta Administradora de Agua Potable "Eloy Alfaro" Turucu Ecuador, 11-01-2023 23:59 | ADMIN_1

USUARIOS MONITOREO DE CONSUMO FACTURAS

Buscar Usuario

Guevara

Buscar

Usuario

ID	Nombre	Apellido	Consumo(litros)	Consumo(m3)	Valor a pagar(\$)	Fecha	Estado
1	Karla	Guevara	10 L	10 m3	2.50 \$	2022-09-08 12:24:32	Activado
1	Karla	Guevara	0 L	0 m3	2.50 \$	0000-00-00 00:00:00	Desactivado

Fuente: Autoría**Facturas****Generar Facturas**

La generación de facturas se realizará en la sección FACTURAS, para ello se cuenta con 2 pestañas una de GENERAR FACTURA esta a partir del nombre de usuario o ID asignado como se muestra en la Figura 9

Figura 9*Generador de facturas*


Junta Administradora de Agua Potable "Eloy Alfaro" Turucu Ecuador, 12-01-2023 00:15 | ADMIN_1

USUARIOS MONITOREO DE CONSUMO FACTURAS

Generar Factura


Guevara

Buscar

Fuente: Autoría

Figura 10

Factura generada



CANTÓN COTACACHI - PARROQUIA SAN FRANCISCO
Junta de Aguas "Turucu"

Dirección: Calle Intinan
Correo: comunidadturucu@gmail.com


RUC:123456	No de factura:500	
Nombre:Karla Guevara	Cédula:1004091540	
Fecha:12-01-2023 00:15	Telefono:554263	
Dirección:cotacachi		
Detalle	Consumo	Precio Total
Valor por el servicio de agua potable	0 m3	1.25 \$
Total a pagar:	1.25 \$	

Fuente: Autoría

La pestaña LISTA DE FACTURAS muestra la lista de facturas generadas como se muestra en la Figura 11, así mismo se permite la eliminación de facturas en caso de que usuario administrador lo necesite

Figura 11

Lista de pestañas generadas



Numero de factura	Nombre	Apellido	Fecha de emisión de factura	Total del pago (\$)	Acción
1	Andrés	Paredes	08-09-2022 12:41	1.45 \$	Eliminar Factura
2	Karla	Guevara	08-09-2022 12:43	1.25 \$	Eliminar Factura
3	Salma	Alboran	08-09-2022 12:43	1.25 \$	Eliminar Factura
500	Karla	Guevara	09-12-2022 07:49	1.25 \$	Eliminar Factura

Fuente: Autoría

MANUAL DE USUARIO

Como primer paso el usuario administrador deberá dirigirse a un navegador y colocar la dirección IP correspondiente al servidor en la nube, una vez se digite la dirección se mostrará la ventana de inicio de sesión representada en la Figura 1 donde se deberán digitar las credenciales entregadas al usuario

Figura 1

Ventana de inicio de sesión

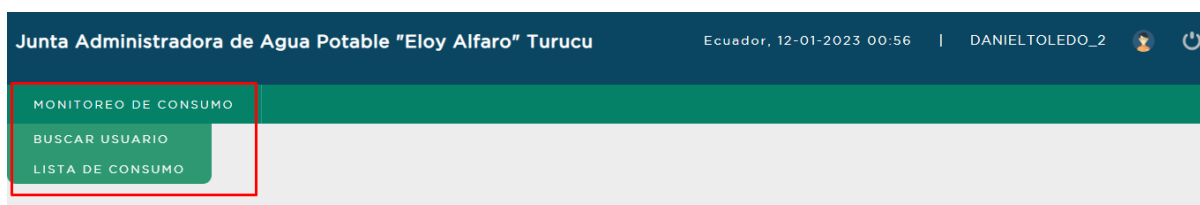


Fuente: Autoría

Un usuario no administrativo únicamente tendrá acceso a la sección de MONITOREO DE CONSUMO donde podrá visualizar el consumo realizado. La Figura 2 representa la pestaña a la que tendrá acceso el usuario.

Figura 2

Ventana de inicio sección Monitoreo de Consumo



Fuente: Autoría

Monitoreo de consumo

Esta sección permite visualizar el consumo realizado por parte de los usuarios, para ello cuenta con dos pestañas LISTA DE CONSUMO donde se muestra el consumo del servicio de todos los usuarios como se muestra en la Figura 3

Figura 3

Lista de consumo



ID	Nombre	Apellido	Consumo(litros)	Consumo(m3)	Valor a pagar(\$)	Fecha	Estado
3	Andrés	Paredes	12 L	17 m3	1.45 \$	2022-08-31 19:04:27	Activo
1	Karla	Guevara	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:32	Activo
4	Salma	Alboran	10 L	10 m3	1.25 \$	2022-09-08 12:24:50	Activo
1	Karla	Guevara	0 L	0 m3	1.25 \$	0000-00-00 00:00:00	Inactivo

Fuente: Autoría

La pestaña BUSCAR USUARIO le permite buscar el usuario de acuerdo al nombre de usuario o ID asignado como se muestra en la Figura 4

Figura 4

Buscar usuario



ID	Nombre	Apellido	Consumo(litros)	Consumo(m3)	Valor a pagar(\$)	Fecha	Estado
1	Karla	Guevara	10 L	10 m3	2.50 \$	2022-09-08 12:24:32	Activado
1	Karla	Guevara	0 L	0 m3	2.50 \$	0000-00-00 00:00:00	Desactivado

Fuente: Autoría