



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO IOT,
AUTOSUSTENTABLE PARA LA MEDICIÓN DE CONSUMO DE
AGUA POTABLE MEDIANTE UNA INTERFAZ WEB”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: BRYAN ISRAEL GARCÉS VALLEJO

DIRECTOR: ING. DIEGO RAMIRO ÑACATO ESTRELLA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Bryan Israel Garcés Vallejo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Bryan Israel Garcés Vallejo, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de noviembre de 2023



Bryan Israel Garcés Vallejo
060454054-2

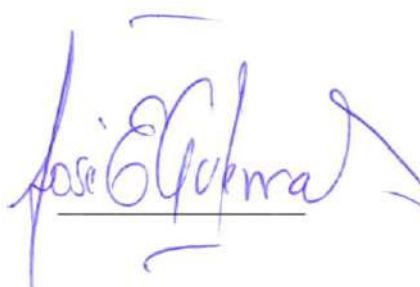
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Dispositivo Tecnológico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO IOT, AUTOSUSTENTABLE PARA LA MEDICIÓN DE CONSUMO DE AGUA POTABLE MEDIANTE UNA INTERFAZ WEB**”, realizado por el señor: **BRYAN ISRAEL GARCÉS VALLEJO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. José Enrique Guerra Salazar
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL


2023-11-20

Ing. Diego Ramiro Ñacato Estrella
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR


2023-11-20

Ing. José Luis Tinajero León
MIEMBRO DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR


2023-11-20

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de Integración Curricular a mi padre Segundo Garcés, mi madre Moraima Vallejo, mis hermanas Carol Kelly, Allison Shekina y Morayma Betsúa. Su amor incondicional, apoyo constante y palabras alentadoras han sido la fuerza impulsadora detrás de mi logro académico. Cada paso en este camino ha sido guiado por su inspiración y ejemplo, recordándome siempre la importancia de la perseverancia y la dedicación. Con gratitud eterna, honro su amor y sacrificio, gracias por ser mi fuente inagotable de amor y aliento.

Israel Garcés

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido parte fundamental en la realización de este logro. Principalmente a Dios, por ser mi guía constante en cada paso del camino, con su amor y gracia me ha sostenido en momentos de duda y ha fortalecido mi determinación, reconozco su presencia en cada logro y desafío. Mi agradecimiento a toda mi familia por estar siempre pendiente de mí. Mi gratitud a la carrera de Electrónica y Automatización, de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de adquirir conocimiento y crear de mí un profesional. Mi reconocimiento a mis amigos de la universidad Pablo M., Alex C., Alex Q., Paul G. Jefferson L., David A., Luis G., con los que he compartido risas, estudios y momentos inolvidables. Mi agradecimiento a los Ingenieros de la facultad, cuyo conocimiento y experiencia han sido un faro de luz en mi camino hacia la excelencia académica y profesional. Quiero recordar especialmente a la Ingeniera Leticia Lara, cuyo legado permanecerá en mi corazón. Este logro no solo es mío sino de todos aquellos que me han rodeado con su amor y apoyo. Gracias a cada uno de ustedes, este logro se convierte en una realidad que celebramos con humildad y gratitud.

Israel Garcés

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1	Planteamiento del problema.....	3
<i>1.1.1</i>	<i>Antecedentes</i>	<i>3</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Formulación del problema.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.3</i>	<i>Sistematización del problema.....</i>	<i>5</i>
1.2	Justificación	6
<i>1.2.1</i>	<i>Justificación teórica</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Justificación aplicativa</i>	<i>7</i>
1.3	Objetivos	9
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo general.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>9</i>

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1	Agua potable	10

2.1.1	<i>Importancia del agua potable en el ser humano</i>	11
2.1.1.1	Acceso al agua potable.....	11
2.1.1.2	Desperdicio de agua potable.....	12
2.1.2	<i>Sistemas de distribución de agua potable</i>	13
2.1.2.1	Sistema utilizado en la ciudad de Riobamba	15
2.1.3	<i>Dispositivos de medición de agua potable</i>	16
2.1.3.1	Medidores de flujo volumétrico	16
2.1.3.2	Sistema utilizado en la ciudad de Riobamba	18
2.1.3.3	Análisis comparativo entre diversos medidores de caudal.....	19
2.1.4	<i>Sistema de control de agua potable de la EP-EMAPAR</i>	20
2.2	Tecnología IOT.....	21
2.2.1	<i>Protocolos de comunicación</i>	22
2.2.2	<i>Tecnologías de comunicación</i>	24
2.2.3	<i>Plataformas web</i>	27
2.2.4	<i>Redes sociales</i>	28
2.3	Sistemas fotovoltaicos	29
2.3.1	<i>Paneles solares</i>	30
2.3.2	<i>Banco de baterías</i>	31
2.3.3	<i>Sistema de bypass eléctrico</i>	32
2.4	Tarjetas de desarrollo	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	35
3.1	Diagnóstico de la situación actual	35
3.2	Requerimientos del dispositivo	37
3.3	Concepción de la arquitectura del dispositivo propuesto	38
3.4	Selección de <i>hardwares</i> del sistema de medición.	39

3.4.1	<i>ESP32 NodeMCU-32</i>	39
3.4.2	<i>YF-S201</i>	40
3.4.3	<i>Rugo 101</i>	40
3.4.4	<i>U.S Solid CR-02</i>	41
3.4.5	<i>SRD-05VCD-SL-C</i>	42
3.4.6	<i>Válvula Check</i>	42
3.5	Dimensionamiento del sistema Fotovoltaico	42
3.5.1	<i>Banco de Baterías</i>	44
3.5.2	<i>Panel solar</i>	44
3.5.3	<i>Regulador de carga</i>	45
3.6	Selección de <i>hardwares</i> del sistema de <i>bypass</i>	45
3.6.1	<i>Panel solar 10W – Ikoa</i>	45
3.6.2	<i>Regulador de carga 10A</i>	46
3.6.3	<i>Batería de 5Ah de plomo – ácido sellada</i>	46
3.6.4	<i>XL6009</i>	47
3.6.5	<i>Fuente de conmutación</i>	47
3.7	Selección de <i>hardwares</i> del sistema de <i>bypass</i>	48
3.8	Esquema de conexión del dispositivo medidor	49
3.9	Esquema de conexión del sistema de <i>bypass</i>	50
3.10	Usos de <i>hardware</i> para el sistema de medidor	51
3.10.1	<i>Sensor de caudal</i>	51
3.10.2	<i>Tarjeta de Desarrollo</i>	51
3.10.3	<i>Válvula expulsora de aire</i>	53
3.10.4	<i>Electroválvula</i>	53
3.10.5	<i>Borneras</i>	53
3.10.6	<i>Módulos relé de 2 canales</i>	54
3.11	Usos de <i>hardware</i> para el sistema de <i>bypass</i>	55

3.12	Selección de la herramienta <i>software</i>	56
3.12.1	<i>Arduino IDE 1.8.19</i>	56
3.12.2	<i>Altium Designer 23.2.1</i>	57
3.12.3	<i>SolidWorks 2020</i>	58
3.12.4	<i>Node Red 18.16.1</i>	58
3.12.5	<i>Phpmyadmin</i>	59

CAPÍTULO IV

4.	PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO	60
4.1	Diseño de la placa PCB	60
4.2	Proceso de fabricación de la placa PCB	62
4.3	Diseño de la estructura del dispositivo propuesto	63
4.4	Diseño del <i>software</i>	64
4.4.1	<i>Programación del sistema de bypass</i>	65
4.4.2	<i>Programación del sistema de medición</i>	66
4.5	Diseño de la base de datos Phpmyadmin	68
4.6	Diseño de la interfaz web <i>Node Red</i>	69
4.6.1	<i>Programación de la interfaz web Node Red</i>	69
4.6.2	<i>Diseño del dashboard de la plataforma web Node Red</i>	74

CAPÍTULO IV

5.	VALIDACIÓN DE PROTOTIPO	76
5.1	Pruebas de medición del consumo de agua potable dentro de las instalaciones de EP-EMAPAR	76
5.2	Pruebas de conectividad.	81
5.2.1	<i>Cierre y Apertura del servicio</i>	82

5.3	Pruebas del Sistema Fotovoltaico.	85
5.3.1	<i>Tiempo de Autonomía</i>	85
5.4	Análisis económico del prototipo	86

CAPÍTULO VI

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
6.1	CONCLUSIONES	88
6.2	RECOMENDACIONES	90

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Porcentajes de agua no contabilizada en Ecuador.....	13
Tabla 2-2: Comparativa entre varios tipos de medidores de flujo	20
Tabla 2-3: Comparación entre los protocolos de comunicación HTTP, CoAP y MQTT.....	24
Tabla 2-4: Comparativa entre tecnologías de comunicación.....	26
Tabla 2-5: Comparativa entre las plataformas web IoT.....	28
Tabla 2-6: Especificaciones de las redes sociales utilizadas en IoT.....	29
Tabla 2-7: Comparativa entre paneles solares.....	31
Tabla 2-8: Especificaciones técnicas más importantes de varios tipos de baterías.....	32
Tabla 2-9: Comparativa entre tarjetas de desarrollo.....	33
Tabla 3-1: Historial de consumo del hogar a partir de Enero 2023 - Junio 2023.....	36
Tabla 3-2: Especificaciones técnicas del ESP32.....	39
Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del sensor YF-S201.....	40
Tabla 3-4: Especificaciones técnicas de la válvula Rugo 101.....	41
Tabla 3-5: Especificaciones técnicas de la U.S Solid CR-02.....	41
Tabla 3-6: Especificaciones técnicas del SRD-05VDC-SL-C.....	42
Tabla 3-7: Especificaciones técnicas de la válvula check LL5007.....	42
Tabla 3-8: Consumo total de los elementos del dispositivo propuesto.....	43
Tabla 3-9: Especificaciones técnicas del panel solar 10 [W].....	46
Tabla 3-10: Especificaciones técnicas del controlador solar de 10 A.....	46
Tabla 3-11: Especificaciones técnicas de la batería AGM.....	47
Tabla 3-12: Especificaciones técnicas del XL6009.....	47
Tabla 3-13: Especificaciones técnicas de la fuente conmutada 12V - 5Ah.....	47
Tabla 3-14: Especificaciones técnicas del gabinete eléctrico ip65.....	48
Tabla 3-15: Uso del sensor YF-S201.....	51
Tabla 3-16: Terminales, asignaciones y uso del ESP32.....	52

Tabla 3-17: Uso válvula expulsora de aire - Rugo 101.....	53
Tabla 3-18: Uso de la electroválvula U.S Solid CR-02	53
Tabla 3-19: Uso de borneras de tres terminales	54
Tabla 3-20: Uso de borneras de dos terminales	54
Tabla 3-21: Uso de módulo relé para la electroválvula	55
Tabla 3-22: Usos del <i>hardware</i> para el sistema <i>bypass</i>	56
Tabla 3-23: Características <i>software</i> Arduino IDE 1.8.19	57
Tabla 3-24: Características del <i>software</i> Altium Designer 23.2.1	58
Tabla 3-25: Características del <i>software</i> Solidworks 2020	58
Tabla 3-26: Características del <i>software</i> Node Red 18.16.1	59
Tabla 3-27: Características de la interfaz web Phpmysqladmin.....	59
Tabla 5-1: Prueba realizadas al dispositivo propuesto en consumo bajo en la EP-EMAPAR...	78
Tabla 5-2: Pruebas realizadas al dispositivo propuesto en consumo medio en la EP-EMAPAR.	78
Tabla 5-3: Pruebas realizadas al dispositivo propuesto en consumo alto en la EP-EMAPAR..	79
Tabla 5-4: Estadística Descriptiva – medidas de tendencia central de las tablas 5-1,5-2 y 5-3.	79
Tabla 5-5: Estadística descriptiva – medidas de dispersión de las tablas 5-1,5-2 y 5-3	80
Tabla 5-6: Estadística de inferencial para los datos de pruebas de bajo, media y alto consumo.	80
Tabla 5-7: Prueba t de Student para los datos de bajo, media, y alto consumo.	81
Tabla 5-8: Muestra de datos del tiempo de latencia para la apertura del servicio.	82
Tabla 5-9: Muestra de datos del tiempo de latencia para el cierre del servicio.	83
Tabla 5-10: Estadísticas descriptivas – medidas de tendencia central de la tabla 5-8.....	83
Tabla 5-11: Estadísticas descriptivas – medidas de tendencia central de la tabla 5-9	83
Tabla 5-12: Análisis económico del prototipo.....	86
Tabla 5-13: Comparación de características entre medidores.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Ejemplo de una red de distribución ramificada de agua potable.	14
Figura 2-2: Ejemplo de una red de distribución mallada de agua potable.	15
Figura 2-3: Medidor ultrasónico de la marca Sonata.....	16
Figura 2-4: Medidor de flujo de tipo turbina del modelo SGW.....	17
Figura 2-5: Medidor Zenner instalado en la ciudad de Riobamba.....	19
Figura 2-6: Empleado de la EP-EMAPAR realiza el control del servicio de agua potable.....	21
Figura 3-1: Ubicación de la residencia en donde se implementó el medidor.	35
Figura 3-2: Medidor implementado en la residencia.	37
Figura 3-3: Diagrama de conexión del medidor	49
Figura 3-4: Diagrama de conexión sistema fotovoltaico	50
Figura 4-1: Conexiones de cada elemento en el <i>software Altium Designer</i>	60
Figura 4-2: Modelado 2d de la placa PCB.....	61
Figura 4-3: Modelado 3D de la placa PCB.....	61
Figura 4-4: Proceso de fabricación de la PCB.....	62
Figura 4-5: Diseño 3D en <i>Solidworks</i> de parte del sistema de medición.....	63
Figura 4-6: Vista laterales del diseño en 3D del dispositivo propuesto.....	64
Figura 4-7: Dispositivo propuesto implementado.....	64
Figura 4-8: Diagrama de flujo de la programación del sistema <i>bypass</i>	66
Figura 4-9: Diagrama de flujo de la programación del sistema de medición.	68
Figura 4-10: Tablas <i>phpmyadmin</i>	69
Figura 4-11: Diagrama de bloques de la programación en <i>Node Red</i>	71
Figura 4-12: Control de servicio en <i>Node Red</i>	71
Figura 4-13: Lectura de voltaje de la fuente y del panel solar.....	72
Figura 4-14: Lectura del consumo en el momento de la visualización.....	73

Figura 4-15: Diagramas de Flujo acerca de la visualización y envío a la base de datos del consumo diario, semanal, y mensual.....	73
Figura 4-16: Envío de datos del control servicio del caudal.....	74
Figura 4-17: Configuración del <i>dashboard</i>	74
Figura 4-18: Interfaz Web para la visualización de lectura del sistema.	75
Figura 5-1: Banco de Pruebas de Medidores de la EP-EMAPAR.....	76
Figura 5-2: Medidor propuesto en el banco de pruebas de la EP-EMAPAR.	77
Figura 5-3: Tamaño de muestra para pruebas de conectividad.....	84
Figura 5-4: Estadísticas no paramétricas de las pruebas de apertura y cierre del servicio.	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Porcentajes de los usos del agua.....	11
Gráfico 2-2: Acceso al agua potable por provincias en Ecuador.	12
Gráfico 2-3: Elementos esenciales de un sistema fotovoltaico.	30
Gráfico 3-1: Concepción de la arquitectura del dispositivo propuesto.	38

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Certificado de validación del dispositivo emitido por la EPEMAPAR.

ANEXO B: Manual de Usuario para el controlador de carga solar.

ANEXO C: Datasheet Módulo XL6009

ANEXO D: Datasheet Batería 12V 5Ah

ANEXO E: Código desarrollado en Arduino IDE 1.8.19 para la tarjeta ESP32.

ANEXO F: Bloques de programación en Node Red.

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular trata sobre el diseño y construcción de un dispositivo IoT autosustentable para la medición de consumo de agua potable mediante una interfaz web. Para la realización del prototipo se ha utilizado diversas metodologías de investigación para conocer la problemática que gira en torno al desarrollo del trabajo de titulación, además análisis y síntesis, y finalmente la metodología cuantitativa de los resultados de varias pruebas que se realizaron al dispositivo. Para la construcción del dispositivo se hace un análisis previo de varios componentes electrónicos para obtener los *hardwares* y *softwares* que cumplan con los requerimientos del sistema, considerando su accesibilidad en el mercado, y se desarrolla el ensamblaje de cada componente. Una vez desarrollado el sistema, el dispositivo IoT se sometió a pruebas que ayudaron a validar la precisión de lectura acorde a los parámetros recomendados por la EP-EMAPAR. Además, se evaluó el tiempo de respuesta del control de apertura y cierre del servicio, para evaluar la funcionalidad de la comunicación con la plataforma IoT y ser visualizada en tiempo real los valores de consumo de agua potable considerando parámetros diarios, semanales y mensuales. (valores representativos de las pruebas y recomendación mas importante) Finalmente se desarrolló pruebas de autonomía de las baterías utilizadas para el sistema Fotovoltaico. Finalmente se puede concluir que la implementación del dispositivo IoT creado en el presente trabajo de titulación va a beneficiar al monitoreo constante del servicio, además de optar con la opción de crear alertas de consumo ante evidencias de anomalías en el consumo del servicio (recomendación y conclusión, puede considerarse una herramienta de ayuda para el monitoreo)

Palabras clave: <PLATAFORMAS IOT>, <NODE RED>, <INTERFAZ WEB>, <SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN MALLADA>, <SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN RAMIFICADA>, <AUTONOMÍA DE LAS BATERÍAS>, < SISTEMA FOTOVOLTAICO>

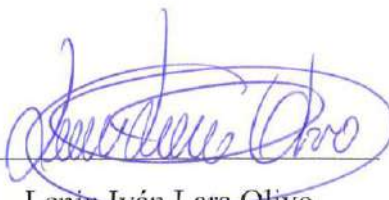
1762-DBRA-UTP-2023



SUMMARY

This curricular integration research project focuses on designing and constructing a self-sustainable IoT device for measuring drinking water consumption through a web interface. To create the prototype, various research methodologies have been used to understand the issues surrounding the development of the thesis work, as well as analysis and synthesis, and finally, the quantitative methodology for the results of multiple tests conducted on the device. For the construction of the device, a preliminary analysis of several electronic components was conducted to obtain the hardware and software that comply with the system requirements, considering their market availability and the assembly of each component was developed. Once the system was developed, the IoT device underwent testing to validate the reading accuracy according to the parameters recommended by the EP-EMAPAR. Furthermore, the response time for opening and closing service control was evaluated to assess the functionality of communication with the IoT platform and to visualize real-time potable water consumption values considering daily, weekly, and monthly parameters. Finally, tests were conducted to evaluate the autonomy of the batteries used for the photovoltaic system. It is concluded that the implementation of the IoT device created in this project will be beneficial for continuous monitoring of the service, as well as providing the option to create consumption alerts in the presence of anomalies in the service consumption.

Keywords: <IOT PLATFORMS>, < NODE-RED>, <WEB INTERFACE>, <MESHED DISTRIBUTION SYSTEMS>, <BRANCHED DISTRIBUTION SYSTEMS>, <BATTERY AUTONOMY>, <PHOTOVOLTAIC SYSTEM>.



Lenin Iván Lara Olivo

0602546103

INTRODUCCIÓN

En un mundo donde los recursos naturales, en particular el agua, enfrentan un agotamiento constante debido a diversos factores, surge una necesidad urgente de replantear nuestras acciones y enfoques. Las cifras y estadísticas que rodean esta problemática pintan un panorama alarmante: solo un minúsculo 2.8% del agua en nuestro planeta es de naturaleza dulce, y dentro de esta fracción, apenas un escaso 22% se encuentra disponible para satisfacer las necesidades humanas (García, 2019). Esta situación se agrava al considerar que en América Latina se ha experimentado una reducción de acceso al agua del 22% (ONU, 2020), lo que conlleva a que aproximadamente 2000 millones de personas en todo el mundo carezcan de un sistema de distribución de agua confiable (OMS, 2022). Las proyecciones futuras no son menos inquietantes, ya que se estima que, en los próximos 30 años, cerca de 5700 millones de personas enfrentarán la trágica realidad de no contar con acceso a agua potable (El Comercio, 2018).

Dentro del contexto ecuatoriano, aunque el 73.4% de la población tiene acceso al agua (Primicias, 2020), esta cifra no cuenta toda la historia. Entre los años 2007 y 2017, se ha experimentado un aumento significativo en la demanda de acceso al agua, con un aumento del 16% en este periodo. Esto nos recuerda que incluso en regiones que disponen de recursos hídricos relativamente abundantes, los desafíos siguen siendo acuciantes (El Comercio, 2018).

El cuadro se complica aún más cuando examinamos la gestión y el uso actual del agua. Aproximadamente el 80% de las aguas residuales generadas en el mundo se descargan al medio ambiente sin ningún tipo de reutilización (UNESCO, 2017). Además, en Ecuador, el 55% del agua potable no se factura, lo que ha resultado en una pérdida financiera considerable: unos 320 millones de dólares en el año 2021, lo que se traduce en la asombrosa cantidad de 696.2 millones de metros cúbicos de agua (Torres, 2021).

El sistema de distribución de agua potable en Ecuador también presenta desafíos inherentes. El uso de un sistema de distribución abierta, donde el agua residual se vierte directamente al medio ambiente, acentúa las pérdidas. Además, el control del servicio se realiza de manera manual, con servidores públicos encargados de cerrar las válvulas y tomar lecturas en papel. Esta falta de automatización y monitoreo en tiempo real conduce a una gestión ineficiente y a la falta de datos precisos de consumo. Además, las partes mecánicas en los medidores permiten a los usuarios reactivar el servicio incluso después de que la empresa lo haya cerrado.

En este panorama urgente, surge la necesidad imperativa de soluciones innovadoras y autónomas que aseguren el suministro sostenible y eficiente de agua potable. Con el reconocimiento de que el acceso al agua es un derecho humano esencial y que su gestión es fundamental para la vida diaria y el desarrollo, se alza la importancia de una gestión sostenible y responsable.

Es dentro de este contexto crítico que esta tesis busca presentar una contribución significativa. El diseño de un dispositivo medidor de agua potable autosustentable no es simplemente una respuesta técnica a un problema, sino un llamado a la acción para repensar radicalmente la manera en que comprendemos, valoramos y gestionamos este recurso vital. Al combinar tecnologías de monitoreo en tiempo real y un enfoque en la autosuficiencia energética a través de la energía solar, el dispositivo propuesto no solo tiene el potencial de resolver los problemas del despilfarro y la falta de monitoreo, sino también de marcar un punto de inflexión en cómo enfrentamos los retos del agua en el siglo XXI.

El viaje hacia este dispositivo está marcado por una metodología investigativa exhaustiva. Se exploraron los mejores elementos y tecnologías disponibles en el mercado, y se realizaron pruebas detalladas para garantizar la precisión de las lecturas en diferentes niveles de consumo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

En este apartado se analiza el problema, así como la sistematización de éste, argumentado mediante la justificación teórica y aplicativa, además de especificar los objetivos del desarrollo del presente trabajo de integración curricular.

1.1 Planteamiento del problema

Se ha realizado una revisión bibliográfica de investigaciones acerca de dispositivos de medición de caudal con tecnología IoT en diversas aplicaciones. Dentro de las investigaciones más importantes destacan las que se presentan a continuación.

1.1.1 Antecedentes

Se considera que muchos de los procesos que se realiza deben ser automatizados, para facilitar el accionar de los trabajadores, brindar seguridad y al mismo tiempo tener un sistema más preciso y confiable. Debido a esto se ha realizado una revisión bibliográfica, de los trabajos realizados en relación con los sistemas de medición de caudal de agua potable, con implementación IoT, los cuales se detallan a continuación.

En la ciudad de Lisboa, país Portugal, Tiago Santos en su proyecto de Masterado titulado, “Implementación de una red IoT, para recogida y seguimiento de datos, con el fin de optimizar pérdidas de agua”, nos muestra la implementación de un sistema de monitoreo para un sistema de distribución de agua potable, para evitar pérdidas de consumo, en cada una de las etapas que la constan, haciendo la utilización de dispositivos de medición IoT, y se determinó que, el sistema propuesto cumple con el objetivo de disminuir las pérdidas de consumo de agua (Santos 2019). En Bogotá – Colombia, en el año 2021, Sebastián Chávez, Diego Beltrán, Juan Montiel, y Néstor Ríos, mediante su trabajo de grado titulado “Optimización de medición de agua mediante la implementación de sistemas IoT”, se muestra el diseño e implementación de un prototipo de medición de agua a través de tecnología IoT, el cual permitió la lectura óptima del consumo real de agua (Chávez et al. 2021).

Jenny Corredor, Darwin Ortiz, David Zabala, y Mauro Díaz, en el año 2020 en la ciudad de Bogotá – Colombia, en su trabajo de grado titulado “Diseño de prototipo IoT para el ahorro de energía eléctrica y agua a partir de la medición de consumos en el hogar”, presenta el diseño de un prototipo de medidor de caudal de agua y de energía eléctrica, con la utilización de elementos electrónicos para la implementación del mismo, además de contar con la conectividad Wifi, para la captura de datos y el procesamiento de los mismos, el cual nos mostró como resultado un prototipo fiable y bastante preciso (Corredor et al. 2020).

Esteban Yacelga, en el año 2022, mediante su trabajo de grado “Implementación de un sistema de monitoreo y control basado en IoT para un sistema dinámico”, presenta la implementación de un sistema de monitoreo y control de caudal de agua para un laboratorio de la carrera de Electricidad, el mismo que cuenta con varias etapas de tratamiento de agua, se demostró que el sistema aplicado es capaz de controlar y monitorear de manera eficaz hasta 5 dispositivos simultáneamente (Yacelga, 2022).

La Universidad de las Fuerzas Armadas, en el año 2021, publicó el trabajo de titulación “Sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la planta de agua potable regional Arenillas Huaquillas basado en internet de las cosas (IoT)”, realizado por Vladimir Loaiza, presenta un sistema de control y monitoreo de agua potable, desarrollado con tecnología IoT, mediante un sistema de comunicación LoraWAN y Ursalink, este sistema muestra una alta eficiencia en el tratamiento de agua mediante el sistema (Loaiza, 2021).

En la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Lissy Palacios y Flavio Trelles, en el año 2018, mediante la publicación de su proyecto de titulación “Diseño de un prototipo de sistema SCADA para el monitoreo y control de consumo de agua en viviendas residenciales”, muestra un sistema automático para la recolección de datos del consumo de agua potable en la ciudad de Cuenca, aplicado para la distribución en viviendas residenciales de la zona, mediante su implementación y las respectivas pruebas realizadas al prototipo, se demostró ser un sistema confiable para el monitoreo y control del servicio de agua potable (Palacios y Trelles, 2018).

En Enero del 2015, Luis Chico en su proyecto de tesis para la Universidad Técnica de Ambato titulado “Sistema Inalámbrico para control y monitoreo de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Baños”, se presenta un sistema basado en arquitectura SCADA, que consta de tres etapas, Captación, Tratamiento, y Distribución de agua, mediante la implementación de un dispositivo PLC para cada una, además se realiza el monitoreo en tiempo real mediante comunicación de sistemas radioenlaces, y con la utilización de electroválvulas (Chico, 2015).

En la Universidad Técnica de Ambato, mediante el trabajo de titulación “Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua potable mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda del sector San Vicente de Picaihua cantón Ambato”, realizado por Daniela Cunalata, presenta un sistema capas de monitorear el consumo real del agua potable, este sistema presenta varias ventajas como el bajo costo de implementación (Cunalata, 2020).

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se desarrolló como trabajo de titulación “Implementación de un Sistema Electrónica Inteligente de Asignación, Medición y Aleta del consumo de Agua Potable para hogares residenciales de la ciudad de Riobamba”, realizado por Gloria Macas y Ana Moina, presenta la construcción de un dispositivo IoT de alta eficiencia, en comparación a los medidores residenciales, este dispositivo funciona a base de comunicación por radio frecuencia, permitiendo concienciar a la ciudadanía acerca del uso del agua (Gusqui y Chaglla, 2016).

1.1.2 Formulación del problema

Referente a las investigaciones realizadas a los diversos dispositivos medidores de caudal con tecnología IoT, se plantea la siguiente pregunta:

¿Es posible implementar un dispositivo IoT para la medición del consumo de agua potable, con tecnología IoT, autosustentable?

1.1.3 Sistematización del problema

¿Se puede analizar e identificar el sistema de medición de flujo de agua potable implementado en la ciudad de Riobamba?

¿Es posible seleccionar los *softwares* y *hardwares* para la construcción del sistema?

¿Se puede construir el dispositivo en una zona residencial de la ciudad de Riobamba?

¿Es factible el desarrollo de una interfaz de monitoreo en tiempo real para el consumo de agua potable y generar una base de datos?

¿Es factible implementar el dispositivo en relación con los ya implementados residencialmente?

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación teórica

El Sistema de medición y control del flujo de agua potable implementado en la ciudad de Riobamba por la Empresa Pública – Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EP EMAPAR), presenta un gran problema, el cual es que es un sistema completamente manual, su metodología se basa en que el elemento medidor de flujo es de estructura mecánica, es decir no cuenta con ningún método automatizado tanto para el control de apertura y cierre del servicio, como para la lectura del consumo en tiempo real, los elementos utilizados no presentan una lectura en tiempo real, muchos menos precisa del caudal de agua potable consumido por el usuario. Para comprender la metodología que la empresa utiliza para la medición y control del consumo del servicio se ha dividido en procesos esenciales que se los detalla a continuación.

El proceso para la recolección de datos de lectura es el siguiente: después de un mes de uso del servicio, un operario encargado y en representación de la EP-EMAPAR, asiste al lugar de instalación del medidor, y procede a registrar el dato que muestra el medidor en unas hojas, este valor es llevado a una base de datos y es comparado con los datos obtenidos de seis meses anteriores derivados de la misma base de datos de la empresa, y se procede a calcular un valor promedio el cual es el reflejado en el pago del servicio. Sin embargo, el problema se incrementa al saber que estos tipos de medidores no solo miden el flujo de agua, sino que, pueden llegar a medir el flujo del aire, y esto se puede deber a fallas en la construcción del sistema de distribución dentro de la edificación, como son las fugas, debido a estas fallas, el valor a cancelar por el consumo puede elevarse. Por otro lado, el proceso de escritura tanto en las hojas como la subida a la base de datos puede estar ligada a las capacidades y habilidades del operador, lo cual puede presentarse como un error.

El proceso para el corte o suspensión del servicio al igual que la apertura de este es el siguiente: si el usuario no cancela el valor de consumo de 3 meses, la empresa envía un operario al sector donde se ubica el medidor, y de manera manual se procede a cerrar la válvula de paso del flujo de agua. Por lo cual se conoce que no existe un sistema de cierre y apertura automático, y es necesario del servidor para este proceso, sin embargo, muchos de los usuarios por un mal accionar, después de que el servicio esté suspendido, ellos mismos vuelven a reactivar el paso del flujo de agua, lo que presenta un gran problema para la empresa, debido a que no se cuenta con un sistema de supervisión, monitoreo y control para estos casos.

Tanto el proceso de lectura como el de cierre de servicio es completamente manual, es necesario de un operador para tales procesos. Dentro de la ciudad de Riobamba se consta con una cantidad superior a 42 mil usuarios según la EP-EMAPAR, al ser un número bastante extenso, se necesitaría de varios operadores para los procesos antes mencionados, por lo tanto no se podría llevar a cabo un control en tiempo real, mucho menos un monitoreo de cada una de los medidores, mientras un operario puede estar revisando un dispositivo en cierto barrio de la ciudad, en otro dispositivo ubicado en otro barrio puede estar presentando fallas y solo lo podríamos conocer en presencia del dispositivo, o en otra supervisión, o proceso de lectura que puede llevarse a cabo dentro de un mes.

Todas estas novedades expuestas, representa una pérdida de recursos y tiempo, tanto para el usuario como para la empresa, y debido a que el agua es un elemento primordial en la vida de los seres humanos, es necesario contar con un sistema de medición del consumo de agua potable en tiempo real para el monitoreo del servicio, con un proceso automático.

1.2.2 Justificación aplicativa

La importancia del agua radica en conocer que es un recurso natural, que en los próximos años podría agotarse para ciertos sectores del planeta, y esto se debe a varios factores, siendo uno de los principales el gran crecimiento poblacional del planeta, que, según la ONU, para el año 2050 se estima un crecimiento del 125%. Sin embargo, en América Latina, existe una depreciación del acceso al agua en un 22% por persona, mientras en otras partes del planeta como África ha llegado al 41%.

En Ecuador tenemos un 73.4% de la población que tiene acceso al servicio de agua potable según los informes detallados de PRIMICIAS en el año 2020, y de acuerdo con la ONU, el 10% del consumo total de agua se debe al uso doméstico. En la ciudad de Riobamba se cuenta con un sistema de medición de agua potable implementado con elementos mecánicos de lectura, encargado de abastecer el servicio de agua potable y alcantarillado a más de 42 mil usuarios dentro de la ciudad, según la EP-EMAPAR.

Este sistema cuenta con medidores mecánicos de costo elevado que ronda valores superiores a los \$100.00, que a pesar de tener una alta precisión de lectura, pueden llegar a medir diferentes flujos, como el aire, además de que no cuentan con un sistema de medición eléctrica para realizar un monitoreo automático, por lo cual, representaría una pérdida alta para la empresa deshacerse

de ellos, además de que se necesitaría cerrar el servicio de cada una de las casas para poder implementar un nuevo elemento de medición, y podría causar que muchas familias, empresas o negocios, puedan estar varias horas sin poder realizar sus actividades cotidianas.

Por lo cual se pretende crear un dispositivo de medición del flujo de agua potable, para obtener una lectura en tiempo real, los datos obtenidos del consumo tanto del medidor propuesto, serán enviados a una tarjeta de desarrollo en donde se realiza el acondicionamiento de señal otorgada por el sensor, el microcontrolador enviará los datos procesados mediante protocolos de comunicación IoT hacia una plataforma IoT donde serán comparados, y estos a su vez ser almacenados en una base de datos que podrán ser visualizadas mediante una computadora, la base de datos generada, podrá ser utilizada para futuras aplicaciones de predicción de datos.

Al utilizar un sistema autónomo de medición en tiempo real del consumo de agua potable, con un sistema de fuga para aire, el dispositivo podrá aumentar su precisión de lectura de líquidos, ya que sería capaz de medir solo líquidos, y todo el aire que llega al sistema será expulsado. Este sistema al necesitar de energía eléctrica representaría un costo adicional para el usuario, que será reflejado en la planilla de la luz, en caso de que el sistema haga uso único de la red eléctrica de la casa, por lo que, la solución es implementar un sistema tecnológico para el abastecimiento de energía renovable, y evitar costos elevados.

Para lo cual, se crea un sistema fotovoltaico que recargue un banco de baterías, y estas serán la fuente de abastecimiento eléctrico para los microcontroladores. Sin embargo, en los días donde las condiciones climáticas son adversas, con lluvias y poca luz solar, al igual que en las noches, se creará un sistema de *bypass*, que su funcionamiento basa en la siguiente metodología, el sistema de obtención de energía renovable, cargará el banco de baterías, y mientras los paneles solares brinden un voltaje de un rango en específico, el dispositivo medidor, hará uso de la energía brindada por el panel solar, cerrando el paso de energía de la toma general de la casa, cuando el voltaje de los paneles solares este bajo el rango específico, se cerrará el paso de la energía de este, y abrirá paso a la energía proporcionada por la toma general de la casa, con este sistema se puede obtener un sistema de alimentación para todos los instrumentos que necesitan alimentación de energía en todo tiempo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Implementar un dispositivo IoT, autosustentable para la medición de consumo de agua potable.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar e identificar el sistema de medición de agua potable implementado en la ciudad de Riobamba, conjuntamente con las metodologías existentes.
- Selección de *software* y *hardware*.
- Construcción el dispositivo IoT, en una zona residencial.
- Desarrollar una interfaz de monitoreo en tiempo real del consumo de agua potable del dispositivo y generar las bases de datos para futuras aplicaciones.
- Evaluar el funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Dentro de este apartado se desarrolla el estudio de la importancia del agua potable en el ser humano, el acceso a este recurso, el desperdicio que se genera, sistemas de distribución, dispositivos de medición de caudal, sistemas de control del servicio, tecnología IoT, protocolos de comunicación, dispositivos de comunicación, plataformas web, redes sociales aplicadas al IoT, sistemas fotovoltaicos con sus elementos, tarjetas de desarrollo, con lo que se busca realizar un análisis de las elementos utilizados dentro de la ciudad de Riobamba.

2.1 Agua potable

Es ampliamente conocido que en el planeta existen recursos naturales que se clasifican como no agotables o renovables, como son el viento y el agua. Estos recursos se renuevan continuamente gracias a procesos naturales, donde el consumo es menor a la capacidad de producción (Núñez, 2020). Con el paso del tiempo, los recursos renovables empiezan a disminuir y a su vez limitar aún más su capacidad de producción.

El agua es considerada un recurso renovable debido a su capacidad para regenerarse mediante dos procesos fundamentales. El primero de ellos, es conocido como la vía externa o comúnmente como el ciclo hidrológico, la segunda vía, conocida como interna que ocurre en el interior de la corteza terrestre, con reacciones químicas y llega a la superficie mediante erupciones, grietas de aguas termales, entre otros (García, 2019).

Lamentablemente, su disponibilidad es limitada debido a que solo el 2.8% del agua en el planeta es dulce. Además, el 77% del agua dulce se encuentra distribuida en forma de nieve y hielo, mientras que únicamente el 22% está disponible para el consumo. Sin embargo, no toda el agua de este porcentaje es considerada potable, por lo que es necesario un enfoque más sostenible y eficiente en la gestión de este recurso para garantizar su disponibilidad para presentes y futuras generaciones (García, 2019).

2.1.1 Importancia del agua potable en el ser humano

El consumo hídrico se relaciona a tres categorías primordiales: la industria que representa un 70%, la agricultura, con un 19%, y el uso municipal, que asciende al 11%, tal como se muestra en el Gráfico 2-1 (Torras, 2017).

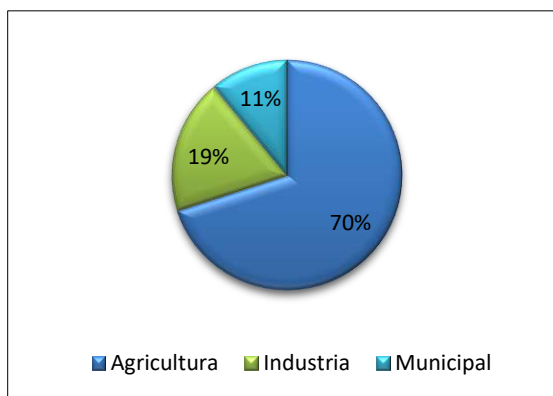


Gráfico 2-1: Porcentajes de los usos del agua.

Fuente: (Torras, 2017)

Realizado por: Garcés B, 2023

2.1.1.1 Acceso al agua potable

A pesar de los esfuerzos considerables en concienciar a la población sobre la necesidad de preservar los recursos naturales, principalmente el agua potable, no se ha observado avances significativos en este ámbito. En América Latina, ha reducido un 22% el acceso al agua. En otras regiones, como Asia y África, la reducción ha sido aún más preocupante, alcanzando un 27% y un 41%, respectivamente (ONU, 2020).

El acceso al agua potable es un derecho humano primordial para el desarrollo humano (UNICEF, 2018^a). En el caso de Ecuador, aproximadamente el 73.4% de la población total cuenta con acceso a este recurso, mientras que el 26.6% restante carece de él y, en muchos casos, se ven obligados a recurrir a estrategias poco higiénicas para obtener agua (Primicias, 2020). De entre todas las personas con acceso al servicio, el 85.9% disponen de un servicio de saneamiento básico, lo que significa que cuentan con un servicio de alcantarillado y agua potable que cumple con los procesos de saneamiento admisibles (INEC, 2016).

Según estimaciones, aproximadamente 3600 millones de personas, que representan el 50% de la población mundial, residen en regiones de alto riesgo de escasez de agua potable. Además, se

pronostica que esta cifra podría aumentar a 5700 millones en los próximos 30 años (El Comercio, 2018).

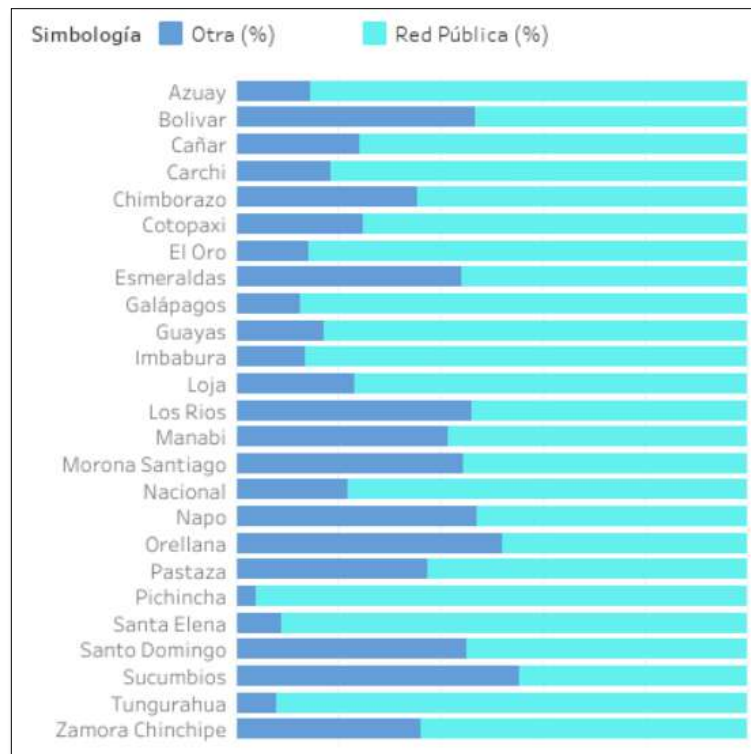


Gráfico 2-2: Acceso al agua potable por provincias en Ecuador.

Fuente: (El Comercio, 2018)

En Ecuador, la demanda de acceso al agua ha experimentado un aumento del 16% entre 2007 y 2017. En términos de acceso al agua potable, la región de la Sierra tiene una tasa superior a la de otras regiones del país, con una tasa del 99.20% en la zona urbana y del 92.16% en la zona rural. Según se puede apreciar en el Gráfico 2-2, la provincia de Sucumbíos es la que presenta el menor acceso al agua potable, mientras que Pichincha cuenta con la mayor tasa, considerando la red pública suministrada por las empresas de agua potable (El Comercio, 2018).

2.1.1.2 Desperdicio de agua potable

Según estudios, aproximadamente el 80% de las aguas residuales producidas en todo el mundo son vertidas directamente al medio ambiente sin ser reutilizadas (UNESCO, 2017). Además, se estima que solo se factura el 45% del agua y que el 55% restante se desperdicia, lo que equivale a alrededor de \$100 millones al año en el país de Ecuador (El Telégrafo, 2016). En el año 2021, la Agencia de Regulación y Control del Agua del Gobierno Ecuatoriano reportó que las pérdidas

por agua no contabilizada, es decir, la que se produce, pero no se factura, representan un costo anual de 320 millones de dólares y una pérdida de aproximadamente 696.2 millones de metros cúbicos. Por otro lado, se estima que las empresas municipales desperdician alrededor de 8 millones de metros cúbicos de agua (Torres, 2021).

Tabla 2-1: Porcentajes de agua no contabilizada en Ecuador.

Año	Porcentaje de agua no contabilizada
2016	42.97%
2017	43.75%
2018	48.46%
2019	48.20%

Fuente: (Torres, 2021)

Realizado por: Garcés B, 2023

El aumento del 5.23% en el agua no contabilizada en Ecuador entre los años 2016 y 2019 es evidenciado en la Tabla 2-1 (Torres, 2021). En promedio, un ciudadano ecuatoriano utiliza alrededor de 249 litros de agua potable por día, una cantidad que es casi el triple de la cantidad recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, esto representa un 40% más que el promedio de la región (El Comercio, 2018).

2.1.2 *Sistemas de distribución de agua potable*

Consisten en un conjunto de instalaciones de tuberías trabajando a presión, diseñados y operados por una empresa prestadora del servicio, que se encarga de transportar el agua desde un punto de captación y tratamiento, hasta los lugares de consumo de los usuarios finales (Bhardwaj y Metzgar, 2001; GIZ, 2017).

Abierta o Ramificada. - Este sistema se caracteriza por su arquitectura subterránea, la cual consiste en una tubería principal que actúa como conducto central, ubicada en los subsuelos de la urbanización, a partir de la cual se desprenden ramificaciones de tuberías que culminan en puntos ciegos, como se puede observar en la Figura 2-1 (Pittman, 1997; USAID, 2016; Aguirre, 2015).

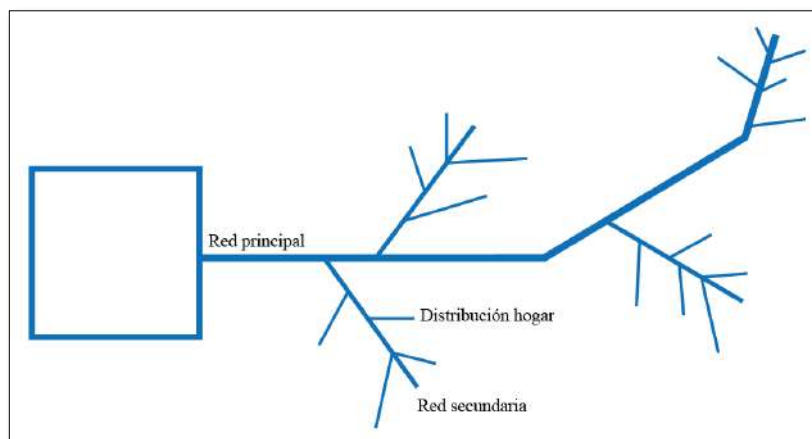


Figura 2-1: Ejemplo de una red de distribución ramificada de agua potable.

Fuente: (Roberes, 2016)

Realizado por: Garcés B, 2023

El presente sistema se caracteriza por presentar una limitación importante en términos de confiabilidad operativa, pues ante la eventualidad de una falla o rotura en algunas de las tuberías que conforman la red, se genera una interrupción en el servicio de distribución de agua potable, lo que impacta negativamente a múltiples usuarios y obliga a realizar una restauración del sistema para su reactivación, lo que implica un elevado costo de mantenimiento. A pesar de esta desventaja, su amplia utilización se debe a su bajo costo de implementación, siendo un sistema de distribución directa que se adapta a poblaciones dispersas o semidispersas, donde la implementación de un sistema de tipo mallado resulta más compleja (Pittman, 1997; USAID, 2016; Aguirre, 2015).

Cerrada o Mallada. - Se distingue por la interconexión de tuberías en un circuito cerrado, con el objetivo de lograr la distribución simultánea y redundante del agua potable a través de múltiples tuberías. La estructura en malla del sistema proporciona alta confiabilidad en el abastecimiento de agua potable, en comparación al sistema antes mencionado, al minimizar la posibilidad de interrupciones del servicio en caso de fallas en la red. Además, este sistema puede adaptarse mejor a entornos urbanos densamente poblados y con demandas de agua variables, lo que puede mejorar la eficiencia del sistema y reducir los costos de operación y mantenimiento a largo plazo (Pittman, 1997; USAID, 2016; Morales, 2015).

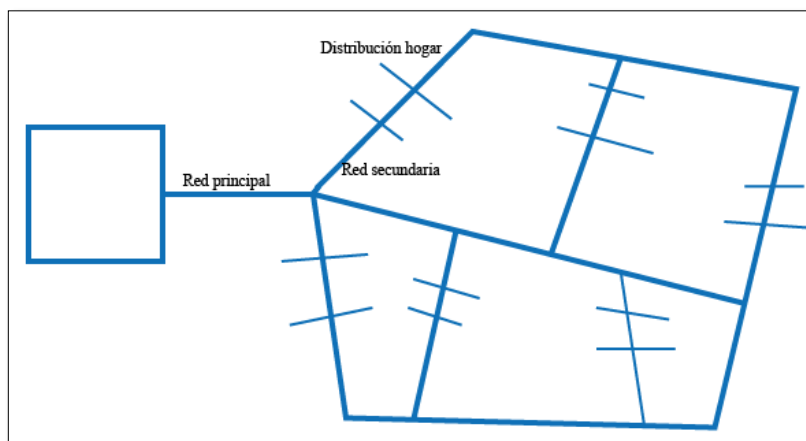


Figura 2-2: Ejemplo de una red de distribución mallada de agua potable.

Fuente:(Roberes, 2016)

Realizado por: Garcés B, 2023

Al ser un circuito cerrado de tuberías como se muestra en la Figura 2-2, permiten una distribución equilibrada del agua potable, elimina la necesidad de puntos muertos o ciegos y, por lo tanto, generan un flujo de alta eficiencia. Además, este sistema se caracteriza por la capacidad para manejar altas presiones y caudales, lo que reduce las pérdidas del recurso. A diferencia de los sistemas ramificados, en caso de una falla o rotura en alguna de las tuberías, el sistema sigue operando gracias a su capacidad de compensar la distribución de agua. Aunque se considera la mejor opción para garantizar un suministro confiable de agua, su complejidad de implementación requiere de un análisis exhaustivo del balance de caudal en tránsito en las tuberías, lo que se traduce en un costo de implementación mucho más elevado en comparación con los sistemas abiertos (Pittman, 1997; USAID, 2016; Aguirre, 2015).

2.1.2.1 Sistema utilizado en la ciudad de Riobamba

En Ecuador, el acceso al agua potable es considerado un derecho humano fundamental (UNICEF 2018b), y para asegurar su distribución se han establecido empresas de agua potable y alcantarillado encargadas de proporcionar este servicio. Estas empresas ofrecen tarifas especiales en función de las necesidades de cada usuario, y su regulación se rige por el Cootad (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización) a través del artículo 568, el cual establece que las tasas serán reguladas mediante ordenanzas y tramitadas por el consejo municipal o metropolitano, bajo iniciativa del alcalde. En el caso de Riobamba, la EP-EMAPAR (Empresa Pública Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba) es la encargada de abastecer el servicio de agua potable a la ciudadanía riobambeña. Esta empresa

utiliza un sistema de distribución de agua potable de tipo abierta o ramificada, y el costo del servicio varía en función de la categoría del usuario. Sin embargo, el precio no supera el dólar por metro cúbico de agua consumida (EMAPAR, s.f.).

2.1.3 Dispositivos de medición de agua potable

Los dispositivos de medición de caudal son dispositivos encargados de cuantificar el volumen de un fluido que fluye a través del sistema en un tiempo determinado (Badger Meter, 2020^a).

2.1.3.1 Medidores de flujo volumétrico

Conocidos como caudalímetros son altamente precisos, que utilizan una variedad de tecnologías para medir el caudal o flujo de un fluido en movimiento en un sistema de tuberías, se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo (Noguera Bulmaro, 2021).

Medidores ultrasónicos. - Utilizan dos tecnologías diferentes para realizar la medición esto dependiendo del modelo: la tecnología Doppler y la tecnología de tiempo de tránsito. La primera tecnología es adecuada para medir líquidos que contienen aire o que son sucios. La medición se realiza mediante la transmisión de ondas sonoras de alta frecuencia en la dirección del flujo del líquido. Las burbujas de gas en el líquido reflejan parte de las ondas sonoras de vuelta hacia el medidor, lo que permite medir la velocidad del líquido. La tecnología de tiempo de tránsito, por otro lado, mide el diferencial de tiempo entre las señales sonoras que se envían a través del líquido en diferentes direcciones. Este diferencial de tiempo es directamente proporcional a la velocidad del agua. La medición se realiza mediante el envío de ondas sonoras de alta frecuencia a través del líquido en una dirección y la recepción de las ondas sonoras en dirección opuesta. La diferencia de tiempo entre la señal de envío y la señal de recepción se utiliza para calcular la velocidad (Badger Meter, 2020b), En la Figura 2-3 se muestra un ejemplo de medidor ultrasónico.



Figura 2-3: Medidor ultrasónico de la marca Sonata

Fuente: (Badger Meter, s.f.)

Los medidores de flujo ultrasónico son instrumentos utilizados en diversos sectores de la industria como la agricultura, el monitoreo del aire acondicionado, el tratamiento del agua, el procesamiento de bebidas y alimentos, entre otros (Grupo Hidráulica, 2022). Estos medidores ofrecen una precisión de flujo que varía entre 0.5% y 1.6%, lo cual les hace altamente confiables a la medición de caudal en tuberías de gran tamaño. Además, los medidores ultrasónicos cuentan con la ventaja de tener autodiagnóstico, lo que permite una rápida identificación de posibles fallas en el sistema. Son utilizados en tuberías de diferentes diámetros, desde ½ hasta 300 pulgadas. Además, estos medidores no generan caídas de tensión en la tubería, lo que permite que el sistema continúe funcionando sin interrupciones. También es importante destacar que estos medidores no son invasivos con el entorno y no requieren de una puesta en marcha que interrumpa la operación de planta (JS Industrial, 2020).

Medidores de tipo turbina. - Se componen de una sección de tubería que alberga un rotor equipado con múltiples paletas. Este rotor se encuentra montado sobre cojinetes, lo que permite su libre rotación. Al pasar el líquido a través de este medidor, se genera energía cinética que provoca el giro del rotor a una velocidad angular. Esta velocidad angular es directamente proporcional a la velocidad media axial del flujo, lo que a su vez proporciona una medida del caudal volumétrico (García Gutiérrez, 1999). En la Figura 2-4 se muestra un ejemplo de medidor de tipo turbina.



Figura 2-4: Medidor de flujo de tipo turbina del modelo SGW

Fuente: (FGT, 2022)

Estos medidores de tipo turbina son altamente precisos, con capacidad de lectura de hasta un 0.5% de error, una linealidad del 0.1% y una repetitividad de solo 0.05%. Son capaces de medir una amplia gama de caudales, desde tan bajos como 0.05l/min hasta 1700l/min. Además, su funcionamiento abarca un rango de temperatura extremadamente amplio, desde -270 grados

Celsius hasta +400 grados Celsius, y pueden soportar presiones de hasta 540 bar. Debido a sus características robustas y confiables, estos medidores de tipo turbina son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales de alto rendimiento. Se encuentran comúnmente en sectores como la industria farmacéutica, aeroespacial, automotriz y otros campos donde se requiere una medición precisa y confiable del caudal. Su capacidad para operar en condiciones extremas y proporcionar mediciones precisas los convierte en una opción preferida en entornos industriales exigentes (Rosetta, 2022).

Medidores de chorro único y/o múltiple. - Se basan en el principio de un impulsor que gira a una velocidad proporcional al flujo del fluido que lo atraviesa. Durante este proceso, las rejillas del filtro interno evitan la obstrucción de los inyectores, garantizando una medición precisa del flujo (Intellimeter, 2020). El medidor de flujo único consta de una sola entrada de agua, mientras que el medidor de flujo múltiple puede tener múltiples entradas, dependiendo del fabricante. En este tipo de medidor, el fluido entra en todas las entradas al mismo tiempo, lo que le permite una medición más precisa y confiable (SHMeters, 2022).

Estos medidores están compuestos por partes de aleación de bronce, y piezas de acero inoxidable, además de termoplásticos modernos, son utilizados en aplicaciones de medición y facturación del consumo de agua a nivel doméstico y comercial. También se utiliza en aplicaciones industriales, como en el monitoreo del consumo de agua en procesos de fabricación y en la gestión de recursos hídricos en plantas de tratamiento de agua. Estos medidores son conocidos por su precisión y confiabilidad en la medición de flujo (Intellimeter, 2020).

2.1.3.2 Sistema utilizado en la ciudad de Riobamba

La Empresa Pública – Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba, cuenta con un sistema de medición de flujo de agua potable básico, el cual utiliza un dispositivo medidor mecánico de flujo con metodología de chorro múltiple. La principal ventaja de estos medidores es la exactitud de lectura que posee, ya que consta de una alta precisión de los componentes internos al medir caudales pequeños, lo que conlleva a que las fallas en el sellado entre las faces sean mínimas, por otro lado, son capaces de procesar una enorme variedad de viscosidades de líquidos, pueden trabajar a altas presiones, y tienen un error mínimo del 0.5% (Rosetta, 2021).



Figura 2-5: Medidor Zenner instalado en la ciudad de Riobamba.

Fuente: Garcés B, 2023

Teniendo en cuenta que la EP-EMAPAR utiliza medidores de chorro múltiple de tipo mecánicos, el proceso de medición y registro de consumo de agua potable se lleva a cabo a través de un operario que se desplaza al sector donde se encuentra el medidor. Este operario se encarga de registrar la información que el medidor de chorro múltiple muestra en su pantalla de visualización en unas hojas de registro, posteriormente, los datos registrados son ingresados en una base de datos por otro funcionario de la empresa.

En el caso de que el medidor presente fallas en la visualización de los litros de agua potable consumidos, el funcionario responsable se encarga de determinar el valor promedio de consumo a partir de los valores registrados en los seis meses anteriores. Es importante destacar que este proceso de medición y registro se realiza de manera manual, y sólo una vez al mes.

2.1.3.3 Análisis comparativo entre diversos medidores de caudal

Para poder realizar una medición en tiempo real del caudal de agua potable en una vivienda de la ciudad de Riobamba, es necesario utilizar sensores de caudal que nos proporcione una señal eléctrica. Esta señal eléctrica puede ser transformada en una señal comprensible de caudal consumido por la vivienda mediante un acondicionamiento de señal. Posteriormente, ser enviada a una plataforma iot para poder ser monitorizada en tiempo real. Existen varios sensores de caudal que pueden ser utilizados para esta labor. Por lo tanto, en la tabla se muestra una comparativa entre estos elementos.

Tabla 2-2: Comparativa entre varios tipos de medidores de flujo

Especificaciones Técnicas	Chorro Múltiple	Turbina	Ultrasónico
Presión (Bar)	16	16	16
Caudal permanente (m ³ /h)	2.5	0,06-2	2.5
Diámetro nominal (mm)	15	15	15
Material	Latón	Latón	Policarbonato
Lectura	Pulsos (Electrónico y reed), M-Bus, LoRaWAN, M-Bus Inalámbrico	Pulsos	Pulsos, M-Bus
Error	2% - 5%	5%	2% - 5%
Vida útil (años)	10	10	12
Temperatura max ©	0-50	-25 a 120	0-50
Adicional	Proyección rayos UV, 8 rodillos, mide aire	Alimentación de 5-15VCD, mide aire	no mide aire, voltaje de alimentación de 12-24VC
Precio	\$ 150.00	\$ 10.00	\$ 230.00

Fuente: (ARAD, 2016; Geek Factory, s.f.; ZENNER, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

Según la Tabla 2-2, se determina que la mejor opción para la instalación de un sistema de medición de agua potable es un sensor de tipo turbina, gracias a su costo de adquisición, su rango de temperatura.

2.1.4 Sistema de control de agua potable de la EP-EMAPAR

La empresa actualmente utiliza un sistema de control manual para la apertura y cierre del servicio de agua potable. Este sistema se basa en el siguiente proceso: un operario de la empresa se desplaza al lugar donde se encuentra el medidor y, en caso de que el cliente no haya pagado el servicio por un periodo de tres meses, el operario cierra manualmente la válvula de paso. Cuando el cliente realiza el pago correspondiente al consumo de agua potable registrado en el mes, la

empresa envía nuevamente a un operario al sector de ubicación del medidor para que abra la válvula de paso de manera manual, como se muestra un ejemplo en la Figura 2-6.



Figura 2-6: Empleado de la EP-EMAPAR realiza el control del servicio de agua potable.

Realizado por: Garcés B, 2023

Es fundamental destacar que el proceso manual de apertura y cierre del servicio de agua potable que se emplea en la EP-EMAPAR no solo carece de eficiencia, sino que también genera ciertos inconvenientes que pueden causar pérdidas económicas y del recurso del agua potable para la empresa.

En muchas ocasiones, los usuarios, al ser notificados del cierre del servicio correspondiente a su medidor, esperan a que el operario se retire del lugar de instalación del medidor para reactivar el servicio de manera no autorizada. Al no contar con un sistema de monitoreo en tiempo real, la empresa no tiene conocimiento de esta situación hasta la siguiente lectura mensual, lo que implica que la empresa pierda ingresos debido a consumos no autorizados, además, el usuario puede salir de viaje o no encontrarse en el lugar de instalación de su medidor y ante una eventualidad de fugas en la instalación de la tubería, el usuario no tiene conocimiento de su consumo hasta el momento de notificación por parte de la empresa encargada.

2.2 Tecnología IOT

La internet de las cosas es una tecnología emergente que tiene como objetivo conectar objetos cotidianos y convertirlos en dispositivos inteligentes. Para lograr esto, se utilizan sensores y

actuadores que permiten recopilar información sobre el entorno y tomar decisiones basadas en esta información (Gandhi, 2020b).

Funciona a través de la interconexión y colaboración de distintos dispositivos y maquinarias, que permiten el intercambio de información y datos entre sí y con sistemas externos, como la nube. Gracias a la gran versatilidad de la tecnología que ocupa, su uso puede estar relacionado a sistemas productivos, de transporte, salud, energía, industria 4.0, suministro de agua, entre otros, y puede tener un impacto significativo en la optimización de costos, la mejora de la calidad de servicio y la innovación en la industria (Escalante, 2021; Fractal, 2018).

2.2.1 Protocolos de comunicación

El internet de las cosas se apoya en distintos protocolos de comunicación, los cuales son fundamentales para permitir la comunicación entre los diferentes dispositivos y sistemas que conforman una red IoT. Estos protocolos son conjuntos de reglas y normas que establecen las condiciones para la transmisión de información entre los dispositivos (Gandhi, 2020^a).

Hypertext Transfer Protocol. - Conocido como HTTP, es un protocolo de comunicación utilizado para la transferencia de hipertexto en la red y es fundamental para el funcionamiento del internet (Chojrin, 2019), se basa en el método cliente-servidor, donde el cliente envía una petición al servidor y espera una respuesta. Incluye varios métodos de petición, como GET, POST, PUT y DELETE (Escobar, 2017).

Es un protocolo multiplexado que elimina información redundante, permitiendo enviar y recibir varios mensajes al mismo tiempo. Para lograr esto, se utiliza un formato de trama binaria, lo que mejora la eficiencia en el procesamiento de datos, además, se basa en estimaciones para predecir la información que el servidor enviará al usuario antes de que esta sea solicitada, lo que permite una transmisión más rápida. Asimismo, el protocolo incluye la priorización de flujos, lo que permite a los servidores enviar los recursos más importantes primero y mejorar el rendimiento general del sistema (Chojrin, 2019).

Constrained Application Protocol. - Conocido como CoAP, es un protocolo de comunicación diseñado para permitir el intercambio de mensajes asíncronos en dispositivos y redes con recursos limitados, trasladando el modelo de solicitud y respuesta de HTTP a este tipo de entornos. CoAP tiene baja sobrecarga de datos y comparte capacidades de proxy y caché con el protocolo HTTP.

Es ampliamente utilizado en aplicaciones de IoT debido a su capacidad de detectar automáticamente cuando nuevos dispositivos se unen a la red e interactuar con ellos (Bassi, 2021). Se basa en los métodos, como GET, PUT, POST, DELETE, pero de una forma más compacta que la versión en texto. Además, se ejecuta en el protocolo UDP, lo que permite una comunicación más rápida y eficiente. Es un protocolo ligero y eficiente (Crespo, 2018).

Una de las principales ventajas que ofrece este protocolo radica en su capacidad para realizar intercambios de mensajes directamente entre un cliente y un servidor, sin necesidad de elementos intermedios en la comunicación. Además, optimiza las operaciones comunes a HTTP, su utilización está vigente en aplicaciones máquina a máquina, consiguiendo mayor eficiencia en la transferencia de información, al adaptarse mejor a las limitaciones de ancho de banda y recursos propios del entorno de IoT (Kowalewski, 2017).

MQ Telemetry Transport. - Es un protocolo de comunicación máquina a máquina que utiliza un patrón de publicador /suscriptor para el envío de mensajes en tiempo real, también conocido como MQTT. Este protocolo se basa en TCP/IP para garantizar una comunicación segura y fiable entre dispositivos. Una de las principales ventajas es su diseño ligero y sencillo, lo que permite su uso en dispositivos con recursos limitados, como microcontroladores pequeños, siendo ideal para aplicaciones de IoT. Además, su patrón de publicador/suscriptor facilita la gestión de comunicación entre múltiples dispositivos y reduce la sobrecarga de datos en la red (Solectro, 2022).

Proporciona un mecanismo de calidad de servicio (QoS) para garantizar la fiabilidad en la entrega de mensajes al cliente en caso de fallos. También cuenta con características de seguridad, como la autenticación por usuario y contraseña mediante el transporte SSL/TLS. Otras de las características importantes de este protocolo es la escalabilidad, el asincronismo y el desacoplamiento entre clientes, lo que permite mayor flexibilidad en la implementación de sistemas IoT. Además, tiene un menor consumo de energía, lo que le hace adecuado para dispositivos que funcionan 24/7, y requiere un ancho de banda mínimo para las redes inalámbricas (Llamas, 2019).

Tabla 2-3: Comparación entre los protocolos de comunicación HTTP, CoAP y MQTT.

Características	HTTP	CoAP	MQTT
Seguridad	No	DTLS	SSL/TLS
Fiabilidad	-	Dos niveles	Tres niveles
Tamaño de mensajería	Significativamente mayor	4 bytes	2 bytes
Mensajería	Req/Resp (Asíncrona y Síncrona)	Req/Resp (Asíncrona y Síncrona)	Pub/Sub (Asíncrona)
Comunicación	varios a varios	uno a uno	varios a varios
Protocolo	TCP/IP	UDP	TCP/IP
Alcance	Device to Cloud / Cloud to Cloud	Device to Device	Device to Cloud / Cloud to Cloud
Real Time	No	No	Si
Soporte de plataforma	Alta	Media - Baja	Alta
Sobrecarga	Alta	Baja	Baja
Aplicaciones	Web	Redes de área pública	IoT

Fuente: (Bhardwaj, 2021; Rupareliya, 2022; Devopedia, 2019)

Realizado por: Garcés B, 2023

Según la Tabla 2-3, se observa que el protocolo de comunicación MQTT, es el adecuado para esta investigación, debido a tener seguridad SSL/TLS, con fiabilidad de tres niveles, un tamaño de mensajería bajo, comunicación varios a varios, baja sobrecarga y ser más utilizado comúnmente para aplicaciones IoT.

2.2.2 Tecnologías de comunicación

Existen varios ejemplos, sin embargo, a continuación, se detalla información acerca de los más relevantes en la tecnología IoT.

Bluetooth. - Es una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance que se utiliza para el intercambio de datos entre dispositivos electrónicos. Funciona mediante la emisión de ondas de radio en la banda de radiofrecuencia UHF, también conocida como radio de onda corta, con un rango de frecuencia que va desde los 2.402 GHz a los 2.480 GHz. Esta tecnología se basa en la construcción de una red de área personal (PAN) que permite la conexión de dos o más dispositivos cercanos. Existen dos variantes de *Bluetooth*: el *Bluetooth Classic* y el *Bluetooth Low Energy (BLE)*. La principal diferencia entre ambas radica en el consumo de energía, siendo el

BLE una opción de bajo consumo, diseñado para aplicaciones que requieren una transmisión de datos constante. El uso del *Bluetooth* se ha popularizado en dispositivos como parlantes, auriculares, teclados, entre otros. Sin embargo, su uso no se limita a estos dispositivos, sino que también se utiliza en aplicaciones de automatización del hogar, dispositivos médicos, sistemas de seguridad, y otras aplicaciones industriales (Pastorino, 2020).

A pesar de ser una tecnología de corto alcance, se puede ver inmersa en las aplicaciones de IoT para consumidores y empresas, dado a que las conexiones entre dispositivos deben ser rápidas y sin cables, además no requiere de internet, permitiendo la creación de redes de dispositivos a gran escala a través de la malla *Bluetooth*, donde cada mensaje enviado tiene una dirección de origen y de destino (Moko Blue, 2020).

LoRaWAN. - Es una tecnología de comunicación inalámbrica de bajo consumo, bidireccional y diseñada para transmitir un bajo volumen de datos a grandes distancias. Se basa en protocolos de radio frecuencia lo que permite la conectividad de dispositivos a internet de forma inalámbrica y consumo energético reducido (Becolve Digital 2020; Terol 2022). Esta arquitectura utiliza la capa física LoRa, que se caracteriza por tener alta sensibilidad de recepción y baja tasa de transmisión de datos, o que le convierte en una opción ideal para IoT. Para garantizar la seguridad de la red, utiliza un estándar de cifrado avanzado de 128 bits, lo que permite una comunicación segura entre dispositivos y servidores (Díaz, 2022).

El funcionamiento de esta tecnología se fundamenta en la utilización de diferentes nodos que se comunican con el *gateway* central encargado de traducir los datos a un formato convencional o de enviarlos al gestor de la red. Permite conectividad de dispositivos a internet de forma eficiente, con bajo consumo energético y a grandes distancias (Becolve Digital, 2020).

Presenta varias ventajas, como un largo alcance y cobertura de hasta 3km con obstáculos, y 20 km sin obstáculos, bajo consumo, baja transmisión de datos que permite menos de 1Kbps, gran cantidad de dispositivos conectados, en un solo *gateway* pueden estar miles dispositivos conectados (Blog de tecnología wireless 2020), es utilizada en varias aplicaciones de IoT, como granjas inteligentes, conservación del agua, entre otros (Terol, 2022).

WiFi. - Es una tecnología de conectividad inalámbrica muy extendida en todo el mundo, con una base de más de 13 mil millones de dispositivos y más de 450 millones de puntos de conexión. Se basa en el protocolo de red IEEE 802.11 y utiliza diferentes frecuencias para la conectividad

inalámbrica (Monolithic, 2022). El estándar 802.11 n, también conocida como WiFi 4, utiliza la frecuencia de 2.4 GHz y ofrece velocidad de conexión de 150 a 600 Mbps, con una distancia de hasta 120 metros en interiores y 300 metros en exteriores, esta tecnología garantiza una velocidad de conexión de 300 Mbps. Por otro lado, el estándar 802.11 ac utiliza la frecuencia de 5Ghz y proporciona una velocidad de conexión superior de hasta 1300 Mbps. Además de estos estándares comunes, también existen otros menos conocidas, como 802.11 ac, 802.11 b, 802.11 ah, entre otros (Valero, 2023).

La tecnología más utilizada es sin duda WiFi. Se puede estimar que cerca del 60% de la población mundial tiene disponibilidad de acceso a la red (Gil, 2021). En América Latina los estudios demuestran que el 71% de la población urbana tiene acceso, mientras que en la zona rural es de 37% (SELA, 2021). Los estudios detallan que 13.60 millones de personas tienen acceso a internet, considerándose el 76% de la población ecuatoriana (Medina, 2022).

Tabla 2-4: Comparativa entre tecnologías de comunicación.

Características	Bluetooth Low Energy	WiFi	LoRaWAN
Rango	30m	100m	10km
Rendimiento	125kbps / 2Mbps	54Mbps / 1.3 Gbps	10 Kbps / 50 Kbps
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz/5,0 GHz	sub-GHz
Velocidad de transmisión de datos	1Mbps	1Mbps / 6.75Gbps	50kbps
Data Rate	1Mbps	600Mbps	50Kbps
Ancho de banda	2Mbps	100Mbps	11Kbps
Consumo	Baja	Media	Baja

Fuente: (Afaneh, 2020; Scharfglass, 2018; Liew, 2015; El androide libre, 2016)

Realizado por: Garcés B, 2023

Según la Tabla 2-4, la mejor tecnología de comunicación que puede ser adaptado a la siguiente investigación es WiFi, debido a un rango aceptable de comunicación, velocidad de transmisión de datos alta, diversidad de frecuencias, un ancho de banda alto, además de un rendimiento amplio llegando al 1.3 Gbps.

2.2.3 Plataformas web

Es un conjunto de tecnologías, y arquitecturas que permiten la interconexión de dispositivos electrónicos para crear ecosistemas digitales y así poder intercambiar datos de manera eficiente. Se trata de una herramienta de *software* que conecta *hardware*, puntos de acceso y redes de datos, proporcionando una capa de abstracción entre los dispositivos y los servicios en la nube (Cantos, 2021).

Estas plataformas ofrecen numerosas ventajas en comparación a otras soluciones de conectividad como, conexión múltiple de dispositivos simultáneamente, seguridad en el intercambio de datos, procesamiento e interpretación de datos, flexibilidad en la configuración, entre otros (Autycom, 2021).

ThingSpeak. - Es una plataforma IoT de código abierto que permite a los usuarios recopilar, analizar y visualizar datos de sensores y dispositivos conector en tiempo real, proporciona una API RESTful para el almacenamiento y la recuperación de datos, utiliza el protocolo HTTP y MQTT para la comunicación de datos (Garrido, 2015). La integración con dispositivos de *hardware* entre los que destaca Raspberry Pi, Arduino y *softwares* es una característica clave de ThingSpeak, lo que le hace adecuada para varias aplicaciones en una amplia gama de campos, como la agricultura, salud, entre otros (Garrido, 2015).

Node-Red. - Es una plataforma de programación visual que permite a los usuarios crear flujos de trabajo automatizados para integrar *hardware* y *software*. Es una herramienta de código abierto basada en JavaScript y en el motor de ejecución de Node.js. Su arquitectura se fundamenta en flujos que permiten a los usuarios crear aplicaciones IoT complejas mediante la conexión de diferentes nodos para la captura, procesamiento y visualización de datos de múltiples dispositivos (Sancho, 2020).

Aunque es compatible con una amplia gama de *hardware*, incluidos microcontroladores como Arduino y plataformas como Raspberry Pi, su uso se ha extendido a proyectos en la nube y en dispositivos móviles (Sancho, 2020).

Ubidots. - Es una plataforma diseñada para el manejo de datos, que permite el desarrollo y escalado de prototipos para la producción. En términos generales, esta plataforma es capaz de recopilar y transferir una gran variedad de datos desde cualquier dispositivo hacia la nube,

utilizando un soporte TLS/SSL para garantizar la seguridad de los datos. Además, cuenta con la capacidad de ser compatible con varios microcontroladores, lo que le permite una fácil integración de otros sistemas (Mier, 2020).

Tabla 2-5: Comparativa entre las plataformas web IoT

Características	ThingSpeak	Node-Red	Ubidots
Protocolo	MQTT / HTTP	MQTT / HTTP /CoAP	MQTT / HTTP /CoAP
Conectividad	Bluetooth / Wifi	Bluetooth / Wifi / LoRaWAN	Wifi / LoRaWAN
Escalabilidad	3 dispositivos	-	5 dispositivos
Seguridad	4 niveles	5 niveles	5 niveles
Datos de envío	15000	-	20000
Costo	gratuito	gratuito	gratuito
Funcionalidad	Monitoreo	SMS / Push/ gmail/ telegram	SMS / Push/ gmail / Twilio / Plivio
uso	pagina web/app	pagina web/app	pagina web/app

Fuente: (Afaneh, 2020; Scharfglass, 2018; Liew, 2015; El androide libre, 2016)

Realizado por: Garcés B, 2023

Según la Tabla 2-5, se determina que *Node Red* es una plataforma IoT, con prestaciones acorde a los objetivos del presente trabajo, ya que tiene no tiene escalabilidad de dispositivos conectados, ni restricción de datos de envío, y proporciona funcionalidad de mensajerías por redes sociales.

2.2.4 Redes sociales

Existen varias redes sociales con las que se puede realizar dispositivos con tecnologías IoT, por lo que a continuación se detalla información básica de algunas de ellas.

WhatsApp. – es una aplicación de mensajería instantánea para teléfonos inteligentes, donde se puede enviar y recibir contenido tipo, texto, audio, video, GIF, documentos, llamadas, videollamadas, etc. El uso de esta aplicación en el entorno del IoT, está relacionado a *softwares* de inteligencia artificial que tienen la capacidad de dar respuesta automática de un *chatbot*, ante

la petición de un usuario, sin embargo, el código de programación no es abierto, por lo que no se puede crear aplicaciones propias vinculables a plataformas web (ámbito, 2023).

Telegram. – es una aplicación de mensajería instantánea, posee características similares a WhatsApp, sin embargo, se diferencia en optar con la opción de crear los *chatbots* directamente usando la API que la incorpora lo que se traduce a un código abierto para que los usuarios puedan crear aplicaciones vinculables libremente. Además, su tamaño de mensajería es mayor llegando a las 2GB. Incluyendo que tiene acceso a poder almacenar datos en la nube directamente (ámbito, 2023).

Con la información recaba anteriormente se crea la Tabla 2-6, donde se detalla las características más relevantes de cada red social mencionada.

Tabla 2-6: Especificaciones de las redes sociales utilizadas en IoT.

Especificaciones	WhatsApp	Telegram
Tamaño de Mensajería	20mb	2GB
Código abierto	No	Si
Compatibilidad IoT	Si	Si
Almacenamiento en la nube	No	Si
Seguridad	Buena	Mejor

Fuente: (Valero, 2023b)

Realizado por: Garcés B, 2023

Según la Tabla 2-6, la red social óptima para este trabajo es *Telegram*, debido a su facilidad de programación en código abierto para la creación de *chatbots*, además de contar una seguridad mejorada y almacenamiento en la nube.

2.3 Sistemas fotovoltaicos

Son el conjunto de varios elementos conectados entre sí, para la conversión de energía solar en eléctrica. Entre los dispositivos más relevantes que lo constituyen se encuentra los paneles solares, regulador de carga, acumuladores de carga o conocidos como banco de baterías solares y los inversores tal como se indica en el Gráfico 2-3. El principio de funcionamiento se basa en la radiación solar que llegan a los paneles solares, estos a su vez transmiten la energía eléctrica a un regulador de carga que controla la carga eléctrica del banco de batería, mientras que el inversor se encarga de convertir la corriente continua procedente del banco de baterías en corriente continua (SUN SUPPLY, 2021).

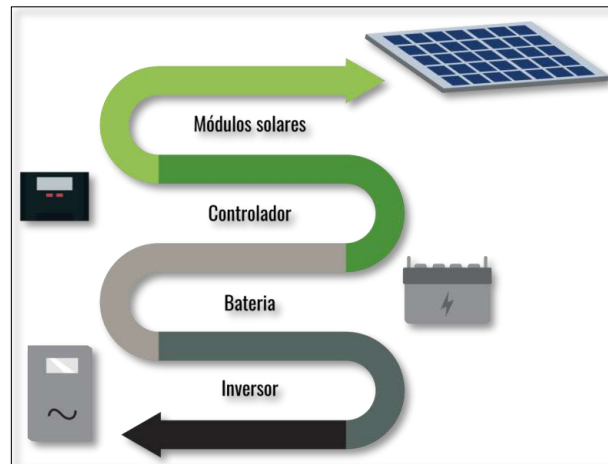


Gráfico 2-3: Elementos esenciales de un sistema fotovoltaico.

Fuente: (SUN SUPPLY, 2021)

La energía fotovoltaica puede ser utilizada en diversos campos como la climatización, calefacción, transporte, electricidad, iluminación, en otras palabras, para el uso doméstico, principalmente para reducir la tarifa de energía ya que, la instalación propia de un sistema dentro del uso doméstico se realiza en los tejados de las casas y estos a su vez permiten el ahorro de aproximadamente el 95% de la factura de la luz del hogar (Ecoinventos,2022). Su utilización presenta varias ventajas tales como la reducción de la producción de carbono, ya que no genera gases de efecto invernadero, su obtención no requiere de extracción de materiales y su costo es inferior con relación a su vida útil. Además, la energía solar proviene de una fuente inagotable y ayuda en la disminución del uso de combustibles fósiles (Eco innovar, 2018).

2.3.1 Paneles solares

Los paneles solares son los elementos más esenciales de las instalaciones solares. Se basa en transformar la energía solar en electricidad y están formados comúnmente por un número de 60 células o de 72 células (Planas, 2015). Existen varios tipos de paneles solares que pueden ser utilizados de manera residencial como los siguientes:

Paneles solares monocristalinos. - Están formados por celdas de un solo cristal. Están fabricadas principalmente de silicio con una pureza de material mayor a los demás paneles solares, lo que provoca que cada celda tenga un rendimiento muy alto. Tienen un aspecto oscuro y en caso de usos residenciales, suele ser de 60 celdas, aunque se puede utilizar la versión de 72 celdas, pero no es común. Su precio suele ser más elevado debido a su producción superior y tiempo de vida

más largo (Hilcu, 2022). Estos tipos de paneles solares alcanzan un rendimiento teórico del 24% por lo que su costo de adquisición es más elevado (Ojeda, 2023).

Paneles solares policristalinos. – Se fabrican fundiendo el silicio y vertiéndolo en moldes para obtener celdas fotovoltaicas. Este proceso produce impurezas y, por lo tanto, resulta en una menor eficiencia. En este caso, los más utilizados son los de 72 celdas (Hilcu, 2022). Estos paneles tienen un color más claro y un tono azulado. Su fabricación es más rápida y económica, sin embargo, se calientan con mayor rapidez (Eligenio, 2022). Tienen un rendimiento aproximado de 18%, ya que las pérdidas cuando trabajan a altas temperaturas son menores (Ojeda, 2023).

Tabla 2-7: Comparativa entre paneles solares.

Características	Monocristalino	Policristalino
Voltaje [V]	12/24	12/24
Rendimiento	24%	18%
Vida Útil [años]	30	25

Fuente: (Ojeda, 2023; Hilcu, 2022; Eligenio, 2022)

Realizado por: Garcés B, 2023

La Tabla 2-7 destaca que la metodología monocristalina es la mejor opción para los paneles fotovoltaicos debido a su alto rendimiento y larga vida útil.

2.3.2 Banco de baterías

Es el conjunto de acumuladores eléctricos para almacenar energía eléctrica generada por una placa fotovoltaica en una instalación de energía solar. Está formado por pequeños acumuladores eléctricos de 2V, y varios de ellos en un conjunto en serie proporcionan el voltaje deseado. Este sistema ofrece varios beneficios, como el incremento de la rentabilidad de la instalación solar de autoconsumo, una mayor independencia de la red eléctrica, la reducción de la huella de carbono en tu hogar, la maximización del ahorro en la factura de la luz hasta un 80% y la posibilidad de aprovechar subvenciones para paneles solares. (Rosales, 2018).

Existen varias baterías utilizadas dentro de los bancos de baterías para los sistemas fotovoltaicos los cuales se muestran algunas de las más representativas a continuación.

Baterías de plomo/ácido. – son un tipo de dispositivos electroquímicos que utilizan una combinación de plomo y ácido sulfúrico para almacenar la energía eléctrica. Son utilizadas por su robustez y fiabilidad. Están hechas a base de una estructura de celdas interconectadas que

produce una reacción química durante la carga y descarga, permitiendo el almacenamiento y liberación de energía (EnerSys, 2023).

Baterías de gel. – están creadas a base de un espesante que gelifica un electrolito, es de allí su nombre. Los gases que se producen al interior cuando se cargan vuelven a convertirse en agua, como la batería es sellada, se mantiene la humedad en su interior. Su principal ventaja es la carga en un tiempo más corto, además de ser más estables ante posibles vibraciones (Euromaster, 2021).

Baterías de AGM. – constan de un electrolito líquido, y llevan separadores de fibra de vidrio donde está presente la mezcla que se produce del agua destilada y el ácido sulfúrico. Este tipo de baterías no necesitan de un mantenimiento, debido a su capacidad de rendimiento bastante alto llegando al 99% dependiendo de su fabricante (Coelectrix, 2017).

En la Tabla 2-8, se presenta las especificaciones técnicas más importantes que describen a varios tipos de baterías utilizados en los sistemas fotovoltaicos.

Tabla 2-8: Especificaciones técnicas más importantes de varios tipos de baterías.

Especificaciones Técnicas	Plomo - Acido	Gel	AGM
Composición	Ácido	Gel	AGM
Peso	Elevado	Elevado	Elevado
Eficiencia	85%	65%	97%
Vida útil [años]	20	12	10
Precio	Medio	Elevado	Medio

Fuente: (Hilcu, 2023)

Realizado por: Garcés B, 2023

Con base a la información de la Tabla 2-8, se observa que las baterías de tipo AGM es la mejor opción para los fines del presente trabajo, debido a una eficiencia alta, no necesita de mantenimiento, una vida útil aceptable, y un precio accesible.

2.3.3 Sistema de bypass eléctrico

Es un método para evitar interrupciones en las vías de comunicación eléctrica, lo que previene posibles fallos en la utilización de componentes. La palabra *Bypass* significa derivación o tránsito, y en este contexto se refiere a la capacidad de alimentar la red eléctrica a partir de una fuente externa de energía (Electrician Expert, 2019).

2.4 Tarjetas de desarrollo

Las tarjetas de desarrollo son un circuito electrónico que contiene un microcontrolador o dispositivo lógico y elementos como puertos, conectores y reguladores que les permite a los usuarios acceder fácil y rápidamente a los periféricos para realizar aplicaciones y pruebas. Hay muchas tarjetas de desarrollo disponibles de una variedad de compañías por lo que se detalla a continuación, información de algunas marcas más reconocidas en el ámbito de la electrónica (Lemus, 2019).

Raspberry. – Es un pequeño ordenador capaz, de ser utilizado para aplicaciones similares a un PC básico, como hojas de cálculo, procesadores de texto. Sin embargo, debido a sus características es muy potente para IoT, creación de videojuegos y reproducción de videos de alta definición (Lemus, 2019).

BeagleBone. – Es una extensión basada en la placa ARM BeagleBoard, la cual ofrece a los diseñadores de códigos de programación aplicaciones de alto rendimiento en *hardware* y *software* a un costo menor que la Raspberry pero superior a la ESP (Fractalia, 2014).

ESP. – Es una serie de sistemas de bajo costo y consumo energético, es muy utilizado en aplicaciones IoT, debido a contar con WiFi y Bluetooth, además consta de doble núcleo de 32 bits que se ejecuta a 240MHZ, la facilidad de su programación radica en código libre compatible con Arduino (Lemus, 2019).

Tabla 2-9: Comparativa entre tarjetas de desarrollo.

Especificaciones	Raspberry	BeagleBone	ESP
V. Entrada [V]	5	5	5-3,3
Memoria	1/2/4GB	512 MB	520 KB
Conectividad	Wifi 2,4-5GHx, Bluetooth 5,0, BLE	Wifi 802,11, Bluetooth 4,1 y BLE	Wifi 802,11, Bluetooth 4,2, BLE
Puertos	GPIO 40, 2 Micro HDMI, 4 USB,	RJ45, 2 USB, 1 HDMI, GPIO 65	GPIO24/18 ADC
Consumo	1,5 A	700 mA	260 mA
Precio \$	50-100	50-100	10-13

Fuente: (Sonix, 2019; Tomisin, 2022; Gigi, 2021)

Realizado por: Garcés B, 2023

Según la Tabla 2-9 se determina que la serie ESP es la mejor opción para ser implementada en esta investigación debido a su menor consumo energético y un precio accesible.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla el diseño del *software* del prototipo de un sistema IoT, autosustentable para la medición de consumo de agua potable mediante una interfaz web. En base a los estudios realizados, se define los requerimientos que debe cumplir el sistema, y se especifica la selección de los componentes electrónicos necesarios para la implementación, al igual que un esquema de conexión general del sistema, tomando en cuenta la realidad actual del lugar de implementación.

3.1 Diagnóstico de la situación actual

Para poder realizar una comparación del prototipo propuesto con el ya implementado por la EP-EMAPAR, es necesario obtener los datos de consumo correspondientes a los últimos meses de la planilla, para lo cual se estableció un hogar de implementación ubicado en el sector Los Pinos de la ciudad de Riobamba, como se puede observar en la Figura 3-1.

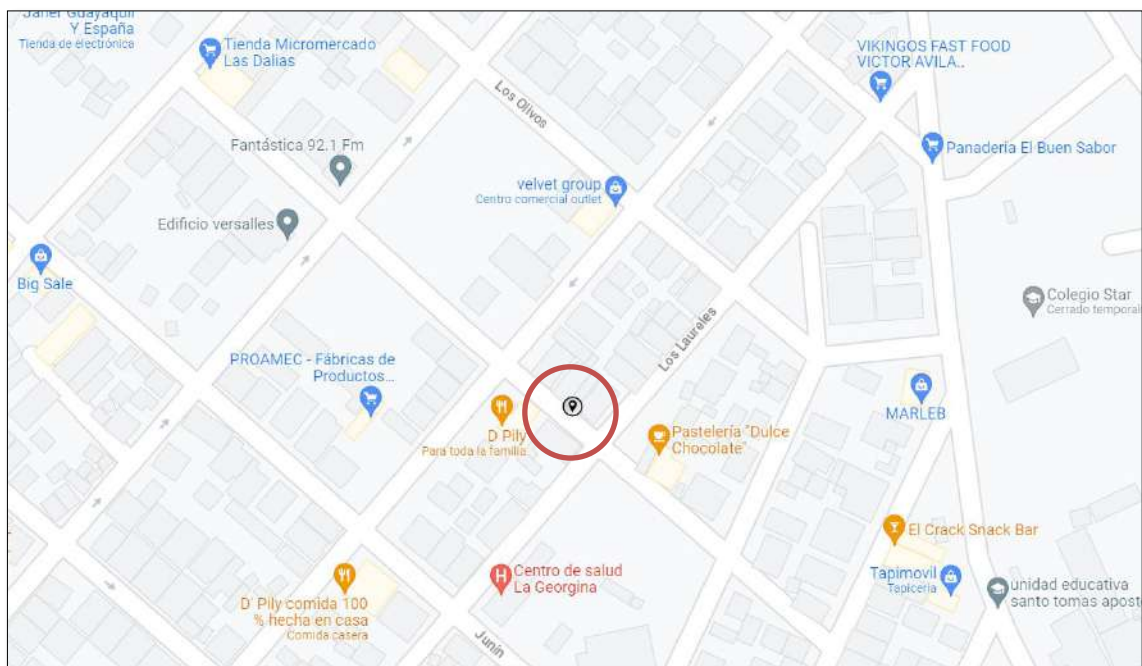


Figura 3-1: Ubicación de la residencia en donde se implementó el medidor.

Realizado por: Garcés B, 2023

Además, se procede a obtener la información mediante la plataforma propia de la EP-EMAPAR, como se puede observar en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Historial de consumo del hogar a partir de Enero 2023 - Junio 2023.

Historial de Consumo Completo del Nro de Cuenta 12230						URDIALES PAREDES JAIME GUSTAVO					
Emission	Fecha Lectura	Lectura Anterior	Lectura Actual	Consumo	Total	Estado Cobro	Convenio Nro	Fecha Cobro	Fecha Creacion	Novedad	Estado
Julio del 2023 - (2308)		1037	0	-1037		Falta Pago	0	Sin Cobrar	2023-07-25	NORMAL	SIN CERRAR
Junio del 2023 - (2307)	05/07/2023 00:00	1026	1037	11	9,99	Falta Pago	0	Sin Cobrar	2023-07-14	NORMAL	ACTIVO
Mayo del 2023 - (2306)	02/06/2023 00:00	1013	1026	13	10,61	Pagado	0	2023-06-26	2023-06-14	NORMAL	ACTIVO
Abril del 2023 - (2305)	04/05/2023 00:00	1001	1013	12	10,31	Pagado	0	2023-05-22	2023-05-14	NORMAL	ACTIVO
Marzo del 2023 - (2304)	03/04/2023 00:00	990	1001	11	10,09	Pagado	0	2023-05-22	2023-04-14	NORMAL	ACTIVO
Febrero del 2023 - (2303)	07/03/2023 00:00	980	990	10	9,69	Pagado	0	2023-03-24	2023-03-14	NORMAL	ACTIVO
Enero del 2023 - (2302)	07/02/2023 00:00	969	980	11	9,99	Pagado	0	2023-02-26	2023-02-14	NORMAL	ACTIVO

Realizado por: Garcés B, 2023

Como se puede observar en la Tabla 3-1, se evidencia el consumo realizado por el hogar a partir de enero del 2023 hasta junio del 2023. Se considera los últimos seis meses, debido a un estándar de la empresa. Se obtiene el promedio de consumo al igual que el costo promedio del servicio, utilizando la Ecuación (3-1):

$$C_{pg}(\text{Consumo promedio general}) = \frac{\sum C_m(\text{Consumo mensual})}{T_m(\text{Total de meses de análisis})} \quad (3-1)$$

$$C_{pg} = \frac{68m^3}{6 \text{ mes}} \approx 11.33 [m^3/\text{mes}] \quad (3-2)$$

$$C_{pc}(\text{Costo promedio de consumo}) = \frac{\sum Co_m(\text{Costo mensual})}{T_m(\text{Total de meses de análisis})} \quad (3-3)$$

$$C_{pc} = \frac{\$ 60.68}{6 \text{ mes}} \approx \$ 10.11/\text{mes} \quad (3-4)$$

Según la Ecuación (3-2) el consumo promedio es de $11.33 m^3$, además un valor de \$10.11, correspondiente al costo promedio de la tarifa pagada de los últimos 6 meses del servicio de agua potable como se muestra en la Ecuación (3-4).



Figura 3-2: Medidor implementado en la residencia.

Realizado por: Garcés B, 2023

Se puede evidenciar como se muestra en la Figura 3-2, el uso de varios componentes mecánicos, un medidor de chorro múltiple de la marca ZENNER, de tipo mecánico para tubería de ½ pulgada, utilizado para muestreo de lectura de manera digital, el uso de estos medidores se realiza debido a tener un error máximo de lectura equivalente al 5%, que precisamente es el valor estándar de tolerancia que permite la EP-EMAPAR para que el servidor público pueda obtener el valor de consumo del hogar. Este modelo de medidor está discontinuado en la actualidad. Una válvula mecánica de ½ pulgada para el cierre y apertura de servicio, la cual está instalada antes del medidor de chorro múltiple. Tuberías de plástico para la conectividad del servicio con el hogar, todos estos componentes están dentro de una estructura de acero, de 40 cm de largo, 20 cm de alto y 10 cm de ancho.

3.2 Requerimientos del dispositivo

Basado en los estudios realizados en el capítulo anterior, se considera algunos requerimientos para el dispositivo propuesto que se detallan a continuación.

- Brindar lecturas del consumo de agua potable con un error máximo del $\pm 5\%$.
- Ofrecer monitoreo en tiempo real mediante la plataforma web IoT de *Node Red*.

- Almacenar la información del consumo diario, semanal y mensual de agua potable, en una base de datos de *software* libre que permita reducir los costos de desarrollo.
- Emitir alertas mediante telegram cuando se evidencia un alto consumo de agua de acuerdo con el promedio de los últimos 6 meses.
- Implementar un sistema de *bypass*, entre un sistema fotovoltaico y la red eléctrica del hogar.
- Brindar una autonomía de las baterías de 18 horas después de una interrupción en el suministro tanto del panel solar como de la red eléctrica.
- El dispositivo debe ser seguro ante condiciones climáticas con una estructura resistente y duradera basada en el estándar ip65.

3.3 Concepción de la arquitectura del dispositivo propuesto

En base a los requerimientos planteados, en la sección anterior se presenta la concepción del sistema en general propuesto, que está constituido por el medidor implementado por la EP-EMAPAR conectado directamente al dispositivo propuesto.

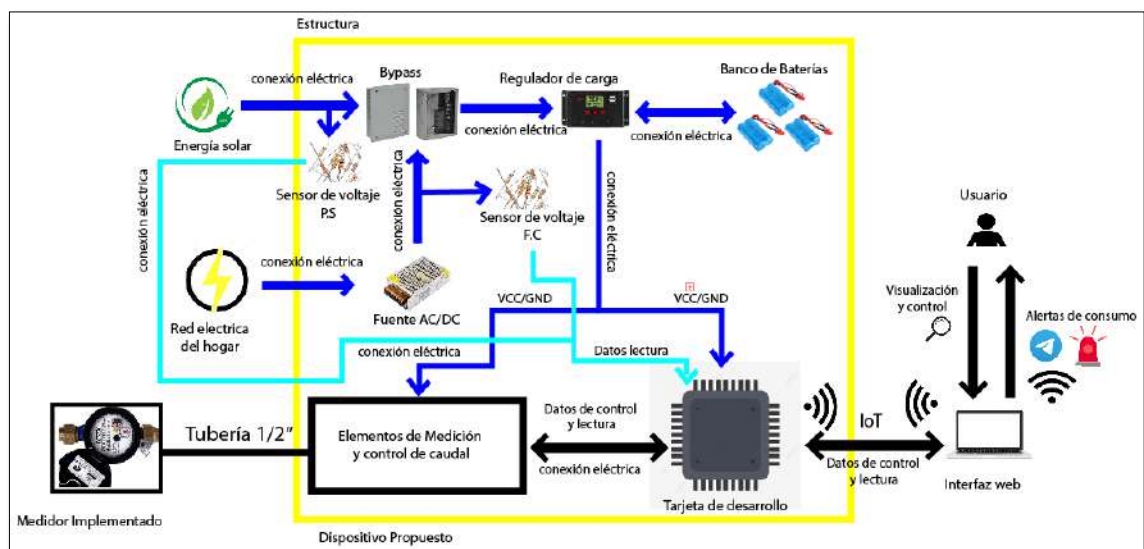


Gráfico 3-1: Concepción de la arquitectura del dispositivo propuesto.

Realizado por: Garcés B, 2023

Como se puede observar en el Gráfico 3-1, el prototipo propuesto está directamente conectado mediante tuberías de ½” al medidor implementado por la EP-EMAPAR, los elementos de medición y control de caudal envía y reciben datos de la tarjeta de desarrollo, la misma que envía los datos recibidos de la lectura mediante el protocolo de comunicación MQTT mediante WiFi, a la interfaz web, donde el usuario puede visualizar y ejecutar el control necesario a los elementos de control que incorpora el dispositivo propuesto, además, de que puede recibir alertas de consumo mediante *telegram*. Por otra parte, la red eléctrica del hogar se conecta a una fuente de transformación AC/DC, que a su se conecta a un sistema de *bypass* conjuntamente con la energía eléctrica proporcionada por los paneles solares. El sistema de *bypass*, mediante un sistema de sensor de voltaje se mide tanto el voltaje que proporciona los paneles solares como la fuente AC/DC, y son enviados a la tarjeta de desarrollo para su posterior análisis, con los resultados del mismo se controla el suministro de energía al regulador de carga, de igual manera al banco de baterías, que se encarga de abastecer de energía eléctrica a la tarjeta de desarrollo y demás elementos.

3.4 Selección de *hardwares* del sistema de medición.

Se detalla las características importantes de los elementos utilizados para el sistema de medición.

3.4.1 *ESP32 NodeMCU-32*

Es una tarjeta de desarrollo de la serie de ESP desarrollada por Espressif System, las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas del ESP32.

Especificaciones	Detalles
Voltaje de alimentación (USB)	3.3 - 5V
Voltaje de operación	3.3 V
Corriente de operación	5μ A
Voltaje de entradas/salidas	3.3 V
Consumo energético	240mA
CPU	Xtensa LX6 de doble núcleo de 32 bits
Frecuencia de Reloj	240MHz
Bluetooth	V4.2 BR/EDR, BLE
WiFi	802.11
Dimensiones(largo x ancho)	55 x 28 mm
Costo	\$ 10.00

Fuente: (Sonix, 2019; Tomisin, 2022; Gigi, 2021)

Realizado por: Garcés B, 2023

Se utiliza debido a sus prestaciones en conectividad WiFi, además que consta de 38 terminales entre digitales y analógicas, siendo así más que suficientes para la conectividad con los demás elementos, consumo energético bajo, y costo accesible.

3.4.2 YF-S201

Es un sensor de tipo turbina, y sus especificaciones técnicas se indican en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del sensor YF-S201

Especificaciones Técnicas	Detalles
Voltaje de entrada	5 V
Corriente	1.5mA
Caudal	1-30litros/minuto
Material de construcción	Latón
Presión	16 Bar
Diámetro nominal	DN15
Lectura	Pulsos
Error	5%
Vida útil	10 años
Temperatura maxima	-25 a 120 grados centigrados
Medición de aire	Si
Costo	\$ 10.00

Fuente: (ARAD, 2016; Geek Factory, s.f.; ZENNER, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

En base a la Tabla 3-3, se utiliza debido al error de lectura permisible según los estándares de la EP-EMAPAR, el rango de caudal, la presión, el diámetro nominal, y el error, además de otras especificaciones importantes como el tipo de lectura y la corriente de bajo consumo.

3.4.3 Rugo 101

El uso de una válvula expulsora de aire es debido a que el sensor YF-S201, en una sus características mencionadas en la Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del sensor YF-S201Tabla 3-3, es capaz de medir no solo el caudal, sino también el flujo del aire, además en el apartado 1.2.2 correspondiente a la justificación aplicativa, se menciona el uso de esta válvula, para la solución de la lectura no deseada en las tuberías de distribución de agua potable.

Tabla 3-4: Especificaciones técnicas de la válvula Rugo 101.

Especificaciones	Detalles
Presión de cierre	16 [bar]
Conexión	Codo superior
Capacidad	56,50 l/min
Material	Latón
Temperatura	-10 a 120
Rosca	1/2 "

Fuente: (FLMundial, 2023)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.4.4 U.S Solid CR-02

Para evitar consumos excesivos, y que el dimensionamiento del sistema fotovoltaico disminuya evitando así comprar elementos de un costo más elevado, se opta para el uso de esta electroválvula de 3 cables de tipo bola monitorizada, que sus especificaciones esenciales se muestra en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Especificaciones técnicas de la U.S Solid CR-02

Especificaciones	Detalles
Material	Acero inoxidable
Tipo	3 cables: 2 alimentación y 1 de gnd
Rosca	NTP
Voltaje de funcionamiento	9-24 V
Diámetro nominal	DN15
Dimensiones	4.65 x 3.66 x 3.62 pulgadas
Precio	\$51

Fuente: (Amazon, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

Según la Tabla 3-5, se muestra que al ser de tipo 3 cables, el consumo energético no es significativo, debido a que tanto el cierre como apertura del servicio no se acciona de manera consecutiva durante el año, se considera un tiempo de 5 segundos que es un aproximado que tarda ya sea en abrirse o cerrarse la válvula, después de aquello, mediante la programación de la tarjeta de desarrollo se puede cortar el suministro energético, mediante el uso de un relé de 2 canales, de esta manera, evitamos un consumo energético elevado.

3.4.5 SRD-05VCD-SL-C

Es un módulo relé de dos canales, por lo que el uso de este elemento es precisamente para proporcionar el control que se menciona en el apartado 3.4.4. por lo que en la Tabla 3-6 se muestra las especificaciones técnicas de este elemento.

Tabla 3-6: Especificaciones técnicas del SRD-05VDC-SL-C

Especificaciones	Detalles
Voltaje de operación	5V DC
Corriente máxima	10 A (NO), 5A (NC)
tiempo de acción	10ms/5ms
Activación de salida	0 V
Capacidad máxima	10A/250VAC - 10A/30VDC
Precio	\$3

Fuente: (Naylamp, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.4.6 Válvula Check

Para impedir el regreso del agua potable por la tubería de distribución y así evitar el doble conteo de consumo por parte del sensor YF-S201 se hace uso de una válvula *check* que muestra las especificaciones técnicas detalladas en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7: Especificaciones técnicas de la válvula check LL5007

Especificaciones	Detalles
Material	Latón
Presión	16 bar
Temperatura de trabajo	-10 hasta +120 grados celsius
Diámetro nominal	DN15
Precio	\$10

Fuente: (Doblue Lin, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.5 Dimensionamiento del sistema Fotovoltaico

Para poder dimensionar los dispositivos necesarios para crear un sistema fotovoltaico capaz de alimentar con energía eléctrica al sistema, es necesario realizar un estudio de consumo general de los elementos utilizados, para ello se detalla la siguiente información.

Tabla 3-8: Consumo total de los elementos del dispositivo propuesto.

Dispositivo	Cantidad	Potencia [W]	Horas por día	Consumo total [Wh/día]
ESP32	1	1.2	24	28.8
YF-S201	1	0.075	24	1.8
Rele 2 canales	2	0.1	24	4.8
Total				35.4

Realizado por: Garcés B, 2023

En base a los datos obtenidos del consumo de cada elemento utilizado como se evidencia en la Tabla 3-8, se estima que el consumo diario del dispositivo propuesto es de alrededor de 35.4 [W] al día. Sin embargo, es importante tener en cuenta las posibles pérdidas que pueden ocurrir por diversas razones. Por lo tanto, se consideran tres aspectos claves en la planificación del sistema. En primer lugar, se aplica un factor de seguridad del 10%, que nos permitirá mantener la alimentación en caso de pérdidas inesperadas. En segundo lugar, se debe considerar la energía mínima necesaria para el funcionamiento del sistema, la cual se establece en un valor estándar de 80% del consumo total. Finalmente, se debe contemplar una energía extra para compensar los días nublados o con baja irradiación solar, que se establece en un 20%. De esta manera, se garantiza un funcionamiento del sistema de energía solar fotovoltaica. Por lo tanto, se considera el siguiente cálculo. Primero se obtiene el valor de la Energía general que se prevé en el sistema tomando en consideración los siguientes parámetros:

$$\gamma = \text{Factor de Seguridad (+10\%)} \quad (3-1)$$

La Energía General de acuerdo con la eficiencia general se obtiene con la siguiente fórmula:

$$E_{gen} = \frac{E_{carga_total}}{\eta_T} = \frac{35.4[Wh/día]}{0.8} \approx 44.25 [Wh/día] \quad (3-2)$$

El valor de la Energía Extra se obtiene con la siguiente fórmula:

$$E_{extra} = \lambda_{extra} * E_{gen} = 0.2 * 44.25[Wh/día] \approx 8.85 [Wh/día] \quad (3-3)$$

La Energía generada total se calcula de la siguiente manera:

$$E_{gen_{total}} = \gamma * (E_{gen} + E_{extra}) \approx 58.41 [Wh/día] \quad (3-4)$$

Según la Ecuación 3-4, el consumo general del sistema es de 58.41 [Wh/día] aproximadamente, con este valor dimensionaremos los demás componentes fotovoltaicos.

3.5.1 Banco de Baterías

El cálculo para obtener la capacidad que debe tener nuestro banco de baterías se realiza de la siguiente manera:

$$C_b(\text{Capacidad Baterías}) = \frac{E_{gen_{total}} * \text{días de autonomía}}{F_{soc}(\text{SoC de descarga}) * V_T(\text{Voltaje trabajo})} \quad (3-5)$$

$$C_b = \frac{58.41 [Wh/día] * \frac{18}{24}}{\frac{10.7}{14.4} * 12[V]} \approx 4.91 [Ah/día] \quad (3-6)$$

Según la Ecuación (3-6), se recomienda utilizar una batería con una capacidad aproximada de 5 [Ah/día].

3.5.2 Panel solar

Para dimensionar un panel solar se toma en consideración la energía generada total por el sistema y el número de paneles estimado que se desea utilizar, para lo cual tenemos los siguientes valores.

$$E_{gen_{total}} = 58.41 [Wh/día] \quad (3-7)$$

$$W_{p(T)} = \text{Potencia Pico del panel} \quad (3-8)$$

$$HSP = \text{Horas Solares Pico} = 4 h/día \quad (3-9)$$

$$V_{np} = \text{Tensión nominal del panel} = 18.36 V \quad (3-10)$$

$$V_p = \text{Tensión pico} = 12V \quad (3-11)$$

Obtenemos la potencia pico del panel con la siguiente fórmula:

$$W_{p(T)} = \frac{E_{panel} * V_p}{HSP * V_{np}} = \frac{58.41 [Wh/día] * 12[V]}{4 * 18.36} \approx 9.54 [W] \quad (3-12)$$

Según la Ecuación (3-12), se recomienda utilizar un panel solar aproximado de 10 [W] de potencia para el sistema.

3.5.3 Regulador de carga

Para dimensionar el regulador de carga se toma los siguientes parámetros:

$$\%Seguridad(+25\%) = 1.25 \quad (3-13)$$

$$I_{cc} = 0.58 A \quad (3-14)$$

$$Regulador = (\%Seguridad) * I_{cc} = 1.25 * 0.58A = 0.725A \quad (3-15)$$

Según la Ecuación (3-15) se recomienda utilizar para el sistema propuesto un regulador de carga que pueda soportar corrientes de 0.725 A.

3.6 Selección de *hardwares* del sistema de *bypass*.

A continuación, se establecen los elementos *hardwares* a utilizar en la implementación del sistema fotovoltaico del dispositivo propuesto, donde se describe cada uno de ellos con sus características más relevantes.

3.6.1 Panel solar 10W – Ikoa

Basado en los estudios de la sección 2.3.1 y 3.5.2, se utiliza un panel solar de 10 Watts de la marca Ikoa, y sus características más importantes se detalla en la Tabla 3-9.

Tabla 3-9: Especificaciones técnicas del panel solar 10 [W]

Especificaciones Técnicas	Detalles
Modelo	10W - Ikoa
Celdas	36
Potencia [W]	10
Voltaje nominal [V]	18.36
Dimensiones [cm]	36/24/1.7
Rendimiento	24%
Corriente operativa óptima (I)	0.54
Voltaje de circuito abierto [V]	22.64
Voltaje pico de funcionamiento [V]	12
Peso [kg]	1.2
Rango de temperatura [C]	-40 hasta +85
Corriente de corto circuito (I)	1.2 A
Vida útil [años]	10
Costo	\$ 20.00

Fuente: (Khomp, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.6.2 Regulador de carga 10A

Según los cálculos realizados en el dimensionamiento, el regulador de carga debe soportar corriente de al menos 0.725 amperios, lo que no es un inconveniente debido a ser un dato pequeño, se escoge el siguiente controlador de carga de 10A que sus características importantes se muestra en la Tabla 3-10.

Tabla 3-10: Especificaciones técnicas del controlador solar de 10 A

Especificaciones Técnicas	Detalles
Corriente	10 A
Voltaje clasificado:	12 V
Voltaje de salida USB	5V / 3A
Temperatura de funcionamiento	-35 hasta +60 grados celsius
Costo	\$ 20.00

Fuente: (Mercado Libre, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.6.3 Batería de 5Ah de plomo – ácido sellada

El modelo Outdo OT5-12, es una batería de tipo AGM, y sus especificaciones técnicas más relevantes se muestra en la Tabla 3-11.

Tabla 3-11: Especificaciones técnicas de la batería AGM.

Especificaciones Técnicas	Detalles
Modelo	Outdo OT5-12
Composición	AGM
Capacidad	5Ah
Voltaje nominal	12 V
Dimensiones	9cm x 7cm x 9.5cm
Costo	\$ 20.00

Fuente: (Mercado Libre, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.6.4 XL6009

Se utiliza un regulador de voltaje, para momentos en los que el panel solar no brinda un voltaje óptimo, con este dispositivo se logra obtener 12V aun cuando el panel solar nos da menos de 12V y mayor a 5V, las especificaciones técnicas del dispositivo se describen en la Tabla 3-12.

Tabla 3-12: Especificaciones técnicas del XL6009

Especificaciones Técnicas	Detalles
Tipo de encapsulado	TO-263
Voltaje de entrada	5V - 32V
corriente de salida máxima	2A-4A
Eficiencia	90%
Frecuencia de conmutación	400kHz
Costo	\$ 3.00

Fuente: (Ylinchip,s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.6.5 Fuente de conmutación

Se utiliza una fuente conmutada de la marca Delta de 12V de salida y 5Ah de carga máxima, las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 3-13.

Tabla 3-13: Especificaciones técnicas de la fuente conmutada 12V - 5Ah

Especificaciones	Detalles
Marca	Delta
Tensión de alimentación	120 V AC - 230 V AC
Ajuste de la tensión de salida	11-15V
Carga máxima	5A
Potencia	60W

Especificaciones	Detalles
Temperatura	-10 a +50 grados celsius
Dimensionaes	160 x 98 x 42 mm
Precio	\$ 7.00

Fuente: (Novatronic, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.7 Selección de *hardwares* del sistema de *bypass*.

Para cumplir con el requerimiento de que el dispositivo debe contar con una estructura resistente ante condiciones climáticas adversas, y duradera se opta por la opción de un gabinete eléctrico con ip65, las características de este gabinete se muestran a continuación:

Tabla 3-14: Especificaciones técnicas del gabinete eléctrico ip65.

	
Especificaciones	Detalles
Marca	GE
Protección	Ip65
Norma	IEC 62 208:2011
Contrucción	Chapa de acero doble decapada de 1.25 mm
Cerradura	1/2 vuelta con ranura en triangulo
Apertura de puerta	160 grados
Lugar de instalación	Interperie
Precio	\$ 45.00

Fuente:

Realizado por: Garcés B, 2023

3.8 Esquema de conexión del dispositivo medidor

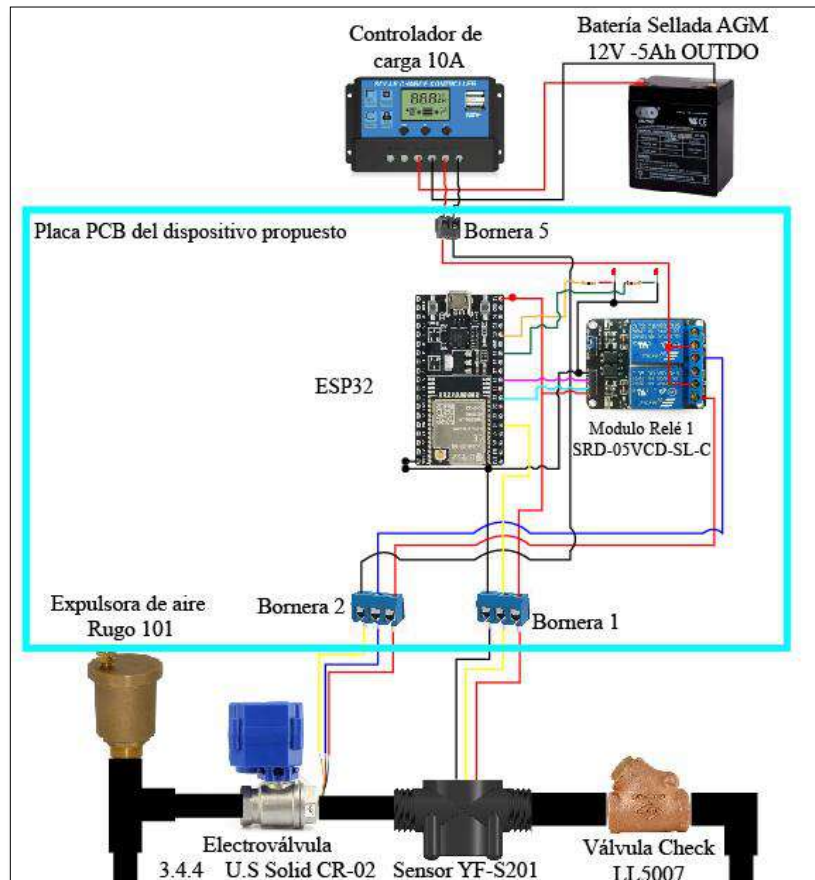


Figura 3-3: Diagrama de conexión del medidor

Realizado por: Garcés B, 2023

La estructura general de conexión del medidor se puede observar los elementos a color en la Figura 3-3, consta de los siguientes elementos, un sensor YF-S201 de ½ pulgada con roscas externas, el cual censa el caudal que pasa por la tubería, este sensor cuenta con 3 cables de conectividad, 2 de alimentación proporcionada por el ESP32, y 1 cable de conectividad para la señal de consumo. Utilizamos una electroválvula de bola monitorizada de 3 cables que se conecta a un módulo relé de 2 canales directamente conectados a la salida de 12V del controlador de carga, el módulo relé se conecta al ESP32 para recibir la señal de cuando se abre y se cierra el servicio. Se cuenta con una válvula expulsora de aire ubicada en una unión tipo codo, para evitar que el sensor mida el flujo del aire, y se implementa después del sensor una válvula *check* para evitar el regreso del caudal. Se fabrica una placa PCB la que consta con un circuito impreso entre los siguientes módulos, un ESP32 que recibe la información del sensor, y emite información tanto a la electroválvula como a la plataforma Iot. 2 borneras de 3 pines para facilitar la conexión de la

electroválvula y el sensor con el ESP32, 2 bornera de 2 pines para facilitar la conexión entre el sistema fotovoltaico y el medidor. Todos estos elementos están dentro de una estructura resistente ante relé un clima adverso.

3.9 Esquema de conexión del sistema de *bypass*

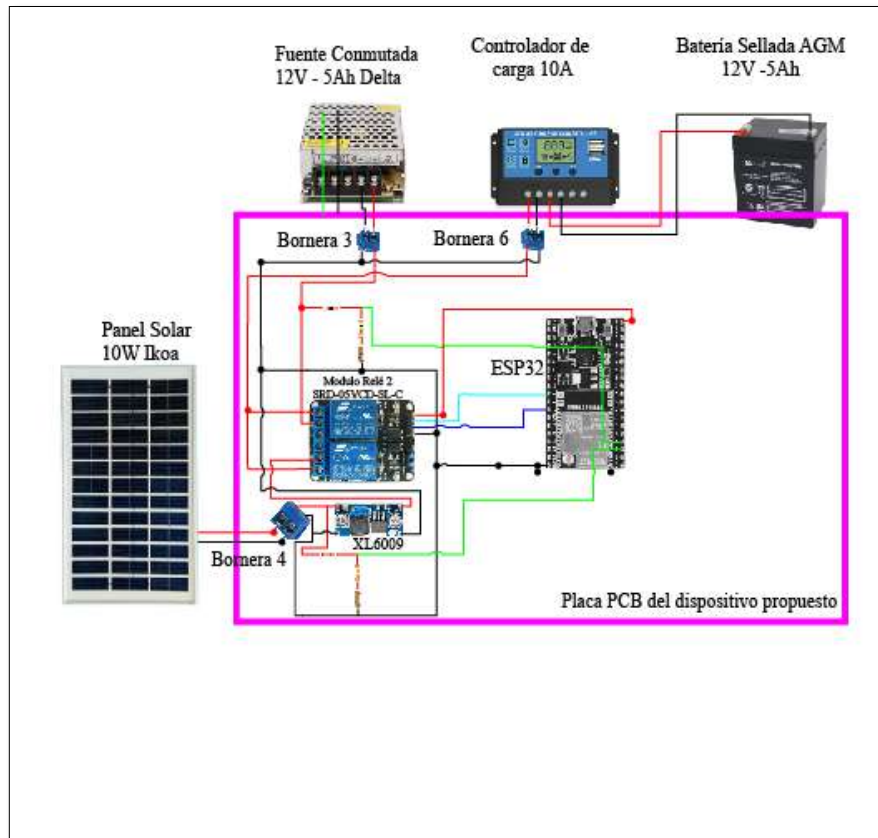


Figura 3-4: Diagrama de conexión sistema fotovoltaico

Realizado por: Garcés B, 2023

El sistema de *bypass* entre un sistema fotovoltaico y la red eléctrica del hogar se puede observar en la Figura 3-4, donde se ven los componentes a color que lo componen, consta de los siguientes elementos, un panel solar conectado a un circuito divisor de voltaje encargado de medir el voltaje que proporciona el panel esta información se envía a un ESP32 que analiza la información y envía la resolución a un XL6009 que obtendrá el valor máximo del panel incluso cuando el panel no proporciona voltaje suficiente. La salida del XL6009 se conecta al primer canal del relé que mediante una señal del ESP32 permite el paso del voltaje proporcionado por el panel siempre y cuando cumple con los estándares, si no es el caso, el relé del sistema fotovoltaico no permite el paso de voltaje del panel, por lo tanto el ESP32 envía la solicitud de paso al otro


canal del relé ubicado en la línea de la red eléctrica, que utiliza una fuente conmutada para transformar Voltaje AC en DC, y poder cargar las baterías con el mismo voltaje del panel, El ESP32 es el encargado de controlar el paso ya sea del panel solar como de la red eléctrica, mientras deja el paso de uno ni ego el del otro y así viceversa, el tiempo de respuesta para el *switch* es de medio segundo, esto considerando las especificaciones del componente ya que tiene un tiempo de acción de 5ms, además, se cuenta con una batería solar la cual es la cargada mediante el regulador de carga y la que proporcionara electricidad tanto para los módulos del control de *bypass*, como para el medidor.

3.10 Usos de *hardware* para el sistema de medidor

Según los diagramas de conexión mencionados anteriormente, se determinan los usos de cada elemento y se establecen sus conexiones.

3.10.1 *Sensor de caudal*

Tabla 3-15: Uso del sensor YF-S201

Sensor YF-S201	Cables de conectividad	
	Rojo	5V
	Negro	GND
	Amarillo	Salida de señal hacia el ESP32 pin 5

Realizado por: Garcés B, 2023


Como se puede observar en la Tabla 3-15, utilizaremos este sensor para adquirir la señal del consumo del flujo que pasa por una tubería. El sensor cuenta con 3 cables para conectividad, uno rojo que sirve para la alimentación del sensor a 5V, uno negro para GND, y uno amarillo que es la señal que se conectará a la tarjeta de desarrollo, para ser procesada. Y obtener un valor estimado del consumo de agua potable, teniendo en cuenta los requerimientos del dispositivo.

3.10.2 *Tarjeta de Desarrollo*

La tarjeta de desarrollo que se utilizará para esta investigación es un ESP32, como se puede observar en la Tabla 3-16, se utiliza el ESP32 para el procesamiento de señal adquirida del sensor

YF-S201 en el pin GIOP34, además se utiliza los pines GIOP26 y GIO33 para el cierre y apertura de la electroválvula. Los pines SN y SP son utilizados para la lectura de voltaje de la fuente conmutada y del panel solar. El GIOP5 y GIOP19 son las señales de activación para el módulo relé que sale al controlador de carga solar, mientras el GIOP 13 como el GIOP12 son para indicadores de lectura y funcionamiento. Los pines 19 y 38 se utilizará para proporcionar alimentación a los módulos.


Tabla 3-16: Terminales, asignaciones y uso del ESP32.

ESP32		
		
Terminales	Asignaciones	Usos
19	Vin 5V	Alimentación de 5V
38	GND	Alimentación de GND
5	GIOP34	Señal de lectura de consumo del sensor YF-S201
8	GIOP33	Señal para apertura de electroválvula
10	GIOP26	Señal para cierre de electroválvula
4	SN	Señal de voltaje de la fuente conmutada
3	SP	Señal de voltaje del panel solar
29	GIOP5	Señal para activación de Relé Fuente Conmutada
31	GIOP19	Señal para activación de Relé panel solar
15	GIOP13	Señal para indicar envío de datos
13	GIOP12	Señal para indicar lectura de datos

Realizado por: Garcés B, 2023

3.10.3 Válvula expulsora de aire

Tabla 3-17: Uso válvula expulsora de aire - Rugo 101


Valvula Expulsora de Aire	
Rugo 101	Uso
	Ubicada en una unión de tuberías en forma de codo para evitar el paso de aire

Realizado por: Garcés B, 2023

Para que el Sensor de flujo utilizado en esta investigación sea capaz de medir solo el caudal, se incorporará una válvula expulsora de aire mecánica del modelo Rugo 101 que se muestra en la Tabla 3-17, esta se colocará antes de la electroválvula en una unión de tuberías en forma de codo con un conector de tuberías en forma de “T”.

3.10.4 Electroválvula

Tabla 3-18: Uso de la electroválvula U.S Solid CR-02



Electroválvula		
E. de Bola Monitorizada	Cables de conectividad	
	Rojo	Señal de apertura desde relé canal 2
	Azul	Señal de cierre desde relé canal 1
	Negro	GND

Realizado por: Garcés B, 2023

Para poder realizar un control de apertura y cierre de servicio, se utilizará una electroválvula del modelo U.S Solid CR-02 de media pulgada, se conectará a la tarjeta de desarrollo, para recibir los datos de cierre y apertura de la válvula a la plataforma IoT y poder realizar un control al servicio, esto lo realiza mediante 2 cables de conectividad, los cuales se evidencia sus usos en la Tabla 3-18. La electroválvula se implementará en medio de la conexión entre la válvula expulsora de aire y el sensor YF-S201.

3.10.5 Borneras





Tabla 3-19: Uso de borneras de tres terminales

Borneras de 3 pines		
Bornera 1(sensor)	Terminales	Uso
	1	VCC 5V - ESP32
	2	Señal del sensor
	3	GND 5V - ESP32
Bornera 2 (electroválvula)		
	1	Señal cierre
	2	Señal apertura
	3	GND 12V

Realizado por: Garcés B, 2023

Se utilizará una bornera de 3 pines para la conexión entre el sensor YF-S201, con los terminales antes mencionados en el ESP32, para proporcionar energía al sensor y enviar los datos obtenidos del consumo, otra bornera de 3 terminales se utilizará para facilitar la conexión entre el ESP32 y la electroválvula de bola monitorizada, 2 de los terminales se utilizará para cierre y apertura de la válvula.

Tabla 3-20: Uso de borneras de dos terminales


Borneras		
Bornera 3 fuente conmutada	Terminales	Uso
	1	VCC 12V F.C
	2	GND 12V F.C
Bornera 4 panel solar		
	1	VCC 12V P.S
	2	GND 12V P.S
Bornera 5 controlador de carga out		
	1	VCC salida controlador
	2	GND salida controlador
Bornera 6 controlador de carga in		
	1	VCC entrada controlador
	2	GND entrada controlador

Realizado por: Garcés B, 2023

Además, se utiliza borneras de dos terminales, el primero de cada bornera será VCC y el segundo pin será para GND, en total son cuatro borneras la primera para la fuente conmutada, la segunda para el panel solar, la tercera para la entrada del controlador de carga y la cuarta para la salida del controlador de carga hacia las baterías.

3.10.6 Módulos relé de 2 canales

Tabla 3-21: Uso de módulo relé para la electroválvula

Modulo relé de 2 canales electroválvula		
	terminal 1	Vcc 5V
	terminal 2	Señal activación rele 1
	terminal 3	Señal activación rele 2
	terminal 4	GND 5V
	terminal 5	Salida de voltaje apertura
	terminal 6	Entrada VCC Controlador
	terminal 7	Entrada VCC Controlador
	terminal 8	Salida de voltaje cierre

Realizado por: Garcés B, 2023

El primer módulo relé será destinado para el cierre y apertura de la electroválvula, los parámetros para la activación de los 2 canales serán totalmente dependiente del módulo ESP32, mediante los terminales 2 y 3 del relé.

3.11 Usos de *hardware* para el sistema de *bypass*

De acuerdo con los cálculos realizados en la Sección 3.6 se determinó el uso de los elementos para la construcción de un sistema Fotovoltaico como se muestra en la Tabla 3-22.

Tabla 3-22: Usos del *hardware* para el sistema *bypass*

Elemento		Uso	
Panel 10W		Cable Rojo	VCC 12V
		Cable Negro	GND 12V
Regulador 20A		Puerto 1	VCC Int 12V
		Puerto 2	GND Int 12V
		Puerto 3	VCC carga bat
		Puerto 4	GND carga bat
		Puerto 5	VCC out 12V
		Puerto 6	GND Out 12V
Batería 5Ah - 12V		Puerto 1	VCC 12V
		Puerto 2	GND 12V
Fuente Conmutada		Puerto 1	VAC red electrica
		Puerto 2	GND red electrica
		Puerto 5	VCC 12V
		Puerto 6	GND 12V
Modulo Relé de 2 canales		Terminal 1	Vcc
		Terminal 2	Señal activación rele 1
		Terminal 3	Señal activación rele 2
		Terminal 4	GND
		Terminal 5	Salida de voltaje F.C
		Terminal 6	Entrada VCC F.C
		Terminal 7	Entrada VCC P.S
		Terminal 8	Salida de voltaje P.S
XL6009		Terminal 1	VCC 12V P.S
		Terminal 2	GND 12V P.S
		Terminal 3	VCC OUT
		Terminal 4	GND Out

Realizado por: Garcés B, 2023

3.12 Selección de la herramienta *software*

Dentro del amplio mundo del internet existen varias herramientas de lenguajes de código, sin embargo, gracias a que se utilizará ESP32 y este trabaja con lenguaje de código proporcionado por Arduino, se procede a crear el código allí, pero sin duda deseamos presentar un diseño de circuitería para el mejor entendimiento de las conexiones realizadas para lo cual se desarrolla un escenario en *Altium Designer*, el diseño de estructuras se utilizará el *software SolidWorks*, además de utiliza *Node Red* para la visualización en un *dashboard*, y *Phpmyadmin* para la base de datos.

3.12.1 *Arduino IDE 1.8.19*

Es un *software* de código abierto en la versión 1.8.19, en el que realizaremos el código necesario para utilizar la tarjeta de desarrollo ESP32 para la lectura remota del consumo de agua potable del medidor, y estos datos a su vez enviarlos a la plataforma IoT. Las especificaciones del *software* se detallan en la Tabla 3-23.

Tabla 3-23: Características *software* Arduino IDE 1.8.19

Características	Detalles
Versión	1.8.19
Código Abierto	Si
Compatibilidad Windows	Win 7 y posteriores
Compatibilidad Linux	32-64 bits (ARM)

Características	Detalles
Compatibilidad Mac OS X	10.10 y posteriores
Compatibilidad librería ESP32	Si

Fuente: (Arduino, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

El código creado en Arduino IDE debe realizar el cálculo de los valores de consumo del medidor en tiempo real, con un error mínimo del 5%, además de calcular los valores correspondientes por día, por semana, por mes, velocidad de consumo, en cuanto al sistema de *bypass* se creará un código capaz del control de suministro de energía sea del panel solar o de la red eléctrica siempre tomando en consideración que la prioridad es la energía suministrada por el panel solar.

3.12.2 Altium Designer 23.2.1

Es un *software* libre donde crearemos la circuitería del medidor, relacionando cada componente eléctrico, para su funcionamiento, además se podrá visualizar en 3d la placa PCB que se va a implementar, dentro de este programa se crearán dos archivos para PCB's, Uno para la circuitería del medidor, y otra para la circuitería del sistema de *bypass*. Las especificaciones del *software* se detallan en la Tabla 3-24.

Tabla 3-24: Características del *software Altium Designer 23.2.1*

Características	Detalles
Versión	23.2.1
Diseño	Jerárquico y multicanal
3D routing	Si
Simulación	Mixta
Enrutamiento	Interactivo
Límites de hojas esquemáticas	-
Extra	Rigid Flex y multicapa

Fuente: (Altium Designer, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.12.3 SolidWorks 2020

Es un *software* libre que nos permitirá crear el diseño de la estructura que sostendrá a todos los elementos eléctricos que consta nuestro medidor. Dentro de este *software* se ensamblará cada uno de los elementos electrónicos de acuerdo con la circuitería creada por *Altium Designer*. Las especificaciones del *software* se detallan en la Tabla 3-25.

Tabla 3-25: Características del *software Solidworks 2020*

Características	Detalles
Versión	2020
Windows	7-10-Server(2019-2016)
MacOS	Catalina-Mojave-High Sierra
Diseño 3D	Si
Procesador recomendado	3.3 GHz o Superior
Ram recomendada	16GB o más

Fuente: (Suárez, 2021)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.12.4 Node Red 18.16.1

Es una plataforma IoT de uso libre y gratuito, en el cual diseñaremos la interfaz de monitoreo y visualización del consumo de agua potable del hogar, dentro de esta plataforma se creará un diagrama de flujo de visualización de los datos en tiempo real en un *dashboard*, además de la conectividad de *Node Red* con *Phpmyadmin* para guardar los datos de consumo. Las especificaciones del *software* se detallan en la Tabla 3-26.

Tabla 3-26: Características del *software Node Red 18.16.1*

Características	Detalles
Versión	18.16.1
Windows	Si
MacOs	Si
Dashboard	Si
Software libre	Si
Compatibilidad con bloques	Completa

Fuente: (Node Red, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

3.12.5 *Phpmyadmin*

Dentro de la plataforma *Phpmyadmin*, se creará las tablas pertenecientes a la base de datos para guardar los consumos diarios, semanales y mensuales que genera la lectura de nuestro medidor, para futuras aplicaciones. Las especificaciones del *software* se detallan en la Tabla 3-27.

Tabla 3-27: Características de la interfaz web *Phpmyadmin*

Características	Detalles
Soporte	MySQL
Importar archivos	CSV - SQL
Consultas	SQL
Exportar archivos	CSV, SQL, XML, PDF
Peticiones	QBE
Interfaz libre	Si

Fuente: (Sit Ground, s.f.)

Realizado por: Garcés B, 2023

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO

Con los detalles de los esquemas de conexión mencionados anteriormente, es este capítulo se desarrolla el diseño de cada elemento y dispositivo utilizado para obtener un diseño en 3D del dispositivo propuesto, además se realiza el diseño de la circuitería de los componentes para la placa PCB, se desarrolla la programación de los componentes al igual que la de la interfaz web para la visualización del *dashboard*.

4.1 Diseño de la placa PCB

Se diseña una placa PCB utilizando el *software Altium Designer*. La circuitería ha sido creada con los elementos mencionados en los apartados 3.9 y 3.10. Cada componente necesario ha sido creado y asociado con su correspondiente modelo en 3D para facilitar su integración en el esquema gráfico de la circuitería. Durante el proceso de diseño, se realiza las conexiones necesarias y siguiendo las especificaciones detalladas en los apartados mencionados. La Figura 4-1 muestra el resultado de las conexiones de cada elemento descrito en las secciones 3.10 y 3.11, donde se puede observar la disposición de los componentes en la placa PCB y las interconexiones realizadas.

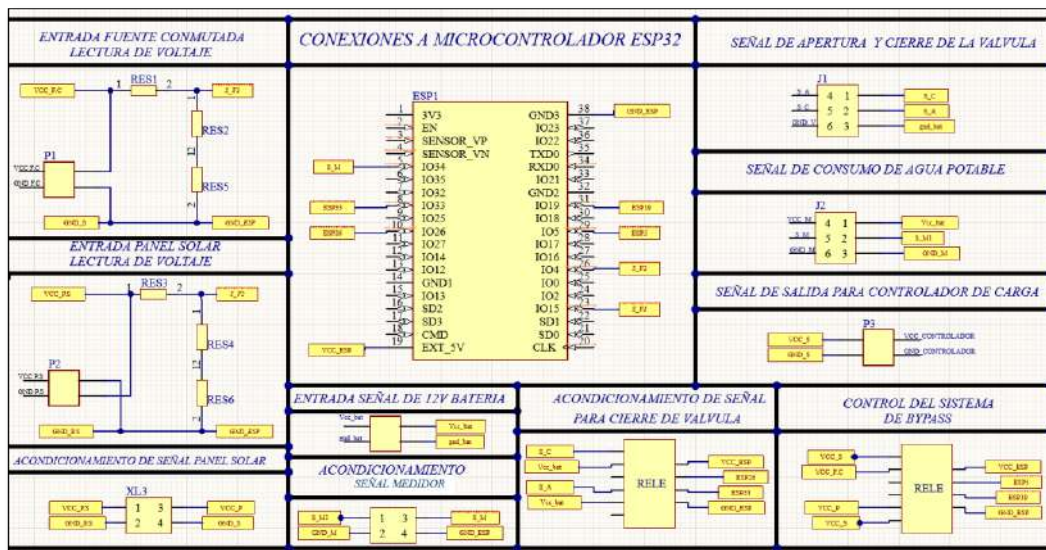


Figura 4-1: Conexiones de cada elemento en el *software Altium Designer*.

Realizado por: Garcés B, 2023

Además, se obtiene un modelado en 2d de la placa PCB en relación con las conexiones antes establecidas, que se puede observar en la Figura 4-2.

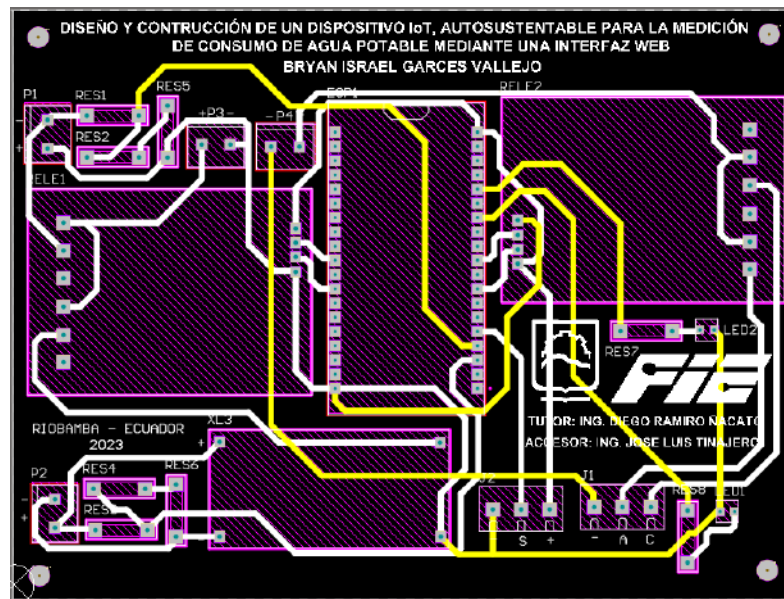


Figura 4-2: Modelado 2d de la placa PCB

Realizado por: Garcés B, 2023

Así mismo, se obtiene el modelado 3d de la placa PCB correspondiente a la Figura 4-2, como se puede observar en la Figura 4-3.

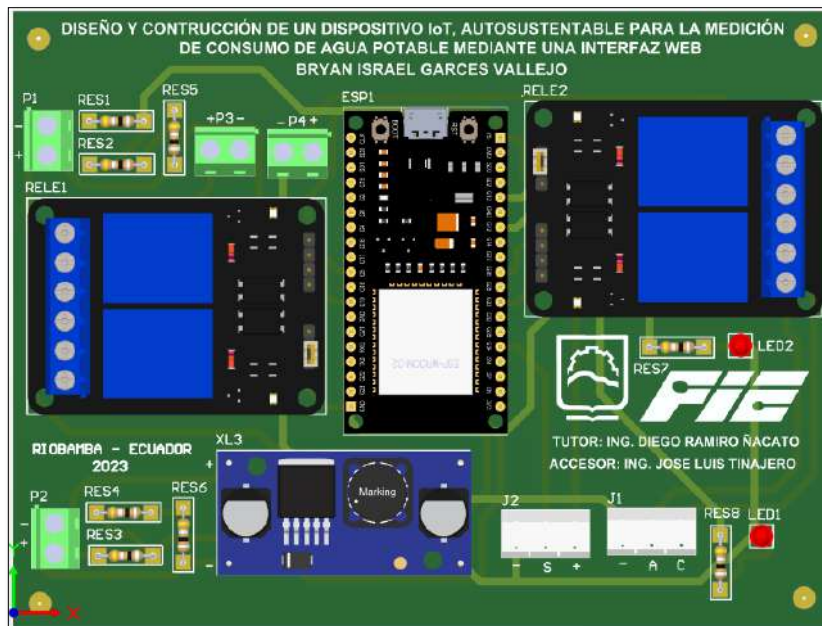


Figura 4-3: Modelado 3D de la placa PCB.

Realizado por: Garcés B, 2023

4.2 Proceso de fabricación de la placa PCB

Después de diseñar el circuito utilizando el *software Altium Designer*, se procede a fabricar la placa PCB de una manera especial. Primero, se realiza el corte y perforación de los agujeros para los espadines utilizando una CNC como se muestra en la Figura 4-4a. Luego, se imprime el circuito en papel *couché* y mediante acetona se presiona en ambas caras de la placa para transferir la tinta del papel y crear las pistas en la placa PCB como se indica en la Figura 4-4b. A continuación, se utiliza la técnica del ácido para eliminar todo el exceso de tinta y material no deseado como se puede visualizar en la Figura 4-4d. Se imprime la información de los componentes y detalles de la placa en papel de *sticker* transparente, que luego se adhiere a la cara superior. Con la ayuda de un estilete, se retira el *sticker* en los espacios donde se realizarán las soldaduras. Finalmente, se procede a soldar cada uno de los espadines y componentes del circuito en su lugar, obteniendo la placa que se puede observar en la Figura 4-4e.

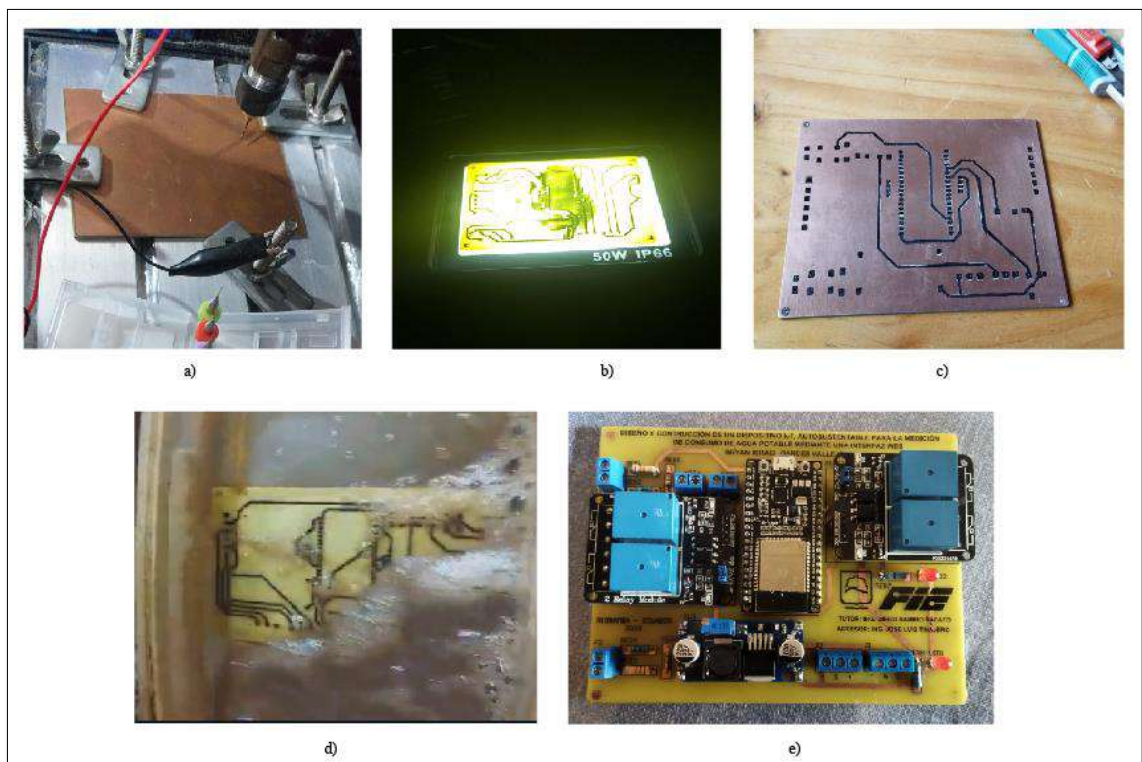


Figura 4-4: Proceso de fabricación de la PCB.

Realizado por: Garcés B, 2023

4.3 Diseño de la estructura del dispositivo propuesto

Con el objetivo de desarrollar un sistema compacto, se procedió a diseñar individualmente cada componente utilizando el *software SolidWorks*, siguiendo las dimensiones específicas de las piezas a utilizar. Luego, se realizó el ensamblaje inicial del sistema de medición, el cual será colocado en serie con la tubería de distribución principal, seguido del medidor proporcionado por la empresa. Esta disposición puede observarse en la Figura 4-5. La conexión se compone de una tubería que proviene del medidor implementado, conectándose a un conector con forma de “T”. Desde la salida superior de este conector, se conecta una válvula expulsora de aire, mientras que la otra salida se conecta a un neplo de ½”. A continuación del neplo de ½”, se coloca la electroválvula, seguida por el sensor YF-S201. A continuación del sensor, se coloca una válvula check, seguida de un conector neplo y un codo de ½” para cada conector.

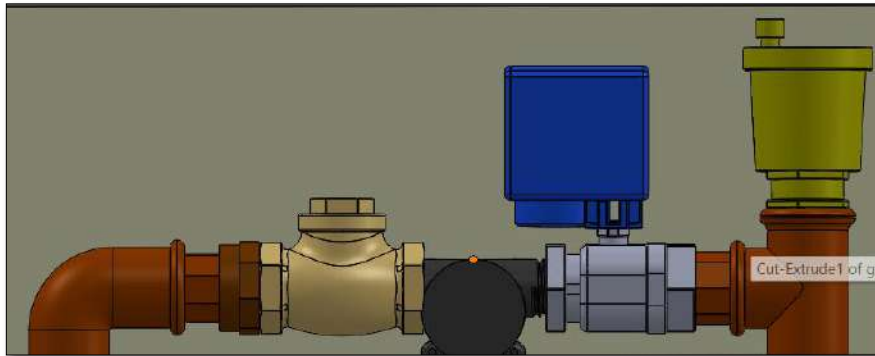


Figura 4-5: Diseño 3D en *Solidworks* de parte del sistema de medición.

Realizado por: Garcés B, 2023

Luego de esto, procedimos a ensamblar todo el sistema, teniendo en cuenta la importancia de contar con una estructura resistente para enfrentar condiciones climáticas adversas. Por esta razón, se optó por utilizar un gabinete eléctrico de dimensiones 40x40x20 cm, el cual cuenta con una clasificación de protección IP65 para garantizar la seguridad del sistema. Este gabinete sirve como base, y se le añade una plataforma que divide el gabinete en dos compartimentos. El compartimento inferior es destinado para alojar el sistema de medición, mientras que en el compartimento superior se ubican la PCB, la batería, el controlador y la fuente conmutada, como se ilustra en la Figura 4-6.

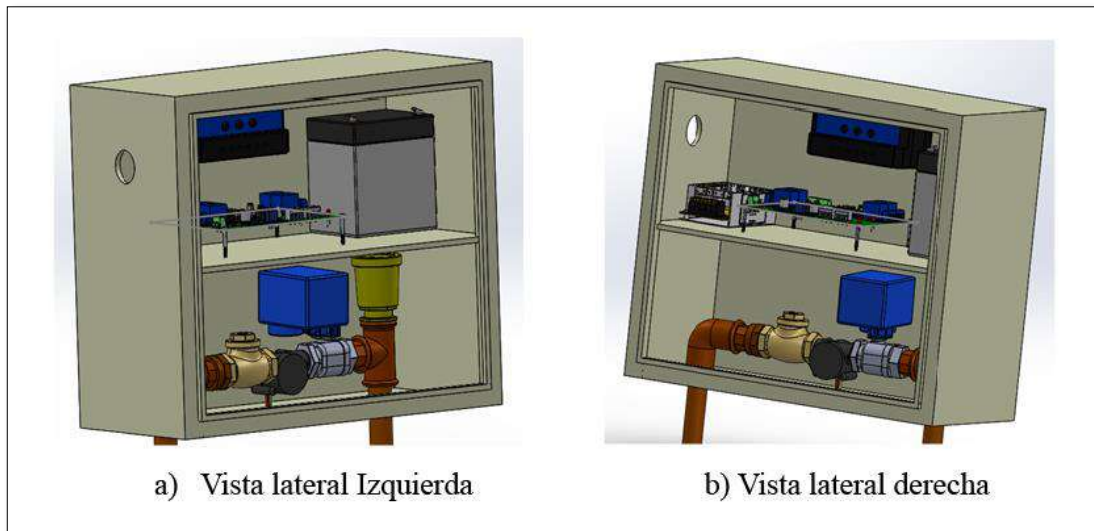


Figura 4-6: Vista laterales del diseño en 3D del dispositivo propuesto

Realizado por: Garcés B, 2023

El resultado de la implementación en la vivienda se puede observar en la Figura 4-7.



Figura 4-7: Dispositivo propuesto implementado

Realizado por: Garcés B, 2023

4.4 Diseño del *software*

En el desarrollo del diseño del *software* del prototipo de un medidor de consumo de agua potable con monitoreo en una plataforma IoT, se han considerado diversas etapas para su implementación. Se han creado diagramas de flujo detallados para cada paso importante del funcionamiento del dispositivo propuesto fragmentado en dos programas significativos, el primero de ellos

corresponde a la programación necesaria del sistema de *bypass*, y el segundo al sistema de medición. El proceso de diseño se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos detallados.

4.4.1 Programación del sistema de *bypass*

A continuación, se describe el diagrama de flujo para el funcionamiento de la tarjeta de desarrollo ESP32. Esta tarjeta se encarga del procesamiento de datos del sensor YF-S201, el control de activación de la electroválvula, además del control del sistema de *bypass*, las lecturas tanto del voltaje del panel solar como de la red eléctrica, y el envío de datos a la plataforma web para su posterior visualización. El programa inicia con la inicialización de las siguientes librerías:

- *WiFi.h*: permite la conectividad WiFi de una red local con la tarjeta de desarrollo.
- *PubSubClient.h*: permite el control para la publicación y suscripción de un cliente entre la tarjeta de desarrollo y la plataforma *Node-Red* para visualizar los datos en el *dashboard*

Luego de la inicialización de las librerías, se definen las variables globales, constantes con detalles de la red a la que se conectará el dispositivo propuesto y los valores predefinidos a utilizar durante la ejecución de todo el programa de Arduino, además, se definen los puertos a ser utilizados según el diagrama de conexiones establecido con anterioridad. Posterior se crean líneas de código específicas para configurar a la tarjeta de desarrollo como cliente y así poder enviar datos a la plataforma web. Se crea una función *setup_wifi*, en la que se establece la conectividad mediante tecnología WiFi entre el ESP32 y la red local. Los ciclos de repetición de esta función se describen a continuación:

- Si el dispositivo propuesto establece la conectividad, se asigna una dirección IP address, sale de la función y continúa con la siguiente función.
- Si el dispositivo no establece conexión, se espera un retardo en tiempo y lo vuelve a intentar hasta el momento de su reconexión.

Seguido, se realiza una función *reconnect*, la cual sirve para establecer la conectividad entre cliente y servidor mediante el protocolo de comunicación MQTT, de igual manera en que realiza la conectividad WiFi el ESP32 con la red local, se describe la misma metodología de ciclos de repetición para su conexión. A continuación, se crea la función *setup* en la que se configuran los puertos como entradas o salidas, además se definen estados iniciales para los mismos, luego se define la función *voidloop* donde se lee el voltaje tanto del panel solar como de la fuente

conmutada, y son enviados a *Node Red*. Los ciclos de repetición de esta función se describen a continuación:

- Si el voltaje del panel es mayor a 5V, independiente del voltaje de la fuente se activa el canal 1, y se desactiva el canal 2 del relé.
- Si el voltaje del panel es menor a 5V, y el voltaje de la fuente es mayor a 5V, se desactiva el canal 1, y se activa el canal 2 del relé.
- Si tanto el voltaje del panel como de la fuente es menor a 5V, se desactivan los dos canales del relé.

En la Figura 4-8 se muestra el diagrama de flujo perteneciente a la programación del sistema de *bypass*, con todas las características antes mencionadas.

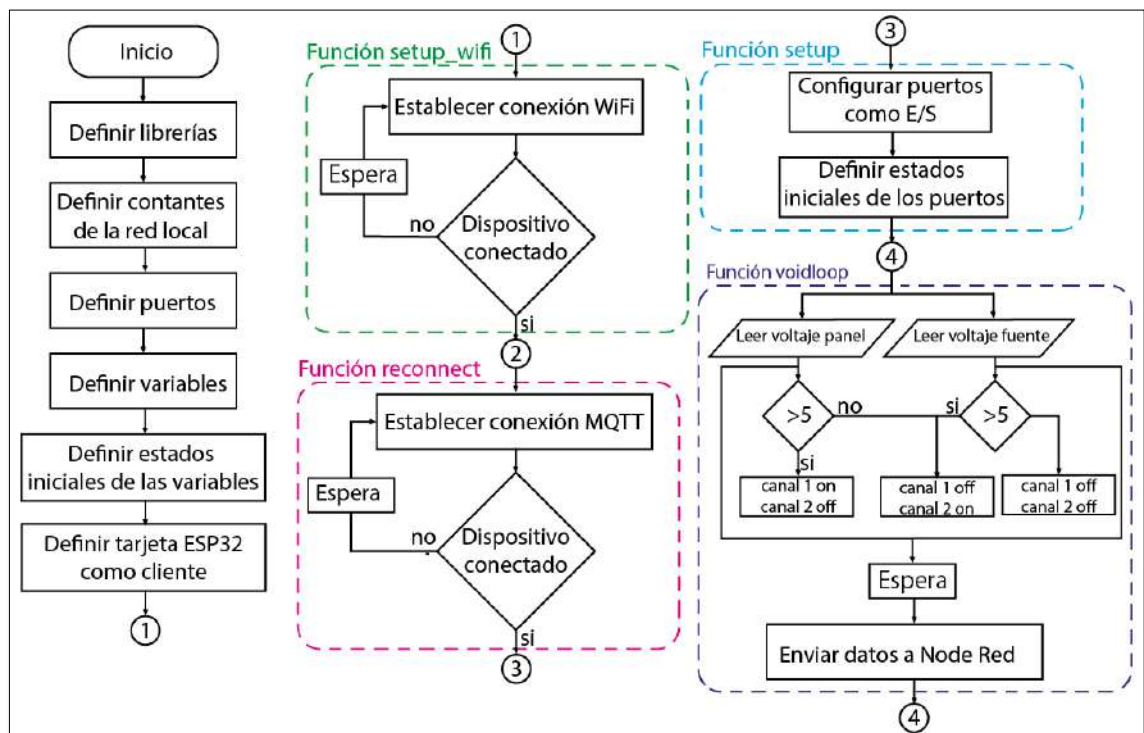


Figura 4-8: Diagrama de flujo de la programación del sistema *bypass*.

Realizado por: Garcés B, 2023

4.4.2 Programación del sistema de medición

Para la programación del sistema de medición se crea dos funciones de interrupción, la primera correspondiente al conteo del caudal que ingresa al hogar, y la segunda al control del servicio para activar o desactivar el paso del caudal hacia la residencia, se establecen los valores en cada

caso para que la función *voidloop*, analice esa interrupción y haga los cálculos necesarios. Los ciclos de repetición de esta función se describen a continuación:

- Si la interrupción *IRAM_ATTR* se activa, el contador de pulsos incrementa, se obtiene la frecuencia de pulsos, y se calcula la velocidad del caudal.
- Si la velocidad del caudal es mayor a 700 se define la variable de calibración en 54.
- Si la velocidad del caudal es menor que 700 y mayor que 100 se define la variable de calibración en 57.
- Si la velocidad de caudal es menor a 100 se define la variable de calibración en 59.
- Se calcula el caudal total, y se envía a *Node Red*.
- Si la interrupción *callback* se activa, y si el valor es de activación, se iguala una variable a uno, caso contrario se iguala a cero.
- Si la variable es uno, se desactiva el canal 2 y se activa el canal 1 del relé.
- Si la variable es cero, se desactiva el canal 1 y se activa el canal 2 del relé.

El Diagrama de Flujo del Sistema de Medición se presenta en la Figura 4-9, ilustrando el proceso principal de medición del consumo de agua potable. En este proceso, el sensor YF-S201 es responsable de medir el consumo de agua, enviando los datos al ESP32 para su procesamiento y acondicionamiento de señal. Como resultado de este procesamiento, se obtienen el consumo total en el tiempo de activación de la variable *pulsecont*.

Estos valores se transmiten a la plataforma *Node Red*, donde el usuario puede visualizarlos y monitorear el consumo de agua en tiempo real. Además, la plataforma ofrece la funcionalidad de cerrar o abrir la electroválvula del sistema a solicitud del usuario. Cuando el usuario selecciona esta opción desde la plataforma IoT, se enviará la solicitud al ESP32, que actuará en consecuencia, cerrando o abriendo el servicio de agua potable según lo indicado.

En la Figura 4-9 se muestra el diagrama de flujo perteneciente a la programación del sistema de medición, con todas las características antes mencionadas.

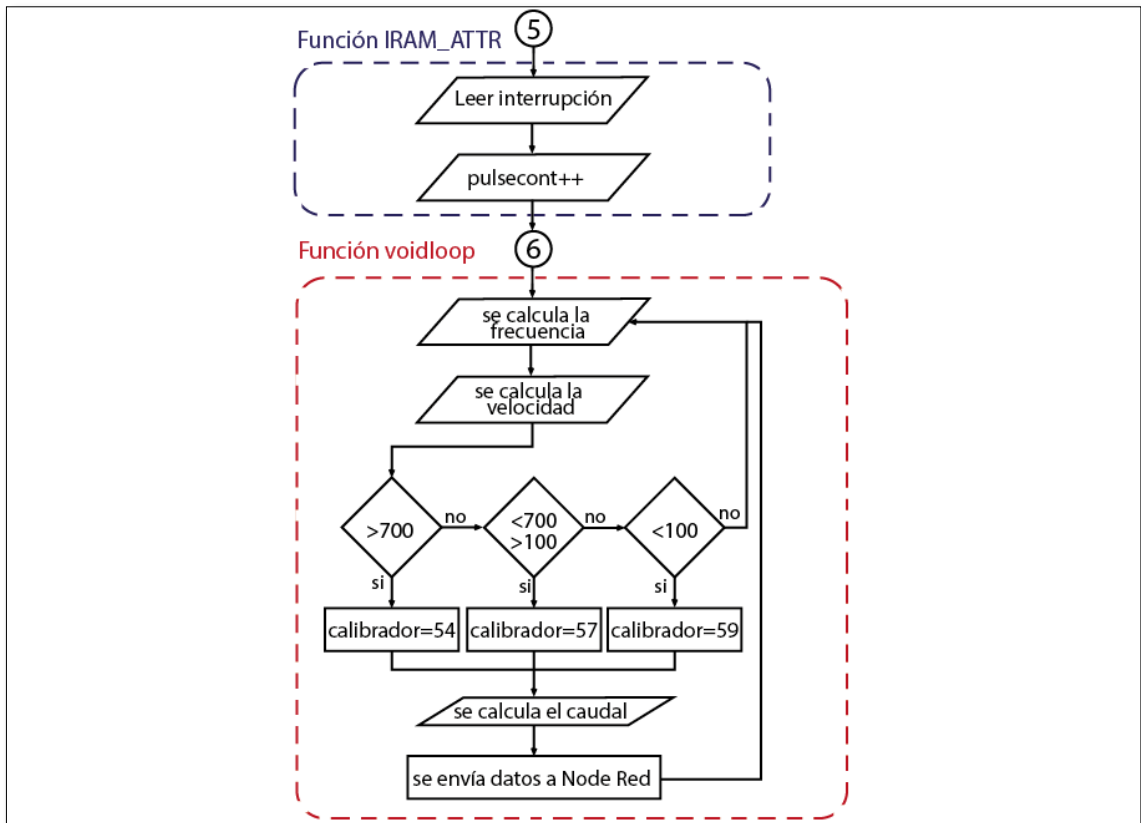


Figura 4-9: Diagrama de flujo de la programación del sistema de medición.

Realizado por: Garcés B, 2023

4.5 Diseño de la base de datos Phpmyadmin

El almacenamiento de datos correspondientes a las lecturas del sistema fue creado en el entorno de Phpmyadmin. Se procedió a la generación de una base de datos individualmente identificada para el usuario. En el contexto de dicha base de datos, se implementaron un total de ocho tablas, tal como se detalla visualmente en la Figura 4-10. Teniendo en consideración las tablas creadas, se especifica los datos que se guardan en cada una de ellas a continuación:

- apertura: hora y fecha de cuando se abre el servicio.
- cierre: hora y fecha de cuando se cierra el servicio.
- consumo_diario: fecha, hora y consumo diario.
- consumo_semanal: fecha, hora y consumo semanal.
- consumo_mensual: fecha, hora y consumo mensual.

- `datos_medidor`: datos de consumo durante todo el día a diferentes horas.
- `voltaje_fuente`: datos del voltaje que proporciona de la fuente
- `voltaje_panel`: datos del voltaje que proporciona el panel



Figura 4-10: Tablas phpmyadmin.

Realizado por: Garcés B, 2023

4.6 Diseño de la interfaz web *Node Red*

Para el diseño de la Interfaz de monitoreo se usa la plataforma *Node Red*, para lo cual primero se ha considerado las variables necesarias descritas en con anterioridad, se ha considerado diversas etapas para su configuración, la primera es el diseño de la portada e información personal, la segunda corresponde al control del servicio de agua potable, la tercera es la lectura visualización y almacenamiento de los sensores de voltaje, la cuarta referente a la lectura, visualización, almacenamiento y notificaciones de los datos de consumo diario, mensual, semanal y velocidad. El proceso de diseño se llevará a cabo siguiendo los siguientes pasos detallados.

4.6.1 Programación de la interfaz web *Node Red*

La programación inicia con bloques de información personal de la persona que realiza este trabajo de integración curricular, seguido del bloque de control en el que el ciclo de repetición se describe a continuación:

- Se lee el estado del *switch* del *dashboard*, y se envía la notificación mediante MQTT a la tarjeta de desarrollo ESP32.

- Sea que se abra el servicio o se cierra, se envía una notificación por *telegram*.

A continuación, se crea los bloques de operación para la lectura, visualización y almacenamiento, tanto del voltaje del panel solar como el de la fuente de conmutación, también de bloques de operación de lectura del consumo generado por el dispositivo, el ciclo de repetición se describe a continuación:

- La lectura del voltaje tanto del panel solar como el de la fuente, son enviados desde la tarjeta de desarrollo, mediante acondicionamiento de señal se envía el valor a una gráfica de visualización, y un *gauge*, además se envía los valores a las tablas *voltaje_panel* y *voltaje_fuente* respectivamente.
- La lectura del consumo generado por el sensor YF-S201, así como su velocidad, se visualiza en una gráfica, y un *gauge*, y finalmente se almacena en una tabla denominada *datos_medidor*.
- Con bloques de operación se consulta mediante SQL, la suma de los valores guardados en la tabla *datos_medidor*, el consumo del día, el consumo semanal y el consumo mensual, que son visualizados en *gauges*.
- Mediante bloques de operación se configura para que se almacene el valor del consumo diario a las 23h59, permitiendo que el valor del consumo diario vuelva a cero al iniciar el siguiente día.
- El valor correspondiente al consumo semanal se lo almacena de igual manera cada domingo a las 23h59, y el consumo mensual se almacena el ultimo día en el mismo horario.
- Los valores guardados del consumo diario, semanal y mensual, se los visualiza en una gráfica de los últimos valores almacenados correspondientes a los 30 días, 4 semanas y 12 meses correspondientemente.
- Si al momento de ser almacenados los datos del consumo diario, se evidencia un consumo mayor al promedio, que resulta dividir el promedio de consumo para los 30 días del mes, equivalente a 400 metros cúbicos, se envía una alerta por *telegram*, advirtiendo del consumo elevado.

En la Figura 4-11 se muestra el diagrama de flujo perteneciente a la programación de la plataforma web IoT, con todas las características antes mencionadas.

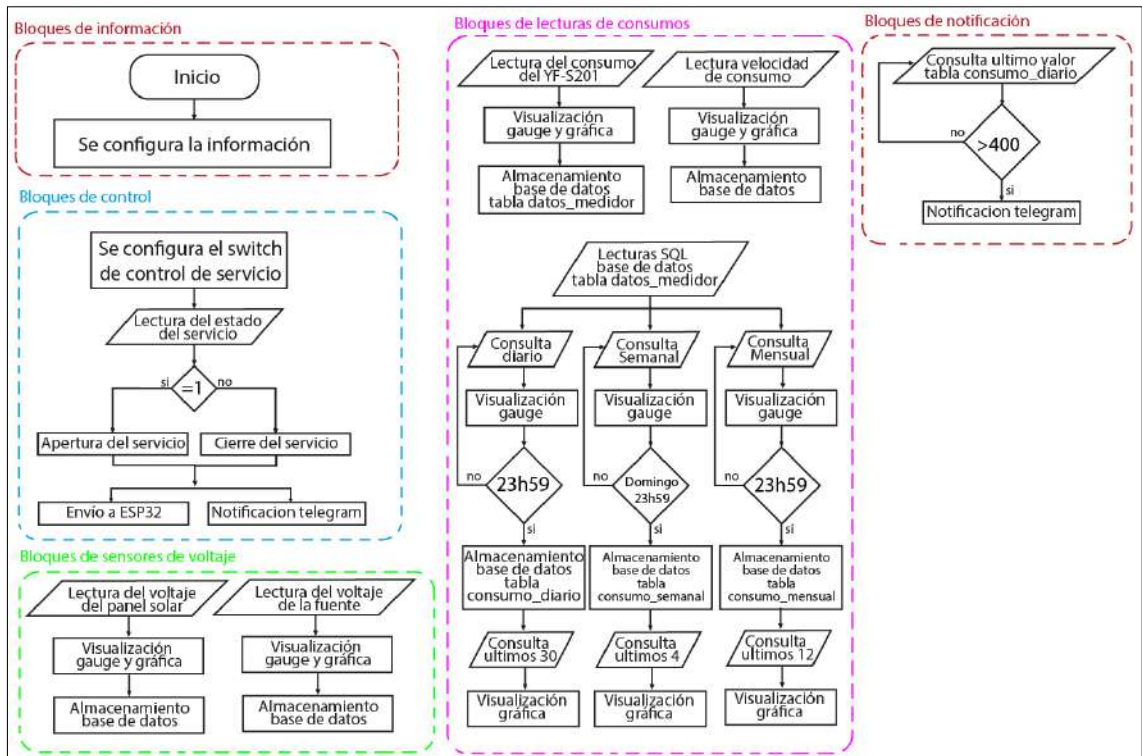


Figura 4-11: Diagrama de bloques de la programación en *Node Red*

Realizado por: Garcés B, 2023

Para un mejor entendimiento se detalla los bloques de programación para la plataforma web IoT a continuación, y que brinda el monitoreo en tiempo real y el control del servicio de agua potable de la residencia. Empezando con los bloques de información personal y control del servicio, como se muestra en la Figura 4-12.

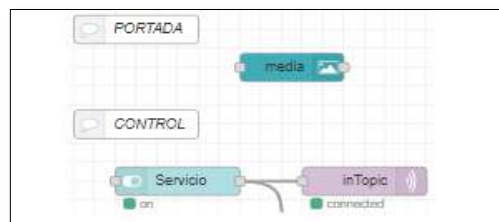


Figura 4-12: Control de servicio en *Node Red*

Realizado por: Garcés B, 2023

Se crea adicional diagramas de flujos como se observa en la Figura 4-13, para obtener la señal de voltaje tanto de la fuente de la red eléctrica del hogar como la del panel solar, para ser visualizadas de tres maneras, la primera mediante un gauge, la segunda mediante una gráfica, y la tercera mediante la visualización en la base de datos, se considera que los datos visualizados

en la base de datos se guardan cada 30 minutos, mientras que la visualización en *Node Red* se realiza cada 10 segundos.

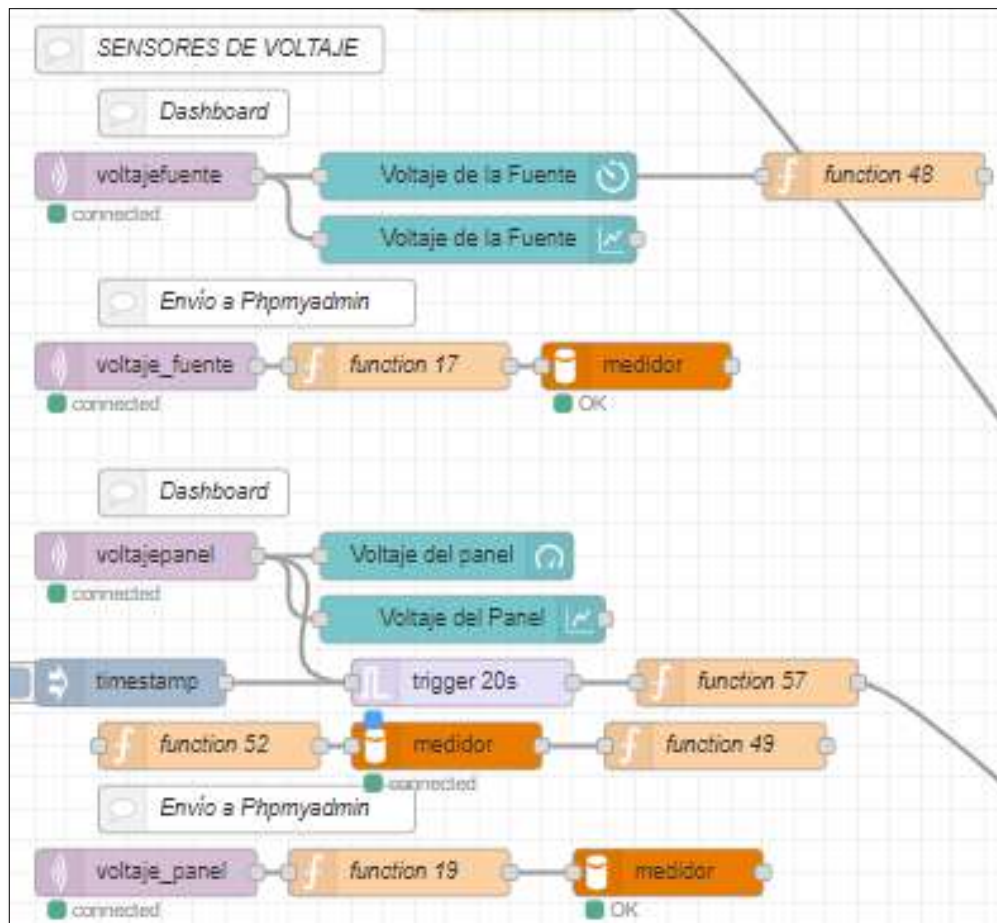


Figura 4-13: Lectura de voltaje de la fuente y del panel solar.

Realizado por: Garcés B, 2023

A continuación, se procede a crear el flujo para la visualización de los datos de lectura del medidor, siendo el primer parámetro el consumo en litros y la velocidad de consumo en el momento de visualización, además del envío de datos de consumo cada que la velocidad de consumo vuelve a ser cero, como se puede observar en la Figura 4-14.

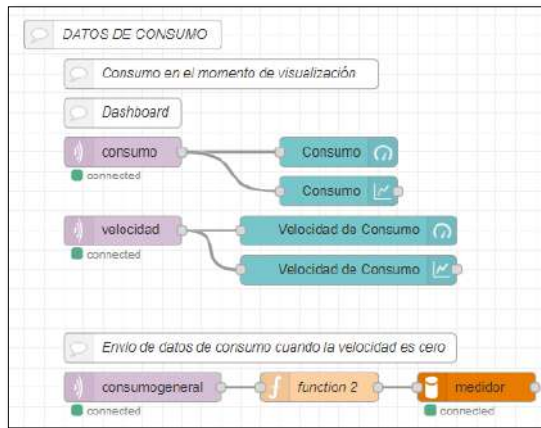


Figura 4-14: Lectura del consumo en el momento de la visualización.

Realizado por: Garcés B, 2023

Tanto el consumo diario, consumo semanal, consumo mensual, además cada uno de ellos tiene su gráfica correspondiente. Finalmente se considera que para la visualización en *Node Red* se realiza envíos cada diez segundos, mientras que para guardar en la base de datos se lo realiza cada día, exclusivamente al final del día siendo las 23h59 para el caso del consumo diario, mientras que el semanal se guarda el domingo, como se indica en la Figura 4-15.

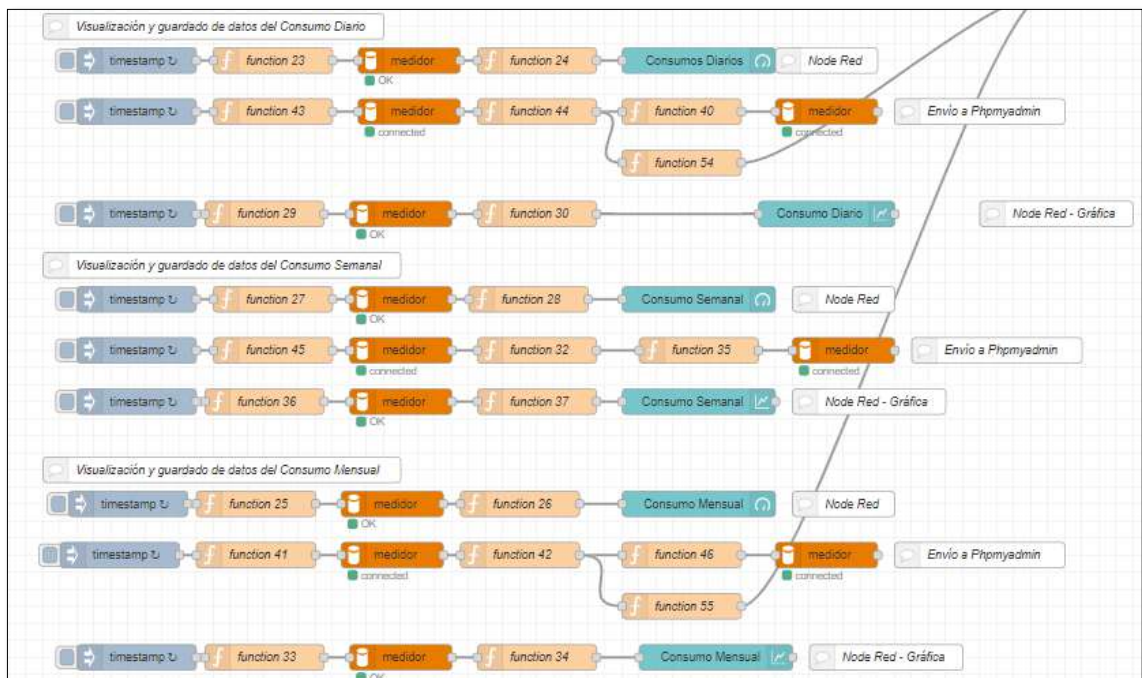


Figura 4-15: Diagramas de Flujo acerca de la visualización y envío a la base de datos del consumo diario, semanal, y mensual.

Realizado por: Garcés B, 2023

Por último, se creó un diagrama de flujo para enviar los datos a una base de datos cada que se cierra o se abre el servicio del caudal como se observa en la Figura 4-16.

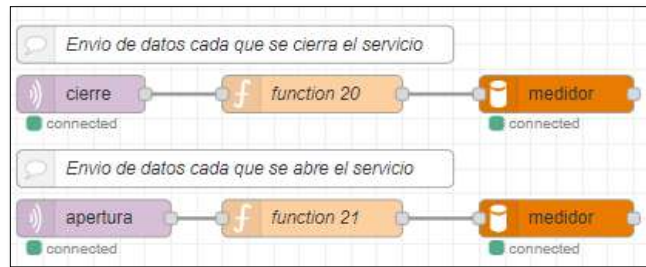


Figura 4-16:Envío de datos del control servicio del caudal.

Realizado por: Garcés B, 2023

4.6.2 *Diseño del dashboard de la plataforma web Node Red*

Para la creación de una interfaz web visual para el usuario se creó un *dashboard* para la visualización de los datos de consumo del sistema por lo que se configuró cada uno de los apartados teniendo en consideración los parámetros más importantes, además se añadió información personal como se puede observar en la Figura 4-17.

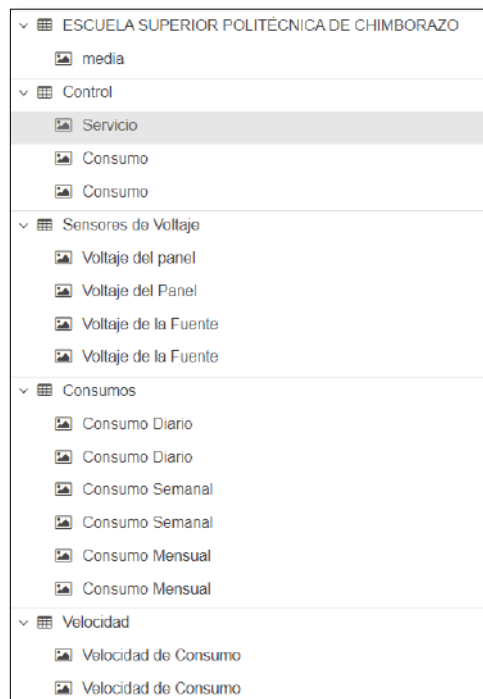


Figura 4-17: Configuración del *dashboard*

Realizado por: Garcés B, 2023

Luego de la configuración del *dashboard*, tomando en consideración los bloques de programación mencionados en el apartado anterior, se obtiene una visualización de los parámetros necesarios para monitoreo del dispositivo propuesto, como se puede observar en la Figura 4-18

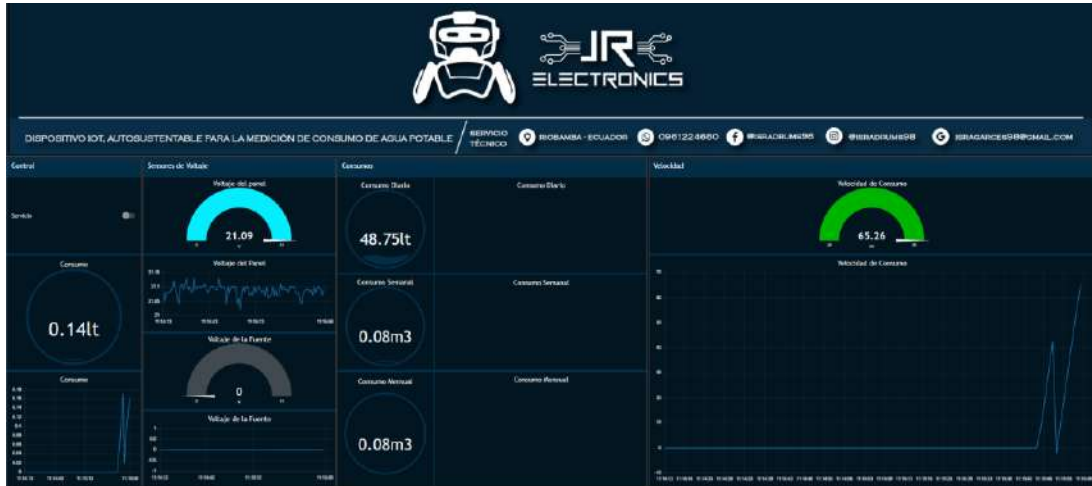


Figura 4-18: Interfaz Web para la visualización de lectura del sistema.

Realizado por: Garcés B, 2023

CAPÍTULO IV

5. VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En este capítulo, se lleva a cabo el análisis del funcionamiento del dispositivo, mediante la ejecución de diversas pruebas con el objetivo de asegurar el cumplimiento de lectura con un error máximo del 5% según los estándares de la empresa. Para tal fin, se realizó pruebas de lectura en el entorno de las Instalaciones de la EP-EMAPAR, con el fin de obtener la aprobación del prototipo por parte de expertos en la materia. Asimismo, se llevaron a cabo pruebas para evaluar el funcionamiento del sistema fotovoltaico, permitiendo determinar el tiempo de autonomía proporcionado al dispositivo para cumplir con el requerimiento de 18 horas de uso, después de una interrupción tanto del panel solar como de la fuente conmutada. Otra serie de pruebas se desarrolló para verificar la conectividad WiFi y así aseverar el cierre y apertura del servicio. Adicionalmente, se evaluó la capacidad del sistema para transferir datos hacia la plataforma IoT.

5.1 Pruebas de medición del consumo de agua potable dentro de las instalaciones de EP-EMAPAR

Las instalaciones del banco de pruebas de la EP-EMAPAR cuentan con un sistema especializado para la comprobación de medidores, como se muestra en la Figura 5-1.



Figura 5-1: Banco de Pruebas de Medidores de la EP-EMAPAR

Realizado por: Garcés B, 2023

Las pruebas realizadas a los medidores se centran en tres parámetros fundamentales para garantizar la lectura de los medidores. Estos parámetros incluyen la prueba de consumo bajo de

20 litros simulando condiciones en donde el consumo de agua de la red del barrio tiene una demanda alta, la prueba de consumo medio suministra un flujo total de 50 litros al sistema, simulando un consumo de agua promedio, por último, la prueba de consumo alto suministrando un flujo total de 100 litros al sistema, cada prueba se lo realiza 20 veces debido a ser un estándar establecido por el funcionario experto encargado del banco de pruebas de la EP-EMAPAR, Estas pruebas permiten evaluar el rendimiento del medidor frente a una baja demanda de consumo de agua por parte de la red. Cada una de estas pruebas es esencial para verificar las medidas de tendencia central y medidas de dispersión de las lecturas del medidor en distintas situaciones de uso. Al evaluar su rendimiento en diferentes niveles de flujo, se asegura que el dispositivo pueda proporcionar mediciones confiables en una variedad de condiciones y niveles de consumo de agua.

El proceso de validación del medidor para las diferentes pruebas se realizó siguiendo una serie de pasos. Primero, se instalaron adaptadores de tuberías para igualar la distancia que tenían los medidores implementados por la empresa. Luego, el medidor se posicionó en el centro del banco de pruebas para asegurar un entorno representativo. Se llevó a cabo una comprobación minuciosa del paso del caudal para verificar la ausencia de fugas y pérdidas de agua durante la medición. A continuación, se realizaron las conexiones necesarias para poner en funcionamiento el medidor, como se indica en la Figura 5-2.



Figura 5-2: Medidor propuesto en el banco de pruebas de la EP-EMAPAR.

Realizado por: Garcés B, 2023

Los datos obtenidos de cada una de las pruebas realizadas se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 5-1: Prueba realizadas al dispositivo propuesto en consumo bajo en la EP-EMAPAR.

Número de prueba	Tipo de prueba	Litros banco de pruebas (lt)	Lectura Medidor (lt)	Error Absoluto de lectura (lt)	Error Absoluto de lectura (%)
1	Bajo	20.5	20.6	0.1	0.488
2	Bajo	20.3	20.4	0.1	0.493
3	Bajo	20.2	20.26	0.06	0.297
4	Bajo	20.3	20.35	0.05	0.246
5	Bajo	20.2	20.28	0.08	0.396
6	Bajo	20.4	20.31	0.09	0.441
7	Bajo	20.5	20.56	0.06	0.293
8	Bajo	20.4	20.47	0.07	0.343
9	Bajo	20.2	20.1	0.1	0.495
10	Bajo	20.1	20.19	0.09	0.448
11	Bajo	20	19.92	0.08	0.400
12	Bajo	20.1	20.05	0.05	0.249
13	Bajo	20.2	20.28	0.08	0.396
14	Bajo	20.3	20.29	0.01	0.049
15	Bajo	20.05	20.01	0.04	0.200
16	Bajo	20.4	20.36	0.04	0.196
17	Bajo	20.1	20.05	0.05	0.249
18	Bajo	20.3	20.35	0.05	0.246
19	Bajo	20.2	20.26	0.06	0.297
20	Bajo	20.5	20.46	0.04	0.195

Realizado por: Garcés B, 2023

Tabla 5-2: Pruebas realizadas al dispositivo propuesto en consumo medio en la EP-EMAPAR.

Número de prueba	Tipo de prueba	Litros banco de pruebas (lt)	Lectura Medidor (lt)	Error de lectura (lt)	Error de lectura (%)
1	Medio	50.2	50.35	0.15	0.299
2	Medio	50.3	50.1	0.2	0.398
3	Medio	50.4	50.21	0.19	0.377
4	Medio	50.6	50.28	0.32	0.632
5	Medio	50.4	50.33	0.07	0.139
6	Medio	50.5	50.36	0.14	0.277
7	Medio	50.2	50.02	0.18	0.359
8	Medio	50	49.87	0.13	0.260
9	Medio	50.3	50.12	0.18	0.358
10	Medio	50.4	50.23	0.17	0.337
11	Medio	50.6	50.87	0.27	0.534
12	Medio	50.2	50.46	0.26	0.518
13	Medio	50.6	50.45	0.15	0.296
14	Medio	50.4	50.23	0.17	0.337
15	Medio	50.3	50.37	0.07	0.139
16	Medio	50.1	49.89	0.21	0.419
17	Medio	50.2	50.32	0.12	0.239
18	Medio	50.3	50.45	0.15	0.298
19	Medio	50.4	50.33	0.07	0.139
20	Medio	50.6	50.55	0.05	0.099

Realizado por: Garcés B, 2023

Tabla 5-3: Pruebas realizadas al dispositivo propuesto en consumo alto en la EP-EMAPAR.

Número de prueba	Tipo de prueba	Litros banco de pruebas (lt)	Lectura Medidor (lt)	Error absoluto de lectura (lt)	Equivalencia del error abosulto en %
1	Alto	101.5	100.8	0.7	0.690
2	Alto	102.3	103.06	0.76	0.743
3	Alto	101.7	102.45	0.75	0.737
4	Alto	102.1	101.64	0.46	0.451
5	Alto	100.5	101.22	0.72	0.716
6	Alto	103.1	102.58	0.52	0.504
7	Alto	102.5	102.25	0.25	0.244
8	Alto	102.3	102.54	0.24	0.235
9	Alto	101.8	101.55	0.25	0.246
10	Alto	103.2	103.87	0.67	0.649
11	Alto	102.9	103.56	0.66	0.641
12	Alto	102.4	101.87	0.53	0.518
13	Alto	101.8	102.35	0.55	0.540
14	Alto	102.6	103.01	0.41	0.400
15	Alto	101.4	102.11	0.71	0.700
16	Alto	103.2	103.97	0.77	0.746
17	Alto	102.7	102.66	0.04	0.039
18	Alto	102.4	102.06	0.34	0.332
19	Alto	102.6	103.34	0.74	0.721
20	Alto	101.8	102.22	0.42	0.413

Realizado por: Garcés B, 2023

Con los datos obtenidos se aplica análisis estadístico descriptivo para determinar las medidas de tendencia central, con lo que se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 5-4: Estadística Descriptiva – medidas de tendencia central de las tablas 5-1,5-2 y 5-3

Detalles		Análisis estadístico medidas de tendencia central				
		Promedio +/-	Moda	Mediana	Mínimo	Máximo
Bajo Consumo	%	0.321	0.297	0.297	0.049	0.495
	Lt	0.065	0.05	0.06	0.01	0.1
Medio Consumo	%	0.323	0.139	0.318	0.099	0.632
	Lt	0.1625	0.07	0.16	0.05	0.32
Alto Consumo	%	0.513	#N/A	0.529	0.039	0.746
	Lt	0.5245	0.25	0.54	0.04	0.77

Realizado por: Garcés B, 2023

Adicionalmente se realiza el análisis estadístico descriptivo para determinar las medidas de dispersión, teniendo en consideración que si el valor del coeficiente de variación tiene un porcentaje menor al 30% y si la desviación estándar tiende a cero demuestra que existe estabilidad en los valores, y esto se detalla a continuación:

Tabla 5-5: Estadística descriptiva – medidas de dispersión de las tablas 5-1,5-2 y 5-3

Detalles		Análisis estadístico medidas de dispersión			
		Varianza	Desviación estandar	Coef. Variación %	Intervalo de confianza
Bajo Consumo	%	0.014	0.118	0.369	0.052
	Lt	0.001	0.024	0.369	0.011
Medio Consumo	%	0.018	0.135	0.419	0.059
	Lt	0.005	0.068	0.420	0.030
Alto Consumo	%	0.043	0.206	0.402	0.090
	Lt	0.044	0.024	0.046	0.011

Realizado por: Garcés B, 2023

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 5-4, se observan los siguientes valores para el promedio del error absoluto: 0.065lt (bajo consumo), 0.1625lt (consumo medio) y 0.5245lt (alto consumo). Asimismo, se presentan los valores en porcentaje del promedio del error absoluto, que son 0.321% (consumo bajo), 0.323% (consumo medio) y 0.513% (consumo alto). Además, se identifican máximos de error absoluto en las lecturas que son 0.1lt (consumo bajo), 0.32lt (consumo medio) y 0.77lt (consumo alto). Por otro lado, de acuerdo con los resultados de la Tabla 5-5, los coeficientes de variación se sitúan por debajo del 30%. Esta condición de coeficientes bajos indica una estabilidad en los valores. Además, es notable que la desviación estándar tiende a ser cero en todos los casos por lo que se comprueba que existe una estabilidad.

Se realiza la prueba estadística de inferencia para conocer la normalidad de los datos para conocer si los datos corresponden a una distribución normal siendo este el caso se comprueba si el valor de significancia es mayor o igual a 0.05, siendo correspondiente a la hipótesis nula, caso contrario sería la hipótesis alternativa.

Tabla 5-6: Estadística de inferencial para los datos de pruebas de bajo, media y alto consumo.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Litros_prueba1	0.131	20	,200*	0.941	20	0.250
Litros_prueba2	0.107	20	,200*	0.958	20	0.500
Litros_prueba3	0.185	20	0.071	0.908	20	0.058
Porcentajes_prueba1	0.146	20	,200*	0.934	20	0.186
Porcentajes_prueba2	0.107	20	,200*	0.959	20	0.520
Porcentajes_prueba3	0.177	20	0.100	0.905	20	0.050

Realizado por: Garcés B, 2023

La significancia obtenida en la Tabla 5-6 para los seis conjuntos, es mayor a 0,05 con lo que se demuestra que los valores si son normales, y que por lo tanto se puede aplicar la estadística paramétrica “t de Student”, donde la hipótesis nula es que los datos son significativamente iguales esto se comprueba verificando si el valor de significancia es mayor a 0.05, caso contrario la hipótesis alternativa es que no son significativamente iguales, los datos se ingresaron a SPSS para aplicar el estudio y en la se muestra los resultados del estudio.

Tabla 5-7: Prueba t de Student para los datos de bajo, media, y alto consumo.

Prueba de muestras independientes							
		igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias			
		F	Sig.	Significación		confianza de la diferencia	
				P de un factor	P de dos factores	Inferior	Superior
Litros_prueba1	Se asumen varianzas iguales	0.343	0.569	0.273	0.547	-0.021553	0.038696
Litros_prueba2	Se asumen varianzas iguales	0.105	0.751	0.376	0.751	-0.088157	0.065300
Litros_prueba3	Se asumen varianzas iguales	0.048	0.830	0.122	0.244	-0.094293	0.337150
Porcentajes_prueba1	Se asumen varianzas iguales	4.621	0.053	0.162	0.325	-0.093395	0.259881
Porcentajes_prueba2	Se asumen varianzas iguales	0.105	0.751	0.375	0.750	-0.174299	0.128871
Porcentajes_prueba3	Se asumen varianzas iguales	0.106	0.750	0.116	0.231	-0.089090	0.333661

Realizado por: Garcés Bryan, 2023

El nivel de significancia obtenido de la Tabla 5-7 indica al ser mayor de 0,05 que acepta la hipótesis nula que propone que las medias de los datos obtenidos son significativamente iguales y no existe alguna variación significativa que afecte el resultado final.

5.2 Pruebas de conectividad.

Se enfocan en evaluar el funcionamiento del sistema WiFi, asegurando su correcto desempeño en diversas funciones críticas. Esto incluye la capacidad de gestionar el cierre y apertura de la electroválvula, la cual está directamente vinculada al flujo del servicio. Además, se verifica la carga y descarga de la información del sistema, permitiendo la transferencia de datos hacia y desde la plataforma IoT. Esta prueba se llevó a cabo ya con el dispositivo general implementado en la residencia.

5.2.1 Cierre y Apertura del servicio

Esta prueba consiste en llevar a cabo el corte y apertura del servicio en diferentes momentos del día, y luego evaluar el tiempo que toma ejecutar cada acción. Para ello, se han seleccionado tres horas de alta fluidez de wifi, que corresponden a momentos del día en los que muchas personas no se encuentran en su domicilio, debido a transportarse a su lugar de trabajo, estudio, etc., por lo tanto, el wifi se encuentra menos utilizado. Estas horas son de 09h00 a 10h00 en la mañana, de 16h00 a 17h00 en la tarde, y de 22h00 a 23h00 por la noche. Asimismo, se han determinado tres horas en las que la fluidez del wifi es baja debido a que la mayoría de las personas ya se encuentran en sus hogares y están haciendo uso del wifi. Estas horas seleccionadas son de 06h00 a 07h00 en la mañana, de 13h00 a 14h00 en la tarde, y de 19h00 a 20h00 por la noche. El proceso de adquisición de datos fue el siguiente: primero de reinicio el equipo a las 06h00 am, posteriormente se enviaba la señal de apertura y cierre en un tiempo separado de 15 segundos, cada acción, por lo que se consiguió una tabla bastante extensa, sin embargo, se obtuvo valores intermedios que se muestran en la Tabla 5-8 y Tabla 5-9.

Tabla 5-8: Muestra de datos del tiempo de latencia para la apertura del servicio.

Id	Hora Node Red	Hora Phpmyadmin	Tiempo (s)	Fecha
40	09:18:48.369	09:18:48.745827	0.377	Miercoles 26/07/2023
41	09:19:18.248	09:19:18.637798	0.390	Miercoles 26/07/2023
42	09:19:48.381	09:19:48.955227	0.574	Miercoles 26/07/2023
445	06:42:23.626	06:42:23.991892	0.366	Jueves 27/07/2023
446	06:42:54.059	06:42:55.756385	1.697	Jueves 27/07/2023
447	06:43:23.715	06:43:24.481832	0.767	Jueves 27/07/2023
880	16:19:46.301	16:19:46.518306	0.217	Viernes 28/07/2023
881	16:20:17.987	16:20:18.68883	0.702	Viernes 28/07/2023
882	16:20:46.358	16:20:46.81663	0.459	Viernes 28/07/2023
1295	13:47:23.624	13:47:24.357456	0.733	Sábado 29/07/2023
1296	13:47:53.141	13:47:53.75582	0.615	Sábado 29/07/2023
1297	13:48:23.684	13:48:25.114986	1.431	Sábado 29/07/2023
1730	22:24:43.601	22:24:44.122864	0.522	Domingo 30/07/2023
1731	22:25:13.483	22:25:14.251592	0.769	Domingo 30/07/2023
1732	22:25:43.632	22:25:44.344058	0.712	Domingo 30/07/2023
2135	18:47:7.811	18:47:8.385599	0.575	Lunes 31/07/2023
2136	18:47:38.466	18:47:39.194619	0.729	Lunes 31/07/2023
2137	18:48:7.832	18:48:8.432154	0.600	Lunes 31/07/2023
2215	09:27:14.184	09:27:14.643831	0.460	Martes 01/08/2023
2216	09:27:43.64	09:27:44.275098	0.635	Martes 01/08/2023
2217	09:28:14.253	09:28:14.997092	0.744	Martes 01/08/2023
2575	06:27:16.868	06:27:17.609593	0.742	Miercoles 02/08/2023
2576	06:27:47.201	06:27:47.621365	0.420	Miercoles 02/08/2023
2577	06:28:16.887	06:28:17.37615	0.489	Miercoles 02/08/2023
3050	16:24:45.29	16:24:45.634625	0.345	Jueves 03/08/2023
3051	16:25:15.204	16:25:15.788916	0.585	Jueves 03/08/2023
3052	16:25:45.344	16:25:46.040385	0.696	Jueves 03/08/2023
3525	18:22:17.625	18:22:18.014201	0.389	Viernes 04/08/2023
3526	18:22:47.26	18:22:48.013906	0.754	Viernes 04/08/2023
3527	18:23:17.646	18:23:18.12021	0.474	Viernes 04/08/2023

Realizado por: Garcés B, 2023

Tabla 5-9: Muestra de datos del tiempo de latencia para el cierre del servicio.

Id	Hora Node Red	Hora Phpmysql	Tiempo (s)	Fecha
10	09:04:44.462	09:04:44.726159	0.264	Miercoles 26/07/2023
11	09:05:14.519	09:05:15.185514	0.667	Miercoles 26/07/2023
12	09:05:44.558	09:05:45.171581	0.614	Miercoles 26/07/2023
400	06:19:55.095	06:19:55.500429	0.405	Jueves 27/07/2023
401	06:20:24.783	06:20:26.194837	1.412	Jueves 27/07/2023
402	06:20:55.13	06:20:55.465845	0.336	Jueves 27/07/2023
870	16:14:48.906	16:14:49.453333	0.547	Viernes 28/07/2023
871	16:15:18.296	16:15:18.706293	0.410	Viernes 28/07/2023
872	16:15:48.939	16:15:49.675017	0.736	Viernes 28/07/2023
1255	13:27:11.684	13:27:12.435916	0.752	Sábado 29/07/2023
1256	13:27:43.354	13:27:43.547084	0.193	Sábado 29/07/2023
1257	13:28:11.698	13:28:12.174964	0.477	Sábado 29/07/2023
1710	22:14:47.82	22:14:48.174263	0.354	Domingo 30/07/2023
1711	22:15:17.277	22:15:17.978956	0.702	Domingo 30/07/2023
1712	22:15:47.887	22:15:48.06081	0.174	Domingo 30/07/2023
2105	18:32:26.183	18:32:27.536156	1.353	Lunes 31/07/2023
2106	18:32:56.744	18:32:56.92754	0.184	Lunes 31/07/2023
2107	18:33:26.251	18:33:26.8045	0.554	Lunes 31/07/2023
2200	09:18:51.285	09:18:51.767635	0.483	Martes 01/08/2023
2201	09:19:20.855	09:19:21.584783	0.730	Martes 01/08/2023
2202	09:19:51.366	09:19:51.675062	0.309	Martes 01/08/2023
2730	13:44:47.52	13:44:49.30591	1.786	Miercoles 02/08/2023
2731	13:45:16.793	13:45:16.926901	0.134	Miercoles 02/08/2023
2732	13:45:47.599	13:45:48.146335	0.547	Miercoles 02/08/2023
3165	22:22:26.548	22:22:26.695883	0.148	Jueves 03/08/2023
3166	22:22:57.026	22:22:57.538632	0.513	Jueves 03/08/2023
3167	22:23:26.575	22:23:26.976309	0.401	Jueves 03/08/2023
3560	18:39:43.976	18:39:44.416661	0.441	Viernes 04/08/2023
3561	18:40:13.714	18:40:14.427372	0.713	Viernes 04/08/2023
3562	18:40:44.057	18:40:44.228062	0.171	Viernes 04/08/2023

Realizado por: Garcés B, 2023

Tabla 5-10: Estadísticas descriptivas – medidas de tendencia central de la tabla 5-8.

Promedio	Moda	Mediana	Minimo	Máximo
0.540	0.736511	0.507	0.077	1.697

Realizado por: Garcés B, 2023

Según los datos obtenidos que se muestran en la Tabla 5-8, del tiempo de latencia para recibir la orden de la apertura del servicio se logró determinar un tiempo máximo de 1.697(s), sin embargo, esto se debe a horas en las que el tráfico de red es alto, asimismo en tiempos donde el tráfico de red es bajo el valor promedio de respuesta es de 0.54(s), valores bastantes aceptables para realizar el control de apertura del servicio, tal como se indica en la Tabla 5-10.

Tabla 5-11: Estadísticas descriptivas – medidas de tendencia central de la tabla 5-9

Promedio	Moda	Mediana	Minimo	Máximo
0.498	0.547345	0.497	0.101	1.794

Realizado por: Garcés B, 2023

Según los datos obtenidos que se muestran en la Tabla 5-9, del tiempo de latencia para recibir la orden de la apertura del servicio se logró determinar un tiempo máximo de 1.794(s),sin embargo, esto se debe a que cuando el dispositivo se reinicia necesita de un tiempo para estabilizar la latencia, después de esto, el valor promedio de respuesta es de 0.498 (s) ,tal como se indica en la Tabla 5-11, valores aceptables para el control del cierre del servicio.

En esta prueba se obtuvo alrededor de 3600 datos correspondientes a una semana de pruebas, al ser datos mayores a 50, se realiza la prueba estadística de desviación estándar mediante el método de Kolmogorov – Smirnov, el proceso para esta prueba de análisis se realiza primero un estudio del tamaño de muestra, con un resultado de 72 datos como se muestra en la Figura 5-3, con lo que se obteniendo un resultado de 0.191 en el caso de apertura, mientras que un 0.144 para el cierre del servicio, tal como se muestra en la Figura 5-4.

Parametro	Insertar Valor	Tamaño de muestra "n" =
N	3,600	71.56
Z	1.960	
P	95.00%	
Q	5.00%	
e	5.00%	

Figura 5-3: Tamaño de muestra para pruebas de conectividad

Realizado por: Garcés B, 2023

		apertura	cierre	
N		72	72	
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,4712	,4827	
	Desv. estándar	,19152	,14392	
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,080	,061	
	Positivo	,076	,049	
	Negativo	-,080	-,061	
Estadístico de prueba		,080	,061	
Sig. asin. (bilateral) ^c		,200 ^d	,200 ^d	
Sig. Monte Carlo (bilateral) ^e	Sig.	,296	,736	
	Intervalo de confianza al 99%	Límite inferior	,285	,724
		Límite superior	,308	,747

Figura 5-4: Estadísticas no paramétricas de las pruebas de apertura y cierre del servicio.

Realizado por: Garcés B, 2023

5.3 Pruebas del Sistema Fotovoltaico.

Las pruebas realizadas en este apartado comprenden dos parámetros fundamentales. El primero tiene como objetivo evaluar el tiempo de autonomía del sistema fotovoltaico, mientras que el segundo parámetro de prueba se enfoca en evaluar el funcionamiento del sistema fotovoltaico en condiciones de interrupciones en la red eléctrica o del panel solar.

5.3.1 Tiempo de Autonomía

En esta prueba se busca determinar cuánto tiempo puede operar el sistema utilizando únicamente la energía almacenada en las baterías, sin depender de la red eléctrica para generar electricidad, dependiendo únicamente del panel solar, teniendo en cuenta que el servicio de lectura del consumo de agua potable del medidor propuesto está completamente funcional.

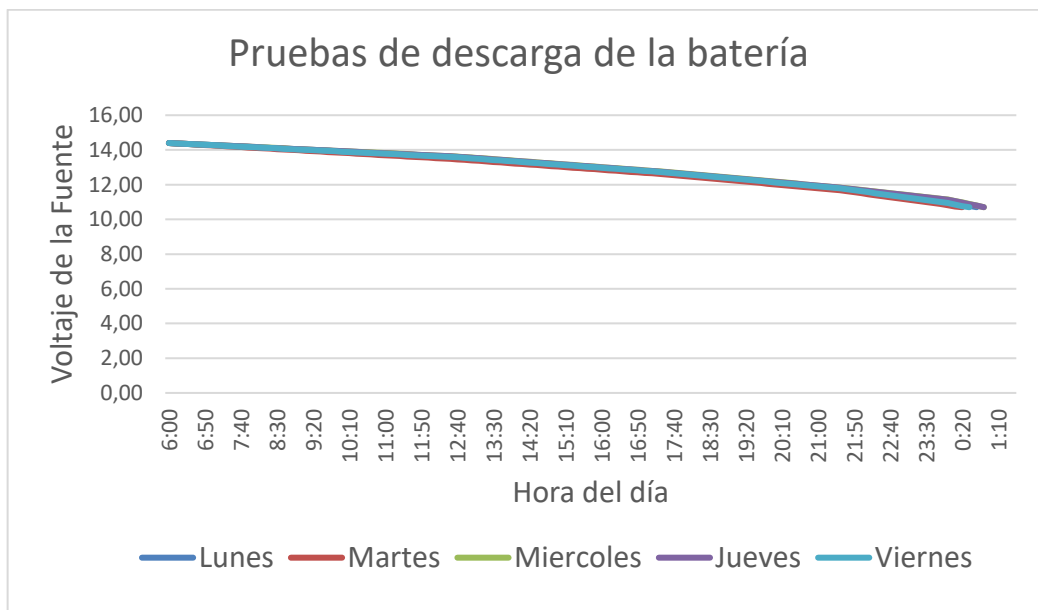


Figura 5-5: Descarga de la batería del sistema fotovoltaico para la prueba de autonomía.

Realizado por: Garcés B, 2023

Como se puede observar en la Figura 5-5, las curvas características que detallan la descarga de la batería del sistema fotovoltaico para conocer la autonomía, al conocer los datos obtenidos se puede evidenciar que el tiempo de autonomía ronda las 18 casi 19 horas de uso.

5.4 Análisis económico del prototipo

En la tabla 4 se realiza un estudio de costos de cada componente del sistema general que conforma el prototipo, que gracias a cada uno de ellos se asegura el funcionamiento de este.

Tabla 5-12: Análisis económico del prototipo

Cant	Componente	Valor unitario	Valor total
Elementos del Sistema Fotovoltaico			
1	Panel solar (10 W) Ikoa	\$22.00	\$22.00
1	Batería de 5Ah a 12V Delta	\$20.00	\$20.00
1	Controlador de carga solar	\$20.00	\$20.00
1	Fuente conmutada 12V	\$7.00	\$7.00
1	Varios artículos de ensamblaje	\$5.00	\$5.00
Elementos de la placa PCB			
1	ESP32 más cable USB	\$13.00	\$13.00
2	Módulo Relé de 2 canales	\$3.00	\$6.00
8	Resistencias de varios valores	\$0.05	\$0.40
1	XL6009	\$3.00	\$3.00
4	Borneras de 2 pines	\$0.40	\$1.60
2	Borneras de 3 pines	\$0.60	\$1.20
4	Espadines	\$0.80	\$3.20
1	Fabricación de la placa	\$10.00	\$10.00
Elementos del sistema de medición			
1	Sensor YF-S201	\$10.00	\$10.00
1	Válvula check	\$10.00	\$10.00
1	Válvula expulsora de aire	\$25.00	\$25.00
1	Válvula monitorizada de bola de 3 cables	\$51.00	\$51.00
1	Varios artículos de promería	\$20.00	\$20.00
Estructura Final			
1	Soportes del panel solar	\$5.00	\$5.00
1	Gabinete eléctrico con protección Ip65	\$45.00	\$45.00
1	Varios artículos de diseño	\$5.00	\$5.00
Costo Total del prototipo			\$283.40

Realizado por: Garcés B, 2023

De acuerdo con los valores obtenidos en la Tabla 5-12 de los costos de implementación del prototipo se tiene un valor de 284 dólares americanos (USD). Este valor permite realizar una comparativa con los medidores implementados residencialmente en la ciudad de Riobamba, por lo que en la Tabla 5-13 se establece dicha comparación.

Tabla 5-13: Comparación de características entre medidores.

Características	Prototipo	Implementado
Monitoreo en tiempo real	Si	No
Autosustentable	Si	No
Control virtual	Si	No
Alertas de consumo	Si	No
Seguridad ante manipulaciones	Si	No
Costo	\$283.40	\$100.00

Realizado por: Garcés, B, 2023

De acuerdo con la comparativa que se expone en la Tabla 5-13, se aprecia que el dispositivo medidor implementado por la EP-EMAPAR de manera residencial en la ciudad de Riobamba presenta deficiencias en sus características con respecto a la comparación con el prototipo expuesto en el trabajo de integración. Al considerar los costos de implementación, se observa que el valor del prototipo es 64.71% más costoso que el medidor implementado en la residencia, sin embargo, cuenta con prestaciones adicionales, como es el monitoreo constante del consumo de agua potable, servicio en línea del control para el cierre y apertura del servicio, sistema autosustentable, alertas de consumo ante anomalías, y seguridad ante manipulaciones externas.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se ha logrado identificar que el sistema de medición de agua potable implementado en la ciudad de Riobamba utiliza actuadores mecánicos, como el medidor Zenner de chorro múltiple, que registra el flujo de agua que entra en la vivienda. La información se muestra de forma digital mediante un mecanismo de engranajes. Además, el sistema incorpora una válvula de retención y otra válvula de control manual que permite cerrar o abrir el servicio de manera manual. La metodología que se implementa para la lectura del medidor se lo realiza mediante la visualización y registro por parte de un funcionario público de la EP-EMAPAR, por lo que el registro de la lectura está ligada a las capacidades del funcionario, por lo que el sistema adolece de imperfecciones.
- La selección de los componentes el prototipo se basa en su accesibilidad dentro del mercado, así como en su capacidad para ser programados a través de *software* de código abierto. En este caso la tarjeta de desarrollo ESP32 que se programa en Arduino IDE, para su funcionamiento con actuadores como los módulos Relé de 2 canales, sensores de voltaje y el sensor de caudal YF-S201. También se integra el sistema fotovoltaico, que consta del panel solar, controlador de carga y batería solar. Para el diseño y ensamblaje de las partes, se utilizó *Solidworks* mientras que *Altium Designer* fue empleado para el diseño de la placa PCB. *Phpmyadmin* registra los consumos en la base de datos, y *Node Red* se usa para crear la interfaz web mediante un bróker mqtt. Este enfoque se lo realiza con el propósito fundamental de optimizar los costos asociados al desarrollo del prototipo.
- Se implementó el dispositivo IoT en la zona residencial resulta beneficiosa para el sistema fotovoltaico. Esto se debe a que se ubica en una localidad con construcciones de menos a tres niveles. La vivienda en cuestión cuenta con una tubería de distribución que pasa por una de las paredes, lo que facilitó la instalación del dispositivo IoT. Dado que la vivienda es de un solo nivel y las viviendas vecinas tienen características similares, se pudo instalar el sistema fotovoltaico de manera que el panel solar recibiera una exposición a la luz solar.

- Se desarrolló la interfaz web en *Node Red* que proporciona información en tiempo real sobre el consumo de agua potable, junto con los registros diarios, semanales y mensuales del consumo de agua potable. Además, presenta indicadores en relación con el voltaje de entrada suministrado tanto por el panel solar como por la fuente conmutada. Cada uno de estos indicadores se complementa con gráficos detallados que ilustran la información mencionada. También se ha integrado una sección destinada a controlar el paso del agua potable. Además, se establece una sección en *phpmyadmin* destinada al almacenamiento de los registros de consumo de agua potable, que pueden ser utilizados en el análisis de datos y aplicaciones asociadas al desarrollo.
- En función de los datos recabados en la fase de validación del prototipo, se consta que el medidor IoT posee una precisión de lectura altamente confiable de hasta $\pm 0.746\%$ del caudal o correspondiente a 0.77lt en caudales altos, $\pm 0.632\%$ equivalente a 0.32lt en caudales medios, y por último $\pm 0.495\%$ correspondiente a 0.1lt en caudales bajos, datos que fueron validados por la EP-EMAPAR.
- Las pruebas diseñadas para evaluar el tiempo de respuesta ante el control del servicio están demostrando que los valores obtenidos reflejan una operatividad eficiente mediante la conexión WiFi, presentando respuestas rápidas de un promedio de 0.54s para la apertura del servicio mientras que un 0.498s para el cierre, asimismo, la desviación estándar tiende a ser cero por lo que es notable estabilidad del sistema. Además, las pruebas efectuadas para analizar la autonomía de la batería indican que el sistema es capaz de funcionar durante aproximadamente 18 horas, lo que lo posiciona como una solución óptima para momentos en los cuales se produzcan pérdidas de energía tanto en el panel solar como en la red eléctrica.
- Se pudo evidenciar en las pruebas de cierre y apertura del servicio, que en las horas de mayor tráfico en la red (de 06h00 a 07h00, de 13h00 a 14h00, de 18h00 a 19h00), el tiempo que se demora entre ejecutarse la acción del cierre y apertura del servicio se ve afectada llegando a un tiempo de 1.7s como máximo.

6.2 RECOMENDACIONES

- Con los datos obtenidos y almacenados en las tablas de la base de datos, se propone implementar redes neuronales al dispositivo, para de esta forma, tener un conocimiento acerca de las horas de mayor y menor consumo, para aplicar un control orientado a la distribución del servicio.
- Examinar los datos de consumo registrados en la base de datos para evaluar la factibilidad de crear algoritmos predictivos. Estos algoritmos podrían brindar un enfoque más sostenible en la administración del servicio de agua potable.
- Aplicar inteligencia artificial para el sistema fotovoltaico, de esta manera crear un sistema de gestión de carga de las baterías solares más eficiente, teniendo ciclos de carga específicos, dependiendo de un análisis preventivo ante días nublados posteriores.

BIBLIOGRAFÍA

AFANEH, M., 2020. Opciones de conectividad inalámbrica para aplicaciones de IoT - Comparación de tecnologías | Sitio web de tecnología Bluetooth®. *Opciones de conectividad inalámbrica para aplicaciones de IoT - Comparación de tecnologías | Sitio web de tecnología Bluetooth®* [en línea]. [consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.bluetooth.com/blog/wireless-connectivity-options-for-iot-applications-technology-comparison/>.

AGUIRRE, F., 2015. Abastecimiento de agua para comunidades rurales. ,

ALTIUM DESIGNER, [sin fecha]. Altium Designer® vs. EAGLE® - Compara el software de diseño de PCB. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.altium.com/es/altium-designer/compare/autodesk-eagle>.

AMAZON, [sin fecha]. Amazon.com: Válvula de bola motorizada - Válvula de bola de acero inoxidable de 1/2 pulgada con puerto completo, 9-24 V CC y polaridad inversa de 2 cables por U.S. Solid : Industrial y Científico. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.amazon.com/dp/B06X99PHJJ/ref=sspa_dk_detail_2?pd_rd_i=B06X99PHJJ&pd_rd_w=4mCGD&content-id=amzn1.sym.eb7c1ac5-7c51-4df5-ba34-ca810f1f119a&pf_rd_p=eb7c1ac5-7c51-4df5-ba34-ca810f1f119a&pf_rd_r=X4197MGMAVB1E1T404ZG&pd_rd_wg=YoLps&pd_rd_r=1192846a-72c3-4ebb-a6b8-b9030a0c214c&s=hi&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhaWw&th=1.

ÁMBITO, 2023. Telegram: ¿Qué es, cuáles son sus ventajas y qué diferencia hay con WhatsApp? *Telegram: ¿Qué es, cuáles son sus ventajas y qué diferencia hay con WhatsApp?* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ambito.com/informacion-general/telegram/que-es-cuales-son-sus-ventajas-y-que-diferencia-hay-whatsapp-n5612690>.

ARAD, 2016. Tuning into the future. ,

ARDUINO, [sin fecha]. Getting Started with Arduino products | Arduino. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide>.

AUTYCOM, 2021. Plataformas de IoT: qué son y cuáles son sus ventajas - AUTYCOM. *Plataformas de IoT: qué son y cuáles son sus ventajas* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.autycom.com/plataformas-de-iot/>.

BADGER METER, 2020a. Medidores de flujo: ¿qué son y cómo funcionan? | Badger Meter. *Medidores de flujo: ¿qué son y cómo funcionan?* [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.badgermeter.com/es-es/blog-es-es/medidores-de-flujo-que-son-y-como-funcionan/>.

BADGER METER, 2020b. Medidores de flujo: ¿qué son y cómo funcionan? | Badger Meter. *Medidores de flujo: ¿qué son y cómo funcionan?* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.badgermeter.com/es-es/blog-es-es/medidores-de-flujo-que-son-y-como-funcionan/>.

BADGER METER, [sin fecha]. E-Series | Medidores de flujo ultrasónicos residenciales | Badger Meter. *Medidores ultrasónicos E-Series para aplicaciones residenciales* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.badgermeter.com/es-us/productos/medidores/medidores-de-flujo-ultrasonicos/medidores-ultrasonicos-e-series-para-aplicaciones-residenciales/>.

BASSI, A., 2021. Goto IoT | Introducción a CoAP. *Introducción al protocolo CoAP* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: https://www.gotoiot.com/pages/articles/coap_intro/index.html.

BECOLVE DIGITAL, 2020. Qué es LoRaWAN. *Qué es LoRaWAN* [en línea]. [consulta: 29 abril 2023]. Disponible en: <https://becolve.com/blog/que-es-lorawan/>.

BHARDWAJ, P., 2021. Diferencia entre los protocolos COAP y MQTT. *Diferencia entre los protocolos COAP y MQTT* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.tutorialspoint.com/difference-between-coap-and-mqtt-protocols>.

BHARDWAJ, V. y METZGAR, C., 2001. BHARDWAJ and METZGAR 2001. Tech Brief - Reservoirs, towers and tanks. ,

BLOG DE TECNOLOGÍA WIRELESS, 2020. ¿Qué es LoRa y LoRaWan? - Blog de tecnología wireless. *¿Qué es LoRa y LoRaWAN?* [en línea]. [consulta: 29 abril 2023]. Disponible en: <https://www.comunicacionesimalambricashoy.com/wireless/que-es-lora-y-lorawan/>.

CANTOS, A., 2021. Plataformas IoT: qué son y cuál es la mejor para su negocio - Barbara IoT. *Plataformas IoT: qué son y cuál es la mejor para su negocio* [en línea]. [consulta:

25 abril 2023]. Disponible en: <https://barbaraiot.com/es/blog/plataformas-iot-que-son-y-como-pueden-beneficiar-a-tu-empresa>.

CHÁVEZ, S., BELTRÁN, D., MONTIEL, J. y RÍOS, N., 2021. OPTIMIZACIÓN DE MEDICIÓN DE AGUA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS IOT. . Bogotá: CHICO, L., 2015. Aprobación del Tutor "SISTEMA INALÁMBRICO PARA CONTROL Y MONITOREO DE LA PLANTA DE. . Ambato:

CHOJRIN, M., 2019. Qué es el protocolo HTTP y cómo funciona - Platzi. *Qué es el protocolo HTTP y cómo funciona* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://platzi.com/clases/1638-api-rest/21614-que-es-y-como-funciona-el-protocolo-http/>.

COELECTRIX, 2017. Batería AGM, que es y en que se diferencia | Coelectrix.xom. *Batería AGM, que es y en que se diferencia | Coelectrix.xom* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://coelectrix.com/blog/bateria-agm>.

CORREDOR, J., ORTIZ, D., ZABALA, D. y DIAZ, M., 2020. Diseño de Prototipo IoT para el ahorro de energía eléctrica y agua a partir de la medición de consumos en el hogar. . Bogotá: CRESPO, E., 2018. CoAP | Aprendiendo Arduino. *Aprendiendo con Arduino* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/coap/>.

CUNALATA, D., 2020. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. . Ambato: DEVOPEDIA, 2019. Protocolo de aplicación restringida. *Protocolo de aplicación restringida* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://devopedia.org/constrained-application-protocol>.

DÍAZ, A., 2022. Título y Resumen. . Coruña:

DOBLUE LIN, [sin fecha]. 4" válvula de control de cobre amarillo de oscilación. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <http://spanish.double-lin.com/quality-13406192-4-brass-swing-check-valve>.

ECOINNOVAR, 2018. Energía solar: ¿cuáles son los usos más comunes? *Energía solar: ¿Cuáles son los usos más comunes?* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://ecoinnovar.es/blog/usos-comunes-de-la-energia-solar/>.

EL ANDROIDE LIBRE, 2016. Qué es WiFi Direct y en qué se diferencia del Bluetooth. *Qué es WiFi Direct y en qué se diferencia del Bluetooth* [en línea]. [consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: https://www.lespanol.com/elandroidelibre/20161018/wifi-direct-diferencia-bluetooth/163984740_0.html.

EL COMERCIO, 2018. En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región - El Comercio. *En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/ecuador-gasto-agua-cifras-latinoamerica.html>.

ELIGENIO, 2022. Diferencias paneles monocristalinos o policristalinos | Eligenio. *Diferencias entre paneles solares monocristalinos o policristalinos* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://eligenio.com/es/blog/diferencias-paneles-solares-monocristalinos-o-policristalinos/>.

EL TELÉGRAFO, 2016. El Telégrafo - El desperdicio de agua potable le cuesta al país \$ 100 millones al año. *El desperdicio de agua potable le cuesta al país \$100 millones al año* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/1/el-desperdicio-de-agua-potable-le-cuesta-al-pais-usd-100-millones-al-ano>.

EMAPAR, 2020. Conoce los valores a pagar por consumo de Agua Potable | EP EMAPAR. [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.epemapar.gob.ec/portfolio-item/conoce-los-valores-a-pagar-por-consumo-de-agua-potable/>.

ENERSYS, 2023. Baterías de plomo-ácido: Guía completa sobre su funcionamiento. *Baterías de plomo-ácido: Guía completa sobre su funcionamiento* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://enersys.com.mx/blog/baterias-plomo-acido-guia/>.

ESCALANTE, J., 2021. IoT: Qué es, para qué sirve y cómo funciona | OpenWebinars. *IoT: Qué es, para qué sirve y cómo funciona* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://openwebinars.net/blog/iot-que-es-para-que-sirve-y-como-funciona/>.

ESCOBAR, G., 2017. El protocolo HTTP. *El protocolo HTTP* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://blog.makeitreal.camp/el-protocolo-http/>.

EUROMASTER, 2021. ¿Qué son las baterías de gel para coche? Ventajas y desventajas. *¿Qué son las baterías de gel para coche? Ventajas y desventajas* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023].

2023]. Disponible en: <https://www.euromaster-neumaticos.es/blog/baterias-gel-coche-ventajas-desventajas>.

FGT, 2022. Explicación de los medidores de flujo de turbina | Operación y calibración | First General Technology Co., Ltd. *Explicación del medidor de flujo de turbina | Operación y calibración* [en línea]. [consulta: 24 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.fgtw.com/es/technology-news/turbine-flow-meter-explained-operation-and-calibration/>.

FLMUNDIAL, 2023. Válvula Expulsora de Aire de 1/2 Rugo 101 | Provedora Ferretera La Mundial. *Válvula Expulsora de Aire de 1/2 Rugo 101 | Provedora Ferretera La Mundial* [en línea]. [consulta: 6 noviembre 2023]. Disponible en: <https://flamundial.com/products/valvula-expulsora-de-aire-de-1-2>.

FRACTALIA, 2014. Beaglebone Black la nueva competencia de Raspberry pi | Grupo Fractalia. *Beaglebone Black la nueva competencia de Raspberry pi | Grupo Fractalia* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://fractaliasystems.com/beaglebone-black-la-nueva-competencia-de-raspberry-pi/>.

FRACTTAL, 2018. Las 9 aplicaciones más importantes del Internet de las Cosas (IoT). *Las 9 aplicaciones más importantes del Internet de las Cosas (IoT)* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.fracttal.com/es/blog/9-aplicaciones-importantes-iot>.

GANDHI, M., 2020a. Cuáles son los protocolos de comunicación industrial - AUTYCOM. *Cuáles son los protocolos de comunicación industrial* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.autycom.com/protocolos-de-comunicacion-industrial/>.

GANDHI, M., 2020b. IOT vs IIOT: principales diferenciadores y beneficios para la industria 4.0 - AUTYCOM. *IOT vs IIOT: principales diferenciadores y beneficios para la industria 4.0* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.autycom.com/iot-vs-iiot/>.

GARCÍA, A., 2019. Por qué el agua es un recurso renovable pero limitado - descubre la respuesta aquí. *Por qué el agua es un recurso renovable pero limitado* [en línea]. [consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/por-que-el-agua-es-un-recurso-renovable-pero-limitado-1449.html>.

GARCÍA GUTIÉRREZ, L., 1999. Teoría De La Medición De Caudales Y Volúmenes De Agua E Instrumental Necesario Disponible En El Mercado. *Medida y Evaluación De las Extracciones De Agua Subterránea* [en línea], Disponible en: http://www.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf.

GARRIDO, R.L., 2015. Estudio Plataformas IoT. . S.l.:

GEEK FACTORY, [sin fecha]. YF-S201 caudalímetro sensor de flujo 1/2 pulgada - Geek Factory. *YF-S201 caudalímetro sensor de flujo 1/2 pulgada - Geek Factory* [en línea]. [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/yf-s201-caudalimetro-sensor-de-flujo-1-2-pulgada/>.

GIGI, 2021. Beaglebone vs Raspberry Pi: Which SBC is better? - Latest Open Tech From Seeed. *Beaglebone vs Raspberry Pi: Which SBC is better? - Latest Open Tech From Seeed* [en línea]. [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.seeedstudio.com/blog/2021/01/20/beaglebone-vs-raspberry-pi-which-sbc-is-better/>.

GIL, A., 2021. El mapa del acceso a internet en el mundo - Mapas de El Orden Mundial - EOM. *El mapa del acceso a internet en el mundo* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/mapa-acceso-internet-mundo/>.

GIZ, 2017. GOBIERNOS LOCALES MANUAL PARA LA CLORACIÓN. [en línea]. Lima: Disponible en: <http://www.buenagobernanza.org.pe/>.

GRUPO HIDRÁULICA, 2022. Medidor de caudal ultrasónico: ¿para qué sirve y cómo funciona? *Medidor de caudal ultrasónico: ¿para qué sirve y cómo funciona?* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://grupohidraulica.com/noticias/2022/07/25/medidor-de-caudal-ultrasonico-para-que-sirve-y-como-funciona/>.

GUSQUI, G. y CHAGLLA, A., 2016. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO INTELIGENTE DE ASIGNACIÓN, MEDICIÓN Y ALERTA DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA HOGARES RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA». . Riobamba:

HILCU, M., 2022. Placas solares monocristalinas: Características y precios. *Placas solares monocristalinas: Características y precios* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-monocristalinas/>.

HILCU, M., 2023. Baterías solares: Funcionamiento y Tipos. *Baterías solares: Funcionamiento y Tipos* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/baterias-para-placas-solares/>.

INEC, 2016. Diagnostico_ASH_pobreza_INEC_BM. . S.l.:

INTELLIMETER, 2020. DIFERENCIA ENTRE MEDIDORES DE AGUA DE INYECCIÓN SIMPLE Y DE INYECCIÓN MÚLTIPLE. *Diferencia entre medidores de agua de inyección simple y de inyección múltiple* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://blog.intellimeter.com/esp/diferencia-entre-medidores-de-agua-de-inyecci%C3%B3n-simple-y-de-inyecci%C3%B3n-m%C3%BAltiple>.

JS INDUSTRIAL, 2020. Flujómetros Ultrasónicos - JS INDUSTRIAL PERÚ. *Flujómetros Ultrasónicos* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.jsindustrial.com.pe/flujo-metros-ultrasonicos/>.

KHOMP, [sin fecha]. Panel Solar Fotovoltaico 10W IoT - Khomp. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.khomp.com/es/produ-to/painel-solar-fotovoltaico/>.

KOWALEWSKI, O., 2017. «Evaluación de protocolos limitados de nivel de aplicación para Internet de las Cosas». . Madrid:

LEMUS, I., 2019. ¿Qué es una tarjeta de desarrollo microcontrolador para IOT? - Conocimiento Libre. *¿Qué es una tarjeta de desarrollo microcontrolador para IOT? - Conocimiento Libre* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://conocimientolibre.mx/microcontrolador/>.

LIEW, C., 2015. La guerra de protocolos de radio de Smart Home | Noticias e informes de IoT Now. *La guerra de protocolos de radio de Smart Home Noticias e informes de IoT Now* [en línea]. [consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.iot-now.com/2015/08/10/35653-the-smart-home-radio-protocols-war/>.

LLAMAS, L., 2019. ¿Qué es MQTT? Su importancia como protocolo IoT. *¿Qué es MQTT? Su importancia como protocolo IoT* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>.

LOAIZA, R., 2021. «Sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la planta de agua potable regional Arenillas Huaquillas basado en internet de las cosas (IoT)». . S.l.:

MEDINA, R., 2022. Estadísticas de la situación Digital en Ecuador 2021-2022 - Branch Agencia. *Estadísticas de la situación Digital en Ecuador 2021-2022* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://branch.com.co/marketing-digital/estadisticas-de-la-situacion-digital-en-ecuador-2021-2022/>.

MERCADO LIBRE, [sin fecha]. Controlador Regulador De Carga Solar 10a 12v 24v | MercadoLibre. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023 a]. Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-518005104-controlador-regulador-de-carga-solar-10a-12v-24v- JM>.

MERCADO LIBRE, [sin fecha]. Pila Bateria Recargable 12v 5ah Monopatin | MercadoLibre. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023 b]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-731357087-pila-bateria-recargable-12v-5ah-monopatin- JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=59fa57e7-b728-4716-b606-090303db97f5.

MIER, L., 2020. Ubidots: La plataforma IoT enfocada al manejo de datos – BitCuco. *Ubidots: La plataforma IoT enfocada al manejo de datos* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://bitcu.co/ubidots/>.

MOKO BLUE, 2020. Por qué Bluetooth IoT? La tecnología Bluetooth se ha integrado en IoT. *Por qué Bluetooth IoT?* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://www.mokoblue.com/es/why-bluetooth-iot/>.

NAYLAMP, [sin fecha]. Módulo Relay 2CH 12VDC. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/drivers/193-modulo-relay-2-canales-12vdc.html>.

NODE RED, [sin fecha]. Node-RED. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://nodered.org/>.

NOGUERA BULMARO, 2021. ¿Qué son los medidores de caudal volumétrico? *¿Qué son los medidores de caudal volumétrico?* [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/03/medidores-de-caudal-volumetrico-o-caudalímetros.html>.

NOVATRONIC, [sin fecha]. Fuente de poder 12V 5A 60W – Novatronic. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://novatronic.com/index.php/product/fuente-conmutada-12v-5a-60w/>.

NÚÑEZ, S., 2020. RECURSOS NO RENOVABLES: qué son y ejemplos - Resumen. *Recursos no renovables: qué son y ejemplos* [en línea]. [consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/recursos-no-renovables-que-son-y-ejemplos-3088.html>.

OJEDA, G., 2023. Energía solar fotovoltaica y térmica: Ventajas y Desventajas. *Energía solar fotovoltaica y térmica: Ventajas y Desventajas* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://selectra.es/autoconsumo/info/energia-solar>.

OMS, 2022. Agua para consumo humano. *Agua para consumo humano* [en línea]. [consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.

ONU, 2020. El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático | Noticias ONU. *El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático* [en línea]. [consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>.

PALACIOS, L. y TRELLES, F., 2018. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA SCADA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE CONSUMO DE AGUA EN. . Cuenca:

PASTORINO, C., 2020. Cómo funciona Bluetooth Low Energy: el protocolo estrella de IoT | WeLiveSecurity. *Cómo funciona Bluetooth Low Energy: el protocolo estrella de IoT* [en línea].

[consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://www.welivesecurity.com/la-es/2020/03/17/como-funciona-bluetooth-low-energy/>.

PITTMAN, R., 1997. *Politik in den USA Institutionen - Akteure - Themen*. Lima: s.n. ISBN 3170306898.

PLANAS, O., 2015. Placas solares, tipos de paneles fotovoltaicos. *Placas solares, características de los paneles fotovoltaicos* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico>.

PRIMICIAS, 2020. 30% de habitantes en Ecuador sin acceso al agua potable. *30% de habitantes en Ecuador sin acceso al agua potable* [en línea]. [consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/ecuador-7-cada-10-personas-no-tienen-agua-potable/>.

ROBERES, J., 2016. Diseño de redes de agua potable - Eadic. *Diseño de redes de agua potable* [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://eadic.com/blog/entrada/disenio-de-redes-de-agua-potable/>.

ROSETTA, 2022. Todo sobre los Caudalímetros de Turbina | Rosetta. *Todo lo que necesita saber sobre los caudalímetros de turbina* [en línea]. [consulta: 24 mayo 2023]. Disponible en: <https://rosetta-technology.com/es/aula-tecnica/notas-tecnicas/caudalimetro-turbina>.

RUPARELIYA, K., 2022. MQTT vs. COAP: An In-Depth Look at Two Leading IoT Protocols. *MQTT vs. COAP: An In-Depth Look at Two Leading IoT Protocols* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.intuz.com/blog/mqtt-vs-coap>.

SANCHO, P., 2020. Fundamentos de Node-RED. *Fundamentos de Node-Red* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.techedgegroup.com/es/blog/fundamentos-node-red>.

SANTOS, T., 2019. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA E TELECOMUNICAÇÕES UNIVERSIDADE AUTÓNOMA DE LISBOA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE IOT, PARA RECOLHA E MONITORIZAÇÃO DE DADOS, COM VISTA A OTIMIZAR AS PERDAS DE ÁGUA. . Lisboa:

SCHARFGLASS, K., 2018. ¿Qué inalámbrico es el inalámbrico correcto? *¿Qué inalámbrico es el inalámbrico correcto?* [en línea]. [consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: <https://hackaday.com/2018/10/19/which-wireless-is-right-wireless/>.

SELA, 2021. 244 millones de personas en América Latina y el Caribe no tienen acceso a Internet | SELA. *244 millones de personas en América Latina y el Caribe no tienen acceso a Internet* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.sela.org/es/prensa/servicio-informativo/20211109/si/76703/internet>.

SHMETERS, 2022. Fabricantes de medidores de agua de chorro múltiple-medidor de agua de chorro múltiple-medidor de agua de chorro único. *¿Cuál es la diferencia entre un medidor de agua de chorro único y un medidor de agua de chorro múltiple?* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <http://www.s-meters.com/news/what-is-the-difference-between-a-single-jet-wa-57006229.html>.

SIT GROUND, [sin fecha]. Características de phpMyAdmin - SiteGround Tutoriales. [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://es.siteground.com/tutoriales/phpmyadmin/caracteristicas/>.

SOLECTRO, 2022. ¿Qué es MQTT? El protocolo de comunicación para IoT. *¿Qué es MQTT? El protocolo de comunicación para IoT* [en línea]. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-mqtt-el-protocolo-de-comunicacion-para-iot-n117>.

SONIX, 2019. Raspberry Pi 4 B: Características - Tech Krowd. *Raspberry Pi 4 B: Características - Tech Krowd* [en línea]. [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://techkrowd.com/raspberry-pi/raspberry-pi-4-b-caracteristicas/>.

SUÁREZ, F., 2021. Requisitos mínimos del sistema para nodeKS. *Requisitos mínimos del sistema para SOLIDWORKS* [en línea]. [consulta: 7 noviembre 2023]. Disponible en: <https://easyworks.es/recomendaciones-y-requisitos-minimos-de-hardware-para-solidworks/>.

TEROL, M., 2022. LoRaWAN: ¿qué es, para qué sirve y dónde se utiliza? | Telefónica. *LoRaWAN y las ventajas que brinda su uso en IoT* [en línea]. [consulta: 29 abril 2023]. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/lorawan-ventajas-usos-telefonica>.

TOMISIN, O., 2022. Raspberry Pi Pico vs. ESP32: Which Microcontroller Is Right for You? *Raspberry Pi Pico vs. ESP32: Which Microcontroller Is Right for* [en línea]. [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.makeuseof.com/raspberry-pi-pico-vs-esp32-microcontroller/>.

TORRAS, L., 2017. El agua: el petróleo del siglo XXI | Foro Económico Mundial. *El agua: el petróleo del siglo XXI* [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://es.weforum.org/agenda/2017/09/el-agua-el-petroleo-del-siglo-xxi/>.

TORRES, W., 2021. Ecuador pierde USD 320 millones al año por fugas y robo de agua potable. *Ecuador pierde USD 320 millones al año por fugas y robo de agua potable* [en línea]. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/perdidas-agua-fugas-ecuador-municipios/>.

UNESCO, 2017. AGUAS RESIDUALES. . París:

UNICEF, 2018a. El agua, un derecho humano pendiente para los niños del Ecuador. *El agua, un derecho humano pendiente para los niños del Ecuador* [en línea]. [consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://www.unicef.org/ecuador/comunicados-prensa/el-agua-un-derecho-humano-pendiente-para-los-ni%C3%B1os-del-ecuador>.

UNICEF, 2018b. El agua, un derecho humano pendiente para los niños del Ecuador. *El agua, un derecho humano pendiente para los niños del Ecuador* [en línea]. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.unicef.org/ecuador/comunicados-prensa/el-agua-un-derecho-humano-pendiente-para-los-ni%C3%B1os-del-ecuador>.

USAID, 2016. Manual operación y mantenimiento de agua por gravedad. ,

VALERO, C., 2023a. Qué es el WiFi, cómo funciona y qué tipos de cifrado existen. *Qué es el WIFI y cómo funciona para conectar todo a Internet* [en línea]. [consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>.

VALERO, C., 2023b. WhatsApp vs Telegram: comparativa, seguridad y alternativas. *WhatsApp vs Telegram: comparativa, seguridad y alternativas* [en línea]. [consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/seguridad/whatsapp-vs-telegram/>.

YACELGA, E., 2022. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA. . Ibarra:

YLINCHIP ZENNER, [sin fecha]. XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet (1). ,
 , [sin fecha]. Contador de agua Ultrasónico domiciliario para agua fría. *Contador de agua Ultrasónico domiciliario para agua fría* [en línea]. [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: https://zenner.com/es/products/hwz_iuws/.

ANEXOS

ANEXO A: Certificado de validación del dispositivo emitido por la EPEMAPAR.



CERTIFICACIÓN

Por medio del presente tengo a bien certificar el Señor Bryan Israel Garcés Vallejo, portador de la cédula de ciudadanía No. 0604540542, realizó las pruebas de Medidor de la Tesis con el tema "Diseño y Construcción de un Dispositivo IoT Autosustentable para la Medición de Consumo de Agua Potable mediante una Interfaz Web", en el banco de pruebas de medidores de la Empresa Pública Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba EP-EMAPAR.

Luego de las pruebas realizadas se obtuvo un error máximo de 0.8%, obteniendo un resultado válido, ya que según los estándares de la empresa se considera un 5% del mismo.

Es todo cuanto puedo certificar, autorizando al interesado hacer uso del presente certificado en los trámites que a bien tuviere, para los fines académicos pertinentes.

Riobamba, 3 de agosto de 2023

Atentamente,



Ing. Luis Vásquez P.
DIRECTOR DE GESTIÓN COMERCIAL

Lanzados 07-50 y Juan F388 Proaño
59313730800
www.epemapar.gob.ec

EP Empresa Municipal de
Agua Potable y Alcantarillado
de Riobamba

Dirección de Gestión
COMERCIAL

ANEXO B: Manual de Usuario para el controlador de carga solar.

User's Manual

SAFETY INSTRUCTIONS

1. Make sure your battery has enough voltage for the controller to recognize the battery type before first installation.
2. The battery cable should be as short as possible to minimize loss.
3. The regulator is only suitable for lead acid batteries: OPEN, AGM, GEL. It is not suited for nickel metal hydride, lithium-ions or other batteries.
4. The charge regulator is only suitable for regulating solar modules. Never connect another charging source to the charge regulator.

PRODUCT FEATURES

1. Built-in industrial micro controller.
2. Big LCD display, all adjustable parameter.
3. Fully 3-stage charge management.
4. Built-in short-circuit protection, open-circuit protection, reverse protection, over-load protection.
5. Dual USB output, the maximum current of 2.5A, to support Apple's mobile phone charging.
6. Dual mosfet reverse current protection, low heat production.

LCD DISPLAY/KEY

MENU: Switch between different display or to enter/set setting by long press.
Up: press to increase value.
DOWN: Press to decrease value.

SYSTEM CONNECTION

1. Connect the battery to the charge regulator-plus and minus.
2. Connect the photovoltaic module to the regulator-plus and minus.
3. Connect the consumer to the charge regulator-plus and minus.

The reverse order applies when installing!
An improper sequence order can damage the controller!

Note: 12V battery with 18W solar panel, 24V battery with 36W solar panel

LCD DISPLAY/SETTING

Press MENU to choose different interface.
In interlock 2-5, long press MENU to enter setting and using [UP] [DOWN] to set the parameter. Long press MENU again to exit long press [DOWN] to restore parameter.

After:
1. Press the [DOWN] button to ON/OFF load manually at main display.
2. The work mode is working as below.

[24H] load output 24 hours
[1-23H] load on after sunset and closed after setting hours
[OH] Dusk to dawn

TROUBLE SHOOTING

Situation	Probable cause	Solution
Charge icon not on when sunny	Solar panel opened or reversed	Reconnect
Load icon off	Mode setting wrong	Set again
Load icon slow flashing	Battery low	Recharge
Load icon slow flashing	Overload	Reduce load watt
	Short circuit protection	Remove short circuit, 1 minute or so automatic recovery
Power off	Battery too low/reverse	Check battery/connection

TECHNICAL PARAMETER

Batt voltage	12V/24V auto						
	MODEL	MZA10	MZA20	MZA30	MZA40	MZA50	MZA60
Charge current	10A	20A	30A	40A	50A	60A	
Discharge current	10A	10A	10A	30A	30A	30A	
Max solar input	12V battery, the highest 23V; 24V battery when the highest 46V						
Equalization	B1 sealed	B2 gel	B3 flood				
Float charge	14.4V	14.2V	14.6V				
Discharge stop	10.7V (default, adjustable)						
Charge reconnect	12.6V (default, adjustable)						
Charge reconnect	13.2V						
Voltage of open light	Solar panel 8V (Light lights delay)						
Voltage of close light	Solar panel 8V (Light off delay)						
USB output	2 way USB output, 5V/2.5A (MAX)						
Self-consumption	<10mA						
Operating temperature	-35 ~ +60C						
Size/Weight	133.5 * 70 * 86.5mm / 155g						

*All red color voltage x2 while using 24V system
*This instruction is a general manual, such as a slight difference in the physical.
*Product specifications are subject to change without prior notice

使用说明书

安全使用建议

1. 本控制器为12V/24V自动识别，首次安装时，请确保电池有足够的电压，以便控制器能够识别为正确的电池类型。
2. 将控制器尽量靠近电池安装，以避免电压过长造成损耗，影响正常电压判断。
3. 本控制器只适用于各种铅酸电池（包括阀控、密封、胶体等），请勿使用其它电池（包括锂电池、镍氢电池等）。
4. 本控制器只能使用光伏板作为电源，请勿使用其它非光伏电源作为电源。
5. 本控制器运行的环境温度，请注意非控制室安装在室外，请做好防晒。

产品特点

1. 采用工业级主控芯片。
2. 大屏幕LCD显示，可随意调整参数，控制电压反应快。
3. 完整的阶段充电管理。
4. 内置过流、短路保护、反接保护，均为自恢复型，不影响控制。
5. 双USB输出，最大电流2.5A，支持苹果手机充电。
6. 双MOS管倒置电路，超低温报警。

图标定义、按键

MENU: 用以切换参数界面，或长按5秒可进入或退出参数设置。
上屏: 在参数设置界面，轻按一次使参数往上加一格。
下屏: 在参数设置界面，轻按一次使参数往下减一格。

系统连接

1. 将蓄电池正负极按图示接入控制器，控制器会自动检测蓄电池电压。
2. 将光伏板正负极按图示接入控制器，注意不要接反。
3. 将太阳能板按图示接入控制器。

注意：请严格按照以上顺序接入，否则可能会损坏控制器！
请按照顺序与接线顺序接入。

注意：12V电瓶配18W太阳能板，24V电瓶配36W太阳能板。

显示屏/参数设置

长按菜单键大于10秒恢复出厂设置。
短按菜单键可循环调整各参数与参数。
在界面2-5下，长按上屏/下屏5秒可恢复默认值，长按菜单键5秒，主屏显示下屏，长按菜单键5秒，进入手动设置，此时数字会闪烁，按上下屏调整参数数值，完成后再长按菜单键5秒退出设置。

注意：1. 主屏显示，单按上下屏键可打开/关闭负载开关，长按不能手动开关负载。
2. 屏上 负载工作模式： [24H] 负载常开模式 [1-23H] 光伏+1-23H定时关闭 [OH] 纯光伏模式

故障指南

异常现象	可能原因	解决方法
指示灯全不亮	光伏板开路或接反	重新连接好光伏板
负载指示灯不亮	模式设置错误 电池电压太低	重新设置 对电瓶充电
负载指示灯闪烁	负载过重 负载短路	减小负载功率 解除短路，1分钟在右白屏
控制板不亮	电池电压太低/电瓶+、-接反	更换电池/核对电池极性

技术参数

系统电压	12V/24V自动识别						
	型号	MZA10	MZA20	MZA30	MZA40	MZA50	MZA60
额定充电电流	10A	20A	30A	40A	50A	60A	
额定放电电流	10A	10A	10A	30A	30A	30A	
最高光伏电压	12V电瓶时：最高23V；24V电瓶时最高46V						
晨升充电电压	B1密封型	B2胶体型	B3开口型				
	14.4V	14.2V	14.6V				
充满截止电压	14.4V (默认值，可调)						
放电截止电压	10.7V (默认值，可调)						
放电恢复电压	12.6V (默认值，可调)						
充电恢复电压	13.2V						
光控开灯阈值	光伏板8V (光控开灯有延时)						
光控关灯阈值	光伏板8V (光控关灯有延时)						
USB输出	2路USB输出，5V/2.5A (最大)						
待机电流	<10mA						
工作温度	-35 ~ +60C						
尺寸重量	133.5 * 70 * 86.5mm / 155g						

温馨提示：屏幕显示的电压值会有少许误差，请以实际为准。
*充电截止电压可调，充满后会自动停止充电，等电池电压回落至一定程度后再次再充电（以实际为准）
*红色字体标注电压仅对应12V系统，如使用24V系统，请x2
*此说明书为通用型说明书，如和实物有细微差别，请以实际为准
*产品规格如有更改，恕不另行通知

ANEXO C: Datasheet Módulo XL6009



麟芯电子(上海)有限公司
Kylinchip Electronic (Shanghai) Co., Ltd

XL6009

400KHz 60V4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Features

- Wide 5V to 32V Input Voltage Range
- Positive or Negative Output Voltage Programming with a Single Feedback Pin
- Current Mode Control Provides Excellent Transient Response
- 1.25V reference adjustable version
- Fixed 400KHz Switching Frequency
- Maximum 4A Switching Current
- SW PIN Built in Over Voltage Protection
- Excellent line and load regulation
- EN PIN TTL shutdown capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency up to 94%
- Built in Frequency Compensation
- Built in Soft-Start Function
- Built in Thermal Shutdown Function
- Built in Current Limit Function
- Available in TO263-5L package

General Description

The XL6009 regulator is a wide input range, current mode, DC/DC converter which is capable of generating either positive or negative output voltages. It can be configured as either a boost, flyback, SEPIC or inverting converter. The XL6009 built in N-channel power MOSFET and fixed frequency oscillator, current-mode architecture results in stable operation over a wide range of supply and output voltages.

The XL6009 regulator is special design for portable electronic equipment applications.

Pin Configurations

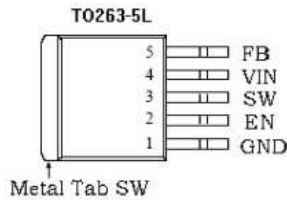


Figure2. Pin Configuration of XL6009 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin.
2	EN	Enable Pin. Drive EN pin low to turn off the device, drive it high to turn it on. Floating is default high.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW).
4	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL6009 operates from a 5V to 32V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.
5	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.

ANEXO D: Datasheet Batería 12V 5Ah



FICHA TÉCNICA

Código: 12V/5A/P

FUENTE CONMUTADA 12V/5A/P

Fuente de alimentación conmutada con un tamaño pequeño y una salida.

¡Atención! Si la fuente de alimentación está diseñada para un funcionamiento continuo (las 24 horas), la corriente nominal de la fuente de alimentación no debe exceder el 80% de la corriente máxima. ¡Preste especial atención a las condiciones de refrigeración adecuadas de la fuente de alimentación durante el trabajo! Dentro de los armarios Rack y en lugares con poca ventilación es recomendable usar junto con la fuente de alimentación los siguientes elementos: ventilador A19-W12 y controlador de rotación FR-1.



Tipo de fuente de alimentación:	Conmutada
Tensión de alimentación:	230 V AC
Voltaje de salida:	12 V DC
Ajuste de la tensión de salida:	11 ... 15 V
Carga máxima de la fuente de alimentación:	5 A
Potencia de la fuente de alimentación:	60 W
Protecciones:	<ul style="list-style-type: none">• Contra cortocircuitos• Contra sobrecargas
Temperatura de funcionamiento / humedad relativa:	-10 °C ... 50 °C / 20 % ... 90 %
Peso:	0.27 kg
Dimensiones:	160 x 98 x 42 mm
Garantía:	2 años

ANEXO E: Código desarrollado en Arduino IDE 1.8.19 para la tarjeta ESP32.

```

test_esp32
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

const char* ssid = "Mercedes"; //Nombre de la Red
const char* password = "Valentin2019"; //Contraseña de la Red
const char* mqtt_server = "broker.emqx.io"; //Servidor virtual de código real
//Definición de pines
#define apertura 33
#define cierre 26
#define salidaV1 18
#define salidaV2 5
#define indiluzurna 12
const int sensor=31;
const int sensor2=32;
const int sensor3=34;
//Definición de variables
float sensorpulsos=0; //
float consumo=0;
float velocidad=0;

volatile unsigned int pulseCount = 0; // Contador de pulsos cod0 que la sensor mide
float calibration = 7.5; //factor de calibración
float totalVolume = 0; //volumen total para enviar al final del día
float consumo = 0; // consumo cada que termine de ser utilizado
float consumo1 = 0; // para velocidad
float consumo2 = 0; //para velocidad 2
float consumo3=0; //para volver a avanzar
float consumo4=0; //para volver a avanzar
float flowRate = 0; // velocidad
float volume = 0;

```

```

test_esp32
while (!Serial.begin(115200)) {
  delay(100);
  Serial.print(" ");
  digitalWrite(indiLuzurna,LOW);
}

void doIndiLuzurna() {
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  Serial.print("Mensaje recibido: ");
  Serial.print(topic);
  Serial.println("");
  for (int i = 0; i < length; i++) {
    value = (char)payload[i];
    Serial.println(value);
  }
  if (value == "1") {
    Serial.println("servicio en funcionamiento");
    a=1;
  } else {
    Serial.println("servicio cortado");
    a=0;
  }
}

```

```

test_esp32
//Variables Iniciales
void setup() {
  pinMode(apertura, OUTPUT);
  pinMode(cierre, OUTPUT);
  pinMode(salidaV1, OUTPUT); //DECLARAMOS EL PIN SALIDA1 COMO SALIDA
  pinMode(salidaV2, OUTPUT);
  pinMode(sensor, INPUT);
  pinMode(sensor2, INPUT);
  pinMode(sensor3, INPUT);
  digitalWrite(apertura,HIGH); //INICIALIZAMOS EL PIN APERTURA COMO AVANZADO
  digitalWrite(cierre,LOW);
  digitalWrite(salidaV1,HIGH); //INICIALIZAMOS EL PIN APERTURA COMO AVANZADO
  digitalWrite(salidaV2,LOW);
  digitalWrite(indiLuzurna, HIGH);
  digitalWrite(indiLuzurna, LOW);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensor), pulseInterrupt, FALLING);
  a=1;
  b=0;
  c=0;
  d=0;
  e=1;
  g=0;
  h=1;
  digitalWrite(0);
  Serial.begin(115200);
  setup_wifi();
  client.setHost(mqtt_server, 1883);
  client.setCallback(callback);
}

```

```

test_esp32
int prueba=0; //para obtener la velocidad
int sensor; //para conocer cuantas veces cierre el servicio
int calibrador = 54; //default calibrador del canal
double val=0; //para guardar la velocidad 1
double vel2=0; //para guardar la velocidad 2
double veltotal=0; //velocidad total para el canal
const unsigned long interval = 1000;

STRING valor;
int a,b,c,d,e,g,h,i;
unsigned long time;
unsigned long time1=0;
unsigned long time2=0;
unsigned long contador;

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
unsigned long lastMsg = 0;
unsigned long publishTime = 0;
const int MSG_BUFFER_SIZE = 100;
char msg(MSG_BUFFER_SIZE);
int value = 0;

void setup_wifi() {
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print("Conectando a ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
}

```

```

test_esp32
void reconnect() {
  while (!client.connected()) {
    digitalWrite(indiLuzurna, LOW);
    Serial.println("Intentando reconectar mediante MQTT...");
    String clientId = "ESP32client-";
    clientId += String(random(0xffff), HEX);
    if (!client.connect(clientId.c_str())) {
      Serial.println("Conectado");
      client.publish("output1", "Hello world");
      client.subscribe("input");
      value = 0;
      Serial.println("Failed, retry");
      Serial.println(client.connected());
      Serial.println("Intentando conexión nuevamente en 5 segundos");
      delay(5000);
    }
  }
}
// Interrupción del consumo
void IRAM_ATTR pulseInterrupt() {
  pulseCount++;
}

```

```

test_esp32
void loop() {
  //Estado del consumo total
  if (pulseCount > 0) {
    if (prueba==0) {
      digitalWrite(0);
      prueba = prueba +1;
      if (prueba==10) {
        vel2=vel1+val;
        veltotal=vel1+vel2;
        Serial.println(veltotal);
        prueba=0;
      }
      if ((veltotal*100)<=(veltotal+100)) {
        calibrador=54;
      }
      if ((veltotal*100)>=(veltotal+100)) {
        calibrador=57;
      }
      if (veltotal<100) {
        calibrador=55;
      }
      float flowRate = pulseCount / calibration;
      //Serial.println(flowRate);
      float volume = flowRate * (float)interval / (1000.0*(calibrador));
      totalVolume = totalVolume + volume;
      consumo = totalVolume;
      pulseCount=0;
    }
  }
}

```

```

tsx_jto Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

tsx_jto
//cálculo de la velocidad
uint32_t t0;
if (time1-time0 > 1000) {
  time1=time0;
  consumo1=consumo;
}
if (time1-time0 > 5000) {
  time1=time0;
  consumo1=consumo;
  velocidad = ((consumo1-consumo1)*100/30);
}

// conexión a la red
if (!WiFi.localIP()) {
  WiFi.begin(1);
  while (!WiFi.localIP()) {
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
  }
}

// apertura y cierre de puertos
if (valor == "1") {
  b=1;
  a=1;
}

```

```

tsx_jto Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

tsx_jto
String sensor = String(a);
if (b==1) {
  digitalWrite(apertura, a);
  digitalWrite(cierre, b);
  digitalWrite(apertura, c);
  if (b==1000) {
    digitalWrite(apertura, a);
    digitalWrite(cierre, b);
  }
} else if (valor == "0") {
  digitalWrite(apertura, a);
  digitalWrite(cierre, b);
}
String sensor = String(a);
if (c==1) {
  digitalWrite(cierre, c);
  digitalWrite(apertura, d);
  if (c==1000) {
    digitalWrite(cierre, c);
    digitalWrite(apertura, d);
  }
}
}

// medición del voltaje del panel y de la fuente

```

```

tsx_jto Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

tsx_jto
// medición del voltaje del panel y de la fuente
sensorpanel = ((1.35 * analogRead(sensor) / 1023) * 5);
Serial.print(sensorpanel);
sensorfuente = ((1.35 * analogRead(sensor) / 1023) * 5);
if (sensorpanel > 1) {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
} else {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
}
if (sensorpanel < 1) {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
} else {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
}
if (sensorpanel < 1) {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
} else {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
}
Serial.println("Tanto el panel como la fuente conectada no brindan suficiente voltaje");
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
}

```

```

tsx_jto Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

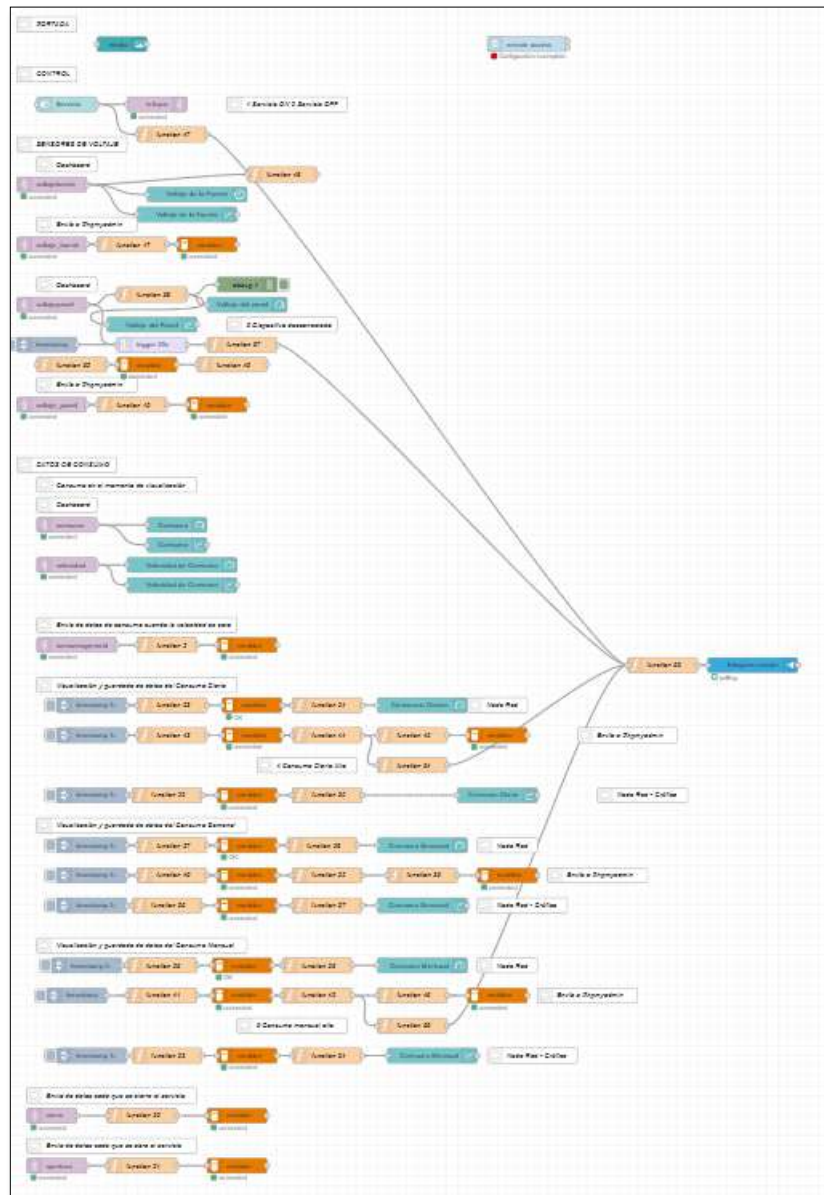
tsx_jto
if (now-lastMsg > 1000) { // envío de datos a Node RED
  lastMsg = now;
  Serial.println("voltajeFuente", sensorFuente_c_str());
  Serial.println("voltajePanel", sensorPanel_c_str());
  Serial.println("consumo", consumo_c_str());
  Serial.println("velocidad", velocidad_c_str());
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
}

// envío de datos de voltaje cada 50 minutos
if (now-panelFuente > 180000) {
  panelFuente = now;
  Serial.println("voltajeFuente", sensorFuente_c_str());
  Serial.println("voltajePanel", sensorPanel_c_str());
}

// envío de datos de consumo cada que la velocidad de consumo es 0
if ((velocidad == 0) && (a==1)) {
  b=1;
  if (b==1000) {
    digitalWrite("consumoGeneral", consumo_c_str());
    consumo = consumo;
    b=0;
  }
}
}

```


ANEXO F: Bloques de programación en Node Red.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22/11/2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: Bryan Israel Garcés Vallejo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Facultad de Informática y Electrónica
Carrera: Ingeniería en Electrónica y Automatización
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Fernanda Arévalo M.



1762-DBRA-UPT-2023