

Software de gestión para sistemas de reutilización de agua doméstica

William Andrey Garzón Bohórquez

Nota de Aceptación

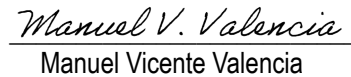
Certificamos que el presente Trabajo de Grado Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.



Luis Eduardo Tobón Llano



Maria Constanza Pabón



Manuel Vicente Valencia

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de Magister en Ingeniería de Software.

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias

JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Cali (19, 05, 2023)



Acta de Correcciones al Documento de Trabajo de Grado

Santiago de Cali, Mayo 19 del 2023

Autor: William Andrey Garzón Bohórquez

Título del Trabajo de Grado: Software de gestión para sistemas de reutilización de agua doméstica

Director: Luis Eduardo Tobón Llano

Como indica el artículo 2.13 de las Directrices para Trabajo de Grado de Maestría, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Trabajo de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Evaluación correspondiente.

Firma del Director del Trabajo de Grado

Nombre completo: William Andrey Garzón Bohórquez
Dirección: Zipaquirá Kr 14 26A 0031 T02 apartamento 804
Teléfonos de contacto: 3143111224
Correo electrónico: wildrakbil@javerianacali.edu.co
Profesión: Ingeniero Electrónico
Universidad: Escuela Colombiana De Ingenieros Julio Gravitó
Empresa: Globant Cargo: Desarrollador Java SSr Adv

FICHA RESUMEN TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA

TÍTULO:

Software de gestión para sistemas de reutilización de agua doméstica

1. **ÁREA DE TRABAJO:** Desarrollo de software para gestión de dispositivos electrónicos
2. **TIPO DE PROYECTO:** Emprendimiento e innovación
3. **ESTUDIANTE:** William Andrey Garzón Bohórquez
4. **CORREO ELECTRÓNICO:** wildrakbil@javerianacali.edu.co
5. **DIRECCIÓN Y TELÉFONO :** Carrera 7a No 22-27 (Zipaquirá - Cundinamarca). Tel. 3143111224
6. **DIRECTOR:** Luis Eduardo Tobón Llano
7. **VINCULACIÓN DEL DIRECTOR:** Pontificia Universidad Javeriana – Cali
8. **CORREO ELECTRÓNICO DEL DIRECTOR:** letobon@javerianacali.edu.co
9. **CO-DIRECTOR:** Juan Sebastian Salazar Henao
10. **PALABRAS CLAVE:** Agua azul, agua gris, agua negra, agua verde, ARD, IoT, unidad habitacional.
11. **FECHA DE INICIO:** 14 de Junio del 2021
12. **DURACIÓN ESTIMADA :** 4 meses
13. **RESUMEN:**

El siguiente proyecto tiene como propósito desarrollar un software que permita gestionar plantas de tratamiento de agua residencial domésticas. En la actualidad el proceso de reúso de agua doméstica es realizado artesanalmente en pocas unidades residenciales. Frente a la problemática que vivimos donde la conservación del agua potable se ve amenazada por el uso indiscriminado en nuestros hogares, es evidente la necesidad de gestionar el agua que tiene potencial para ser reusada antes de ser entregada al sistema de aguas negras, por otra parte, usar fuentes alternativas para realizar tareas que no requieren agua potable aporta y ayuda a su conservación. En su mayor parte, las unidades residenciales no tiene tuberías paralelas que permitan usar el agua reusable, en parte se debe a que las constructoras no cuentan con incentivos para implementar este tipo de soluciones, por tal motivo un objetivo que persigue esta iniciativa es incentivar las constructoras a implementar esta solución, reflejando una reducción de valor en la factura de acueducto y alcantarillado, creando una cultura de conservación del agua potable mediante la implementación de este sistema. Entre las posibles ampliaciones de este proyecto están: la implementación de plantas de tratamiento de agua potable en las unidades residenciales que presentan espacios adecuados para su instalación. Poner en marcha la construcción de sistemas para el reúso de agua doméstica en conjuntos residenciales de torres o viviendas. Aplicar el sistema de reúso de agua doméstica en grupos de viviendas o apartamentos que presente espacios adecuados y acuerdos entre los propietarios para llevar a cabo la instalación del sistema.

Palabras clave— Agua Azul, Agua Gris, Agua Negra, Agua Verde, ARD, IoT, Unidad Habitacional

SOFTWARE DE GESTIÓN PARA SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA DOMÉSTICA

Pontificia Universidad Javeriana de Cali
Maestría en Ingeniería de Software



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

[VIGILADA MINEDUCACIÓN Res. 12220 de 2016]

WILLIAM A. GARZÓN BOHÓRQUEZ¹ AND LUIS E. TOBÓN LLANO²

¹*Estudiante código: 8957612*

²*Director de tesis*

Cali 2 de Marzo del 2023

*Dedicado a
mis padres*

Agradecimientos

¡Muchas gracias a todos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí!.

Índice general

Agradecimientos	4
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.2.1 Factores que amenazan la conservación del agua dulce	4
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
2 Marco teórico	7
2.1 Categorización del agua residencial	7
2.2 Trabajos relacionados	9
2.2.1 Centralización y gestión de agua residencial	9
2.2.2 Superplanta	9
2.2.3 Sistemas de reutilización de agua residencial	9
2.2.4 Ensamblaje de la Web de las Cosas y Microservicios para la Gestión de Sistemas Ciberfísicos.	10
2.2.5 Arquitecturas inteligentes para gestión de sistemas ciberfísicos en ambientes IoT	10
3 Materiales y métodos	11
3.1 Alcance	11
3.2 Justificación	13
3.2.1 Ambiente operativo	13
3.2.2 Restricciones de diseño	13
3.3 Requisitos del Hardware	13
3.3.1 Módulos y sensores considerados	14
3.4 Requisitos del Software	23
3.4.1 Casos de usos	23
3.4.2 Definición de requisitos funcionales	24
3.4.3 Definición de requisitos no funcionales	24
3.4.4 Definición de requisitos tipo restricción	25
3.5 Requisitos de interfaces externas	25
3.6 Atributos y escenarios de calidad	27
3.6.1 Seguridad	27
3.6.2 Rendimiento	27

3.6.3	Disponibilidad	27
4	Diseño	28
4.1	Consideraciones del Hardware	28
4.2	Arquitectura del Hardware	32
4.2.1	Diagramas de conexión	33
4.3	Consideraciones del Software	39
4.3.1	Tácticas de arquitectura consideradas	39
4.3.2	Estilos arquitectónicos considerados	40
4.3.3	Alternativas evaluadas para los escenarios de calidad	41
4.3.4	Diagramas de colaboración	42
4.3.5	Diagramas de actividades	42
4.4	Arquitectura del Software	47
4.5	Tópicos	51
4.6	Base de datos	58
4.7	Casos de pruebas	59
4.7.1	Épica módulo gestión	59
4.7.2	Épica módulo configuración	59
4.7.3	Épica módulo reportes	59
4.7.4	Requisitos no funcionales	59
4.8	Consideraciones	60
5	Resultados	61
5.1	Hardware	62
5.1.1	Muestreo sensores de nivel HC-SR04	64
5.2	Software	69
5.2.1	Aplicativo móvil	69
5.3	Requisitos no funcionales	77
5.3.1	Rendimiento	77
6	Conclusiones	79
6.1	Aprendizajes	79
6.2	Recomendaciones	80
6.3	Contribuciones	81
	Anexos	84
A	Anexo I: Entrevista Asesor	85
A.1	PREGUNTAS:	85
A.1.1	Perfil del entrevistado	85
A.1.2	Identificación del problema	85
A.1.3	Soluciones actuales	87
A.1.4	Requerimiento	87

Índice de figuras

Figura 3.1	Diagrama de contexto del Sistema	12
Figura 3.2	Diagrama de actividades para clasificar el agua del decantador	14
Figura 3.3	TSW-20M	15
Figura 3.4	HC-SR04	15
Figura 3.5	GP2Y0A21YK0F	16
Figura 3.6	NodeMCU	17
Figura 3.7	RESP-8266EX	18
Figura 3.8	Relay simple	19
Figura 3.9	Relay doble	20
Figura 3.10	Arduino UNO	20
Figura 3.11	Raspberry Pi 4	21
Figura 3.12	Electrobomba	22
Figura 3.13	Diagrama de casos de uso	23
Figura 3.14	Módulo de administración	25
Figura 3.15	Módulo de administración	25
Figura 3.16	Módulo de reporte	26
Figura 3.17	Módulo de notificaciones y alertas	26
Figura 4.1	Diagrama de arquitectura del Hardware	32
Figura 4.2	Módulo Reserva y Centralizado	33
Figura 4.3	Diagrama de bloques funcionales nivel de tanques	34
Figura 4.4	Módulo Calidad de agua	35
Figura 4.5	Diagrama de bloques funcionales calidad de agua	36
Figura 4.6	Módulo Electrobomba	37
Figura 4.7	Diagrama de bloques funcionales electrobomba	38
Figura 4.8	Diagrama de colaboración	42
Figura 4.9	Diagrama de actividades caso configuración	43
Figura 4.10	Diagrama de actividades caso alerta	44
Figura 4.11	Diagrama de actividades caso reporte	45
Figura 4.12	Diagrama de actividades caso gestión	46
Figura 4.13	Diagrama de contexto del sistema	47
Figura 4.14	Diagrama App Moviel	49
Figura 4.15	Diagrama de componentes del CORE	50
Figura 4.16	Diagrama Modulos ESP8266	51
Figura 4.17	Tópicos Reportar, Notificar y Controlar	52
Figura 4.18	Tópico configurar el sistema	54
Figura 4.19	Tópicos imprimir los valores en la eeprom de los Módulos	55
Figura 4.20	Tópico Consular el estado de los sensores	56

Figura 4.21	Tópico Reiniciar los modulos	57
Figura 4.22	Diagrama de clases	58
Figura 4.23	Modelado de datos dimensionales	58
Figura 5.1	Tabla modules con datos iniciales	61
Figura 5.2	Tabla addresses con datos iniciales	61
Figura 5.3	Tabla cities con datos iniciales	61
Figura 5.4	Tabla deparments con datos iniciales	62
Figura 5.5	Tabla contries con datos iniciales	62
Figura 5.6	Prototipo del Hardware	63
Figura 5.7	Prototipo del Hardware electrobomba	64
Figura 5.8	Medida de nivel de agua bajo del tanque de centralizado con el sensor HC-SR04	65
Figura 5.9	Medida de nivel de agua alto del tanque de centralizado con el sensor HC-SR04	65
Figura 5.10	Medida de nivel máximo del tanque de reserva con el sensor HC-SR04 . . .	66
Figura 5.11	Medida de nivel mínimo del tanque de reserva con el sensor HC-SR04 . . .	66
Figura 5.12	Medida del ciclo de llenado del recipiente del tanque de centralizado con el sensor HC-SR04	67
Figura 5.13	Medida del ciclo de llenado del recipiente del tanque de reserva con el sensor HC-SR04	67
Figura 5.14	Log valores EEPROM módulos de tanques actualizado	68
Figura 5.15	Calibrar el valor v_clear	69
Figura 5.16	Dashboard	70
Figura 5.17	Consulta tabla users	70
Figura 5.18	Registro nuevos usuarios	71
Figura 5.19	Inicio de sesión	72
Figura 5.20	Home de la aplicación móvil	73
Figura 5.21	Reporte nivel de agua en los tanque de centralizado y reserva	74
Figura 5.22	Reporte 2021 reuso de agua	75
Figura 5.23	Reporte 2022 reuso de agua	76
Figura 5.24	Error consulta reporte de reuso	77
Figura 5.25	Configuración servicio generador del reporte de agua JMeter	78
Figura 5.26	Prueba de rendimiento en JMeter	78

Índice de cuadros

Table 4.1	Cuadro de decisión sensor de turbidez	28
Table 4.2	Cuadro de decisión sensor de distancia	29
Table 4.3	Cuadro de decisión Módulos Wiffi	30
Table 4.4	Cuadro de decisión Módulos Relay	30
Table 4.5	Cuadro de decisión Placas de desarrollo	31
Table 4.6	Cuadro de decisión Electrobomba	32

Resumen

El siguiente proyecto tiene como propósito desarrollar un software que permita gestionar plantas de tratamiento de agua residencial domésticas. En la actualidad el proceso de reúso de agua doméstica es realizado artesanalmente en pocas unidades residenciales. Frente a la problemática que vivimos donde la conservación del agua potable se ve amenazada por el uso indiscriminado en nuestros hogares, es evidente la necesidad de gestionar el agua que tiene potencial para ser reusada antes de ser entregada al sistema de aguas negras, por otra parte, usar fuentes alternativas para realizar tareas que no requieren agua potable aporta y ayuda a su conservación. En su mayor parte, las unidades residenciales no tiene tuberías paralelas que permitan usar el agua reusable, en parte se debe a que las constructoras no cuentan con incentivos para implementar este tipo de soluciones, por tal motivo un objetivo que persigue esta iniciativa es incentivar las constructoras a implementar esta solución, reflejando una reducción de valor en la factura de acueducto y alcantarillado, creando una cultura de conservación del agua potable mediante la implementación de este sistema. Entre las posibles ampliaciones de este proyecto están: la implementación de plantas de tratamiento de agua potable en las unidades residenciales que presentan espacios adecuados para su instalación. Poner en marcha la construcción de sistemas para el reúso de agua doméstica en conjuntos residenciales de torres o viviendas. Aplicar el sistema de reúso de agua doméstica en grupos de viviendas o apartamentos que presente espacios adecuados y acuerdos entre los propietarios para llevar a cabo la instalación del sistema.

Palabras clave— Agua Azul, Agua Gris, Agua Negra, Agua Verde, ARD, IoT, Unidad Habitacional

Abstract

The aim of this project is to develop software that allows managing domestic residential water treatment plants. Currently, the domestic water reuse process is carried out by hand in a few residential units. Faced with the problems we are experiencing where the conservation of drinking water is threatened by indiscriminate use in our homes, it is evident the need to manage water that has the potential to be reused before being delivered to the sewage system, on the other hand, using alternative sources to carry out tasks that do not require drinking water contributes and helps its conservation. For the most part, the residential units do not have parallel pipes that allow the use of reusable water, partly because the construction companies do not have incentives to implement this type of solution, for this reason one objective pursued by this initiative is to encourage the construction companies to implement this solution, reflecting a reduction in the value of the aqueduct and sewage bill, creating a culture of conserving drinking water through the implementation of this system. Among the possible extensions of this project are: the implementation of drinking water treatment plants in residential units that have adequate spaces for their installation. Start up the construction of systems for the reuse of domestic water in residential complexes of towers or houses. Apply the domestic water reuse system in groups of houses or apartments that present adequate spaces and agreements between the owners to carry out the installation of the system.

Keywords— Blue Water, Gray Water, Black Water, Green Water, ARD, IoT, Housing Unit

Capítulo 1

Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos, contribuye a la estabilidad y funcionamiento del entorno y los seres vivos. La gestión adecuada del agua potable es un desafío de todos, por tal razón, es nuestra responsabilidad hacer uso adecuado del agua. Los seres humanos no somos conscientes del uso inadecuado que le damos a este recurso, por lo tanto, el gasto de agua en los hogares es desmedido ya que implementamos este recurso en tareas cotidianas que muchas veces no requieren agua potable, en consecuencia, el riesgo de extinción del agua aumenta cada día más.[1]

Con el fin de aportar en la conservación del agua potable, es necesario culturizar a las personas para que apropien prácticas de reúso de agua doméstica y fuentes alternativas en tareas cotidianas en las que se puede implementar este tipo de agua, poniendo en práctica procesos de gestión adecuados enfocados al reúso de agua, sin dejar a un lado los estándares de calidad que deben tener todas las fuentes de agua residenciales, cumpliendo con las normativas pertinentes de salubridad, garantizando la salud de las personas que tienen contacto con estas nuevas fuentes.[7]

En la actualidad existen diversas maneras para realizar centralizado de agua de diferentes fuentes alternativas, como por ejemplo el agua lluvia, la cual es a menudo usada en tareas de riego y descargas de inodoros, esta iniciativa es realizada, en primer lugar, en algunos hogares de forma artesanal, en segundo lugar, tenemos las nuevas y grandes edificaciones que cuentan con áreas de techados significativas como por ejemplo los aeropuertos, las cuales centralizan este tipo de agua para realizar descargas de inodoros y en tercer lugar, existen edificios que tiene la capacidad para centralizar aguas de diferentes orígenes y realizar un tratamiento del agua para ser usada nuevamente.[7]

El mayor obstáculo para implementar plantas de tratamiento de agua en las unidades residenciales, se debe a la gestión y mantenimiento, no es factible que se cuente con conocimientos previos para garantizar que el agua almacenada no atente contra la salud de las personas, para ello es necesario crear un sistema autónomo, capaz de medir atributos de calidad y clasificar el agua para ser usada nuevamente, de allí la importancia de este proyecto, que pretende brindar una solución, integrando la planta tratadora de agua con un software de gestión mediante dispositivos electrónicos.[7]

1.1. Antecedentes

Existe una constante demanda de agua en las unidades residenciales para realizar tareas cotidianas tales como: aseo de la unidad en pisos, paredes, ventanas; regado de plantas y jardines;

lavado de ropa, entre otras.[19] El ser humano implementa agua potable como fuente principal para suplir esta demanda y realizar dichas tareas, lo que está ocasionando una disminución significativa de este preciado recurso. Por lo anterior, es necesario encontrar fuentes alternativas que suplan estas necesidades tan demandantes garantizando que dichas fuentes no afecten de ninguna manera la salud de ser humano, ayudando así a preservar el agua potable.

1.2. Planteamiento del problema

El agua es la esencia de la vida, los seres vivos dependemos de ella para garantizar nuestra existencia. En un mundo que no se detiene y evoluciona constantemente, los seres humanos consumimos grandes cantidades de agua potable, llevando a este recurso de esta manera a su posible extinción, por tal razón tenemos la responsabilidad de reutilizar el agua con el fin de asegurar su conservación.

El uso de agua ha aumentado considerablemente en todo el mundo, la cantidad de agua disponible ha disminuido a nivel mundial, por lo tanto, el acceso al agua potable disponible per cápita ha disminuido. [19]

Según un informe de las Naciones Unidas, solo el 60 % del agua estará disponible frente a las necesidades totales para el año 2030, como resultado algunos países enfrentarán una escasez masiva de agua, por lo anterior, la importancia de conservar y reutilizar el agua. [12]

La humanidad no ha reflexionado sobre la importancia y la problemática de usar de manera inadecuada el agua potable. Cuando la escasez de este recurso afecte nuestro estilo de vida puede ser ya demasiado tarde, rara vez la falta de agua potable es relacionado a la cantidad de agua que existe, por el contrario se asocia a una mala distribución por parte de las compañías prestadoras del servicio.[10]

Existen diferentes factores que reducen, amenazan y afecta la conservación del agua dulce. Para lograr frenar el deterioro acelerado del agua, primero es necesario realizar una búsqueda en el estado del arte y determinar los diferentes factores que afecta la conservación del agua dulce para determinar cuáles de ellos tiene un mayor impacto negativo y así determinar la importancia de realizar una reutilización de aguas dulces.

La constante evolución habitacional que existe en nuestro días amenaza la seguridad del agua, uno de los factores es la contaminación, que es generada por la rápida urbanización como consecuencia de la falta de gestión.[21] El agua es el recurso clave en el desarrollo de la sociedad y necesita nuestra atención inmediata. Estudios en la India revelan que el 50 % se desperdicia debido a un sistema de gestión del agua inadecuado.[9]

Una sociedad que evoluciona constantemente debe ser consciente de la importancia de gestionar de manera óptima el uso y reúso del agua, puesto que así hará la diferencia para preservar este recurso, es hora de hacer un alto y replantear la manera con la que usamos el agua.

Para hablar de las causas que afectan a los recursos hídricos es necesario tener en cuenta que la interacción entre las poblaciones y los recursos suele ser diferentes, por lo anterior, el grado de contaminación a los recursos hídricos varía según la zona que se analice.[21] Sin embargo, para poder ver de manera cuantitativa las principales causas, es necesario hacer un análisis a nivel global.

Ante la necesidad de cuantificar de manera global Ridoutt, Bradley G. Pfiste y Stephan mencionan la necesidad de implementar *indicadores que hagan transparentes los impactos de los sistemas de producción y los patrones de consumo, para lo cual usan un método de cálculo de la huella hídrica incorporando factores de caracterización del estrés hídrico* [15], por consiguiente realizan un análisis partiendo de tres tipos principales de agua que existe en el globo terráqueo, las cuales son denominadas agua verde, agua azul y agua grises.

El agua verde está asociada a los ecosistemas naturales su principal causa de extinción son los cultivos agrícolas, en otras palabras, la ocupación de la tierra reduce la cantidad de agua verde en los ecosistemas naturales, por otra parte, el agua azul es el agua superficial o subterránea y esta es utilizada principalmente como agua de riego en los cultivos, esta agua tiene diferentes fuentes que pueden ser renovables o no renovables. El agotamiento de las fuentes no renovables tal como agua subterránea también denominada fósil, limita la posibilidad de utilización, en otras palabras, el agua utilizada para el riego de cultivos en primer lugar, impacta de manera negativa la salud de los ecosistemas y en segundo lugar, el suspender el riego en los cultivos causaría una desnutrición en las poblaciones aledañas debido a la reducción de alimentos y el agua en sí.

Una posible y prometedora solución que aportará en la vida productiva y el desarrollo para el futuro socio económico de los seres humanos es involucrar la gestión de los recursos pluviales como fuente para soportar la alta demanda que se tiene de este preciado líquido.

China se ha visto azotado por su gran escasez de agua dulce y rara vez utilizan el agua lluvia como fuente alternativa en tarea como: *riego, descarga de inodoros, lavandería y circulación de refrigeración* [3], por lo anterior, se han propuesto dos sistemas, en primer lugar, un sistema el cual se encarga de recolectar y gestionar de manera adecuada el agua lluvia que cae en los techos de las vivienda y en segundo lugar, un sistema el cual se encarga de gestionar el agua lluvia en parques, La implementación de estos dos sistemas reduce enormemente la descarga de contaminantes no pluviales al recolectar y gestionar el agua pluvial de manera adecuada y así aprovechar esta fuente alternativa antes de ser entregada al sistema de aguas negras.

El aprovechamiento de la lluvia en las zonas agrícolas tiene como objetivos, por un lado, acumular la lluvia y por otro lado el riego de los cultivos, por consiguiente, optimizar y gestionar el agua lluvia para fines agrícolas, eso representa una disminución significativa del gasto de agua dulce en esta tarea ayudando a conservar y preservar de una manera óptima el recurso de agua.

Involucrar fuentes de agua alternativas que ayuden a realizar tareas cotidianas en los hogares, con el fin de reducir el gasto de agua potable impactaría de manera positiva ayudando a preservar el agua, de la misma manera la implementación de sistemas que ayuden a gestionar el agua lluvia para el riego de cultivos agrícolas, son medidas necesarias para disminuir el impacto que generamos en las fuentes hídricas en nuestro afán de evolución y progreso.

El uso insostenible de los recursos hídricos de agua dulce a nivel mundial, ocasionará una escasez inminente de este recurso. Existe una creciente preocupación que invita a gestionar y reusar de manera eficiente el agua, por lo tanto, debemos ser más conscientes de uso adecuado que le damos a este preciado líquido, en primer lugar, una gestión adecuada del riego en los campos, en segundo lugar, reusar y utilizar apropiadamente el agua que usamos en nuestro hogares y en tercer lugar, buscar fuentes alternativas que nos ayuden a sustituir el agua dulce en tareas que no requiera este

tipo de agua, de esta manera aporta a la sostenibilidad de los ecosistemas y a garantizar nuestra propia existencia pensando en las generaciones venideras.

1.2.1. Factores que amenazan la conservación del agua dulce

1. La constante evolución habitacional.
2. La contaminación producida por la rápida urbanización.
3. La falta de gestión de agua residual.
4. La constante interacción entre la población y los recursos hídricos.
5. La necesidad de riego en los cultivos agrícolas.

Por lo anterior cabe resaltar dos factores que impactan de manera más significativa el agua potable, causando escasez del recurso, por un lado la falta de una gestión adecuada del agua tanto en nuestro hogares como en el riego de cultivos, por la otra parte la rapidez evolutiva de la sociedad a nivel habitacional, ya que cada día las ciudades tienden a crecer, ocupando más tierra afectando la cantidad de agua verde.

Hoy en día, existen sistemas de recolección de aguas negras, los cuales centralizan procesan e inyectan agua potable al sistema de acueducto en las ciudades, este sistema no discrimina el origen del agua, en otras palabras, este sistema mezcla el agua negra de: la industria, las viviendas y otras impurezas que recoge en el camino rumbo al tanque de centralización, causando que los costos de procesamiento y tratamiento de agua sean elevados y requieran personal especializado para realizar el proceso de purificación debido a que esta agua llega con diferentes tipos de impurezas. Por otra parte, las unidades habitacionales obtienen la mayor parte del agua que consumen directamente del sistema de acueducto y no cuentan con sistemas que gestionen de manera adecuada este recurso para ayudar a conservarlo, en gran parte esto se debe a que no contamos con soluciones que faciliten la gestión de aguas residuales, por otra parte, no tenemos la cultura de usar de manera adecuada el agua ya que nunca antes este recurso había estado en riesgo de extinción. Por lo anterior nace la necesidad de involucrar internet de las cosas en un sistema de tratamiento de agua mediante un software capaz de gestionar el proceso de tratamiento e inyección del agua gris en las viviendas.

1.3. Formulación del problema

Con el fin de lograr reducir el consumo de agua potable en las unidades habitacionales, se propone, desarrollar un sistema IoT que permita reutilizar agua doméstica, encontrando fuentes alternativas que suplan la demanda de agua, garantizando que dichas fuentes no afecten de ninguna manera la salud de ser humano, ayudando así a preservar el agua potable.

Teniendo en cuenta que el mayor obstáculo para implementar plantas de tratamiento de agua alternativas es la gestión que conlleva un sistema de este tipo y basado en la necesidad de reutilizar el agua residencial, se propone un sistema que permita gestionar de manera adecuada el agua reusable, implementando estrategias de almacenamiento y mantenimiento del sistema que garantice la calidad de esta agua.

Ya que no existe un sistema en la actualidad que separe las aguas grises del las aguas negras y son muy pocas las edificaciones que implementan diferente sistema de tubería para cada una de ellas.[17] Se plantean los siguientes interrogantes:

- ¿ De qué manera el sistema desarrollado permitirá fomentar la cultura de implementar soluciones para reutilizar agua doméstica por parte de las constructoras?
- ¿Cuál es la arquitectura de software que se debe desarrollar para gestionar la planta de tratamiento de agua residencial?
- ¿ Cuáles son los parámetros necesarios para que el sistema pueda determinar que el agua puede ser considerada para ser reutilizada?
- ¿ Cómo se obtendrán las mediciones respectivas para que el sistema evalúe el agua?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un software que permita gestionar un prototipo , capaz de identificar las condiciones adecuadas para reutilizar agua, con el fin de mostrar la viabilidad y el correcto funcionamiento del sistema.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Diseñar una arquitectura adecuada a implementar en el software de gestión para la solución.
2. Desarrollar la solución de software a partir de la arquitectura establecida.
3. Construir un prototipo que represente la planta de tratamiento del agua.
4. Integrar el prototipo construido con el Software mediante dispositivos electrónicos.
5. Evaluar el correcto funcionamiento del software utilizando set de pruebas.

Capítulo 2

Marco teórico

Las aguas lluvias han tomado fuerza como fuente alternativa para realizar tareas que no requieren agua potable, disminuyendo así la demanda de agua, usando la lluvia antes de entregarla al sistema de alcantarillado.

Por otra parte, el uso del agua es deficiente ya que no se está separando las aguas grises de las aguas negras y aun mas no se está clasificando las aguas grises para su posible reutilización, por esta razón es importante determinar cuáles fuentes de agua tienen el potencial para ser tomadas en cuenta a la hora de reusarlas.

Existen fuentes de agua en las unidades residenciales que pueden tener residuos importantes de materia orgánica y especialmente patógenos estas son: lavaplatos, descargas sanitarias, ducha, por esta razón estas fuentes se consideran aguas que serán enviadas al sistema de aguas grises directamente.

Implementar soluciones IoT en la gestión del reuso del agua tiene el potencial de mejorar la eficiencia en el control del gasto y uso del agua, así como detectar problemas tempranamente en el proceso de filtrado. Además, los sistemas IoT permiten optimizar en tiempo real la recolección y reuso del agua, reduciendo costos y ahorrando recursos valiosos. Al utilizar sensores para recolectar datos del sistema, se pueden tomar decisiones informadas sobre la gestión del agua, asegurando un uso más sostenible y responsable desde la recolección y tratamiento hasta el reuso y entrega al sistema de aguas negras.

La utilización de bases de datos relacionales en soluciones IoT permite una fácil integración con otras aplicaciones, lo que posibilita la incorporación de nuevos dispositivos sin afectar los datos existentes otorgando una mayor flexibilidad en la gestión de los datos. Además, las bases de datos relacionales mantienen la consistencia de los datos, y en una solución IoT donde la toma de decisiones se basa en los datos almacenados, se requiere que estos sean precisos y actualizados. Por último, este tipo de bases de datos proporciona altos niveles de seguridad, aspecto crítico en soluciones IoT, ya que la información generada puede ser sensible y confidencial.

2.1. Categorización del agua residencial

El objetivo de realizar esta categorización es evaluar el potencial individual de cada una de las fuentes de agua grises en los hogares para determinar cuáles son sus principales contaminantes así

poder tomar una decisión frente a usarla para reúso o no.

Basado en la resolución 0631 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible del 17 de marzo del 2015 de Colombia Artículo 2: El agua residual Doméstica - ARD, corresponden a:

1. “Descargas de los retretes y servicios sanitarios”.
 2. “Descarga de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de la cocinas y cocinetas, de las pocetas del lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No incluye la de los servicios de lavandería industrial)”.
- Fuentes de ARD y sus potenciales contaminantes
 - Lluvia.
 1. Jabones: N/a
 2. Aceites: N/a
 3. Grasas: N/a
 4. Materia orgánica: posibles patógenos relacionado con aves que puedan posarse en los tejados o sistemas de recolección.
 - Ducha.
 1. Jabones: De uso personal
 2. Aceites: del jabón y de la piel
 3. Grasas: del jabón y de la piel
 4. Materia orgánica: Impurezas de la piel, orina, mucosidad, pelos posibles patógenos, entre otros relacionados con el cuerpo humano.
 - Lavaplatos.
 1. Jabones: De uso domestico
 2. Aceites: Del jabón
 3. Grasas: Del jabón
 4. Materia orgánica: residuos de comida, posibles patógenos
 - Lavamanos.
 1. Jabones: De uso personal
 2. Aceites: Del jabón y de la piel
 3. Grasas: Del jabón y de la piel
 4. Materia orgánica: Impurezas de la piel, bello facial, contaminantes relacionados con productos de belleza como maquillaje.
 - Lavadora.
 1. Jabones: De uso domestico
 2. Aceites: Del jabón
 3. Grasas: Del jabón
 4. Materia orgánica: Relacionado con la ropa tierra, polvo y posibles patógenos relacionados con la ropa de los niños

Por lo anterior y analizando el potencial como fuente reusable, vemos que la lluvia es la fuente más adecuada, por otra parte, el agua de la lavadora presenta condiciones que nos invitan a pensar que puede reusarse usando algún tipo de tratamiento, que puede ser de bajo costo. A diferencia de las anteriores fuentes, el agua de la ducha, lavamanos y lavaplatos, son fuentes con alto grado de posibilidad de contener materia orgánica importante y será más costoso realizar algún tipo de tratamiento previo a su almacenamiento y posterior uso.

Para determinar en qué tareas podemos usar el agua reusada en primer lugar responderemos a la pregunta: ¿Necesitamos agua potable para la tarea a realizar?, ver Anexo I en la página 85.

2.2. Trabajos relacionados

2.2.1. Centralización y gestión de agua residencial

En el artículo *HOLISTIC*. [2] Se presenta un sistema TI que monitorea, controla y administra la infraestructura de agua residenciales, aplicando tecnologías innovadoras para redirigir el agua de cualquier origen de un edificio a un depósito, maximizando el reciclaje del agua residencial.

Para controlar este sistema se utilizó una red de sensores, válvulas de control de flujo, medidores de flujo, sensores de nivel, una estación meteorológica (AERCUS Instruments W53083).

Se implementaron dos sistemas autónomos uno para controlar las corrientes del techo el cual dirige a un tanque de aguas negras u otro de aguas grises según sea el caso, el otro sistema se ubicó en la planta baja el cual monitorea y gestiona el tratamiento de las aguas.

2.2.2. Superplanta

En el artículo *Descubriendo la superplanta: mejorando la reutilización del agua doméstica*. [1] Se menciona la utilización de sistemas usados a nivel mundial para realizar tratamiento de agua residencial entre los cuales se destacan los siguientes:

- Tubería doble
- Planta de tratamiento de aguas residuales (STP) basada en planta de tratamiento terciario (TTP)

Tubería dual la primera tubería se encarga de recoger las aguas grises y llevarlas a la planta, la segunda de llevar el agua purificada devuelta a la casa.

La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residenciales se basan en **TTP** que permite tratar el agua recolectada por medio de un terciario y luego se distribuye el agua tratada a diferentes lugares dependiendo de su pureza.

2.2.3. Sistemas de reutilización de agua residencial

Una formulación para la optimización de reúso de aguas residenciales implica recolectar, tratar, almacenar y reutilizar el agua lluvia, considerando la disminución de costos al mismo tiempo satisfacer la demanda de agua en residencias, planteando una metodología que logra disminuir el consumo de agua dulce y su costo. Diseñando sistemas de reutilización de agua residencial teniendo en cuenta la demanda de agua en diferentes horas del día y para diferentes estaciones del año esta metodología fue implementada en Morelia en México como lo indican los autores en su artículo

“Diseño simultáneo de sistemas de reutilización de agua y captación de agua de lluvia en un conjunto residencial”.[5]

2.2.4. Ensamblaje de la Web de las Cosas y Microservicios para la Gestión de Sistemas Ciberfísicos.

El framework Web of Things se estableció en 2007 para explorar el futuro de la Web física, y su objetivo es construir un ecosistema escalable y flexible, utilizando protocolos de comunicación como Bluetooth, Zigbee y dirección IP para permitir el acceso a diversos módulos. La construcción de bloques de WoT se basa en proporcionar un esquema de datos para describir interfaces y metadatos, definir protocolos de comunicación, simplificar el desarrollo y aumentar la portabilidad hacia múltiples dispositivos, y garantizar la seguridad y privacidad del sistema.[11]

La arquitectura basada en microservicios ofrece importantes beneficios para los sistemas IoT. Por un lado, proporciona elasticidad y resiliencia, lo que aumenta la mantenibilidad y facilita las pruebas, y permite que el sistema sea altamente escalable, permitiendo la creación o eliminación de réplicas según sea necesario. Por otro lado, la arquitectura orientada hacia microservicios ofrece una gran ventaja a los sistemas IoT al proporcionar alta disponibilidad, ya que en caso de la caída de uno de los microservicios, el sistema seguirá funcionando de manera eficiente.

2.2.5. Arquitecturas inteligentes para gestión de sistemas ciberfísicos en ambientes IoT

La arquitectura basada en eventos es un patrón de diseño que permite la producción, detección y procesamiento de eventos mediante un sistema de notificación. Este concepto aporta flexibilidad a las arquitecturas, ya que los elementos que generan las notificaciones no requieren de un mensaje de confirmación de recepción por parte del receptor.[6]

Por otro lado, las arquitecturas basadas en microservicios con protocolos orientados a mensajes, como la publicación y suscripción mediante un Broker MQTT, permiten el monitoreo de múltiples periféricos distribuidos entre diferentes clientes. Este monitoreo se puede realizar mediante un servidor al que pueden acceder usuarios autorizados desde una aplicación web o móvil, lo que garantiza la seguridad del sistema. Además, esta arquitectura permite extraer información directamente desde los sensores.

Capítulo 3

Materiales y métodos

Para modelar la solución se implementaran las siguientes metodologías:

- Metodologías basadas en modelado: UML (Unified Modeling Language) [20]. Esta herramienta se usa para modelar el comportamiento del sistema convirtiéndose en un punto de referencia para tomar decisiones de segmentación de diseño.
- Metodología basada en desarrollo ágil: SCRUM [18]. Es una metodología ágil que permite iterar el diseño en historias de usuario con el objetivo de refinar el proceso de desarrollo otorgando flexibilidad y aumenta la velocidad de entrega del producto final.

Por otra parte el modelado de la arquitectura de software se usara el modelo C4 [8]. el cual permite crear diagramas de software a partir de las metodologías ágiles, este modelo consiste en un conjunto jerárquico de diagramas con el objetivo de describir desde un alto nivel a niveles mas profundos del software, evitando la ambigüedad en los diagramas

3.1. Alcance

El sistema para gestionar el reúso de agua doméstica está conformado por tres subsistemas, en primer lugar, una planta encargada de realizar el tratamiento del agua gris y agua lluvia a través de filtros, que tiene como objetivo centralizar el agua apta para el reúso, en segundo lugar, un sistema de hardware encargado de realizar medidas en diferentes puntos de sistema mediante dispositivos electrónicos con el objetivo de alimentar la base de datos del sistema y en tercer lugar, un sistema de software encargado de ofrecer herramientas para realizar la correcta gestión del sistema como se muestra en la figura 3.1.

La Figura 3.1 muestra el flujo que recorre el agua en el sistema, podemos observar que existen tres subsistemas:

1. En primer lugar la **planta de tratamiento de agua** la cual se encarga de realizar el proceso de filtrado del agua que ingresas al sistema.
2. En segundo lugar está el **sistema de Hardware** el cual se encarga de realizar las medidas de calidad del agua después del filtrado, también monitorea el nivel de residuos sólidos en cada filtro y controlar la bomba de agua que permite llevar el agua del tanque de centralización al tanque de agua reusable.

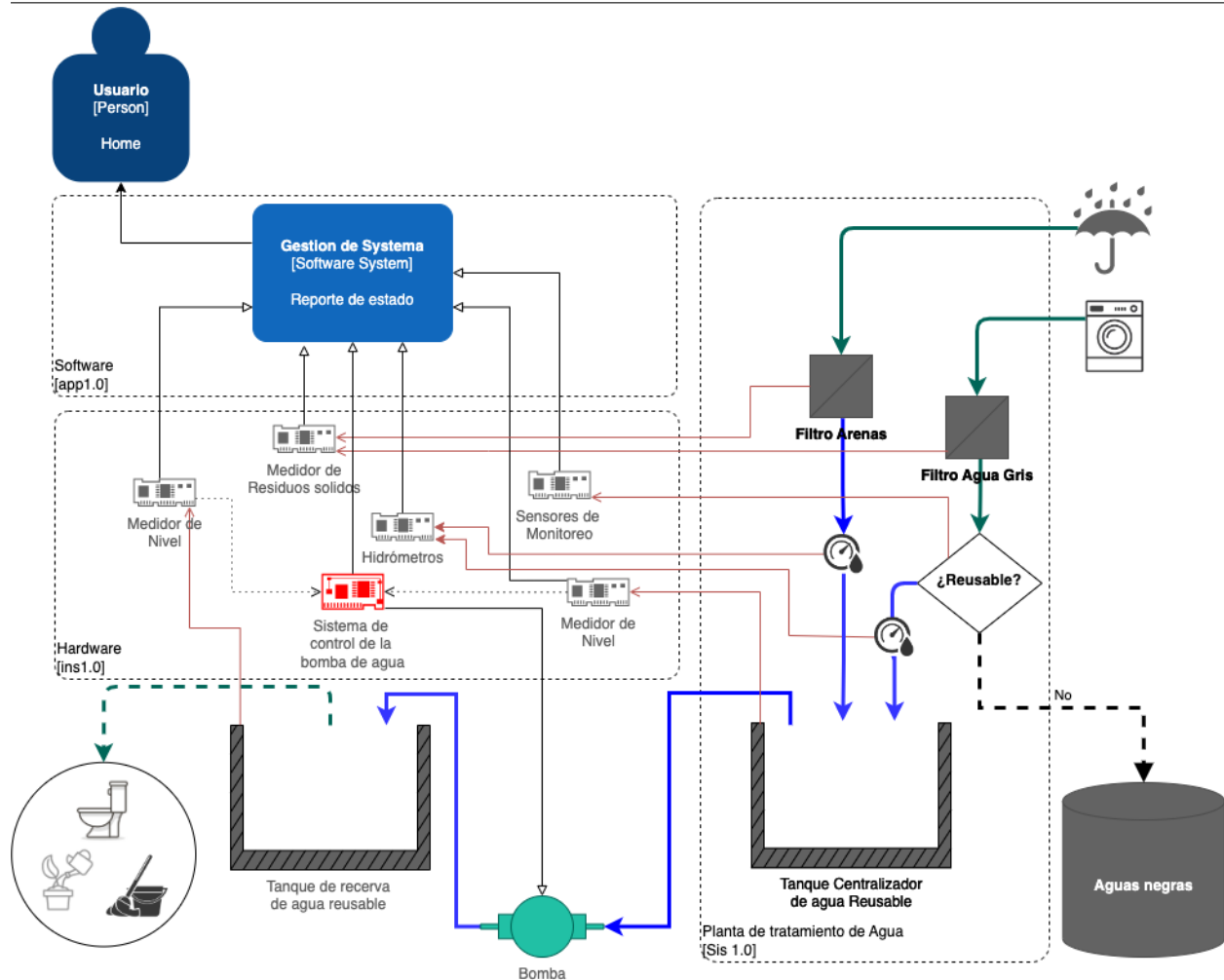


Figura 3.1: Diagrama de contexto del Sistema

3. En tercer lugar está el **Software** el cual es el encargado de ayudar al usuario final a gestionar todo el sistema, y es en este subsistema que se encuentra el alcance para este proyecto.

Este proyecto tiene como alcance entregar una solución de software que permita la gestión del sistema de reúso de agua, teniendo en cuenta las necesidades descritas en este documento, por otra parte, se espera que la iniciativa sea escalable de tal manera que se pueda aplicar a una o varias unidades al mismo tiempo.

El propósito del software de gestión es ayudar a los usuarios, los cuales son los residente de la unidades habitacionales, en la gestión de la planta de tratamiento de agua de tal manera que, en primer lugar, alerte al usuario mediante mensajes cuando se requieran realizar acciones manuales como: limpiar los filtros de la planta de tratamiento, bombear agua del tanque de centralización al tanque de reserva de agua reusable o realizar mantenimiento ante fallas detectadas en el sistema, en segundo lugar, informar los beneficios del sistema a partir de reportes como: la cantidad de agua que se ha reusado y el ahorro en dinero que el reusó de agua representa.

Por otra parte, la planta de tratamiento contara con un hardware de control, que ayudara a la

toma automática de decisiones tales como: bombeo de agua del tanque de centralización al tanque de reserva de agua reusada a partir de una configuración predeterminada, así como, tomar decisiones sobre a dónde va el agua según las mediciones de los sensores de monitoreo de calidad del agua mediante la activación de electroválvulas.

Se espera que el sistema permita el almacenamiento de la cantidad de agua reusada por los usuarios en un intervalo de tiempo determinado ya sean días semanas o meses, por otra parte, se espera que el software de gestión sea escalable de tal manera que permita agregar una o mas planta de tratamiento, permitiendo su administración, generando reportes de la cantidad de agua que se aprovecha a nivel colectivo como: condominios, barrios o ciudades.

3.2. Justificación

Con el fin de lograr reducir el consumo de agua dulce en las unidades habitacionales, se propone ofrecer un sistema de software que permita gestionar el agua reusable, para suplir las necesidades de las personas en diferentes tareas cotidianas que no requieren agua potable, como por ejemplo, el lavado de pisos o el descargue de inodoros entre otras, buscando beneficiar a los usuarios en primer lugar mediante el ahorro de dinero reflejado en la factura de servicios públicos de acueducto y alcantarillado, y por otra parte busca ayudar en la conservación del agua dulce en el ecosistema.

Esta iniciativa tiene el mérito de integrar dispositivos electrónicos de medición con un sistema de Software para realizar la gestión de aguas residuales residenciales, incentivando el reúso de agua residencial, por otra parte, actualmente en el mercado no existe un sistema que permita la gestión de aguas residuales residenciales.

Este proyecto es viable ya que se espera que el costo beneficio del proyecto será favorable para el usuario final y se reflejara en la reducción de la factura de agua, por otra parte, busca fomentar la cultura de construir sistemas para el reúso de agua doméstica en las constructoras.

3.2.1. Ambiente operativo

En lugar de usar una planta de tratamiento en escala real, se utiliza un prototipo que incluye los elementos hardware más relevantes en este tipo de sistemas, además deberá estar integrado con un Hardware capaz de enviar medidas de cada módulo captadas por sensores a un sistema centralizado de almacenamiento, por último debe contar con la capacidad de reaccionar automáticamente a eventos o estados del sistema.

3.2.2. Restricciones de diseño

1. No se implementarán los filtros de arena o el decantador de agua gris ya que el objetivo del prototipo es simular el resultado de estos dos filtros, para tal fin se inyectará al sistema de forma manual agua con diferentes niveles de turbidez.

3.3. Requisitos del Hardware

Para realizar la educación de los siguientes requisitos se realizó una entrevista con Juan Salarzar Ingeniero ambiental, profesor instructor de la Escuela Colombiana Julio Gravitó de la cual se

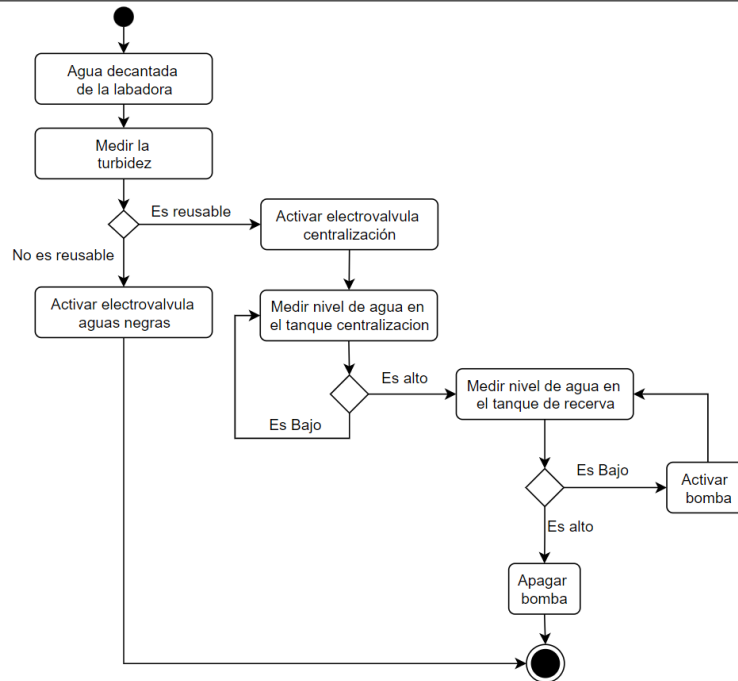


Figura 3.2: Diagrama de actividades para clasificar el agua del decantador

determino las actividades requeridas para realizar la clasificación del agua como se muestra en la Figura 3.2.

- REQ_PROT_01: El prototipo deberá contar con una electrobomba que permita llevar agua del recipiente de centralización hacia el recipiente de reserva.
- REQ_PROT_02: El prototipo deberá usar un sensor que permita medir la turbidez del agua.
- REQ_PROT_03: El prototipo deberá contar con dos electroválvulas que permitan enviar agua al sistema de aguas negras o al tanque de centralización según sea el caso.
- REQ_PROT_04: El prototipo deberá contar con un sensor que permita medir el nivel del tanque de centralización y otro sensor que permita medir el nivel de agua en el tanque de reserva.
- REQ_PROT_05: El prototipo deberá contar con un Hardware que integre los diferentes sensores permitiendo el control del flujo de actividades que se muestra en la Figura 3.2.
- REQ_PROT_06: El sistema deberá contar con un sistema que permita distribuir el flujo del agua hacia el tanque de centralización o hacia las aguas negra según la turbidez del agua.

3.3.1. Módulos y sensores considerados

Los módulos y sensores que se mencionan a continuación fueron considerados por una de las siguientes razones:

1. Se encuentran disponible para compra en el comercio local
2. Se cuenta con el componente lo cual reduce el costo de la inversión.



Figura 3.3: TSW-20M

El sensor de turbidez mostrado en la Figura 3.3, adopta el principio óptico, que determina la turbidez mediante la combinación de la transmisividad y la velocidad de dispersión de la solución líquida. Equipado con una sonda impermeable, este módulo se utiliza principalmente para las pruebas de turbidez de agua.

Sensor de Ultrasonido HC-SR04

El sensor de distancia por ultrasonido HC-SR04 mostrado en la Figura 3.4, es capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 cm a 400 cm. El sensor funciona por ultrasonido y contiene toda la electrónica encargada para hacer la medición.

Su funcionamiento consiste en enviar el pulso de arranque y medir el ancho del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio.

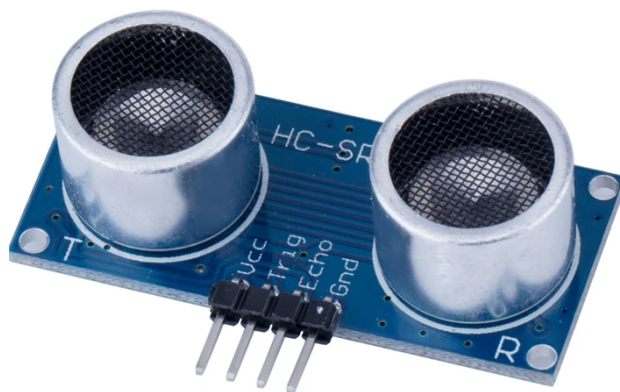


Figura 3.4: HC-SR04

Especificaciones:

- Voltaje de alimentación DC: 5V
- Corriente de operación: 15 mA.

- Frecuencia de trabajo: 40 KHz
- Rango de medición: 2 cm a 400 cm
- Precisión: 3 mm
- Angulo efectivo de medición: $\pm 15^\circ$
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μ S.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100 μ S - 25000 μ S.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 ms.
- Dimensiones: 40 mm x 20 mm x 17 mm.

GP2Y0A21YK0F

El GP2Y0A21YK0F mostrado en la Figura 3.5, es un sensor de distancia Sharp 10 cm - 80 cm, entrega una señal de salida analógica, con un rango de detección de 10 cm a 80 cm. Ideal para la detección de objetos cercanos. La distancia se indica mediante una tensión analógica, haciendo de este sensor GP2Y0A21 muy fácil de usar.



Figura 3.5: GP2Y0A21YK0F

Especificaciones:

- Voltaje de Alimentación DC: 5V
- Consumo de corriente: 30 mA
- Rango de medición de distancia: 10 cm a 80 cm
- Señal de salida analógico
- Actualización del sensor: 20 ms \pm 4 ms
- Dimensiones: 30 mm x 13 mm x 14 mm

NodeMCU V3

El módulo inalámbrico mostrado en la Figura 3.6, integra un chip ESP8266 Wifi Compatible con programación en Arduino para aplicaciones IOT (Internet Of things).

La tarjeta NodeMCU es el complemento ideal entre un microcontrolador de alto desempeño y la tecnología Wifi. Cuenta con varios pines con funcionalidad GPIO, PWM, ADC, I2C y 1-Wire.



Figura 3.6: NodeMCU

Especificaciones:

- Procesador compatible con Arduino y programable desde el IDE mediante el Pluguin ESP8266.
- Pines a distancia precisos para conectar en una Protoboard.
- Puedes instalar el lenguaje LUA para programarlo.
- CPU RISC de 32-bit: Tensilica Xtensa LX106 a un reloj de 80 MHz
- RAM de instrucción de 64 KB, RAM de datos de 96 KB
- Capacidad de memoria externa flash QSPI - 512 KB a 4 MB* (puede soportar hasta 16 MB)
- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi
- Tiene integrados: TR switch, balun, LNA, amplificador de potencia de RF y una red de adaptación de impedancias
- Soporte de autenticación WEP y WPA/WPA2
- 6 pines GPIO (Entradas/Salidas de propósito general)
- Comunicación SPI, I²C.
- Pines dedicados a UART, mas una UART unicamente para transmisión que puede habilitarse a través del pin GPIO2
- Conversor ADC de 10 bit

WEMOS D1R2WIFI

Tarjeta Wifi basada en módulo ESP-8266EX mostrado en la Figura 3.7, permite disponer de 11 pines Digitales Entrada/Salida con funciones de interrupción, PWM, I2C y OneWire, así como una entrada analógica de 3.3VDC.

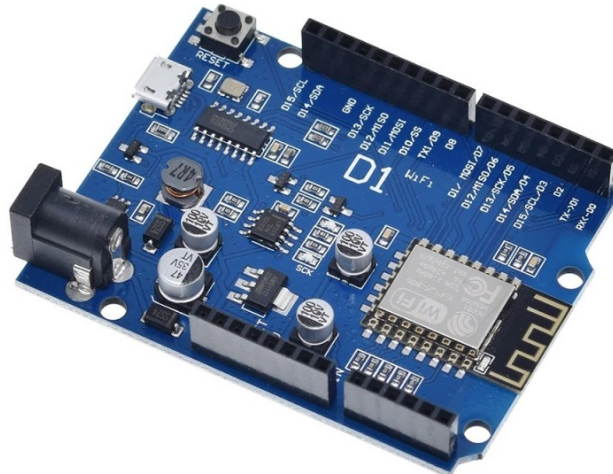


Figura 3.7: RESP-8266EX

Especificaciones:

- Basada en el Microcontrolador ESP8266EX ESP 12
- Voltaje de Funcionamiento: 3.3V - 5V
- Ingreso de Voltaje Maximo por Jack DC: 24V
- Corriente Máxima de Entrada: 1A
- Pines Digitales E/S: 11
- Pines Análogos: 1 (Máximo 3.2V)
- Soporta comunicación TCP y UDP
- Controlador de Comunicación CH340
- Velocidad de Reloj: 80 MHz / 160 MHz
- Memoria Flash: 4M Bytes
- Dimensiones: 53.5 mm x 68.2 mm

1 Relay module

Módulo de un relé de 5 voltios para trabajar con Arduino o cualquier otro microcontrolador. Este módulo mostrado en la Figura 3.8, protege la etapa de control usando un optoacoplador de superficie dándole estabilidad y desempeño a la tarjeta.

Especificaciones:

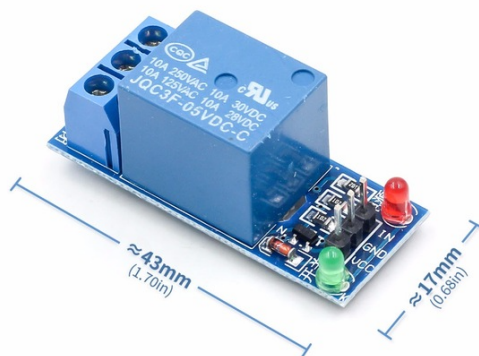


Figura 3.8: Relay simple

- El relevo se activa a 5 VDC.
- Su diseño lo hace tolerante a fallos si la línea de control se corta el relevo no puede operar.
- Indicador de energía y activación del relevo tipo LED.
- Conexiones por medio de terminales y bornes.
- Carga máxima AC 250V/1A, DC 30V/10A.
- Tamaño del módulo 50 X 26 X 18.5 mm.
- 4 huecos de fijación en la tarjeta de 3.1mm de diametro.

2 Relay module

La tarjeta mostrada en la Figura 3.9, cuenta con ocho relevos de salida a 5 voltios, que permiten manejar cargas de hasta 10 Amperios. Puede ser utilizado por cualquier microcontrolador (Arduino, Raspberry, 8051, AVR, PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic). Cada canal incluye un optoacoplador, para aislar eléctricamente las cargas de la lógica digital.

Especificaciones:

- Tecnología compatibles: Arduino, 8051, AVR, PIC, DSP, ARM, MSP430, TTL.
- Aislamiento: Si.
- Voltaje de operación: 125/250VAC/30 VDC.
- Voltaje de la bobina (relé): 5 VDC.
- Corriente de operación: 15/10 A.
- Corriente de activación por relé: 15 a 20 mA.
- Canales: 2 (independientes protegidos con Optoacopladores).
- LED indicador: Para cada canal cuando la bobina está activa.
- Dimensiones: 137mm x 57mm x 19 mm

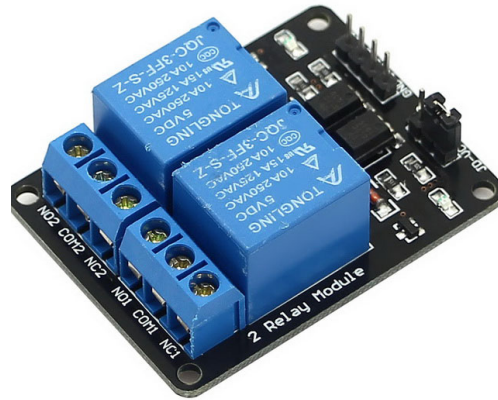


Figura 3.9: Relay doble

Placa de Desarrollo UNO R3

La placa de Desarrollo mostrada en la Figura 3.10, UNO R3 Compatible con Arduino, es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Posee 14 pines de entrada y salida digital, de los cuales 6 pueden ser utilizados como pines PWM, 6 entradas analógicas, Un cristal de cuarzo de 16MHz, conexión a usb, puerto de electricidad, un header ISCP y un botón de reinicio.

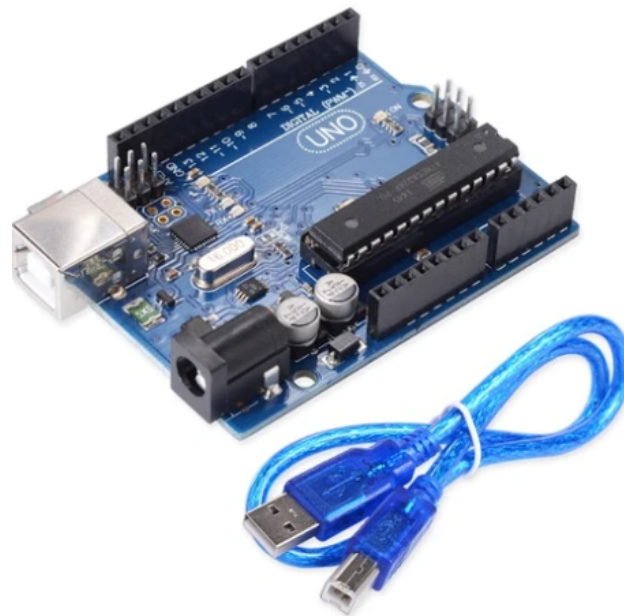


Figura 3.10: Arduino UNO

- Basada en el Microcontrolador ESP8266EX ESP 12
- Voltaje de Funcionamiento: 3.3V - 5V
- Ingreso de Voltaje Maximo por Jack DC: 24V

- Corriente Máxima de Entrada: 1A
- Pines Digitales E/S: 11
- Pines Análogos: 1 (Máximo 3.2V)
- Soporta comunicación TCP y UDP
- Controlador de Comunicación CH340
- Velocidad de Reloj: 80 MHz / 160 MHz
- Memoria Flash: 4M Bytes
- Dimensiones: 53.5 mm x 68.2 mm

Raspberry PI 4 Modelo B 8GB.

El módulo mostrado en la Figura 3.11, está a un paso por encima de los modelos anteriores. Por primera vez en los productos Raspberry pi se incluye una completa experiencia de escritorio. Al editar documentos, abrir muchas ventanas web, trabajar con hojas de cálculo o editar presentaciones tendrá una experiencia fluida y muy familiar a otros ambientes, pero en una máquina mucho más pequeña, más eficiente y más económica.



Figura 3.11: Raspberry Pi 4

- BCM2711 Broadcom, Quad Core Cortex-A72.
- 64-bit SoC @ 1,5 GHz.
- Memoria RAM: 8 GB.
- 2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac inalámbrico LAN.
- Bluetooth 5.0 BLE.
- Gigabit Ethernet.
- 2 Puertos USB 2.0.

- 2 Puertos USB 3.0.
- Conector GPIO estándar de 40 pines (Totalmente compatible con las placas de desarrollo Raspberry PI anteriores).
- 2 puertos micro HDMI (compatible con hasta 4Kp60).
- Puerto de visualización MIPI DSI de 2 vías.
- Puerto de cámara MIPI de 2 carriles.
- Puerto de vídeo compuesto y audio estéreo de 4 polos.
- H.265 (decodificador de 4Kp60).
- H.264 (decodificador 1080p60, 1080p30).
- OpenGL ES 3.0 gráficos.
- Ranura para tarjeta Micro SD para cargar el sistema operativo y el almacenamiento de datos.
- Alimentación de entrada por conector USB Tipo C: 5V – 3A.
- Alimentación de entrada por conector GPIO: 5V – 3A.
- Alimentación sobre Ethernet (PoE) habilitada (requiere un complemento adicional PoE por separado): 5V – 3A.

BOMBA DE DIAFRAGMA PARA LÍQUIDOS NF 1.30

La bomba de diafragma para líquidos de KNF mostrada en la Figura 3.12, transfieren, dosifican y miden tanto líquidos neutros como agresivos sin contaminar el medio. No requieren mantenimiento, son autocebantes y capaces de funcionar en seco; además, ofrecen la opción de diferentes tipos de motor y de control.



Figura 3.12: Electrobomba

3.4. Requisitos del Software

3.4.1. Casos de usos

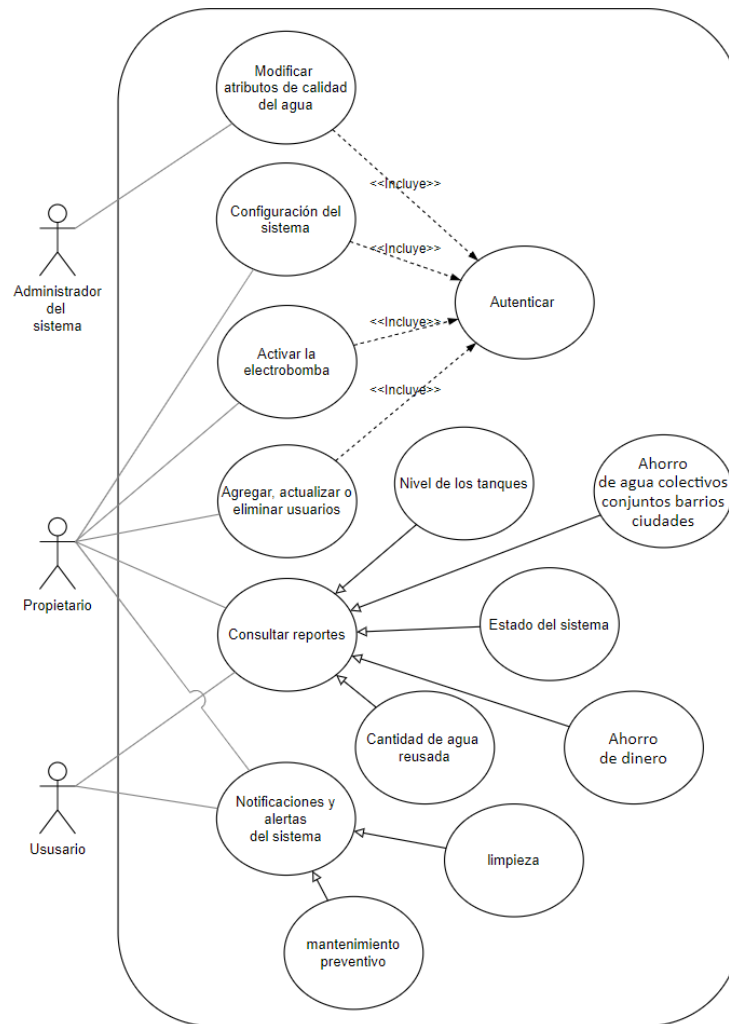


Figura 3.13: Diagrama de casos de uso

En el diagrama mostrado en la Figura 3.13, podemos observar los casos de uso del sistema los cuales son usados por diferentes actores del sistema como el administrador, propietario o el usuario, el propietarios del sistema hace referencia a la persona que adquirió el ARD, el usuario puede ser cualquier persona que esté interesada en la gestión de la agua en casa o residencia, por otra parte, el administrador es el técnico o especialista capacitado para realizar configuraciones en el sistema.

3.4.2. Definición de requisitos funcionales

- Módulo de alertas
 1. **RFU-ALER-01:** El sistema deberá proveer al usuario una notificación cuando el nivel de agua del tanque centralizador se encuentra a nivel alto.
 2. **RFU-ALER-02:** El sistema debería proveer al usuario una notificación cuando detecte errores relacionados con el funcionamiento de los periféricos del sistema.
- Módulo de reportes
 1. **RFU-REPO-01:** El sistema debe proveer un reporte al usuario o propietario capaz de informar el estado de funcionamiento en el que se encuentra cada periférico.
 2. **RFU-REPO-02:** El sistema debe proveer un reporte al usuario o propietario capaz de informar el nivel de agua en tiempo real que contiene el tanque de centralizado y de reserva.
 3. **RFU-REPO-03:** El sistema debe proveer un reporte al usuario o propietario capaz de informar la cantidad de agua que ha sido reusada por día, mes o año.
 4. **RFU-REPO-04:** El sistema deberá permitir al propietario consultar el reporte de agua ahorrada en conjuntos barrios o ciudades.
 5. **RFU-REPO-05:** El sistema deberá permitir al propietario consultar el ahorro en dinero causado por la gestión realizada de ahorro de agua reusable en la unidad residencial.
- Módulo de gestión
 1. **RFU-GEST-01:** El sistema debe proveer al propietario la habilidad de accionar la electrobomba cuando el nivel de agua del tanque de centralización se encuentra alto.
 2. **RFU-GEST-02:** El sistema debe proveer al propietario la habilidad de crear, modificar y eliminar usuarios.
 3. **RFU-GEST-03:** El sistema debe proveer al propietario la habilidad de planificar un intervalo de tiempo para activar la bomba de agua de forma automática.
- Módulo de configuración
 1. **RFU-CONF-01:** El sistema debe proveer al administrador la habilidad de modificar los atributos almacenados en la memoria EEPROM de los módulos de reserva y centralización.
 2. **RFU-CONF-02:** El sistema debe proveer al administrador la habilidad de agregar modificar o eliminar periféricos como los sensores.
 3. **RFU-CONF-03:** El sistema deberá contar con tres (3) roles: Administrador, Propietario y Usuario

3.4.3. Definición de requisitos no funcionales

1. **RNF-SIS-01:** El sistema deberá cumplir con los lineamientos estipulados en la resolución No. 1207 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia.
2. **RNF-SIS-02:** El sistema debe ser capaz de escalar de forma horizontal de tal manera que permita agregar varias plantas de tratamiento para ser administradas.

3. **RNF-SIS-03:** El aplicativo debe tener un tiempo de respuesta menor a 3 segundos al hacer click en cualquier botón o pestaña.

3.4.4. Definición de requisitos tipo restricción

1. **RTF-SIS-01:** El aplicativo debe ser una aplicación móvil.

3.5. Requisitos de interfaces externas

Interfaces con el usuario

Las imágenes mostradas en esta sección son una sugerencia de cómo debería estar distribuidas las pantallas en los diferentes módulos de la aplicación, estas sirven como referencias, pero no constituyen el diseño final o definitivo ya que este se ajustará a las necesidades del desarrollo final.

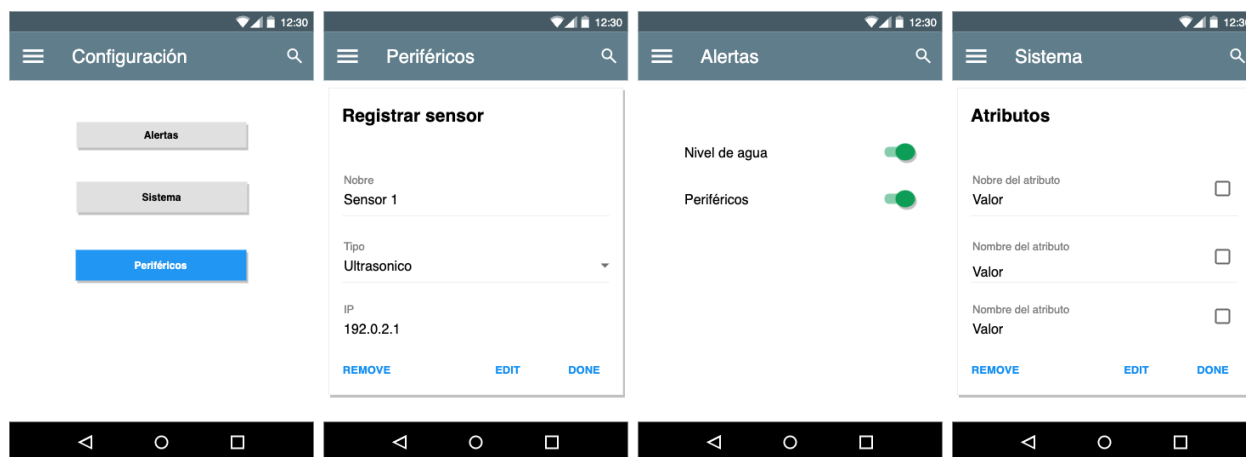


Figura 3.14: Módulo de administración

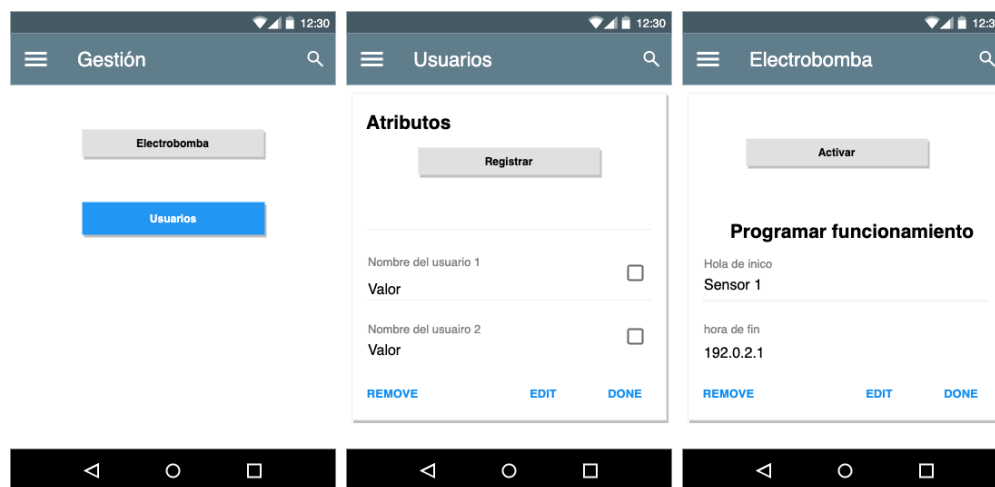


Figura 3.15: Módulo de administración

La Figura 3.14, muestra las pantalla sugeridas para activar o desactivar las alertas, listar eliminar o modificar Sensores del sistema, y modificar valores de atributos del sistema como al valor de turbidez, dentro del módulo de administración del sistema.

La Figura 3.15, muestra pantallas sugeridas para el módulo de administración, en ella se propone dos subsecciones, en primer lugar la sección encargada de activar la electrobomba de forma remota y crear un intervalo de tiempo en donde la electrobomba puede entra en operación, en segundo lugar, se muestra la gestión de usuarios, con esta pantalla podremos registrar nuevos usuarios eliminarlos o modificarlos.

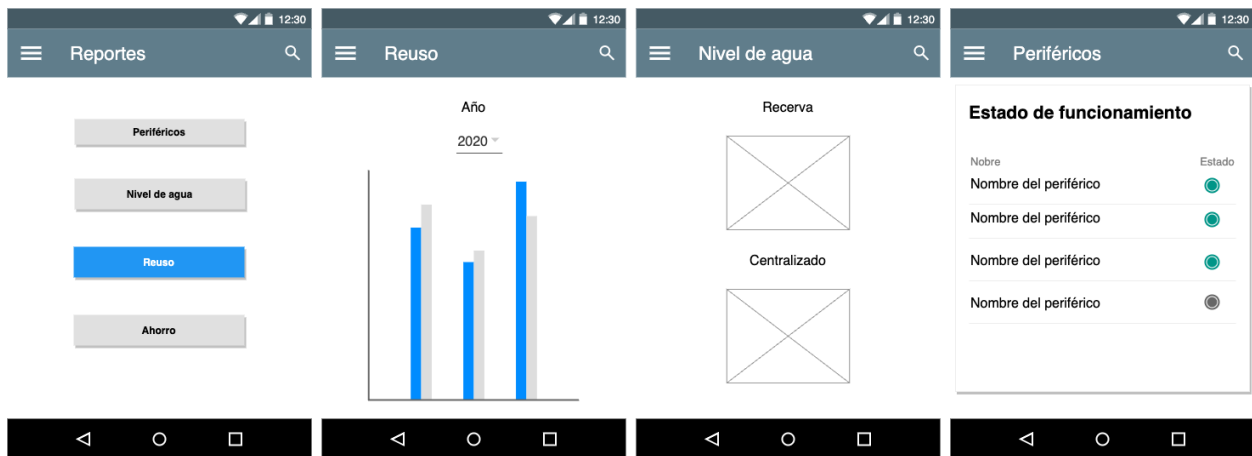


Figura 3.16: Módulo de reporte

La Figura 3.16, muestra pantallas sugeridas para el módulo de reporte, tenemos la opción de reporte del estado de los tanques y se sugiere una gráfica tipo dona para mostrar el estado de llenado de los tanque, por otra parte, tenemos la ventana de estadísticas donde se muestra el ahorro en litros por semana.

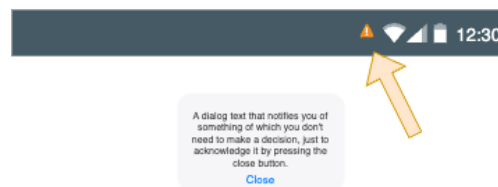


Figura 3.17: Módulo de notificaciones y alertas

La Figura 3.17, muestra, por un lado, un icono en la parte superior derecha que representa una alerta del sistema y por otro lado un recuadro de dialogo que describe la alerta que se esta indicando la cual puede ser que un sensor esta desconectado o las descritas en la Sección 3.4.2 .

3.6. Atributos y escenarios de calidad

3.6.1. Seguridad

- **Aplicativo**

1. **SEGURIDAD_APP_01:** En condiciones normales del sistema, en caso de realizar tres intentos de ingresar usuario y contraseña por parte de un usuario se deberá bloquear al usuario, solo podrá desbloquear al usuario el propietario de la solución. este atributo hace referencia al requisito RFU_API.03.

3.6.2. Rendimiento

- **Aplicativo**

1. **RENDIMIENTO_APP_01:** En condiciones normales del sistema el propietario podrá enviar la instrucción de accionar la electrobomba en menos de 3 segundos desde el aplicativo, este atributo hace referencia al requisito RFU_API.02.

3.6.3. Disponibilidad

- **Sensores**

1. **DISPONIBILIDAD_SEN_01:** Mientras el servidor central se encuentre operando en condiciones normales, si se detecta la interrupción de conexión de un sensor, se deberá reportar a la aplicación el hallazgo, este atributo hace referencia al requisito RFU_PPT.03.

Capítulo 4

Diseño


La Figura 3.1, muestra las interconexiones que tiene el contexto del sistema entre sus diferentes componentes el Software donde encontraremos la aplicación móvil los microservices, la base de datos y el broker, por otra parte tenemos el Hardware donde encontramos los diferentes módulos ESP que se usan para obtener los diferentes valores obtenidos de la planta de tratamiento de agua, la cual cuenta con los filtros de arena y el decantador de agua gris.

4.1. Consideraciones del Hardware

Para realizar el análisis de los periféricos, tendré en cuenta los siguientes atributos organizados decentemente acorde a su peso donde el 1 se considera el más importante y el 3 el menos importante:

1. **Características:** las características del sensor o módulo cumplen con la necesidad en base al objetivo del prototipo.
2. **Implementación:** La dificultad de integrar el periférico al prototipo. Busco que la construcción del prototipo me sea lo más fácil posible en cuanto a su construcción.
3. **Precio:** El costo de inversión sea el mas bajo posible.

Cuadro 4.1: Cuadro de decisión sensor de turbidez

Sensor	Ventajas	Desventajas
 TSW-20M	<ul style="list-style-type: none">▪ Fácil de implementar▪ Su precio es de \$49.000,00▪ Sus características cumplen con el requisito REQ_PROT_02 mencionado en la sección 2.3.	<ul style="list-style-type: none">▪ Su precio es de \$49.000,00

Ya que el sensor TSW-20M es el único en el mercado local y cumple con las necesidades del prototipo, se escoge para ser implementado, por otra parte, su precio puede ser elevado y por esta


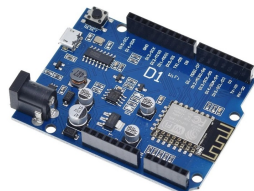
razón se podría buscar la construcción artesanal de un sensor, pero el tiempo de construcción e implementan sería considerable, por esta razón se descarta la posibilidad de construir un sensor a la medida.

Cuadro 4.2: Cuadro de decisión sensor de distancia

Sensor	Ventajas	Desventajas
 <p>HC-SR04</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rango medio 2cm a 400cm ▪ Consume 15mA ▪ Precisión 3mm ▪ Trabaja con ultrasonido ▪ Su precio es de \$6.000,00 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere una base en acrílico para ser anclado a la estructura.
 <p>GP2Y0A21YK0F</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es fácil de anclar a la estructura del prototipo ya que su cuerpo cuenta con agujeros de anclaje. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su precio es de \$25.000,00 ▪ Rango 10cm a 80cm ▪ Consume 30mA ▪ Es óptico.

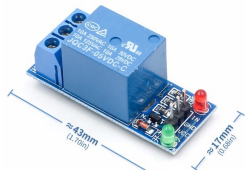
El sensor HC-SR04 cumple con las características necesaria para garantizar el requisito REQ_PROT_04 mencionado en la sección 3.3, teniendo en cuenta que el sensor deberá ser usado sobre la superficie del agua, este sensor al utilizar ultrasonido para realizar su medición, cuenta con mejores prestaciones que el GP2Y0A21YK0F, por otra parte, su valor comercial es mucho menor, estas son las dos razones principales para escoger al HC-SR04.

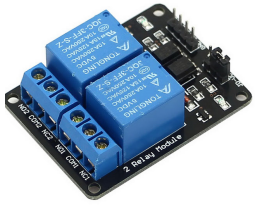
Cuadro 4.3: Cuadro de decisión Módulos Wifi

Sensor	Ventajas	Desventajas
 <p>NodeMCU V3</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuenta con certificación IEEE ▪ Su tamaño es reducido ▪ Su precio es de \$18.000,00 ▪ Es fácil de implementar ▪ Cuenta con una RAM de 96KB ▪ Se energiza con 3.3v 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No es tolerante a ruido producido por la alimentación requiere una fuente que cuente con filtros.
 <p>WEMOS D1R2WIFI</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es alta mente tolerante al ruido de la alimentación ya que tiene integrado un sistema de filtro. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su precio es de \$22.000,00 ▪ su tamaño es muy grande

El módulo NodeMCU V3 cumplen con el requisito REQ_PROT_04 mencionado en la sección 3.3, por su precio menor su certificación IEEE y su tamaño que lo hace más práctico para montar en el prototipo.



Cuadro 4.4: Cuadro de decisión Módulos Relay

Sensor	Ventajas	Desventajas
 <p>Relay</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su tamaño es reducido. ▪ Su precio es de \$6.000,00 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere una soporte adicional para ser anclado a la estructura

 <p>Relay</p> <p>2</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuenta con un sistema de aislamiento robusto que protege los módulos de sobre voltajes o corrientes ▪ Es fácil de anclar ya que cuenta con agujeros en su cuerpo que facilita la tarea 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su precio es de \$9.500,00
---	---	--

Los dos sensores cumplen con el requisito REQ_PROT_06 mencionado en la sección 3.3, pero el módulo de 2 Relay cuenta con un sistema de aislamiento más robusto que el módulo de uno solo además es más fácil de acoplar al prototipo.


Cuadro 4.5: Cuadro de decisión Placas de desarrollo

Sensor	Ventajas	Desventajas
 <p>Arduino UNO R3</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es fácil de programar ▪ Su precio es de \$39.000,00 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No cuenta con módulo Wifi ▪ Requiere una placa adicional para conectarlo al Wifi ▪ La implementación como broker es compleja
 <p>Raspberry PI 4 Modelo B 8GB.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ya cuento con la placa y el cargador ▪ Se puede programar con Python ▪ Se puede instalar una base de datos ▪ Se puede usar como broker ▪ cuenta con módulo Wifi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su precio es de \$390.082,00 ▪ Se debe compara aparte el cargador

A pesar que existen en el mercado placas de Raspberry más económicas como la Raspberry PI A+ con un valor de \$140.000,00 no considerará esta placa ya que cuento con la Raspberry PI 4 Modelo B 8GB. Comparando la placa de Arduino y la Raspberry pi me inclino a implementar la Raspberry PI por: su facilidad de implementar una base de datos local, se puede programar y usar como

broker lo cual es un gran punto a favor teniendo en cuenta que realizare una implementación IoT y tendré que integrar los diferentes módulos Wifi. adicional cumplen con el requisito REQ_PROT_04 mencionado en la sección 3.3.

Cuadro 4.6: Cuadro de decisión Electroboomba

Sensor	Ventajas	Desventajas
 <p>NF 1.30 DIAPHRAGM LIQUID PUMP</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voltaje de operación 12v a 24v ▪ No debo comprarla ya que cuento con una 	

La electrobomba NF 1.30 cumplen con el requisito REQ_PROT_01, mencionado en la sección 3.3.

4.2. Arquitectura del Hardware

En la Figura 4.1, muestra la interacción entre los diferentes dispositivos electrónicos que se van a implementar en el prototipo de la planta de tratamiento de agua doméstica, los recuadros azules representan conjuntos de elementos electrónicos que actúan en una zona específica de la planta.

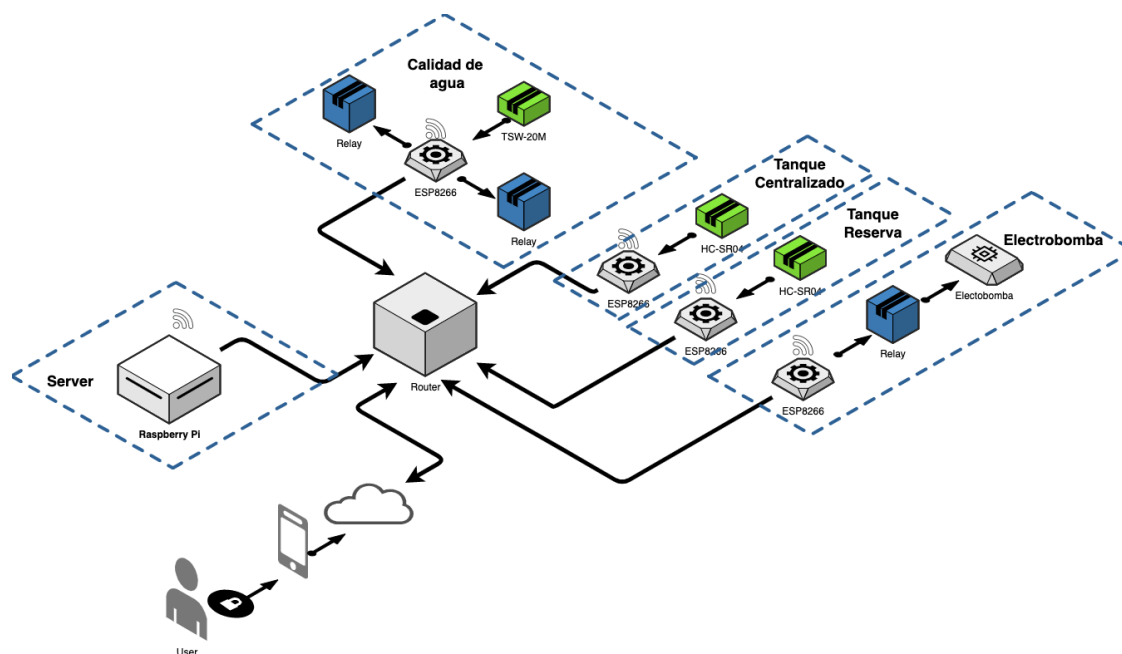


Figura 4.1: Diagrama de arquitectura del Hardware

Las zonas mencionadas en la Figura 4.1, son:

- **Calidad de agua:** Esta zona es la encargada de medir el atributo de turbidez del agua y dirigir el agua según su clasificación hacia el tanque de centralizado para ser reusada o hacia las aguas negras para ser descartada.
- **Tanque centralizado:** En esta zona se realiza la medición del nivel de agua que tiene el tanque de centralizado.
- **Tanque Reserva:** En esta zona se realiza la medición del nivel de agua que tiene el tanque de reserva de agua reusable, aclarando que este tanque es diferente al tanque principal de reserva de la vivienda.
- **Electrobomba:** Esta zona es la encargada de accionar o detener la electrobomba encargada de transportar el agua desde el tanque de centralizado hacia el tanque de reserva de agua reusable.
- **Server:** Esta zona es la encargada de realizar la comunicación entre las diferentes zonas actuando como broker.

4.2.1. Diagramas de conexión

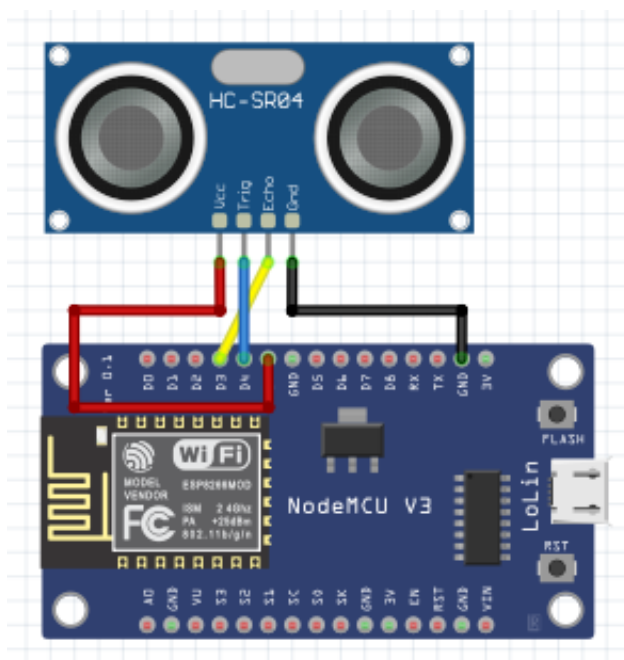


Figura 4.2: Módulo Reserva y Centralizado

La Figura 4.2, muestra las interconexiones entre el módulo ESP de la Figura 3.6 y el sensor de distancia de la Figura 3.4, también se muestra que esta conectado el ESP a una fuente de poder de 5 voltios y el sensor a una fuente de poder de 3 voltios.

La Figura 4.3, describe los diferentes bloques de recepción, alimentación, almacenamiento y salida de la configuración electrónica para los módulos de reserva y centralizado, de igual manera describe los protocolos de comunicación que existe entre ellos y sus relaciones.

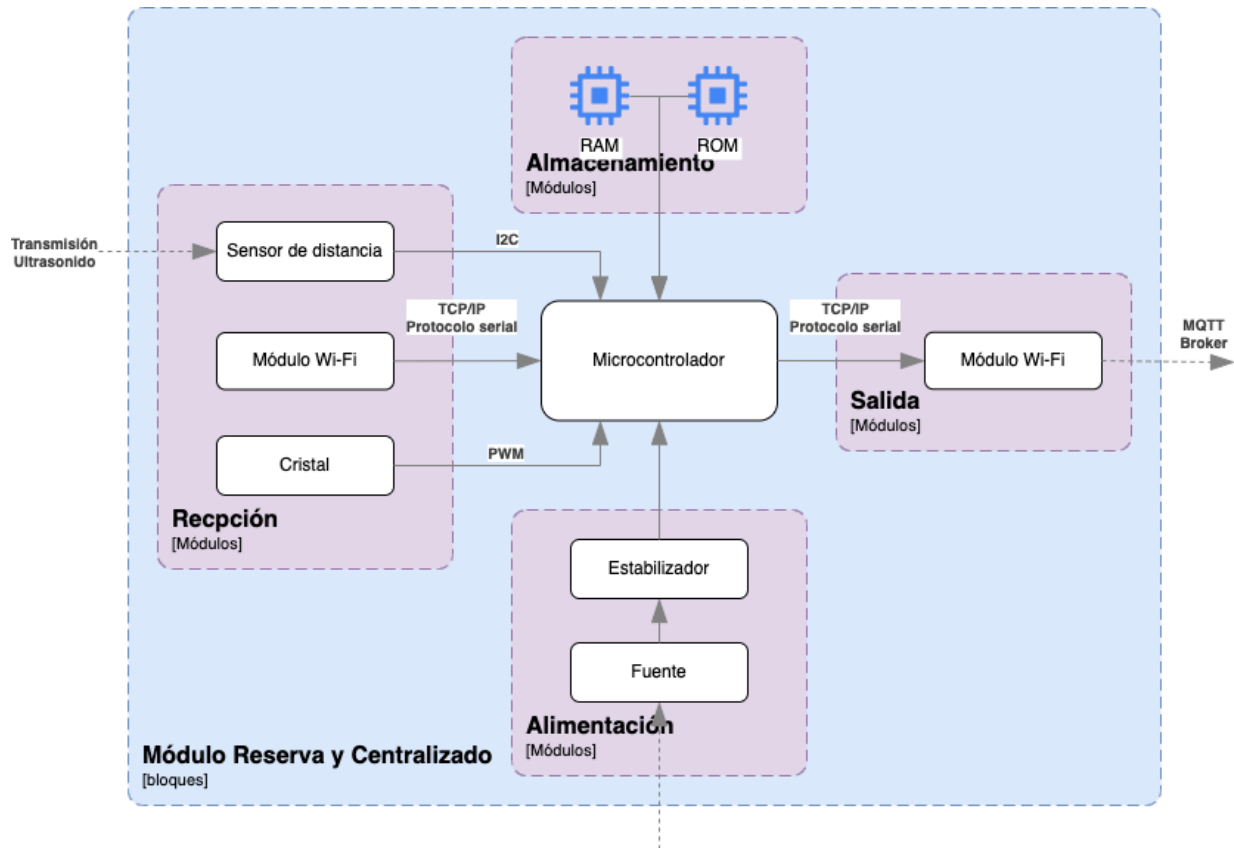


Figura 4.3: Diagrama de bloques funcionales nivel de tanques

La Figura 4.4, muestra las interconexiones entre el módulo ESP de la Figura 3.6 y el módulo relay mostrado en la Figura 3.9, el cual tiene dos relay que están conectados a las electroválvulas que permiten el paso del agua apta para ser reusada y la que no, por otra parte se muestra la conexión entre el módulo ESP y el sensor encargado de medir el valor de turbidez con el cual se clasifica el agua mostrado en la Figura 3.3.

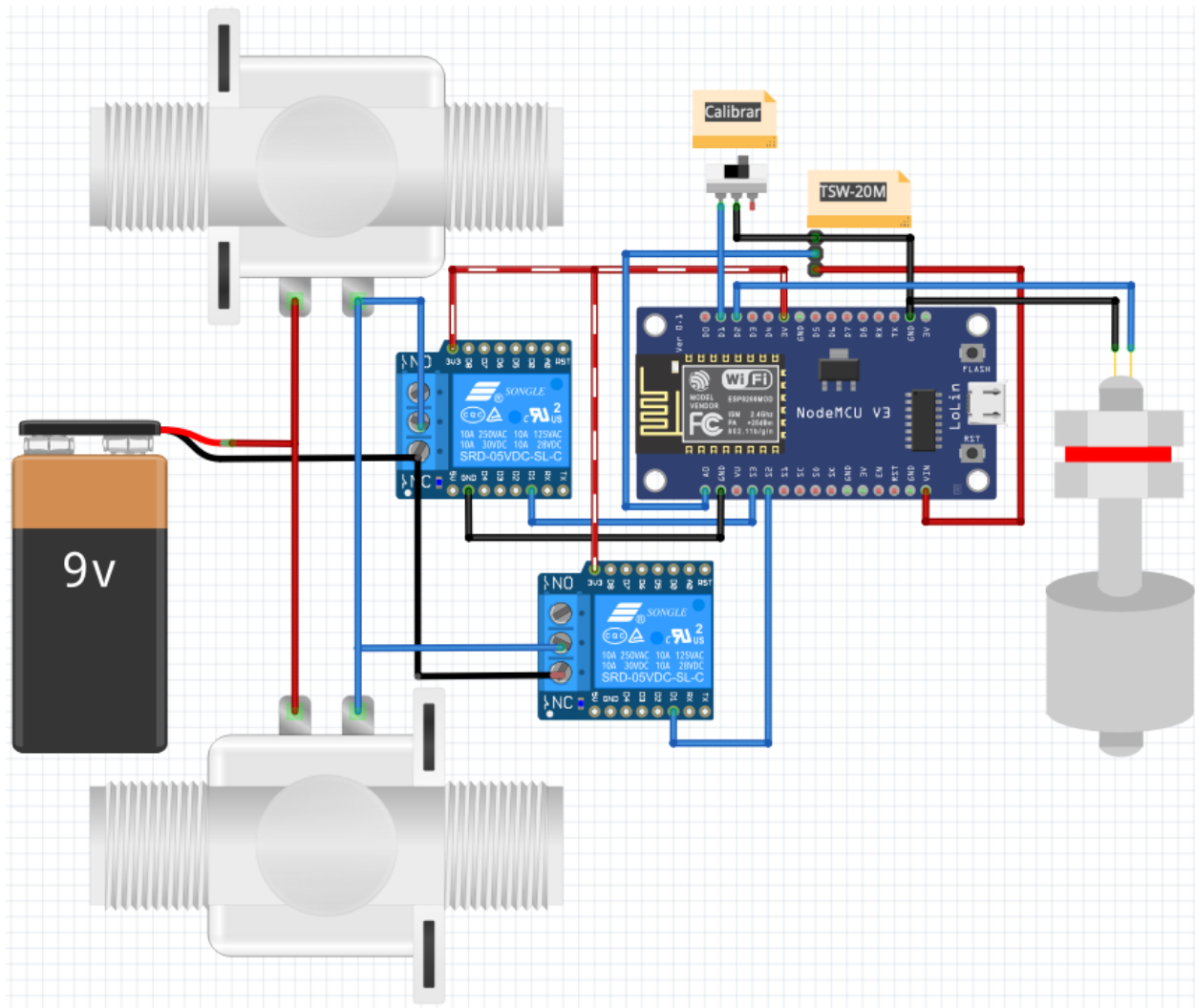


Figura 4.4: Módulo Calidad de agua

La Figura 4.5, describe los diferentes bloques de recepción, alimentación, almacenamiento y salida de la configuración electrónica para el módulo de calidad de agua, de igual manera describe los protocolos de comunicación que existe entre ellos y sus relaciones.

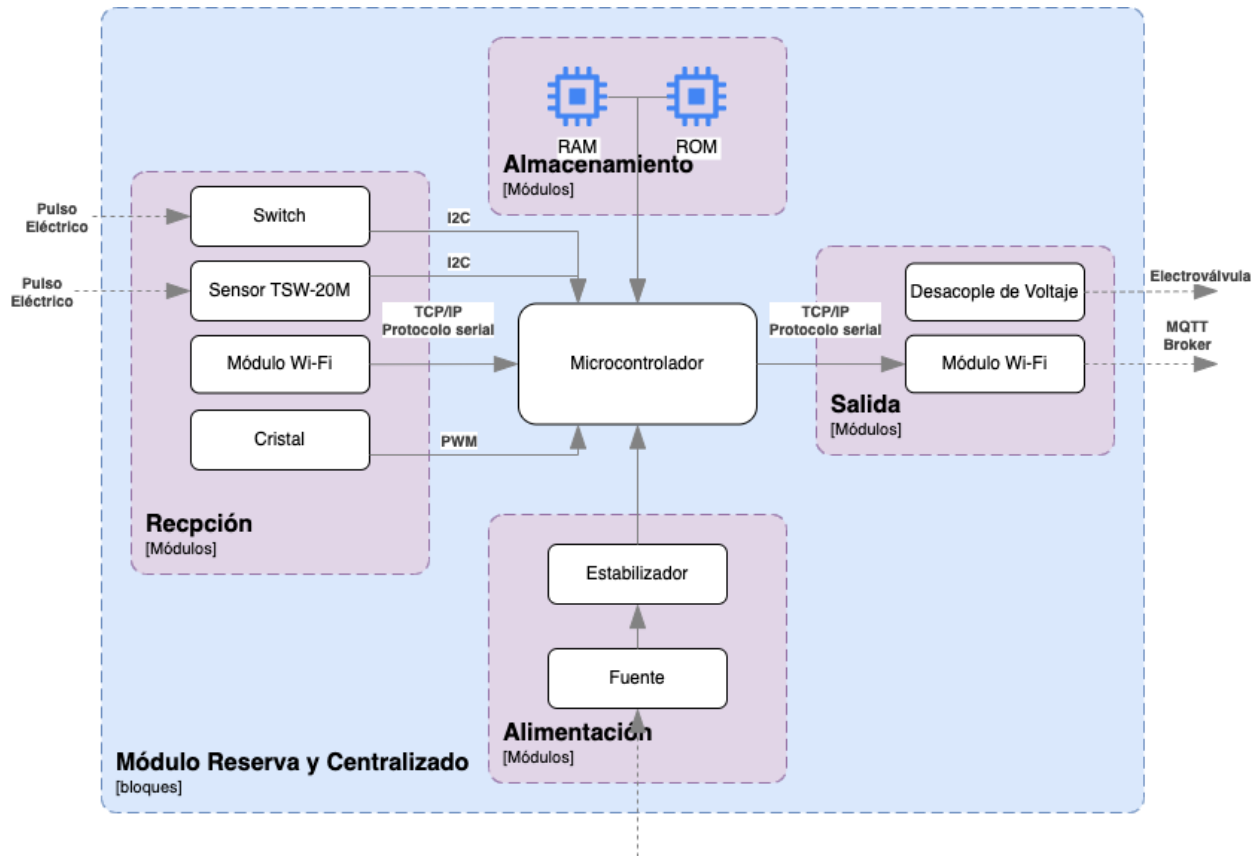


Figura 4.5: Diagrama de bloques funcionales calidad de agua

La Figura 4.6, muestra las interconexiones entre el módulo ESP de la Figura 3.6 y el módulo relay mostrado en la Figura 3.9, el cual esta conectado a la electrobomba y es el encargado de encender y detenerla.

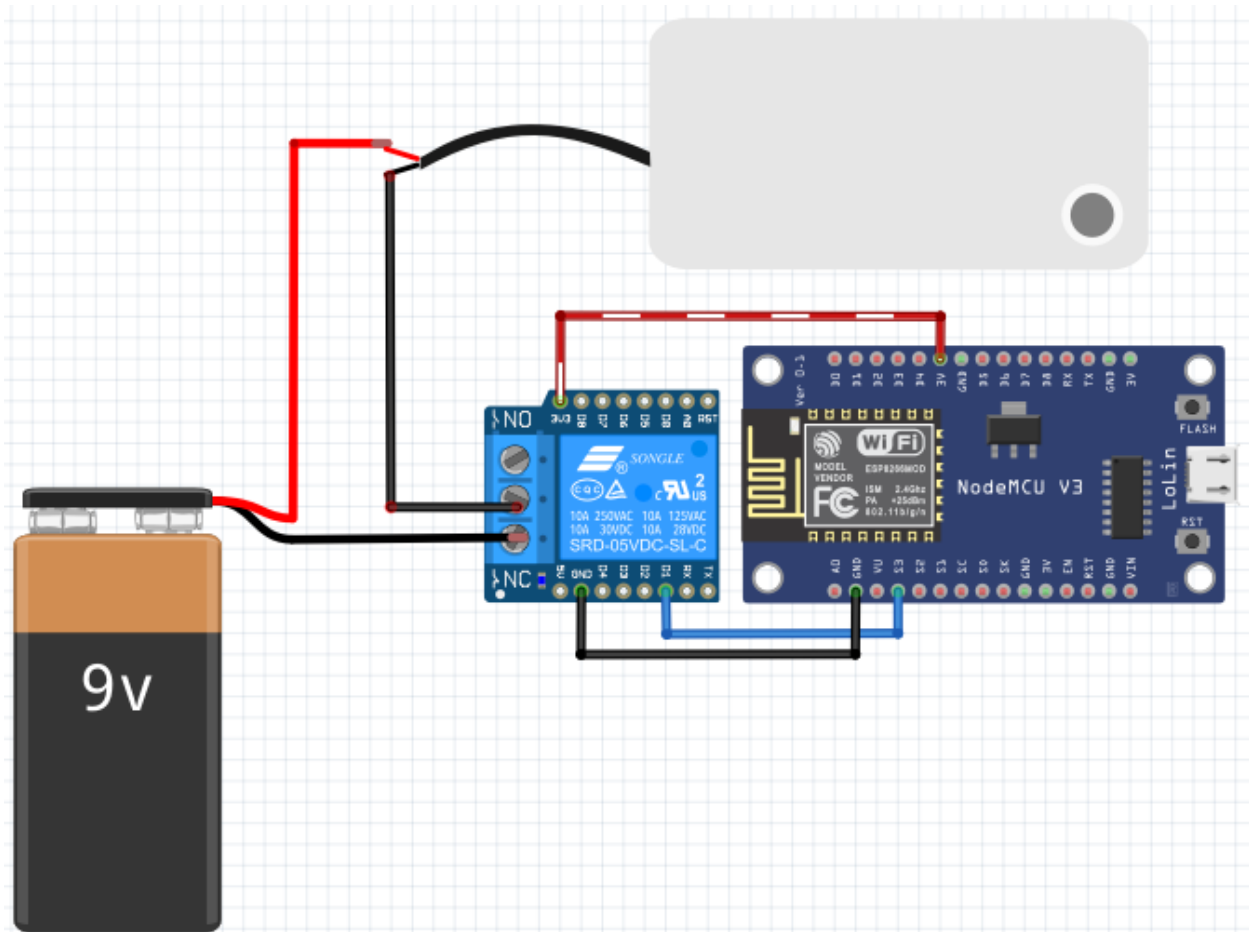


Figura 4.6: Módulo Electrobomba

La Figura 4.7, describe los diferentes bloques de recepción, alimentación, almacenamiento y salida de la configuración electrónica para el módulo de la electrobomba, de igual manera describe los protocolos de comunicación que existe entre ellos y sus relaciones.

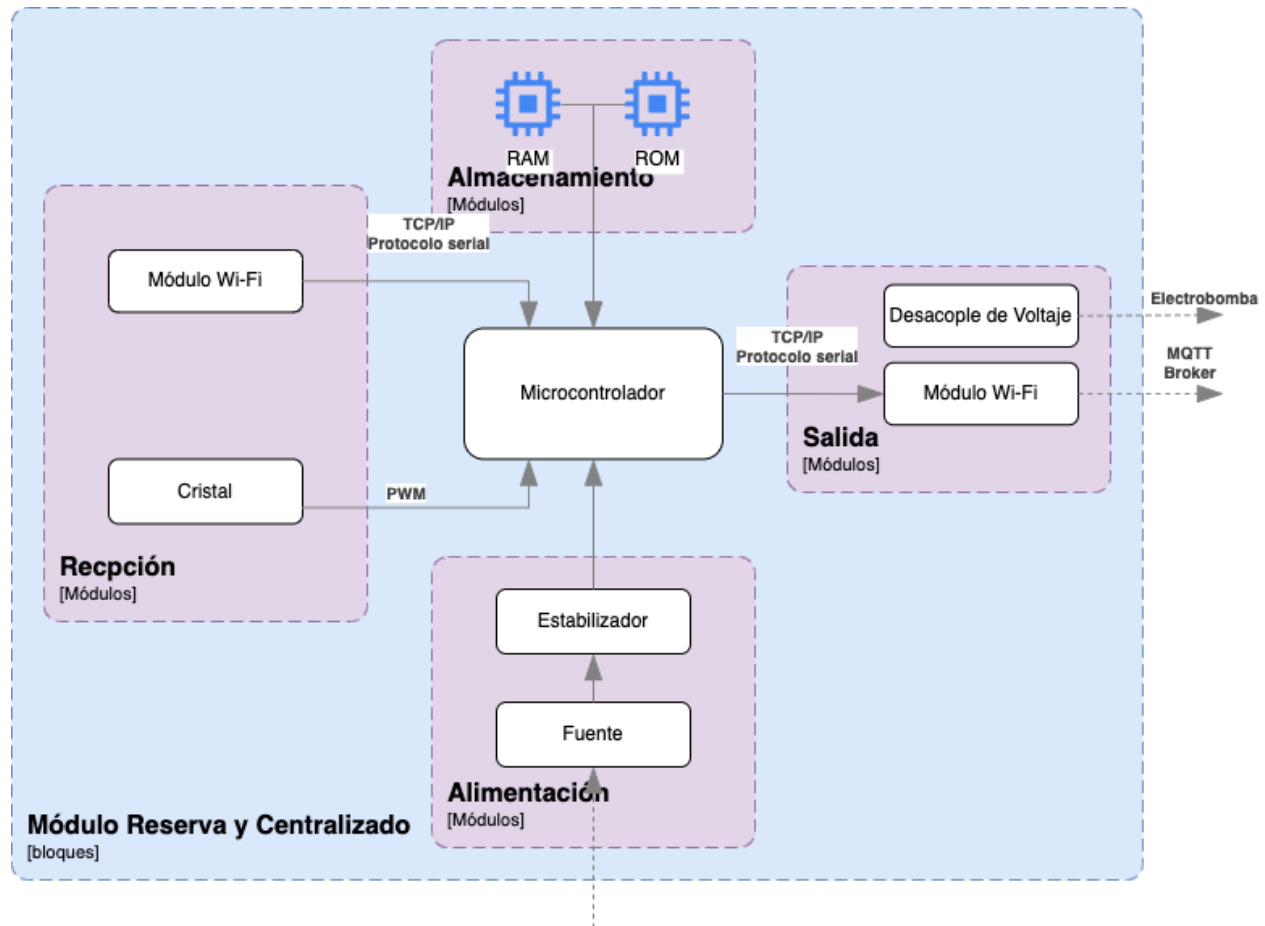


Figura 4.7: Diagrama de bloques funcionales electrobomba

Dado que el sistema consta de 4 módulos que podrían estar instalados a distancias considerables dentro de la unidad residencial, se hace evidente la necesidad de que los módulos de hardware sean totalmente independientes y cuenten con una comunicación en tiempo real que les permita realizar acciones en respuesta a los estados del sistema.

En este contexto mostrado en la Figura 4.1, el módulo ESP8266 resulta relevante, ya que cuenta con un módulo WiFi que implementa el protocolo TCP/IP integrado. Esto le permite enviar y recibir datos a través de internet, posibilitando así la comunicación entre los diferentes módulos y permitiendo su instalación distribuida.

Por otra parte, la Raspberry Pi actuará como servidor local y en ella se instalará el Broker,

que permitirá el intercambio de información entre los módulos ESP8266. También se instalará una base de datos local, en este caso, se utilizará MariaDB debido a que es una base de código abierto. Además, se desplegarán los microservicios de la capa Backend del sistema.

Esta arquitectura permite, en primer lugar, almacenar la información de cada residencia de manera independiente. En pasos posteriores, se podrá extraer esta información si el usuario decide compartirla, lo que permitirá centralizarla y utilizarla para análisis de datos. En este proceso, se pueden considerar factores como la ubicación del sensor y el ahorro de agua para categorizar el consumo en diferentes zonas.

4.3. Consideraciones del Software

4.3.1. Tácticas de arquitectura consideradas

Táctica de seguridad

1. Resistencia a ataques:

- a) Autenticación de usuarios: Se utilizará usuario y contraseña para el ingreso al aplicativo.
- b) Autorización de usuarios: Se utilizarán diferentes perfiles en la aplicación para asignar autorizaciones de modificación de atributos del sistema.
- c) Acceso limitado: Se limitará el acceso a un solo propietario a la aplicación.

La seguridad es un aspecto fundamental en cualquier solución IoT, ya que el sistema está expuesto a riesgos de seguridad y es vulnerable a posibles ataques externos. La táctica de resistencia a ataques se enfoca en identificar posibles vulnerabilidades y establecer medidas preventivas para mitigar y resistir ataques.

Esta táctica implica el uso de protocolos de seguridad robustos, la implementación de autenticación y autorización adecuadas y la protección de la integridad y confidencialidad de los datos. Al aplicar estas medidas, se puede garantizar la seguridad y protección de los dispositivos y datos del sistema.[13]

En general, la implementación de la táctica de resistencia a ataques contribuye a prevenir y resistir posibles ataques externos, mejorando la confiabilidad y confidencialidad de los datos y la confianza en la solución IoT.

Táctica de rendimiento

1. Arbitraje de recursos:

- a) First-in/First-out. FIFO: las peticiones al sistema se atenderán en forma de llegada.

En una solución IoT, se manejan múltiples dispositivos y servicios que requieren recursos como memoria, CPU y ancho de banda para su funcionamiento. La táctica de arbitraje de recursos garantiza una distribución eficaz de estos recursos entre los dispositivos de manera equitativa, mejorando

el rendimiento del sistema.[4]

En general, el arbitraje de recursos es una táctica que mejora el rendimiento del sistema IoT al garantizar la distribución óptima de recursos para tareas específicas entre dispositivos, lo que ayuda a mejorar la eficiencia y escalabilidad de la solución.

Táctica de disponibilidad

1. Detección de fallas:

- a) Ping/Echo: Se utilizará esta táctica para validar si un sensor dejó de funcionar de forma correcta.

En una solución IoT, donde varios dispositivos están interconectados, es esencial asegurar la disponibilidad para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. La táctica de "ping echo" permite revisar periódicamente la disponibilidad de los dispositivos, lo que ayuda a detectar de manera temprana cualquier problema de disponibilidad y tomar medidas para solucionarlo, previniendo así posibles fallas críticas del sistema.

Esta táctica también puede contribuir a optimizar el rendimiento del sistema, ya que permite identificar problemas de latencia o fallas en los dispositivos y tomar medidas correctivas para distribuir la carga de trabajo entre los dispositivos, asegurando una operación más fluida y eficiente.

En general, la táctica de "ping echo" garantiza la disponibilidad y el rendimiento de los dispositivos, lo que contribuye a una operación más eficiente y confiable del sistema IoT.

4.3.2. Estilos arquitectónicos considerados

Batch pattern:

Ante la necesidad de procesar grandes cantidades de datos en lotes en una solución IoT, el patrón Batch proporciona un enfoque eficiente que acumula los datos y los procesa asincrónicamente en lugar de procesarlos en tiempo real.

Este enfoque ofrece varias ventajas, ya que reduce la carga de trabajo del sistema al procesar datos en lotes y de forma asincrónica, lo que es especialmente útil para la generación de informes o para el análisis de datos que no requieren una respuesta inmediata.[16]

El patrón Batch también permite un procesamiento más eficiente en entornos de mayor potencia de procesamiento, mejorando la calidad de los análisis y la toma de decisiones a partir de los datos. Además, permite la automatización de tareas, lo que ahorra tiempo y recursos, aumentando la eficiencia del sistema. La capacidad de procesar grandes cantidades de datos en momentos específicos también aporta una mayor flexibilidad y escalabilidad al sistema.[16]

En general, el patrón Batch proporciona una solución eficiente para el procesamiento de grandes cantidades de datos en una solución IoT, mejorando la automatización, eficiencia y flexibilidad del sistema.

Layers Pattern:

El patrón de arquitectura en capas proporciona una distribución clara de responsabilidades entre las diferentes capas, convirtiéndolo en una opción ideal para soluciones IoT. Cada capa se enfoca en una tarea específica, como la gestión de dispositivos, la presentación de datos y la lógica empresarial. Esta separación simplifica la comprensión y el mantenimiento del código, además de garantizar escalabilidad y fiabilidad.

La evolución independiente de cada capa es posible gracias a esta separación de responsabilidades, lo que permite la automatización y el cambio de tecnologías sin afectar a otras capas. En soluciones IoT que manejan múltiples dispositivos y generan grandes cantidades de datos, este patrón de arquitectura proporciona una estructura clara y ordenada, lo que mejora la calidad y el rendimiento de la solución. Además, este patrón se puede adaptar fácilmente a diferentes arquitecturas.

Publish-Subscribe Pattern

El patrón de arquitectura Publish-Subscribe ofrece una solución descentralizada para la comunicación constante de datos entre dispositivos y servicios en una solución IoT. En lugar de enviar los datos entre dispositivos directamente, éstos se comunican a través de un Broker o servidor que actúa como canal de comunicación entre ellos.

Este patrón permite una mayor escalabilidad en la solución IoT, permitiendo agregar dispositivos fácilmente y sin la necesidad de hacer cambios significativos en el sistema. Además, es altamente adaptable y flexible.

Al permitir la comunicación directa y eficiente entre dispositivos sin tener que estar conectados directamente entre sí, el patrón Publish-Subscribe proporciona una solución flexible y adaptable para la gestión de datos en una solución IoT.

4.3.3. Alternativas evaluadas para los escenarios de calidad

■ DISPONIBILIDAD_SEN_01 y RENDIMIENTO_APP_01

● Sistema central on-premise

- Ventajas
 - ◇ Mejora la disponibilidad y el performance
 - ◇ No dependemos de proveedores de internet
 - ◇ Mitigamos el riesgo de una caída global cuando se cuenten con varias plantas a la vez.
- Desventajas
 - ◇ Pérdida de datos si se daña el servidor
 - ◇ Alta complejidad para actualizaciones

● Sistema central on-cloud

- Ventajas

- ◊ Crecimiento elástico para altas cargas
- ◊ Facilidad de actualizaciones
- Desventajas
 - ◊ Dependemos de un tercero
 - ◊ Dependemos de proveedores de internet

4.3.4. Diagramas de colaboración

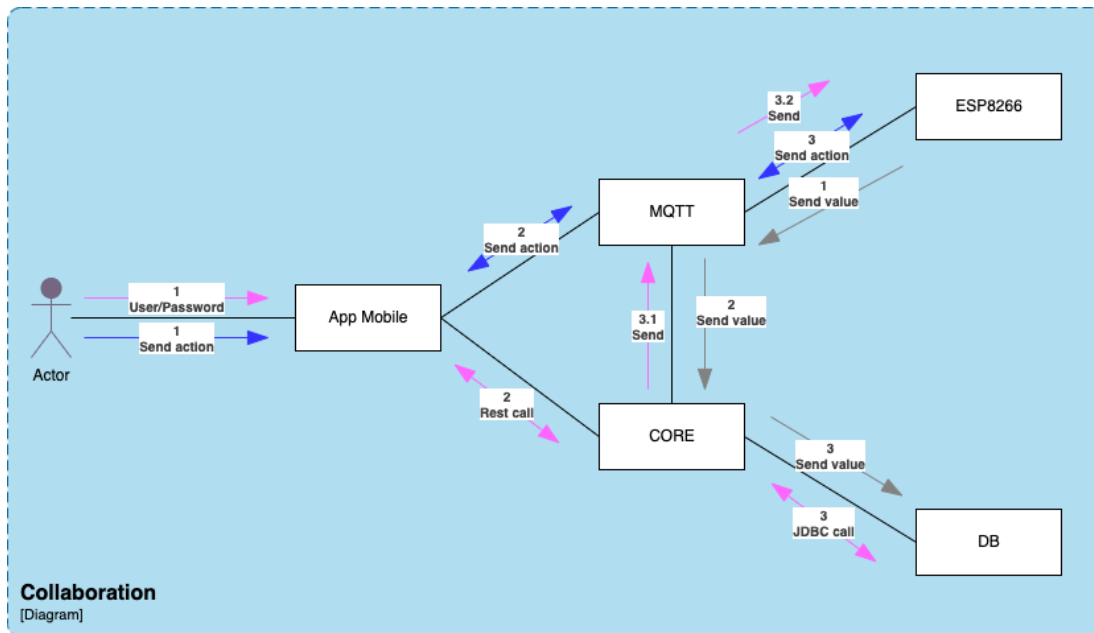


Figura 4.8: Diagrama de colaboración

La Figura 4.8, muestra el flujo de colaboración entre los diferentes componentes del sistema mostrados en la Figura 3.1, en el componente del software encontramos la aplicación móvil el MQTT broker, Core en otras palabras los servicios rest, la base de datos donde almacenamos la información del sistema y por último el ESP8266.

El camino de color rosa es usado para enviar información desde la aplicación móvil hacia la base de datos y las memorias EEPROM de los módulos ESP8266 y consultar el tema de reportes almacenado en la base de datos, por otra parte, el camino azul es usado para enviar instrucciones hacia los módulos ESP8266 para activar la electrobomba, imprimir en consola los valores almacenados en la memoria EEPROM de los módulos, alertar al usuario el estado de los sensores en tiempo real, finalmente el camino gris se usa para enviar los valores recolectados por los sensores hacia la base de datos para ser almacenados.

4.3.5. Diagramas de actividades

La Figura 4.9, muestra el diagrama de caso de uso para el módulo de configuración del sistema por parte del administrador, en primer lugar, muestra que para modificar los valores de los atributos del sistemas en este caso el valor mínimo que debe tener la turbidez del agua para ser almacenada por ejemplo, el administrador debe iniciar sesión primero, en segundo lugar, muestra que para las

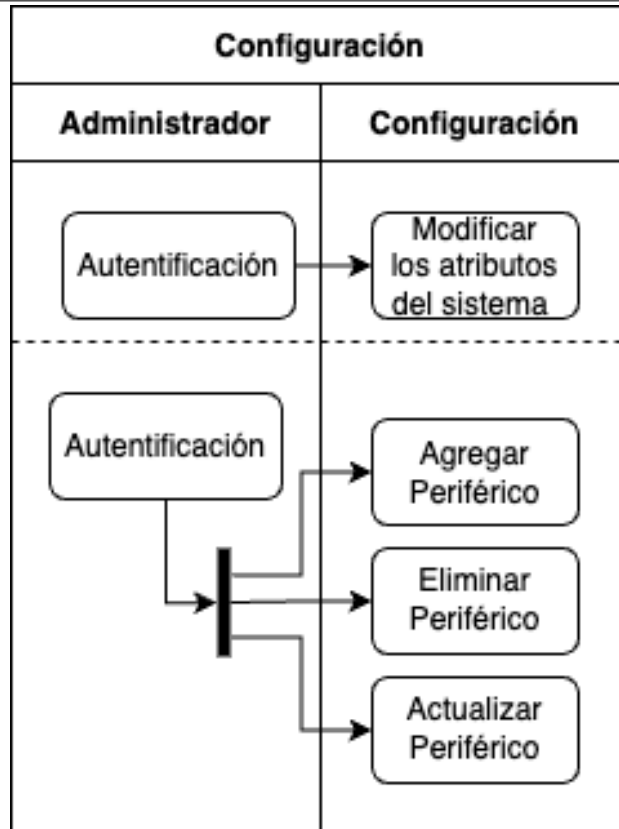


Figura 4.9: Diagrama de actividades caso configuración

funcionalidades de agregar un periférico nuevo eliminarlo o actualizarlo también requiere de haber iniciado sesión en el aplicativo móvil.

La Figura 4.10, muestra el diagrama de caso de uso para las alertas del sistema, en primer lugar, muestra que la alerta de nivel alto de agua en el tanque de centralizado el cual indica que el tanque esta lleno viaja desde los sensores directamente al módulo de alertas del aplicativo móvil, en segundo lugar, muestra que las alertas relacionadas a las fallas o el mal funcionamiento de los sensores que pueden ser causado por desconexión viajan directamente desde el sensor o módulo ESP8266 hacia el módulo de alertas, y finalmente muestra que las fallas en el funcionamiento de la electrobomba viajan desde este módulo hacia el módulo de alertas.

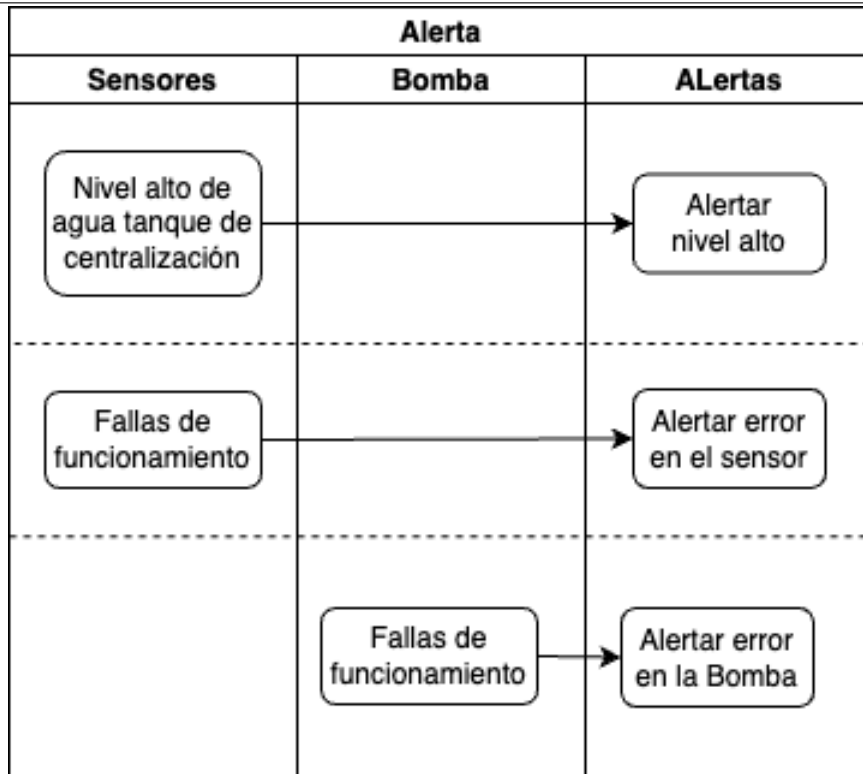


Figura 4.10: Diagrama de actividades caso alerta

La Figura 4.11, muestra el diagrama de caso de uso para que el propietario o el usuario pueda, en primer lugar, consultar el estado del sistema y mostrar su reporte, en segundo lugar, muestra la manera en que se recolecta la información de los sensores de nivel de agua para mostrar el reporte de nivel en tiempo real tanto en el tanque de centralizado como el tanque de reserva, finalmente muestra el camino de la petición para ver el reporte de la cantidad de agua reusada el cual es obtenido desde la base de datos.

La Figura 4.12, muestra el diagrama de caso de uso para que el propietario pueda, en primer lugar, la gestión de la activación de la electrobomba realizando la validación previa de que es posible activarla. en segundo lugar, la condición de autenticación requerida por el propietario previamente si este desea crear, modificar o eliminar un usuario del sistema. en último lugar, la condición de autenticación requerida por el propietario para planificar el intervalo de tiempo en el que trabajara la electrobomba.

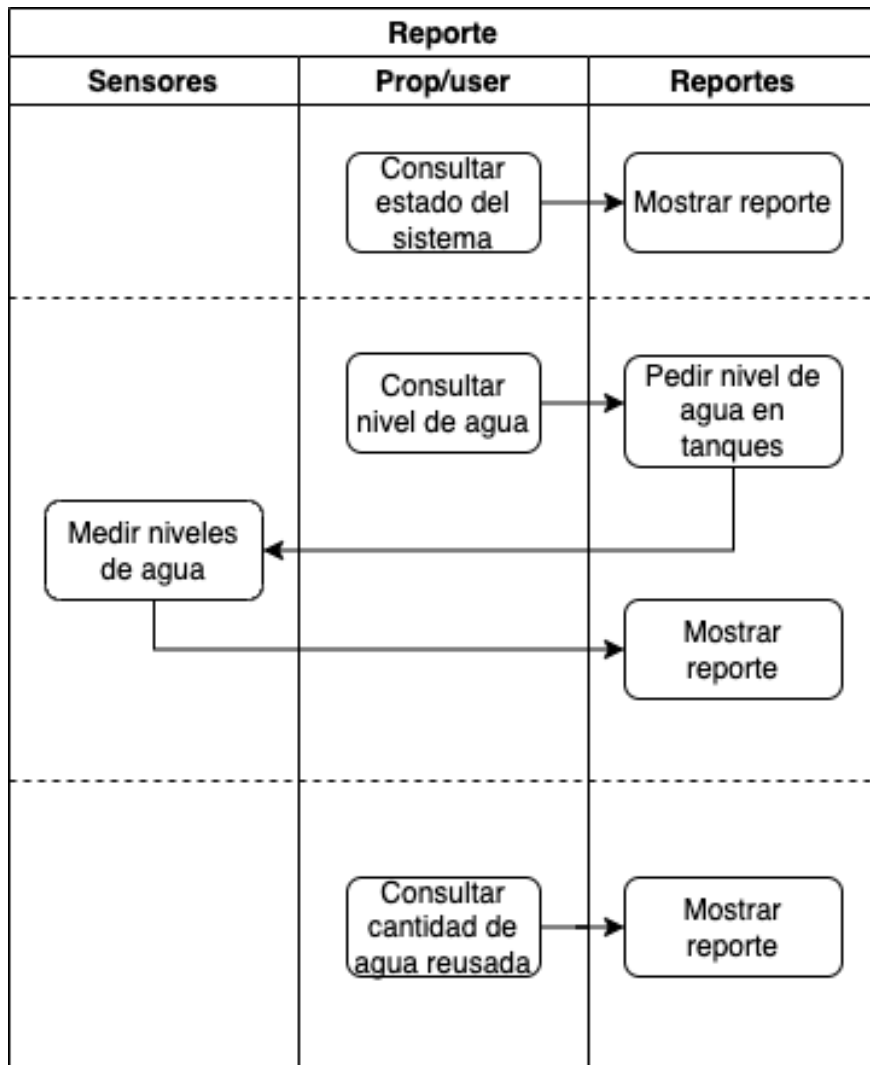


Figura 4.11: Diagram de actividades caso reporte

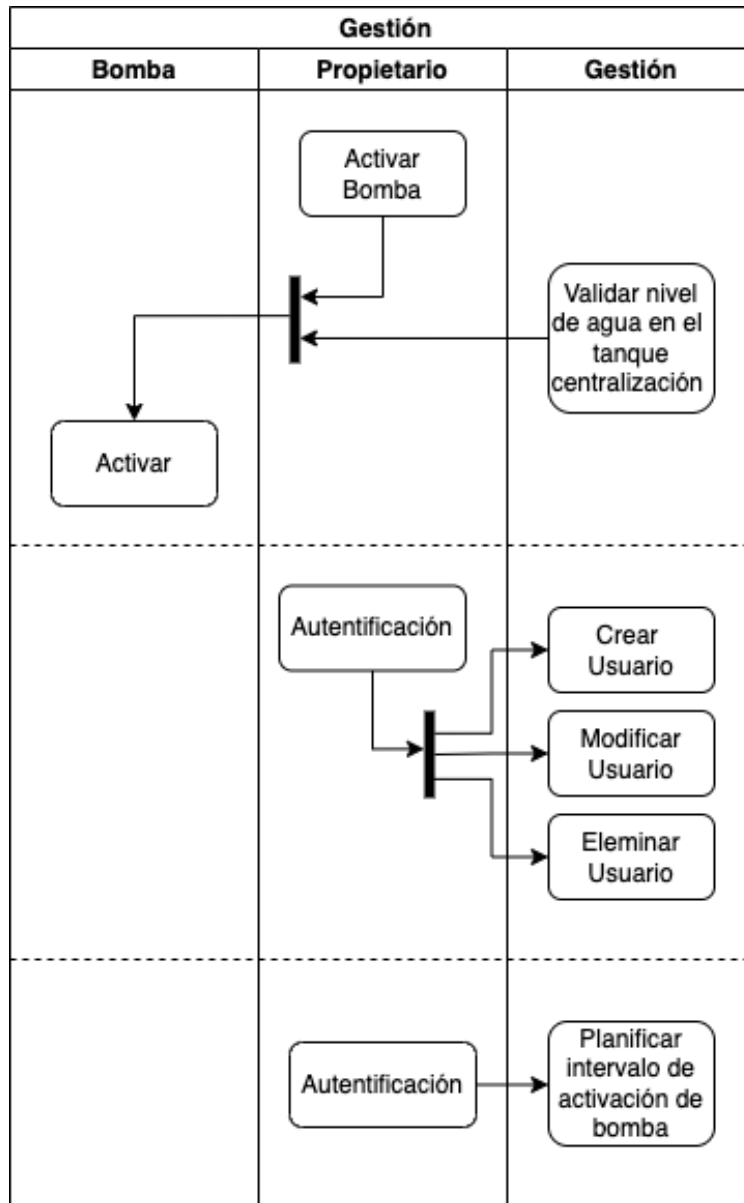


Figura 4.12: Diagram de actividades caso gestión

4.4. Arquitectura del Software

Para realizar el siguiente diseño de diagramas de arquitecturas de Software se usará el modelo de arquitectura de software C4. [22] El cual consta de visualizar el core de sistema mediante cuatro niveles de abstracción el contexto, contenedor, componente y código, por lo anterior, implementare las primeras tres capas de modelo C4 para describir la arquitectura del sistema. La primera capa contexto diagrama los elementos principales del sistema, en segundo lugar, la capa de contenedor ilustra el alcance que tiene cada elemento de la capa de contexto de una forma más profunda, finalmente la capa de componente describe los elementos primarios que tiene cada alcance de la capa de contenedor los cuales serán desarrollados en el código de la solución.

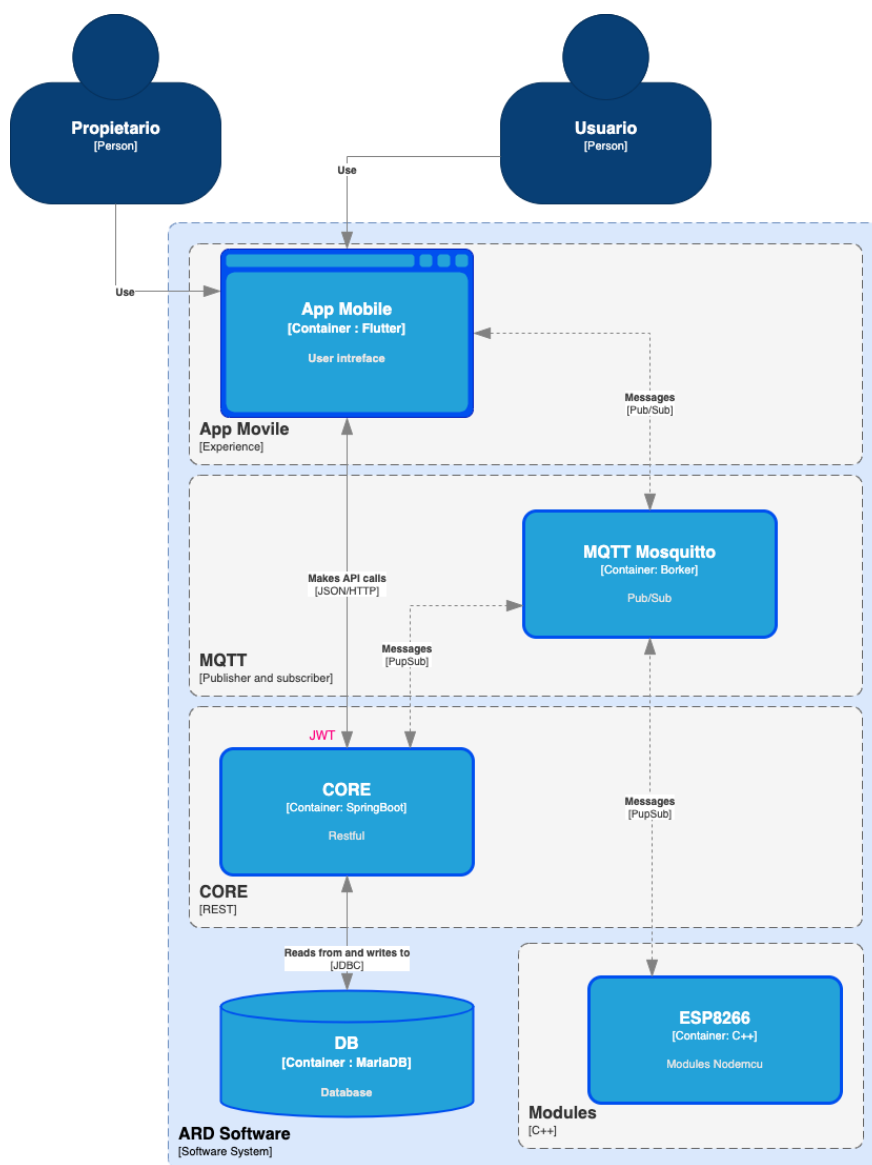


Figura 4.13: Diagrama de contexto del sistema

El diagrama mostrado en la Figura 4.13. Muestra la interconexión entre los componentes de las diferentes capas de arquitectura del sistema el App móvil, el MQTT broker, el Core, la base de

datos y los módulos ESP8266. por otro lado muestra que el propietario y el usuario usan el App móvil como acceso al sistema.

Este diseño de arquitectura se basa en el patrón de capas, ya que se cuenta con recursos limitados, como la Raspberry Pi, que se utilizará como servidor local. El uso de múltiples capas permite separar claramente las responsabilidades del sistema, lo que facilita la detección y corrección de problemas en caso de fallas. Además, esta estructura hace que el sistema sea más escalable y flexible, lo que cumple con el requisito no funcional RNF-SIS-02 mencionado en subsección 3.4.3, permitiendo agregar o quitar capas según las necesidades del sistema.

Por otra parte, la arquitectura por capas mejora significativamente la seguridad del sistema. Cada capa puede contar con su propio sistema de seguridad, y para el caso específico de este sistema, se requerirá un nombre de usuario y una contraseña para acceder a las capas CORE y MQTT. De esta forma, solo los usuarios autorizados con los perfiles adecuados podrán acceder a estas capas, lo que garantiza que se cumplan los requisitos de calidad y seguridad establecidos para el sistema mencionado en la subsección 3.6.1.

Teniendo en cuenta el escenario de calidad de rendimiento mencionado en la subsección 3.6.2, la arquitectura por capas es una contribución importante para mejorar el rendimiento del sistema. Esto se debe a que permite una mejor asignación y uso de los recursos, tales como la memoria y las capacidades de procesamiento. En el caso específico de esta solución, se ha delegado la responsabilidad del procesamiento de datos para generar reportes a la capa de datos. De esta forma, se logra una mejora significativa en el rendimiento del sistema y se cumple con los requisitos de calidad establecidos.

El diagrama mostrado en la Figura 4.14, pretende mostrar los componentes que forman parte de la solución del aplicativo móvil, el borde resaltado en un azul mas fuerte representas los componentes que fueron construidos en el desarrollo de esta tesis, cave resaltar que el refinamiento del desarrollo y su diseño no solo afecta a un componente si no a todos los que interactúan con este de forma directa e indirecta causando desarrollos costosos en tiempo y recursos.

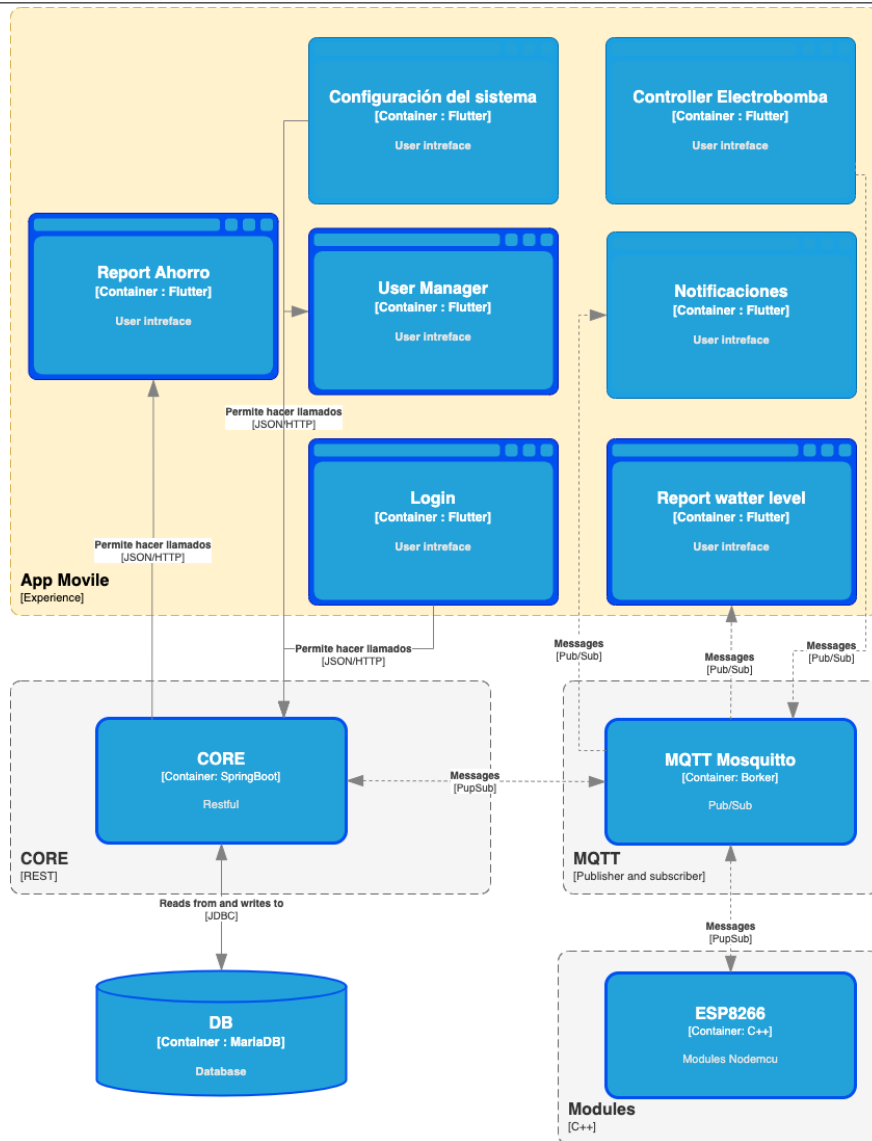


Figura 4.14: Diagrama App Movel

El diagrama mostrado en la Figura 4.15, pretende mostrar los componentes que forman parte de la solución para el core del sistema el cual contempla los microservicios usados, el borde resaltado en azul fuerte indican los componentes que fueron desarrollados para esta tesis, como parte de un MVP, los demás componentes se esperan desarrollar en un post MVP de la solución, en este diagrama se muestra las interacciones que cada componente de la capa de arquitectura CORE tiene con los componentes de las demás capas.

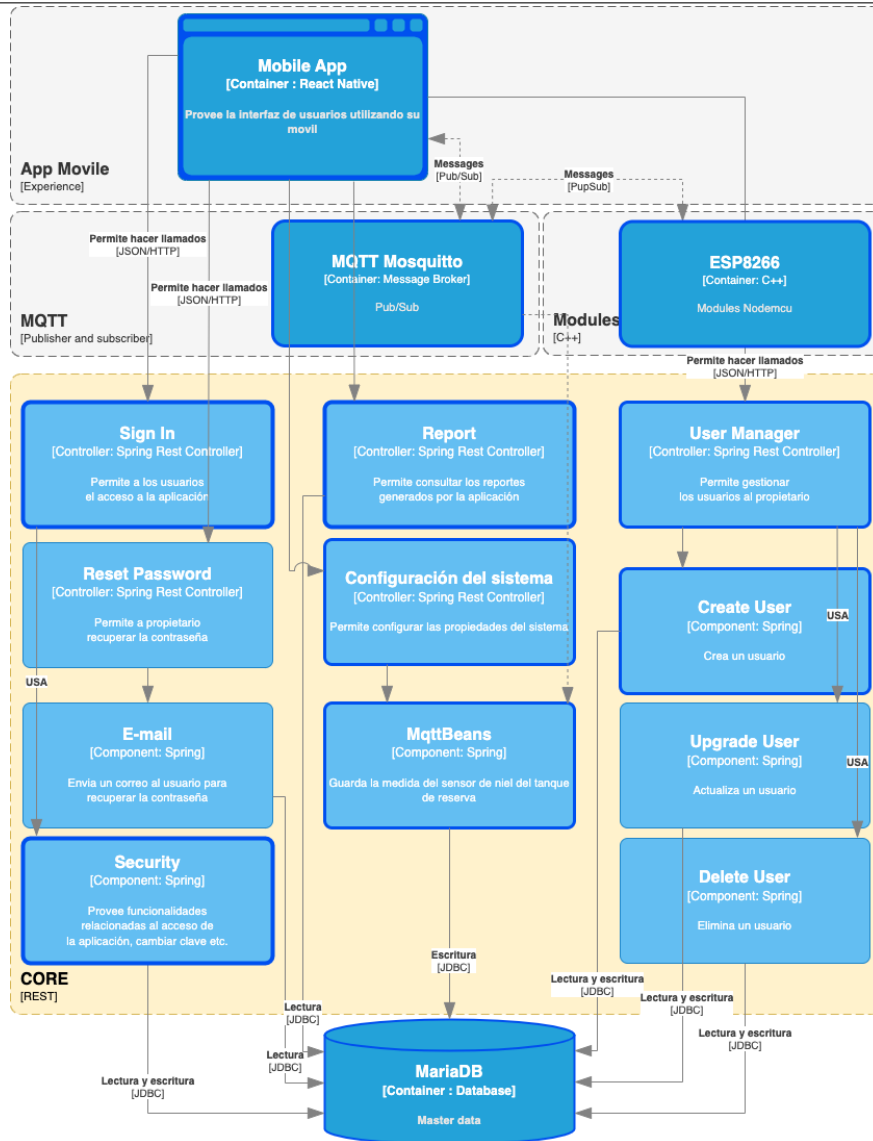


Figura 4.15: Diagrama de componentes del CORE

El diagrama mostrado en la Figura 4.16, pretende mostrar los componentes que forman parte de de la capa del Hardware, en los cuales encontramos los módulos ESP8266 y sus interconexiones con la capa de comunicación MQTT broker.

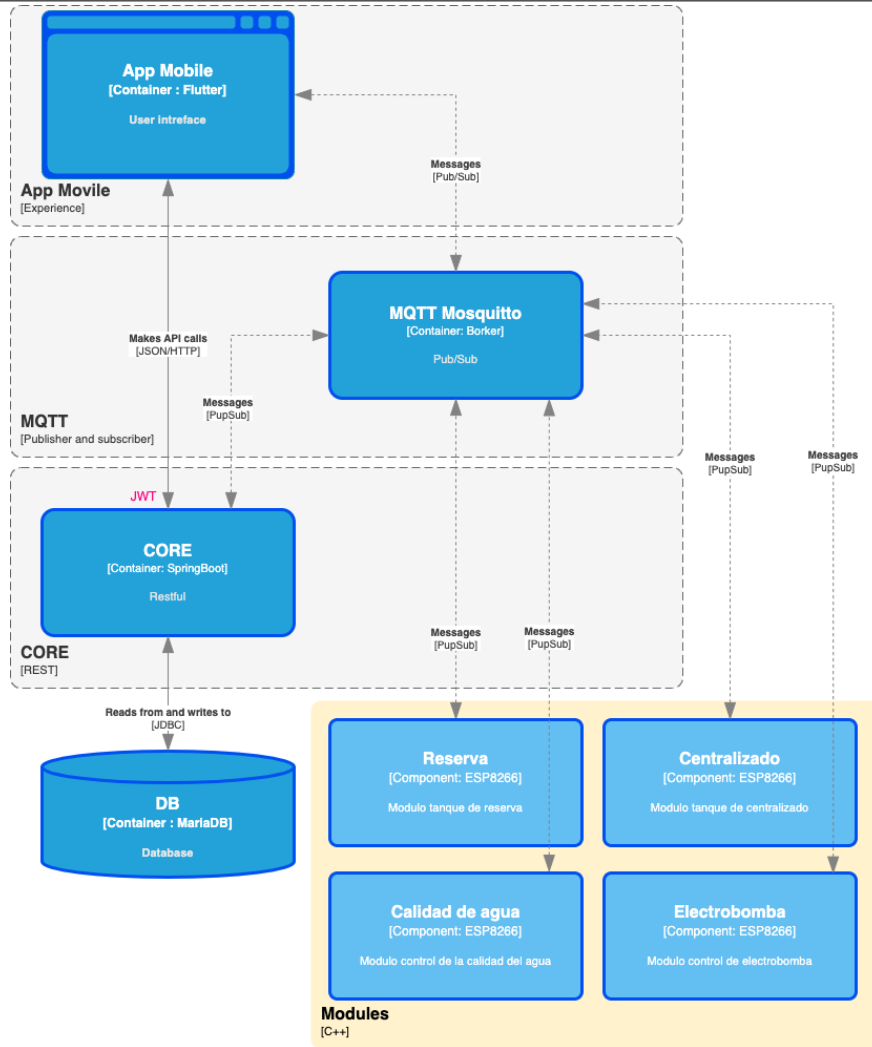


Figura 4.16: Diagrama Modulos ESP8266

4.5. Tópicos

El diagrama de la Figura 4.17, muestra los tópicos desarrollados para obtener el nivel en tiempo real de los tanque de reserva y centralizado de agua reusable, el tópico para obtener el valor del sensor de turbidez, y el tópico que permite activar la electrobomba desde el aplicativo móvil, los componentes con el borde azul fuerte son los desarrollados para dar cumplimiento a este MVP.

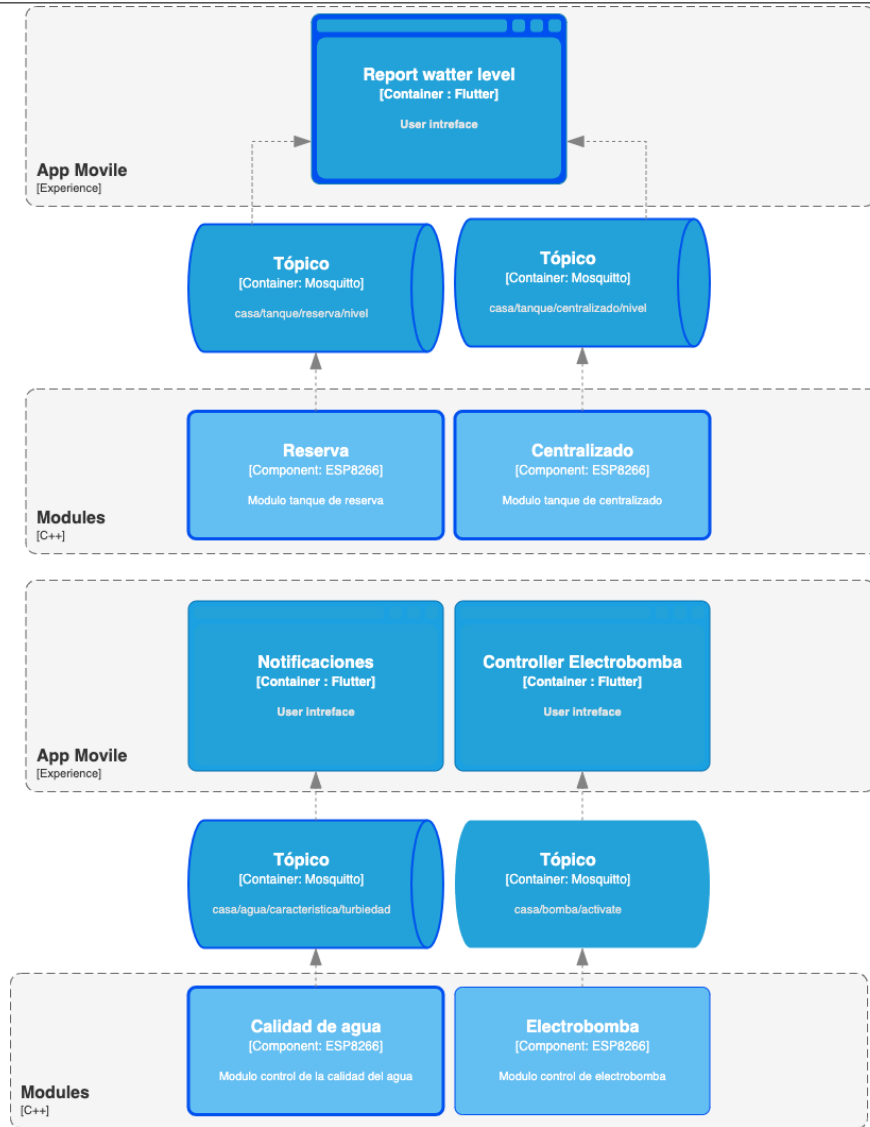


Figura 4.17: Tópicos Reportar, Notificar y Controlar

El diagrama de la Figura 4.18, muestra el tópico desarrollado para modificar los valores almacenados en la memoria EEPROM de cada módulo ESP8266 y ser modificado, para este MVP se desarrollo el servicio que se encarga de realizar este cambio y configurar las memorias, los bordes de los componentes en azul fuertes representa los componentes desarrollados para esta tesis.

El diagrama de la Figura 4.19, muestra los tópicos desarrollados para imprimir en el tópico del log los valores almacenados en las memorias EEPROM de los módulos ESP8266, el borde resalado en azul fuerte indica los componentes desarrollados para esta tesis.

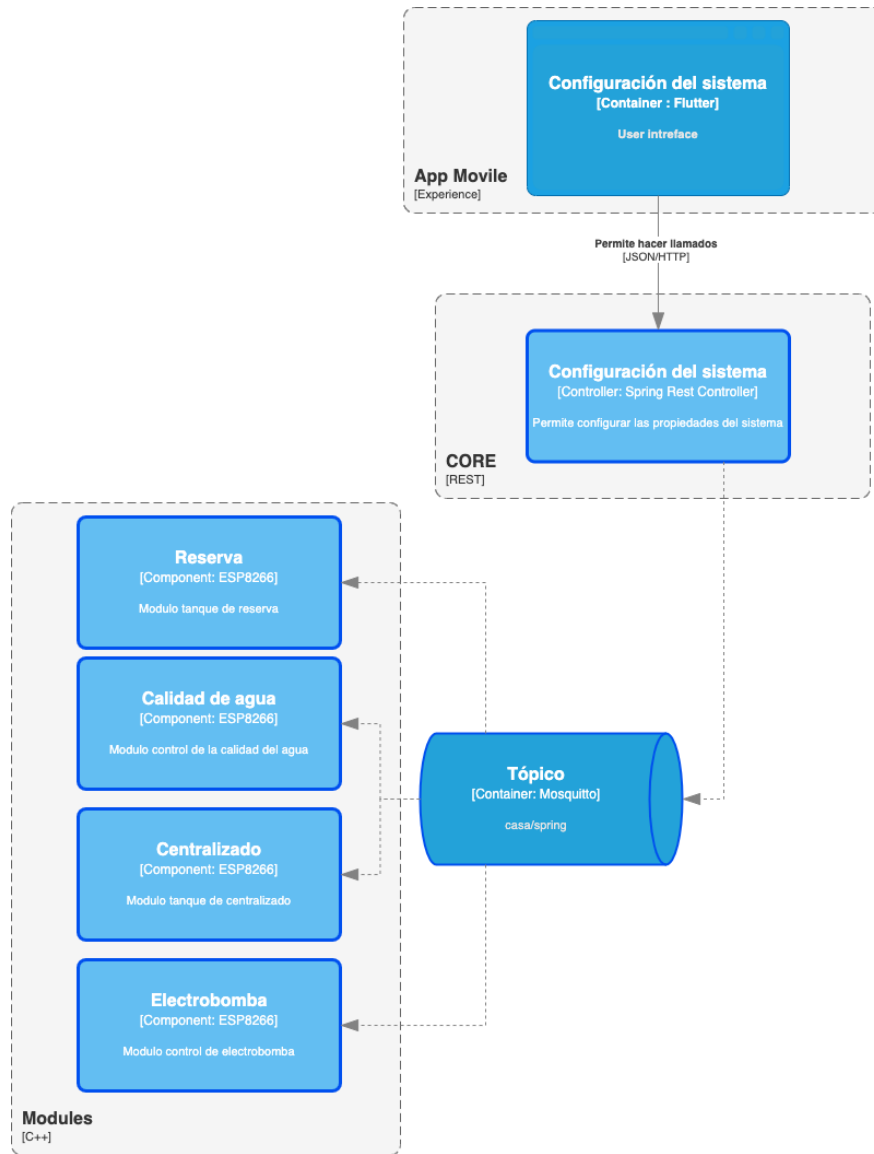


Figura 4.18: Tópico configurar el sistema

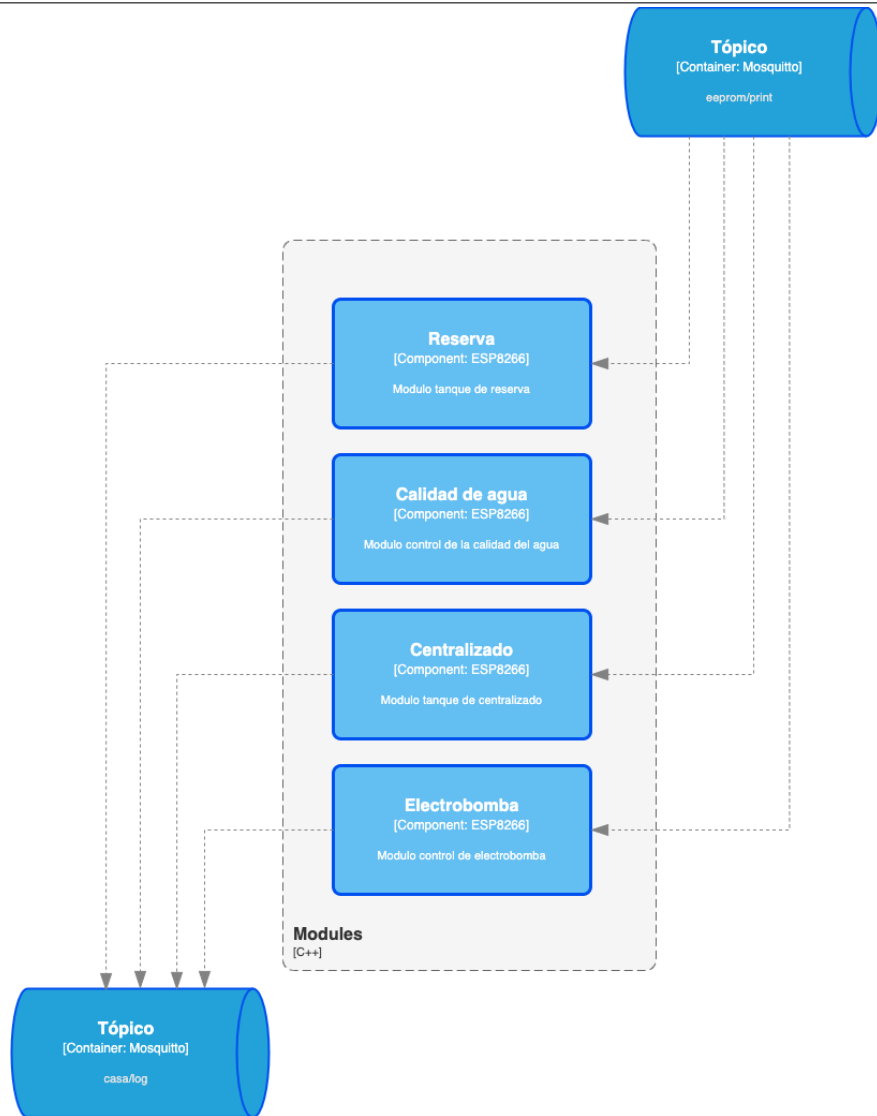


Figura 4.19: Tópicos imprimir los valores en la eeprom de los Módulos

El diagrama de la Figura 4.20, muestra el tópico diseñado para consultar el estado de funcionamiento de los módulos ESP8266 y sus sensores este tópico y sus componentes no fue desarrollado para este MVP.

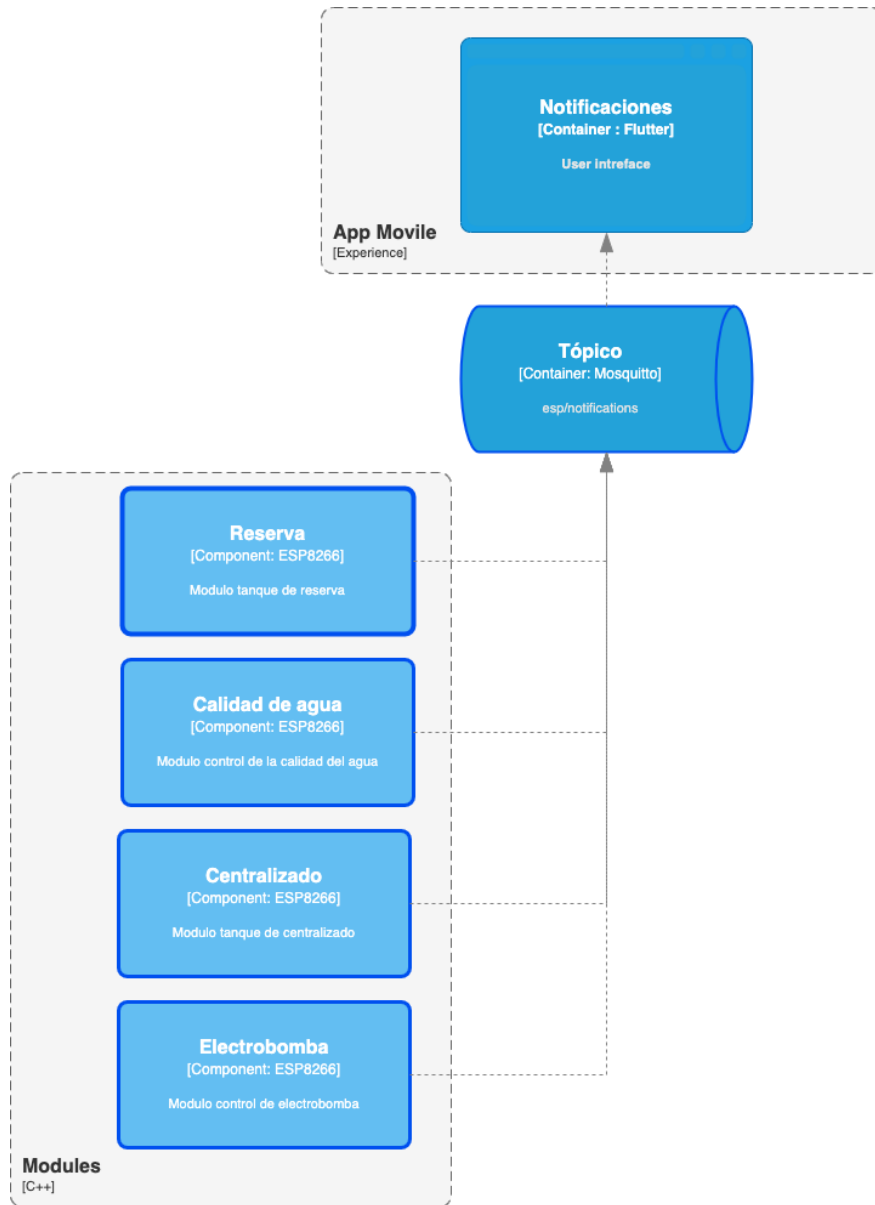


Figura 4.20: Tópico Consultar el estado de los sensores

El diagrama de la Figura 4.21, muestra el tópico desarrollado para realizar un reinicio del sistema en caso que sea requerido, los bordes de azul oscuro representan los componentes desarrollados para esta tesis.

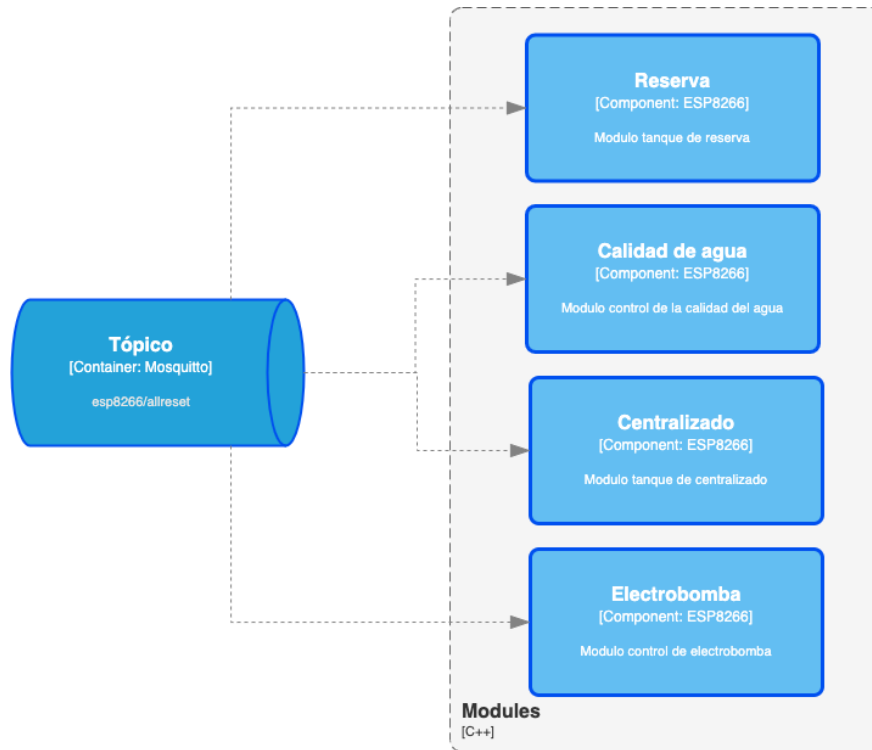


Figura 4.21: Tópico Reiniciar los módulos

4.6. Base de datos

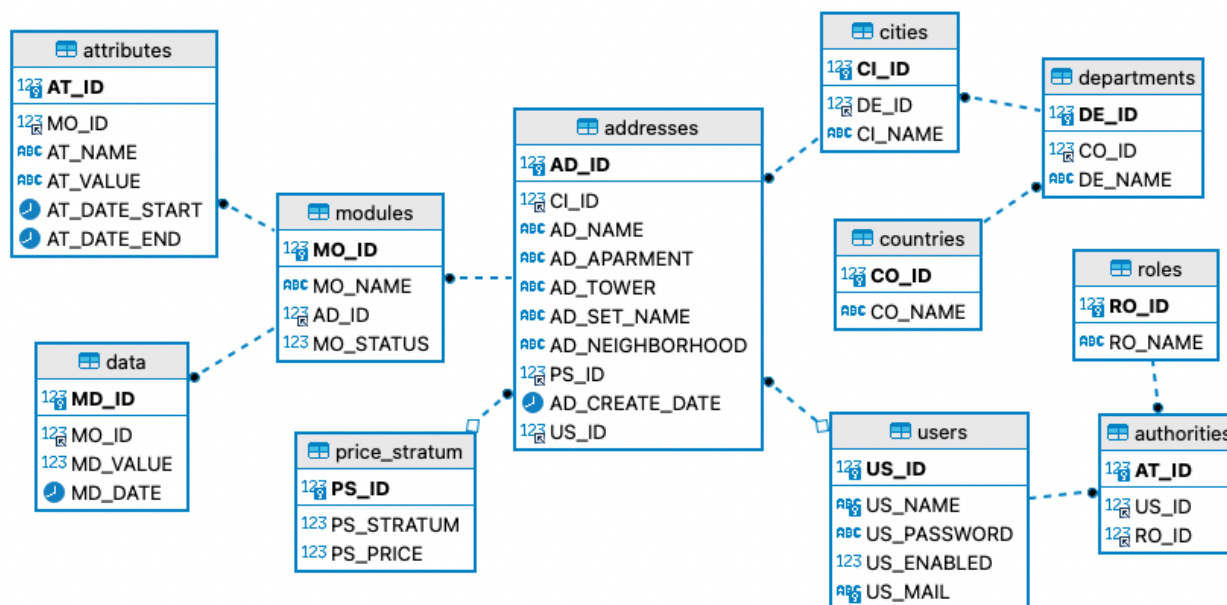


Figura 4.22: Diagrama de clases

El diagrama de la Figura 4.22, pretende explicar las tablas sus atributos y relaciones entre ellas, y la forma en que conforman la base de datos del sistema.

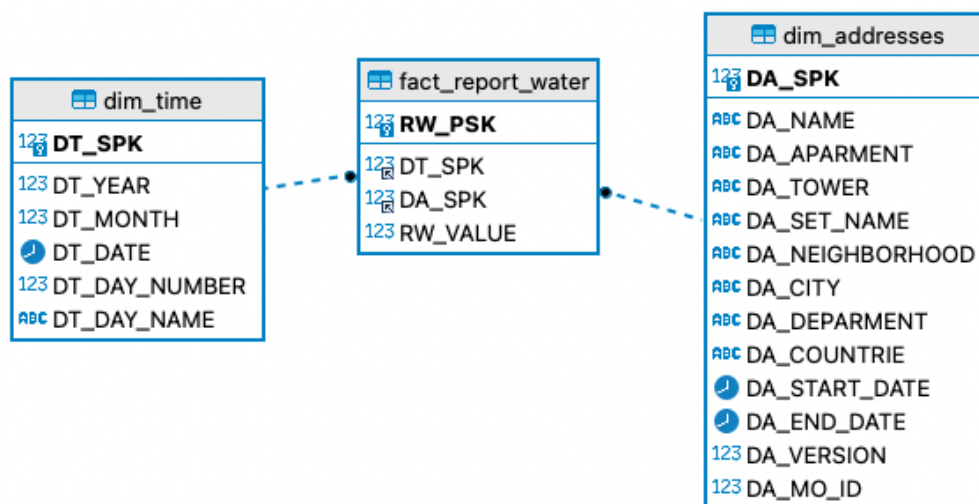


Figura 4.23: Modelado de datos dimensionales

El diagrama de la Figura 4.22, muestra el diseño dimensional implementado en la base de datos con el fin de generar los reportes de ahorro de agua relacionando un intervalo de tiempo y la dirección a la que se desea realizar la consulta.

4.7. Casos de pruebas

Para diseñar los casos de pruebas que se muestran en esta sección se toma como referencia los requisitos del software descritos en la Sección 3.4 .

4.7.1. Épica módulo gestión

RFU-GEST-02:

Escenario 1: Utilizando la interfaz mostrada en la Figura 5.18, realizar un registro de un usuario y validar que se guardo en la tabla users mostrada en la Figura 4.22.

Utilizando la interfaz mostrada en la Figura 5.19, se debe iniciar sesión con el usuario creado previamente.

4.7.2. Épica módulo configuración

RFU-CONF-01:

Escenario 1: Utilizando el interruptor de calibración para la medida de turbidez se debe evidenciar mediante el puerto serial el cambio del valor de turbidez almacenado en la memoria EEPROM del módulo de calida de agua mostrado en la Figura 4.4.

Escenario 2: Utilizando el microservicio configuración del sistema mostrado en la Figura 4.15, se debe evidenciar el cambio, por un lado, en los valores en la memoria EEPROM del módulo de reserva y centralización, por otro lado, el cambio de los valores en la tabla attributes mostrada en la Figura 4.22.

4.7.3. Épica módulo reportes

RFU-REPO-02:

Escenario 1: Utilizando la interfaz de reporte para el nivel de agua en tiempo real de los tanques de centralizado mostrada en la Figura 5.21 se debe evidenciar que el comportamiento de la gráfica de reportes es congruente con el estado real del recipiente de vidrio, mostrando un ciclo de llenado y vaciado de cada recipiente de vidrio que representan al tanque de centralizado y de reserva.

RFU-REPO-03:

Escenario 1 : Utilizando la interfaz de reporte mostrada en la Figura 5.22, se deben consultar reportes de diferentes años y evidenciar sus valores.

4.7.4. Requisitos no funcionales

RNF-SIS-03:

Escenario 1: Utilizando la herramienta JMeter, se realizará una medición del tiempo de respuesta del microservicio encargado de generar el informe de ahorro de agua. El objetivo es asegurarse

de que el tiempo de respuesta no supere los 3 segundos.

4.8. Consideraciones

A continuación, se presentan las consideraciones tomadas en cuenta:

1. Eficiencia de recursos: Debido a los recursos limitados disponibles, se ha tenido en cuenta la optimización del uso de memoria y capacidad de procesamiento.
2. Seguridad: Se ha puesto énfasis en implementar medidas de seguridad adecuadas, como autenticación de usuarios y control de acceso, para proteger la integridad y confidencialidad de los datos.
3. Escalabilidad y flexibilidad: La arquitectura se ha diseñado para ser escalable y flexible, permitiendo agregar o quitar capas y adaptarse a las necesidades cambiantes del sistema.
4. Rendimiento: Se ha considerado la distribución equitativa de la carga computacional y se han implementado protocolos de comunicación eficientes para garantizar un rendimiento óptimo del sistema.
5. Reutilización y modularidad: Se ha promovido la reutilización de componentes y se ha estructurado el sistema en módulos independientes para facilitar la mantenibilidad y el cambio dinámico de enlaces entre usuarios y el sistema.

Estas consideraciones han sido fundamentales para el diseño de una arquitectura sólida y adaptable que cumpla con los requisitos funcionales y los atributos de calidad del sistema.

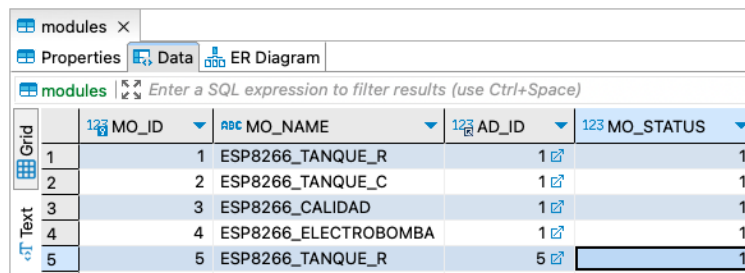
La decisión de implementar una arquitectura on-premises brinda al usuario la capacidad de proteger la información proporcionada por el sistema mediante el uso de usuarios y contraseñas. Además, le permitirá compartir esta información en futuros desarrollos si así lo desea. Por otro lado, en caso de una interrupción del sistema, no afectará a toda la red, lo que proporciona una mayor disponibilidad. Al no depender de un proveedor de servicios de Internet, esta solución puede instalarse en hogares que no cuenten con dicho servicio.

Los módulos ESP8266 son una opción económica y fácil de instalar, lo que reduce los costos y garantiza la portabilidad del sistema en caso de ser necesario.

Capítulo 5

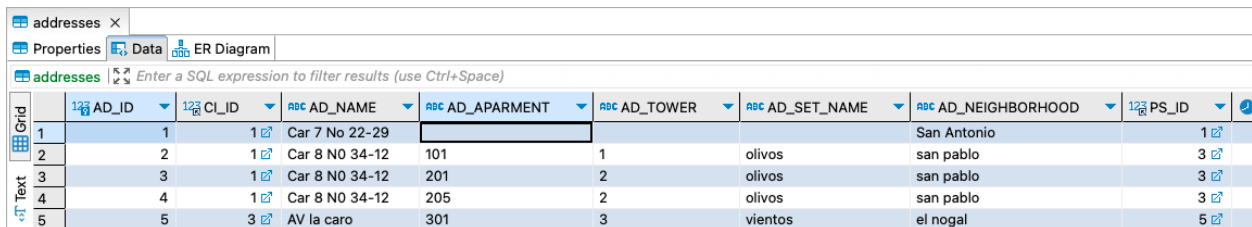
Resultados

Para realizar las pruebas del sistema se toma en consideración la inicialización de algunas tablas de la base de datos mostrada en la Figura 4.22, Entre las cuales se tienen las siguientes tablas:



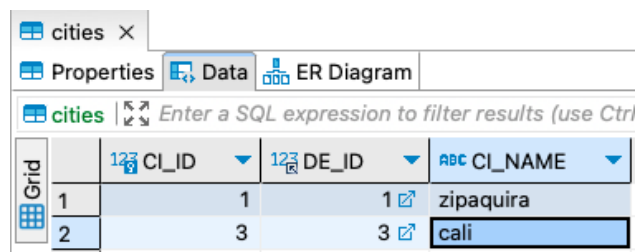
	123 MO_ID	ABC MO_NAME	123 AD_ID	123 MO_STATUS
1	1	ESP8266_TANQUE_R	1	1
2	2	ESP8266_TANQUE_C	1	1
3	3	ESP8266_CALIDAD	1	1
4	4	ESP8266_ELECTROBOMBA	1	1
5	5	ESP8266_TANQUE_R	5	1

Figura 5.1: Tabla modules con datos iniciales



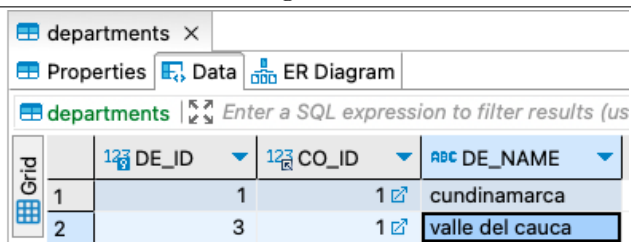
	123 AD_ID	123 CL_ID	ABC AD_NAME	ABC AD_APARTMENT	ABC AD_TOWER	ABC AD_SET_NAME	ABC AD_NEIGHBORHOOD	123 PS_ID
1	1	1	Car 7 No 22-29				San Antonio	1
2	2	1	Car 8 NO 34-12	101	1	olivos	san pablo	3
3	3	1	Car 8 NO 34-12	201	2	olivos	san pablo	3
4	4	1	Car 8 NO 34-12	205	2	olivos	san pablo	3
5	5	3	AV la caro	301	3	vientos	el nogal	5

Figura 5.2: Tabla addresses con datos iniciales



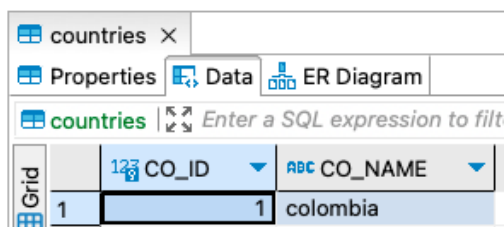
	123 CI_ID	123 DE_ID	ABC CI_NAME
1	1	1	zipaquira
2	3	3	cali

Figura 5.3: Tabla cities con datos iniciales



Grid	123 DE_ID	123 CO_ID	ABC DE_NAME
1	1	1	cundinamarca
2	3	1	valle del cauca

Figura 5.4: Tabla deparments con datos iniciales



Grid	123 CO_ID	ABC CO_NAME
1	1	colombia

Figura 5.5: Tabla contries con datos iniciales

En la Figura 5.1, se muestran los módulos registrados para la dirección con AD_ID = 1, en la Figura 5.2, podemos ver que el AD_ID=1, pertenecen a la dirección Car 7 No 22-29 identificada con el CL_ID = 1, por su parte en la Figura 5.3, se observa que el CL_ID=1, pertenece a la ciudad con nombre Zipaquirá y está su vez esta identificada con el DE_ID=1 el cual si vemos en la Figura 5.4, pertenece al departamento de Cundinamarca que a su vez tiene el CO_ID = 1 el cual en la Figura 5.5 hace referencia a Colombia.

Por lo anterior, las pruebas realizadas se harán con la configuración de esta dirección a la que pertenece este sistema de pruebas.

5.1. Hardware

La Figura 5.6, muestra el prototipo desarrollado, cuenta con tres recipientes de vidrio los cuales representan el tanque de reserva que se encuentra a un nivel más alto que los otros dos, por otra parte, los dos recipientes representan el tanque de centralizado y las aguas negras.

En la construcción del prototipo se identificó que el mecanismo usado para separar el agua a partir de su valor de turbidez cuenta con un grado de complejidad para realizar su construcción ya que este fue adaptado tomando como referencia las dimensiones del sensor de turbidez implementado, para agregar otro sensor el diseño puede ser más complejo.

Como fuente de alimentación del sistema se implementó una fuente de computadora de escritorio, conectada al sistema mediante dos borneras.

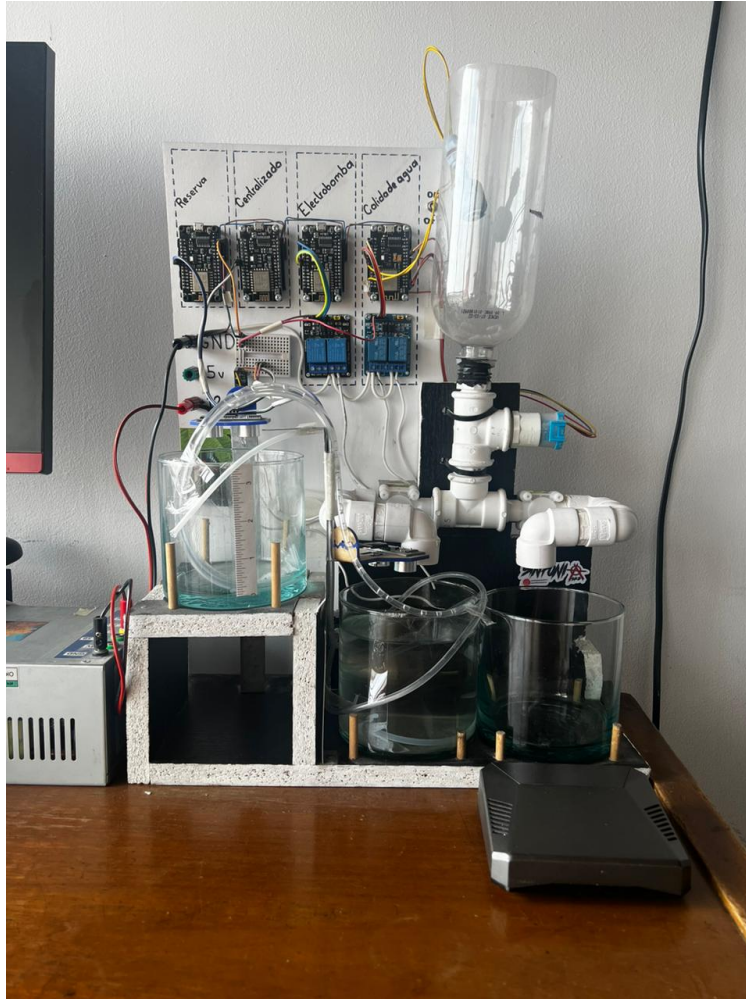


Figura 5.6: Prototipo del Hardware

La electrobomba del sistema se ancló a la estructura de madera como se muestra en la Figura 5.7, esto provoca que el agua almacenada en los recipientes de vidrio generará ondas en la superficie del agua a causa de las vibraciones producidas por su funcionamiento, ocasionando ruido en la medida de los sensores de distancia ubicado en la parte superior de los recipientes, lo cual agrega errores en la toma de la medida de nivel de agua.



Figura 5.7: Prototipo del Hardware electrobomba

5.1.1. Muestreo sensores de nivel HC-SR04

Las siguientes pruebas se realizan con el sistema en reposo, en otras palabras, la electrobomba no está en funcionamiento, por lo tanto, la superficie de agua no presenta ondas.

En la Figura 5.8, se muestra la gráfica obtenida a partir del muestreo utilizando el sensor de distancia HC-SR04 ubicado en la parte superior del recipiente de vidrio que representa el tanque de centralizado, como podemos observar este sensor presenta una media estable de 10cm la cual representa que el tanque está vacío, indicando que el nivel del agua es bajo.

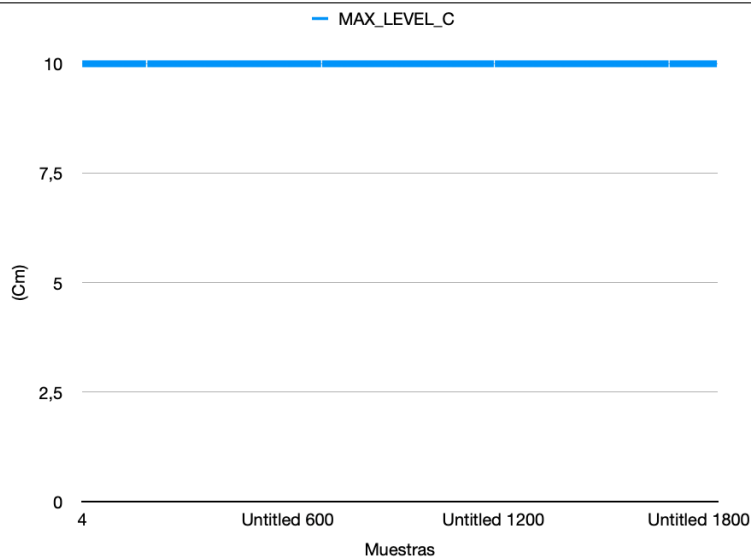


Figura 5.8: Medida de nivel de agua bajo del tanque de centralizado con el sensor HC-SR04

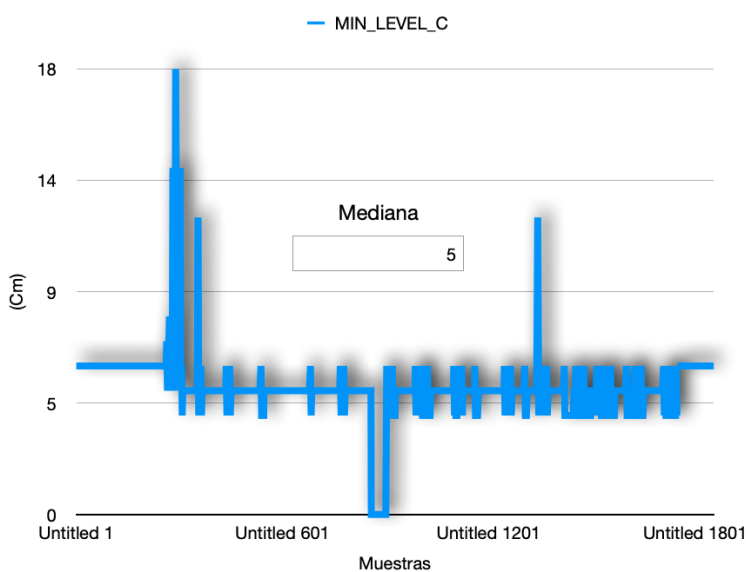


Figura 5.9: Medida de nivel de agua alto del tanque de centralizado con el sensor HC-SR04

En la Figura 5.9, se muestra la gráfica obtenida utilizando el sensor de distancia HC-SR04 ubicado en la parte superior del recipiente de vidrio que representa el tanque de centralizado, se observa que este sensor presenta una toma de medida irregular en medidas de distancias pequeñas, este error puede ser causado por el mismo sensor ya que esta prueba se realiza con el sistema en reposo y el nivel de agua máxima en el recipiente de vidrio la cual representa que el tanque de centralizado está lleno.

El valor medio de la gráfica es 5 cm, este valor representa el nivel máximo de agua en el tanque de reserva y será almacenada en la memoria EEPROM del módulo de la electrobomba para tomar como referencia y activa o detener el llenado al tanque.

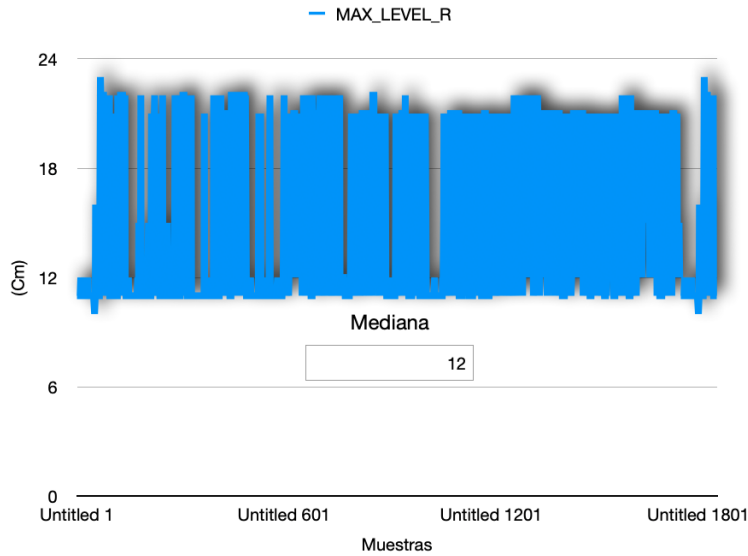


Figura 5.10: Medida de nivel máximo del tanque de reserva con el sensor HC-SR04

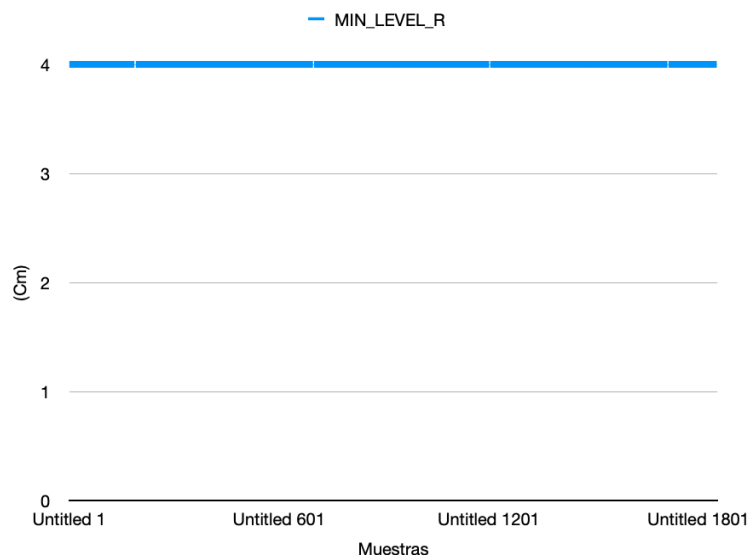


Figura 5.11: Medida de nivel mínimo del tanque de reserva con el sensor HC-SR04

Se realizó un muestreo de toma de medidas utilizando el sensor de distancia HC-SR04 que representa el tanque de reserva, con el fin de determinar cuáles son los valores de nivel máximo y mínimo para tomarlos como referencias en el ciclo de operación del sistema en la Figura 5.11, se observa que la toma de esta medida por parte del sensor es estable con un valor de 4 cm, esta medida indicara al sistema que el tanque de reserva esta lleno o en nivel alto, por otra parte en la Figura 5.10, se observa que este sensor presenta un error significativo en la medida que representa el nivel de agua bajo, en otras palabras, el tanque de reserva se encuentra vacío, el valor medio de esta gráfica es 12 cm el cual se toma como referencia para indicar que el tanque no contiene agua.

En la Figura 5.13, se muestra la gráfica obtenida utilizando el sensor de distancia HC-SR04, la cual describe el ciclo de llenado y vaciado del tanque de reserva, por un lado, la línea azul repre-

senta la toma de muestras del nivel de agua durante el ciclo de llenado y vaciado del recipiente de vidrio, la dispersión de los datos y su error es causado por el error que generado por el sensor en la toma de medidas mostrado en la Figura 5.10, por otra parte, la línea morada representa la toma de datos suavizada para que la visualización en tiempo real en el aplicativo móvil no presente saltos brusco a la hora de mostrar el nivel de agua del ciclo de llenado y vaciado mostrado en la Figura 5.21.

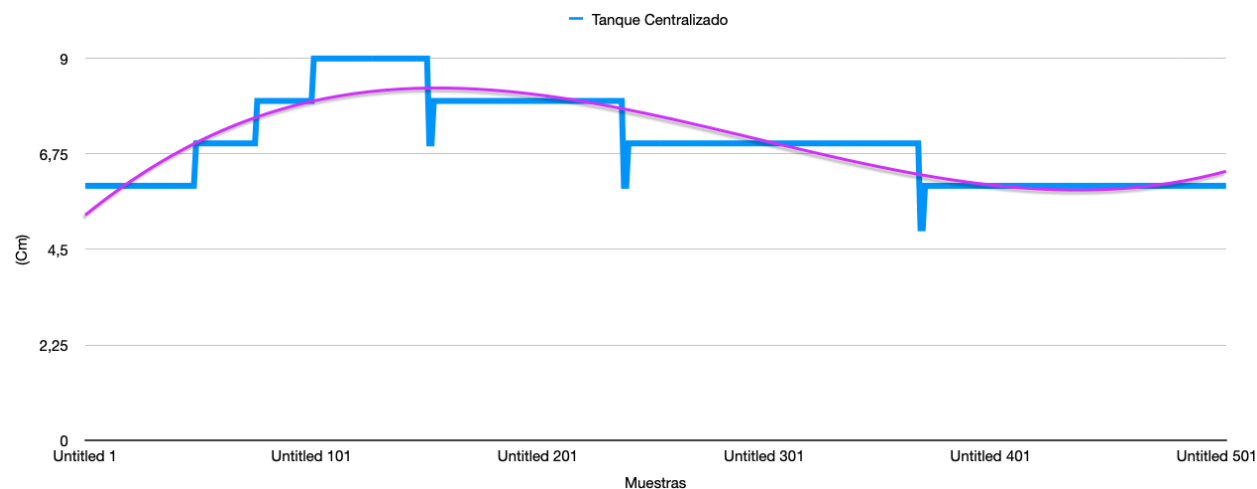


Figura 5.12: Medida del ciclo de llenado del recipiente del tanque de centralizado con el sensor HC-SR04

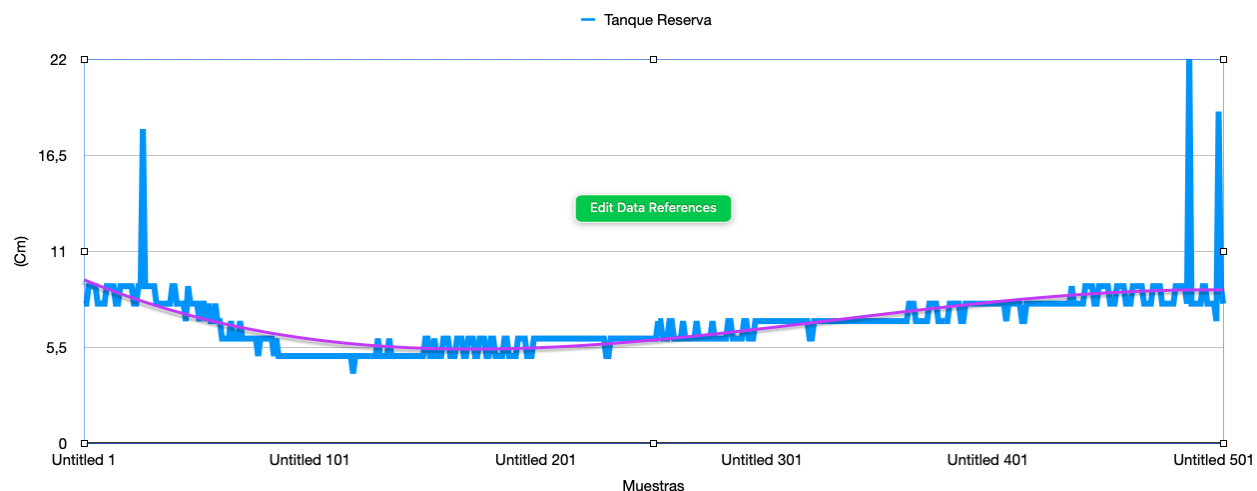


Figura 5.13: Medida del ciclo de llenado del recipiente del tanque de reserva con el sensor HC-SR04

En la Figura 5.12, se muestra la gráfica obtenida utilizando el sensor de distancia HC-SR04 que representa el ciclo de llenado y vaciado del tanque de centralizado, por una lado, la línea azul representa los valores obtenido a partir del sensor transmitidos por el broker hacia el tópicos del nivel del tanque, en ella podemos observar que el ciclo es irregular esto se debe al error mostrado en el sensor en la Figura 5.9, se debe considerar que el sistema estaba en funcionamiento durante la toma de estas medidas lo cual causa que la vibración en la electrobomba que se encuentra anclada a la estructura de madera genere ondas en la superficie del agua agregando errores adicionales en

la toma de valores por parte del sensor, por lo anterior, la gráfica que muestra en tiempo real el ciclo de llenado y vaciado mostrado en la Figura 5.21, el cual se visualiza con saltos bruscos en el nivel de agua representada., por otro lado, la línea morada representa los valores suavizados para que la representación en tiempo real del ciclo de llenado de agua en el tanque se visualice de forma suave sin presentar saltos de nivel bruscos.

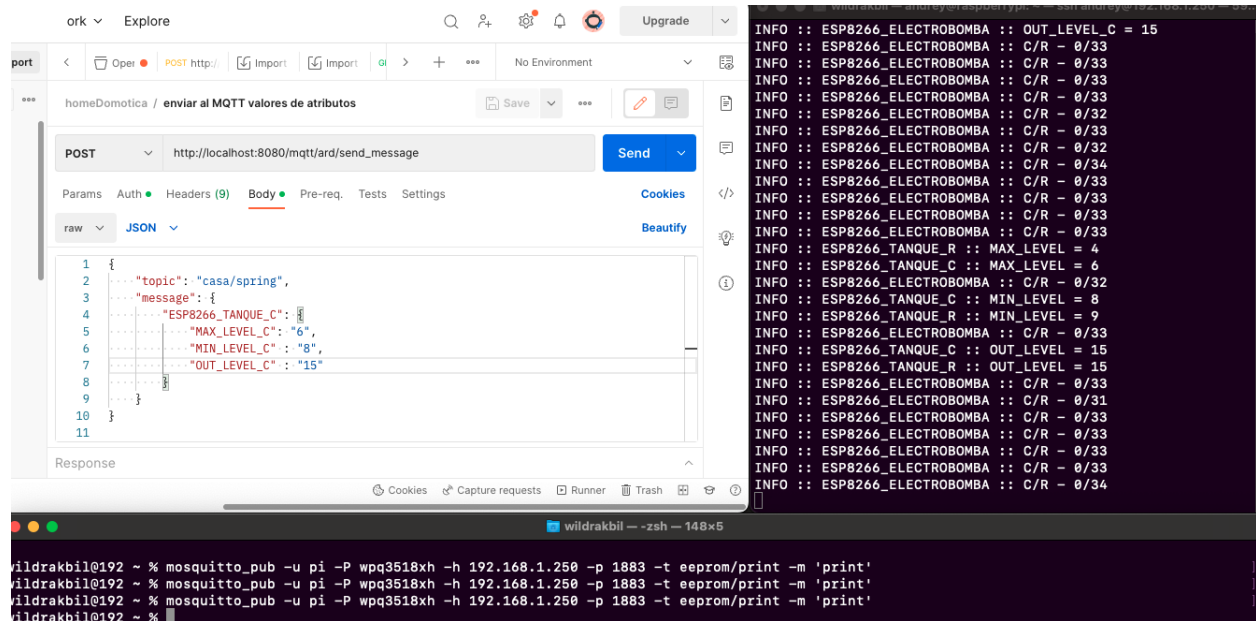


Figura 5.14: Log valores EEPROM módulos de tanques actualizado

En la Figura 5.14, podemos ver en la parte superior izquierda el aplicativo Postman en el cual esta configurada la petición POST la cual contiene los valores que deseamos cambiar en la memoria EEPROM de los módulos de centralizado y reserva, en la parte inferior vemos una terminal la cual realiza la publicación al tópico `eeprom/print` la instrucción de imprimir en el tópico `casa/log` el cual se encuentra en la parte superior derecha de la figura en el podemos observar que se imprimen los valores `MAX_LEVEL`, `MIN_LEVEL` y `OUT_LEVEL` del módulo centralizado con el de reserva y esto son iguales a los que enviamos en la petición del postman.

En la Figura 5.15, en primer lugar se puede observar que el valor de la variable `v_clear` inicia en 2.82 y cambia a 2.83 después de ser calibrada y en segundo lugar podemos ver que el agua de muestra que se ajusto es clasificada como agua reutilizable.

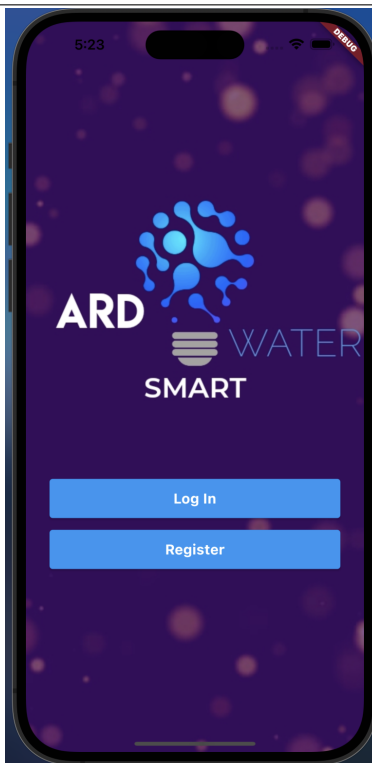


Figura 5.16: Dashboard

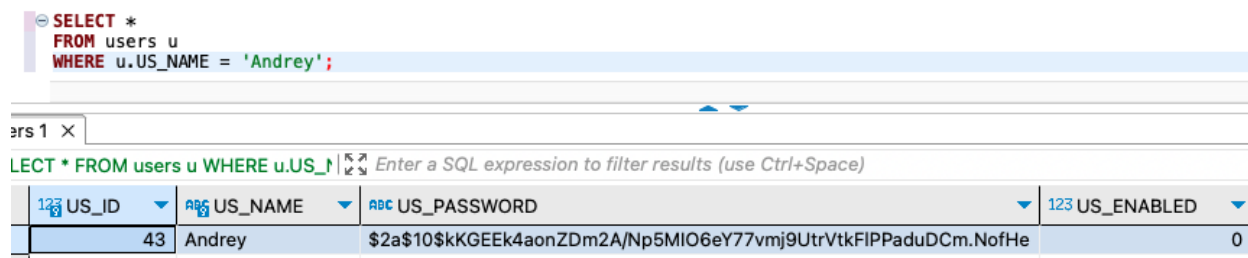
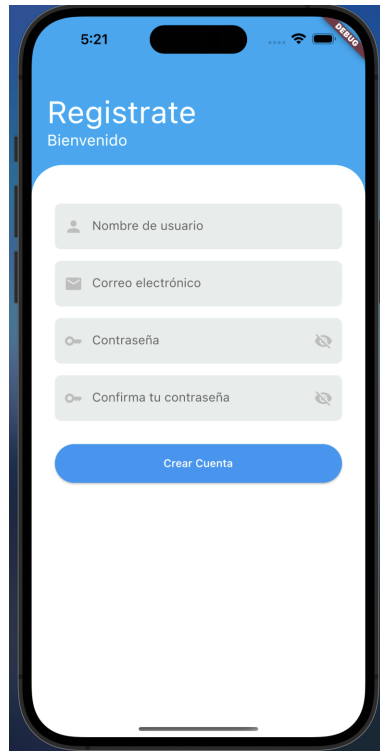


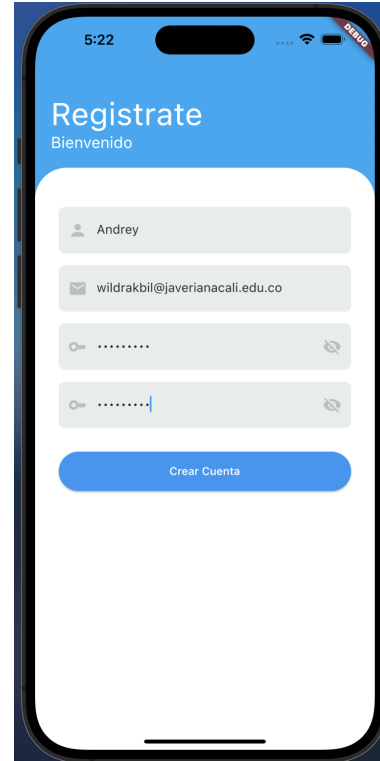
Figura 5.17: Consulta tabla users

La Figura 5.17, muestra el valor almacenado al realizar el registro del usuario mostrado en la Figura 5.18, por lo anterior se evidencia la prueba mencionada en la Sección 4.7 Subsección 4.7.2, escenario 1.

La Figura 5.18, cuenta con dos secciones en su parte (a), se muestra la UI desarrollada para la recepción de datos para los usuarios nuevo, por otra parte se agregaron iconos representativos a cada campo con el objetivo de mejorar la UX del usuario, en su parte (b), se muestra la pantalla con los datos diligenciados y listos para crear un nuevo usuario.



(a) Registor labels



(b) Registor

Figura 5.18: Registro nuevos usuarios

La Figura 5.19, cuenta con dos secciones en su parte (a), se muestra la UI desarrollada para la recepción de los datos para realizar el ingreso al aplicativo en la parte superior de la ventana se desarrollo un componente en forma de burbuja que contiene una animación en forma efervescente causando la impresión que la burbujas se mueven de abajo hacia arriba, este efecto se agrego con el fin de mejorara la UX del usuario, por otra parten, en su lado (b), se muestra el error generado por credenciales incorrectas al momento de iniciar sesión.

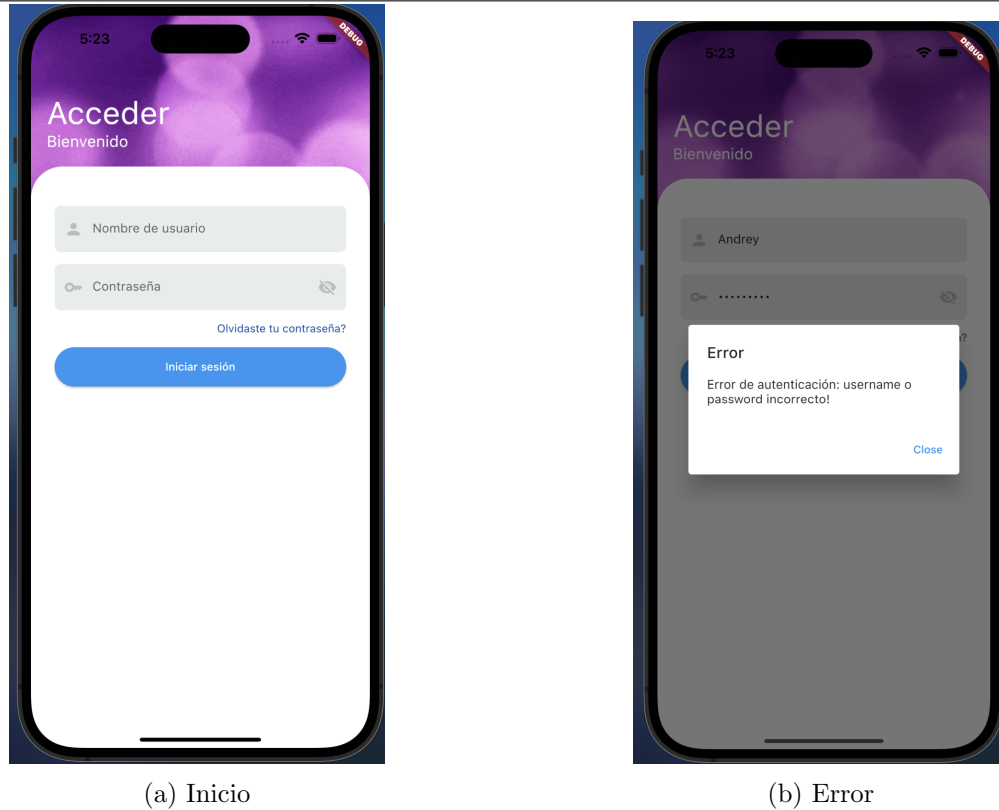


Figura 5.19: Inicio de sesión

La Figura 5.20, muestra la distribución desarrollada para el home de la aplicación en la parte de abajo se presentan dos opciones seleccionables, la primera hace referencia al módulo de reporte en donde se muestran las opciones como:

1. **Periféricos:** muestra el estado de los periféricos.
2. **Nivel:** muestra el nivel de agua en tiempo real de los tanques de reserva y centralizado.
3. **Reuso:** muestra un reporte de la cantidad de agua reusada en períodos anuales.
4. **Ahorro:** está opción muestra el ahorro en dinero que representa para el cliente el uso prolongado del sistema.

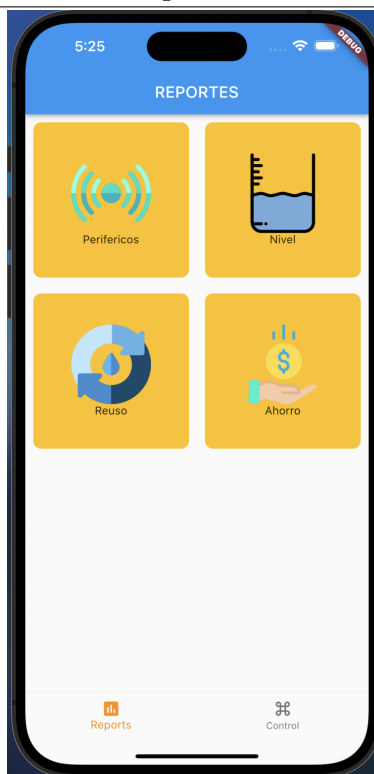


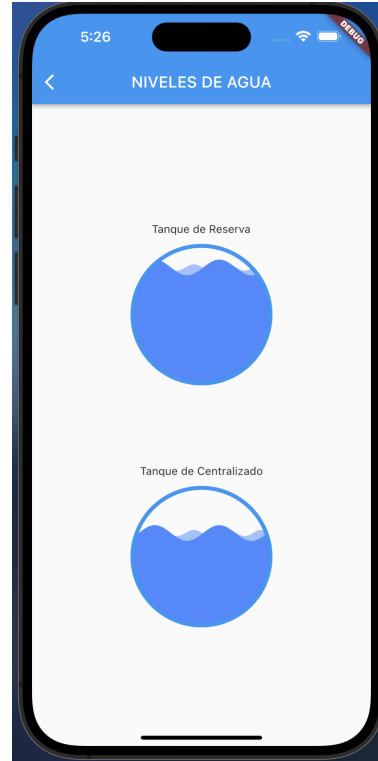
Figura 5.20: Home de la aplicación móvil

La Figura 5.21, cuenta con dos secciones en su parte (a), se muestran la gráficas en forma de circunferencia que representan el nivel en tiempo real del agua en cada tanque del sistema en ella podemos observar que el nivel en el tanque de reserva se encuentra vacío y el nivel del tanque de centralizado se encuentra alto pero no completamente lleno, por otra parte, la gráfica (b), muestra los dos tanques con un nivel de agua alto, este componente implementado cuenta con una animación en el nivel de agua que asemeja las olas del mar, esta animación se incluye para mejora la UX del usuario.

Estas imágenes fueron tomadas realizando la pruebas que corresponden a la Sección 4.7 Subsección 4.7.3, escenario 1, por otra parte la gráfica que representa el ciclo de llenado de cada tanque centralizado y reserva se encuentran representadas en las Figuras 5.12 y 5.13.



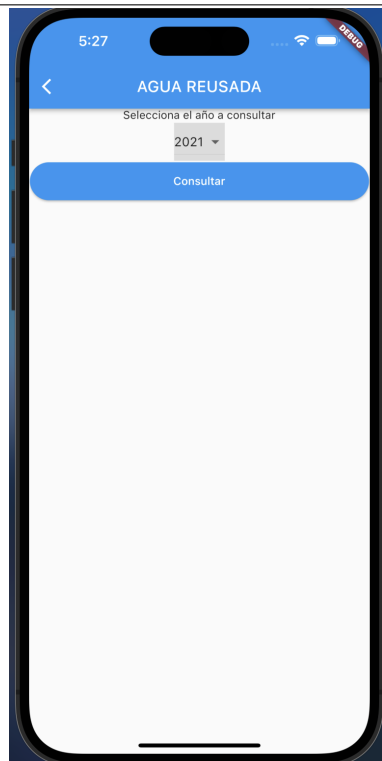
(a) Nivel de agua tanque de reserva vacío



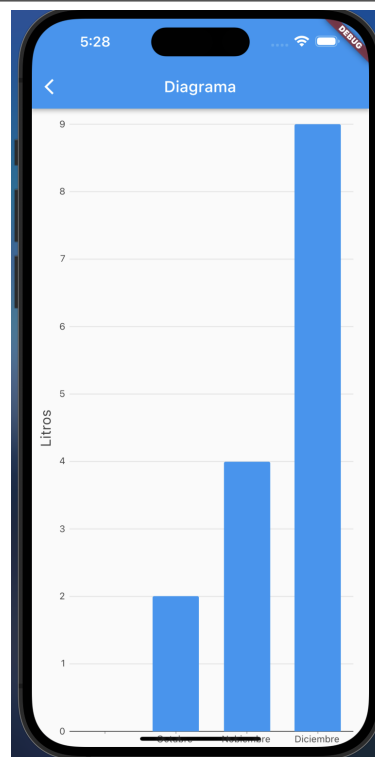
(b) Nivel de agua tanque de reserva llenando

Figura 5.21: Reporte nivel de agua en los tanque de centralizado y reserva

La Figura 5.22, cuenta con dos secciones en su parte (a), cuenta con un selector desplegable del año al que se desea consultar la cantidad de litros ahorrados por mes y un botón para realizar la petición, por otra parte, el lado (b), muestra los datos arrojados al realizar la consulta para el año 2021 seleccionado en el lado (a) de la gráfica.



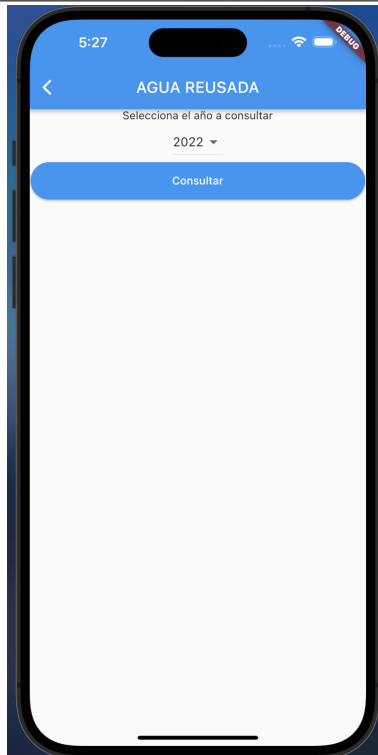
(a) Reuso de agua



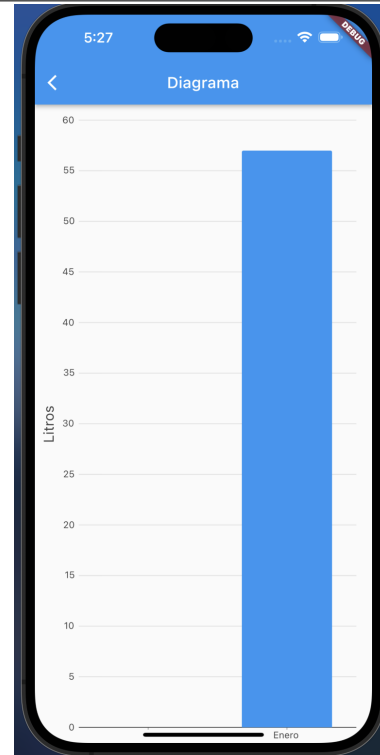
(b) Reporte

Figura 5.22: Reporte 2021 reuso de agua

La Figura 5.23, cuenta con dos secciones en su parte (a), cuenta con un selector desplegable del año al que se desea consultar la cantidad de litros ahorrados por mes y un botón para realizar la petición, por otra parte, el lado (b), muestra los datos arrojados al realizar la consulta para el año 2022 seleccionado en el lado (a) de la gráfica.



(a) Reuso de agua



(b) Reporte

Figura 5.23: Reporte 2022 reuso de agua

La Figura 5.24, cuenta con dos secciones en su parte (a), cuenta con un selector desplegable del año al que se desea consultar la cantidad de litros ahorrados por mes y un botón para realizar la petición, por otra parte, el lado (b), muestra el error arrojado cuando no se cuenta con información para el año seleccionado en este caso para el año 2023.

Las Figuras 5.22, 5.23 y 5.24, fueron tomadas realizando la pruebas que corresponden a la Sección 4.7 Subsección 4.7.3, escenario 2, se utilizaron tres diferentes consultas para el año 2021, 2022 y 2023.

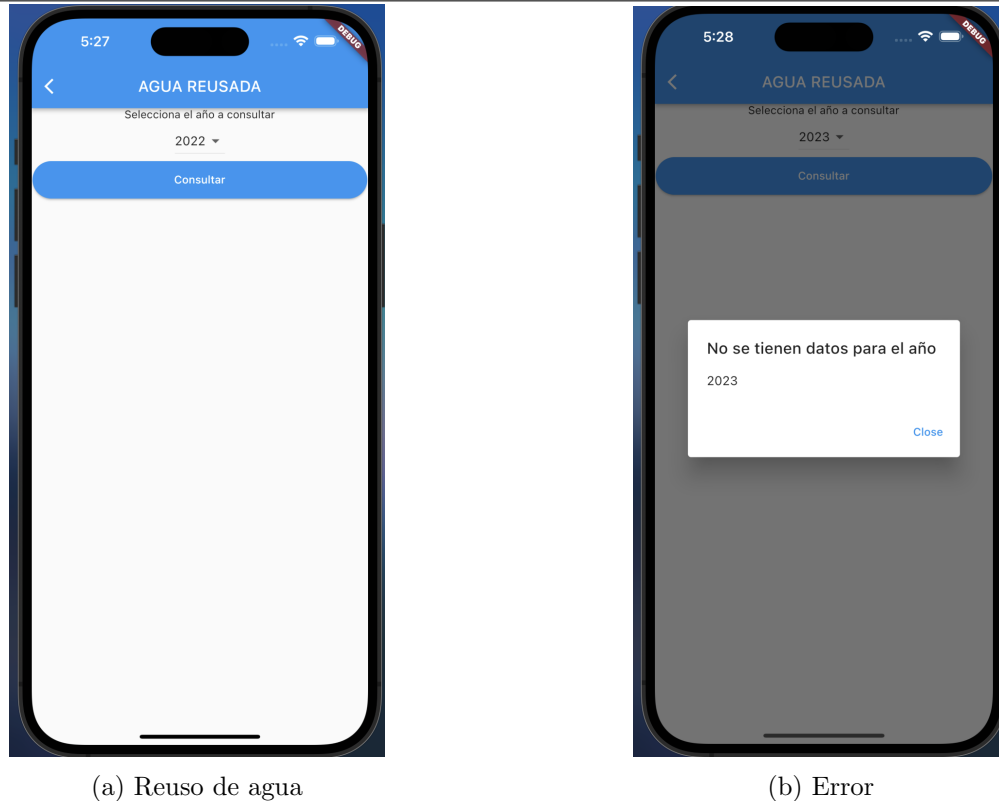


Figura 5.24: Error consulta reporte de reuso

5.3. Requisitos no funcionales

5.3.1. Rendimiento

En la Figura 5.25, se muestra la configuración de la petición al servicio encargado de generar los reportes de ahorro de agua (Water Report), por otro lado en la Figura 5.26 resaltado en verde se encuentra el resultado de tiempo promedio utilizado en milisegundos en responder 100 peticiones generadas para este tes de pruebas las cuales podemos validar en la segunda columna llamada (# samples) la cual indica 100.

En promedio, la solicitud del informe de ahorro de agua (Water Report) tiene un tiempo de respuesta de 731 milisegundos, lo que equivale a 0.73 segundos. Este tiempo de respuesta se encuentra por debajo del límite establecido de 3 segundos, tal como lo indica el requisito **RNF-SIS-03**

Además, en cuanto a la solicitud de inicio de sesión (login) que genera el token de acceso para consultar el Water Report, el tiempo promedio de respuesta es de 1832 milisegundos, es decir, 1.83 segundos. Esto cumple con el requisito de tiempo establecido de menos de 3 segundos. Además, el servicio presenta un tiempo máximo de respuesta de 2286 milisegundos, lo que equivale a 2.29 segundos, por debajo del tiempo máximo permitido y demostrando un buen rendimiento dentro de los límites establecidos para el sistema.

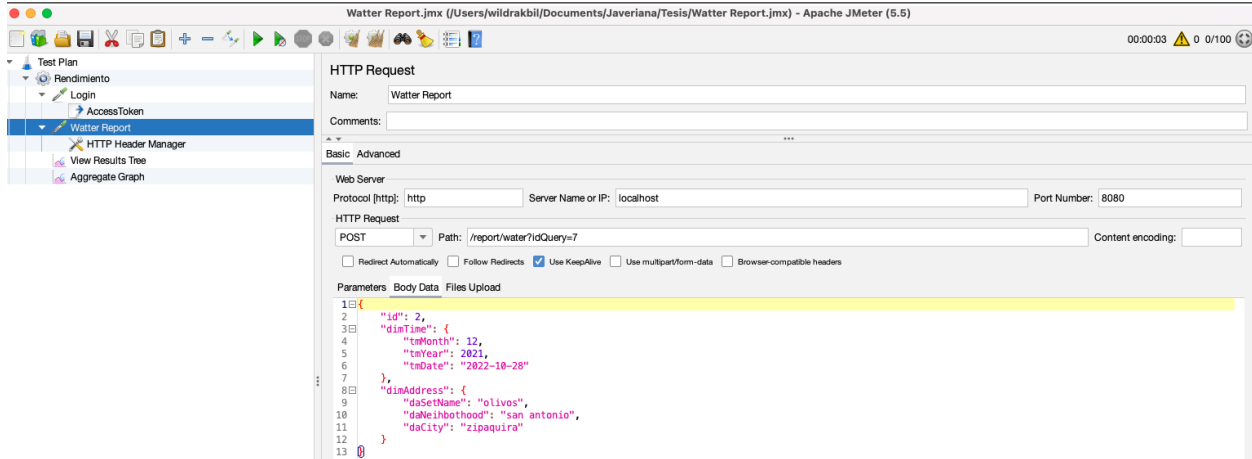


Figura 5.25: Configuración servicio generador del reporte de agua JMeter

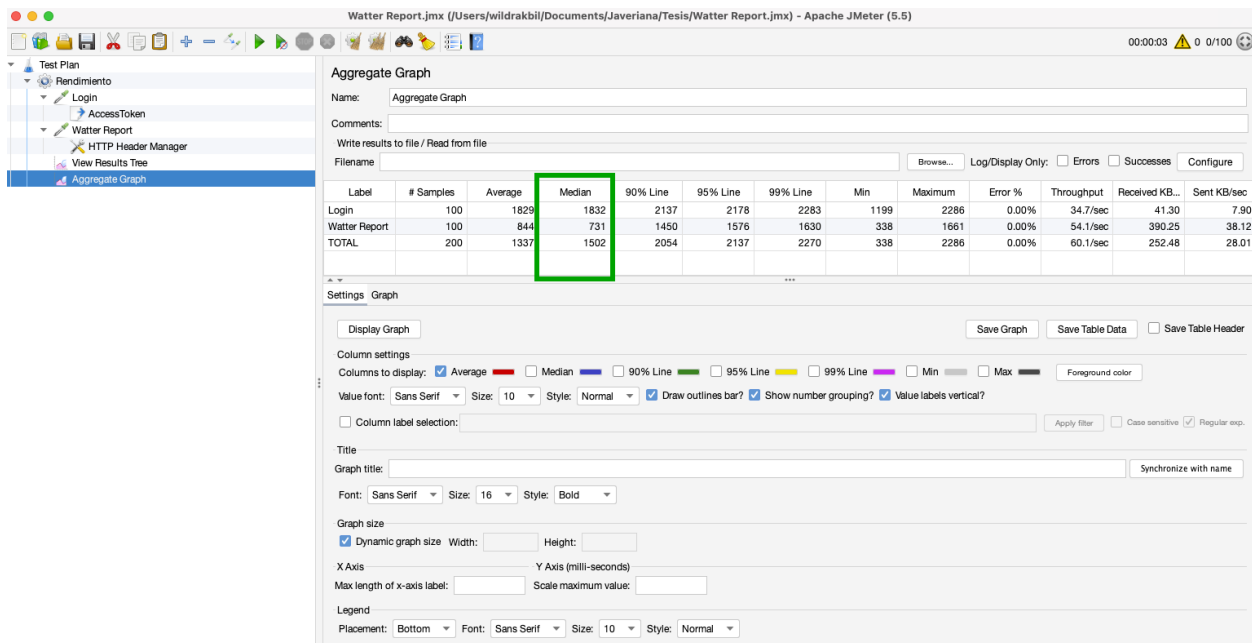


Figura 5.26: Prueba de rendimiento en JMeter

Capítulo 6

Conclusiones

Se diseñó e implementó un prototipo HW-SW que permite la gestión del agua residual mediante una aplicación móvil la cual otorga al usuario indicadores del estado de la planta y muestra el beneficio de utilizar el sistema indicando la cantidad de litros de agua reusada.

La implementación de una arquitectura orientada a eventos permite la intercomunicación entre diferentes periféricos otorgando la capacidad para controlar y gestionar el sistema en tiempo real, como es el caso de la electrobomba la cual se activa o desactiva teniendo en cuenta el nivel de agua en los tanques de centralizado y reserva, a parte, agregar más sensores al sistema para garantizar la calidad de agua almacenada podría plantear un reto en la realización del diseño de este componente.

El aplicativo móvil y el microservicio desarrollado permiten al usuario gestionar y administrar el agua residual, otorgando reportes e indicadores que permiten conocer el estado del sistema y la cantidad de agua reusada mediante sensores, el sensor de turbidez permite medir la calidad del agua almacenada y seleccionarla para ser reutilizada, a parte, contar con sensores que permiten determinar el nivel de agua en los tanques de centralizado y reserva provee la capacidad de controlar el proceso de inyección de agua.

El almacenamiento de los datos del sistema permite la generación de reportes y el control de acceso al sistema una fuente potencial para realizar en trabajos futuros analítica de datos agrupando la información de varios sistemas en comunidades como: barrios, ciudades o departamentos.

6.1. Aprendizajes

Este proyecto cuenta con una construcción de prototipo y desarrollos en diferentes lenguajes de programación y usando diferentes framework tales como:

- Framework
 - SpringBoot
 - Flutter
 - Arduino
- Lenguajes de programación

- java
- css
- c++
- sql
- dart

En un principio se seleccionó el framework React Navite para desarrollar la aplicación móvil, su desarrollo se avanzó durante 20 días de ocho horas diarias y cuando llegó la hora de incluir la librería para usar el MQTT broker (Mosquitto) esta no fue compatible con la versión de React en la que se había implementado la librería del JWT encargada de manejar la seguridad de la aplicación, por tal motivo, se tomó la decisión de realizar una prueba de concepto utilizando el framework Flutter para validar que las dos librerías se pudieran implementar en una misma versión. la prueba tubo éxito y se empezó de cero a construir la aplicación móvil, lo que genero que la hoja de ruta no se llevara acabo según lo planificado.

Cabe resaltar que el desarrollador no contaba con experiencia previa con aplicaciones móviles lo que conlleva a una curva de aprendizaje en el framework de React Navite y en el de Flutter, esto ocasiona que los componentes desarrollados sean básicos.

La tarjeta Raspberry Pi, presentó el inconveniente de borrado de memoria, dos veces, causado por el corte de la energía eléctrica, lo que ocasionó la configuración desde cero del servidor cada vez y la pérdida de la información almacenada en la base de datos.

Los sensores de distancia utilizados para leer el nivel de agua, presentaron medidas errores introduciendo valores errados en el sistema lo cual genera una experiencia para el usuario negativa.

Al integrar un componente en alguna de las capas de software y encontrar problemas con un componente de otra capa, como por ejemplo, el componente de reporte para el ahorro de agua, el cual en un principio se diseño para tener un solo servicios, encargado de tener una única entrada la cual indica el rango de fechas que se desea consular, no fue posible desarrollar la UI capaz de tener el comportamiento que describía el contrato del servicio lo que ocasionó un ajuste tanto en el aplicativo móvil como en el servicio en si.

6.2. Recomendaciones

1. Realizar un diseño más detallado de la UI antes de realizar el diseño de los contratos de los servicios, esto reducirá los ajustes requeridos en integraciones entre estas dos capas.
2. Utilizar sensores tipo flotador para indicar el nivel bajo y alto de agua en los tanque ayudará a un mejor control en la activación de la electrobomba.
3. Realizar pruebas de concepto para validar que las librerías a implementar son compatibles con la misma versión del framework que se usara.
4. Implementar un módulo de auto configuración para los módulos ESP8266 que permitan emparejar los dispositivos a la red wifi.

6.3. Contribuciones

A continuación se detalla las aportaciones más relevantes divididas por capítulos realizadas en este trabajo de Tesis.

En el Capítulo 2, destinada a la categorización del agua residencial, las principales contribuciones han sido la siguientes:

1. Revisión y categorización de fuentes de agua reutilizables a partir de los principales contaminantes y sus potenciales usos.

En el Capítulo 4, destinada al diseño de un sistema capas de gestionar el agua residual en la unidades residenciales para ser reutilizada, las aportaciones son la siguientes:

1. Diseño de una arquitectura multicapas orientada a eventos On-premises
2. Diseño de la base de datos y su modelo dimensional con el fin de generar reportes y almacenar lo datos del sistema.

Bibliografía

- [1] Descubriendo la superplanta: mejorando la reutilización del agua doméstica. In *2018 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*.
- [2] Holistic: Un sistema de iot para el reciclaje de agua residencial basado en tecnologías de código abierto. In *2016 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU)*.
- [3] Un estudio sobre la estimación del valor, la recolección y la utilización de los recursos de agua de lluvia en las ciudades del norte de china: un estudio de caso de la ciudad de xi'an. In *2011 Simposio internacional sobre los recursos hídricos y la protección del medio ambiente*.
- [4] CHAMPAGNE, R., AND GAGNE, S. Towards automation of performance architectural tactics application. In *2011 Ninth Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (2011)*, pp. 157–160.
- [5] GARCÍA-MONTOYA, M., BOCANEGRA-MARTÍNEZ, A., NÁPOLES-RIVERA, F., SERNA-GONZÁLEZ, M., PONCE-ORTEGA, J. M., AND EL-HALWAGI, M. M. Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. *Computers & Chemical Engineering* 76 (2015), 104–116.
- [6] GÓMEZ, H. D. Arquitecturas inteligentes para gestión de sistemas ciberfísicos en ambientes iot.
- [7] HENAO, J. S. S. entrevista.mp4 - Google Drive, 2021.
- [8] JAVIER VIVANCO. <https://www.infoq.com/br/articles/C4-architecture-model/>, 4 de Junio de 2019.
- [9] JISHA, R., VIGNESH, G., AND DEEKSHIT, D. Iot based water level monitoring and implementation on both agriculture and domestic areas. In *2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)* (2019), vol. 1, pp. 1119–1123.
- [10] LLORENC, CHENOWETH, J., CHAPAGAIN, A., ORR, S., ANTON, A., AND CLIFT, ROLAND, M. I. C. Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I - Inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. *International Journal of Life Cycle Assessment* 14, 1 (jan 2009), 28–42.
- [11] MENA, M., CRIADO, J., IRIBARNE, L., AND CORRAL, A. Assembling the web of things and microservices for the management of cyber-physical systems. *JUCS - Journal of Universal Computer Science* 27 (7 2021), 734–754.

- [12] PANARA, A. M. Uncovering the super-plant: Improving domestic water reuse. In *2018 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (2018), pp. 1–7.
- [13] PEDRAZA-GARCIA, G., ASTUDILLO, H., AND CORREAL, D. A methodological approach to apply security tactics in software architecture design. In *2014 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)* (2014), pp. 1–8.
- [14] REDAC_ESPECIALIZADA. ¿Cómo elaborar una entrevista? - redac_especializada. url<https://sites.google.com/site/redacespecializada/home/cmo-elaborar-una-entrevista>.
- [15] RIDOUTT, B. G., AND PFISTER, S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environmental Change* 20, 1 (feb 2010), 113–120.
- [16] RUSSO, J. P., S. M. . M. G. Catálogo de arquitecturas de software y tácticas arquitectónicas para contextos de big data. *Definitions* (2019).
- [17] SALAZAR-HENAO, J. S. Entrevista.
- [18] SHARMA, S., AND HASTEER, N. A comprehensive study on state of scrum development. *2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)* (2016), 867–872.
- [19] SHIVASHANKAR, KUMAR, R. U., ROOPESH, N., SIHMAR, S., ANANTHASWAMY, R., AND GOWRANGA. A smart water utilization technique based on voltammetric electronic tongues for domestic and industrial environment. In *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information Communication Technology (RTEICT)* (2017), pp. 1745–1749.
- [20] SIAU, K. L. Unified modeling language. *Definitions* (2020).
- [21] SUN, X., REN, Q., AND HSU, W. L. Framework for evaluation index system of carrying water resource. In *2020 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)* (2020), pp. 349–352.
- [22] ZHIRONG, J., ZHANG, H., LI, X., SHEN, H., GAO, J., HOU, S., ZHANG, B., MAYES, S., BENNETT, M., MA, J., WU, C., SUI, Y., HAN, Y., AND WANG, X. A mini foxtail millet with an Arabidopsis-like life cycle as a C4 model system. vol. 6.

Anexos

Anexos A

Anexo I: Entrevista Asesor

La siguiente entrevista es una transcripción no literal de las respuestas o preguntas que se realizaron al Ingeniero Juan Salazar, para ver la agravación de esta entrevista visite la siguiente enlace https://drive.google.com/file/d/1z3Qo5_095bouKUANYS1-24Qgk0D-vjr7/view?usp=sharing. [14]

A.1. PREGUNTAS:

A.1.1. Perfil del entrevistado

1. Cuéntenos un poco sobre su experiencia en el campo de la reutilización de aguas residenciales y en general un poco sobre la gestión del agua que usted conoce.

- RES:

Soy profesor de ingeniería civil y ambiental en la Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. graduado como ingeniero ambiental y con una maestría en ingeniería ambiental de la universidad de los andes, ha trabajado 3 años en temas de agua, trabajando directamente en el laboratorio d la Escuela Colombiana de ingeniería.

2. ¿ Usted ha trabajado en proyectos similares de reutilización de aguas residenciales?

- RES:

En estos momentos estoy dando la clase de tratamiento de aguas residuales en la Escuela Colombiana de Ingeniería, he trabajado en proyectos como: Generar energía eléctrica a partir de humedales y actualmente hago parte de la junta técnica Asesora del RAS adscrita al ministerio de vivienda.

A.1.2. Identificación del problema

1. ¿Cuál es su punto de vista respecto a la gestión del agua residual residencial en Colombia hoy en día?

- RES:

En general considero que es deficiente. En primer lugar, no existe una clasificación del agua gris y el agua negra en las viviendas, el agua gris tiene un potencial para ser reusada, antes de ser entregada al sistema de alcantarillado, existen diversas fuentes que pertenecen a este grupo de agua, por ejemplo:lavamanos, ducha y lavadora, estas aguas

se podrían reusar para las descargas sanitarias entre otras tareas.

La pregunta que debemos hacernos para determinar en qué tareas domésticas podemos implementar estas fuentes alternativa es: *¿ realmente necesitamos agua potable para realizar la tarea que estamos evaluando?*. Son muy pocas las edificaciones que tiene tubería adecuada para transportar de manera separadas estos dos tipos de aguas, por lo tanto, la reutilización es bastante deficiente.

El reúso de agua lluvia ha venido tomando fuerza con el propósito de usar esta fuente como alternativa, para descargas sanitarias, así de esta manera, se ha logrado disminuir de manera paulatina la demanda de agua potable. Es una forma de reducir la presión sobre el recurso en la medida que se usa al máximo el agua antes de entregarla al sistema de alcantarillado.

Por otro lado, las aguas negras si deben ser entregadas directamente al sistema de alcantarillado, por que presentan contaminación orgánica, de modo similar, el agua de los lavaplatos podría llegar a contener contaminantes importantes de materia orgánica y eventualmente patógenos, por lo tanto, estas fuentes no son aptas para considerarlas como fuentes de agua alternativa.

2. ¿ Cuáles son los principales obstáculos que usted identifica, respecto a la implementación de sistemas para reutilización del agua doméstica?

- RES:

Es un tema de costos, por un lado, las constructoras tienden a ahorrar un poco y prefieren no invertir en tuberías separadas para ayudar a clasificar el agua negra y el agua gris, actualmente esto es un tema voluntario y como no existe un incentivo que invite a las constructoras voluntariamente a invertir en este tipo de infraestructura.

No necesariamente debería existir una normativa que volviera obligatorio la implementación de este tipo de infraestructura, pero si deberíamos generar incentivos que promuevan la puesta en marcha de este tipo de iniciativas. Por otra parte, el mercado no tiene una campaña fuerte que genere valor agregado en la activación de este tipo de sistemas, convirtiendo las unidades residenciales en eco amigables con este tipo de soluciones. Es un obstáculo de tipo económico.

Por otra parte, las personas en sus hogares están pagando un recibo, el cual puede ser el incentivo para que este tipo de sistemas sean implementados. En la medida que se pueda reducir el valor de la factura, implementando estas soluciones, las persona prestaran más interés y adoptaran este recurso en sus hogares.

Como vemos Existe una motivación para el usuario final y algunas personas reúsan el agua de diferentes fuentes de forma artesanal, pero no existe una motivación frente a las constructoras para construir sistemas que permitan el reúso de agua.

3. ¿ A partir de los obstáculos que usted plantea cual o cuales consideran los más complejos de implementar?

- RES:

No existe un sistema de válvulas inteligentes, que clasifique las diferentes fuentes de aguas grises teniendo en cuenta ciertos atributos mínimos que garanticen la salud humana, antes de llegar a una planta de tratamiento pequeña o portátil.

A.1.3. Soluciones actuales

1. ¿ Cuáles sistemas conoce enfocados al reúso del agua residencial ?

- RES:

En primer lugar, la separación de tuberías de aguas grises y negras a pesar que no es común encontrar este sistema en las edificaciones algunas si lo hace, por ejemplo: Los aeropuertos implementa un sistema en el techo que se encarga de centralizar filtrar y almacenar agua lluvia, para ser usada en la descarga de sanitarios. Hoy en día el uso más común que se le da al agua residual no tratada es el de generación de energía.

Existe dos enfoques cuando hablamos del reúso del agua, el primero a nivel macro urbano y el segundo a nivel de vivienda, para el segundo la fuente de agua que está a la mano es el agua gris y de lluvia.

2. ¿ Que obstáculo usted identifica a nivel de implementación, monitoreo o control en las actuales soluciones que usted conoce?

- RES: En primer lugar, no existe un tanque para agua potable y otro para aguas grises, por otra parte, no existen tuberías separadas para estos dos tipos de agua en las viviendas.

A.1.4. Requerimiento

1. ¿ De qué manera considera usted que se pueden utilizar estas fuentes de agua alternativa?

- RES:

Existe diferentes formas de obtener agua, entre ellas se encuentran los sistemas pasivos y activos, en el primero se encuentran las trampas de niebla, los cuales son implementados en ciudades que se encuentra muy alto a nivel del mar, por ejemplo: en Perú una ciudad completa usa atrapa nieblas para condensar la humedad del ambiente, en segundo lugar, existen los sistemas activos los cuales necesitan energía para poder extraer la humedad del aire.

2. ¿ Cómo considera usted que debería ser el proceso de almacenamiento de las fuentes alternativas de agua?

- RES: Si hablamos de aguas lluvias, por lo general se necesitan filtros de arena, debido a que se requiere remover los contaminantes típicos, por ejemplo: el polvo, arena y sólidos que son agregados al agua al pasar por los tejados se deben separar de alguna manera. filtros como tamices para quitar partículas considerablemente grandes y filtros de arena para separar las partículas finas. Los usos típicos de esta fuente de agua son: lavado domestico pisos, sanitarios etc. Esta agua no es potable ya que existe un riesgo latente de patógenos.

Por otro lado, el agua gris de la ducha, lavamanos y lavadora tiene jabones, aceites, grasas y materia orgánica. esta necesita un tratamiento antes de ser almacenada para

evitar malos olores y cultivos de bacterias, hay que pensar en los tipos de contaminantes que estas fuentes de agua traen.

Tener una trampa de grasas es una buena idea para retener algunas de estos aceites y espumas después un filtro para remover la materia orgánica hay que tener en cuenta que si almacenamos materia orgánica por un periodo de tiempo largo es alimento para los microorganismos las bacterias que estén ahí. por lo tanto, si almacenamos estas aguas contaminadas de una manera anaeróbica ellas se comerán los tejidos muertos los tanques son anaerobios cuando están cerrados por ejemplo debido a estos metabolismos se generan malos olores pensar en el almacenamiento se convierte en una materia compleja debido a esta gestión que toca hacerlo.

No existe una normativa aquí en Colombia que te hable sobre el almacenamiento de aguas grises, a lo mejor en otros países sí.

Una forma de reusar las aguas grises es reusarlas lo más pronto posible sin tener que almacenarlas en la medida que se pueda.

se puede tratar el tema microbiológico, pero ahí se incrementan los costos por que necesitas adicionar sustancias químicas como por ejemplo el cloro o desinfectantes y esto tocaría agregarle continuamente para eliminar los microorganismos y por otro lado oxidar la materia orgánica.

construir una planta de tratamiento portátil con tema aerobio se puede hacer para evitar los malos olores y cuando se trate esta agua gris ya se pueda almacenar con el agua lluvia. pero el problema que tienen todas las plantas de tratamiento es que necesitan una persona para operar el sistema y puedes de alguna manera automatizar al operador para que todo el tiempo este leyendo que tanto está llegando de materia orgánica grasas aceites podrías pensar en una planta de tratamiento pequeña y en línea que funcione continuamente requiera mantenimiento para sacar los lodos generados por los decantadores y son los lodos los que producirán más mal olor, por lo que a lo mejor deberás sacar el lodo una vez al día como si se tratase de la basura de la casa como residuo sólido.

Existen muchos tipos de sistemas de membranas u otras que elevan los costos pero también se puede pensar en un sistema de canecas para decantar (tipo info) el agua y diseñar una planta pequeña con un filtro u otras cosas como un tema de materia orgánica un tanque con burbujeo de aire donde las bacterias están en un metabolismo diferente y ahí si puedes pensar en almacenar este tipo de aguas incluso si la calidad de agua que sale de este sistema es muy buena podrías llegar a mezclar con el agua lluvia sin problema.

El problema en si no es que diferentes fuentes compartan la misma tubería si no que no todas tiene la misma calidad para llegar a ser mezcladas

Un sistema de tratamiento de agua portátil que se pueda instalar fácil mente en el techo de las viviendas garantizando cierta calidad del agua almacenada se podría pensar en almacenar sin problema.

en cuanto al diseño de la planta lo que se debe hacer las medidas que se deben tomar te puedo orientar.

pasos a realizar

- a) Buscar en la literatura la caracterización del agua gris, parámetros de calidad sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, dbo dco ph turbidez, buscar resolución 21-15 para agua potable de ahí se pueden sacar varios parámetros, caracterización de aguas lluvia.

-
- b)* Encontrar una normativa como recomendación para el almacenamiento de aguas grises.
 - c)* Diseñar el sistema.