



**Implementación de un prototipo de una
planta de tratamiento de aguas residuales
conectada a IoT para reuso del agua en la
finca Villa Viviana**

**Adolfo Murillo Rodríguez
José Hernán Triana Muñoz**

Universidad Antonio Nariño
Programa Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia
2022

Implementación de un prototipo de una planta de tratamiento de aguas residuales conectada a IoT para reúso del agua en la finca Villa Viviana

Adolfo Murillo Rodríguez

10441617418

José Hernán Triana Muñoz

10451622700

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico e Ingeniero Mecánico

Director:

Ing. John Fredy Ríos Rojas

Codirector:

Ph.D. Sergio Andrés Díaz Salas

Línea de Investigación:

Mecánica de fluidos y electrónica digital

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2022

José Hernan Triana Muñoz

Agradecido con Dios por darme la oportunidad de ser ejemplo de superación familiar, Lorena ramos Mi compañera incondicional por creer en mí y que la disciplina supera la inteligencia, mi madre querida Mariela Triana por darme su vida, amor y entrega, Arturo Muñoz, hermanos, hijos y todos aquellos conocidos por sus enseñanzas que fortalecieron mi camino hacia las metas propuestas.

Adolfo Murillo Rodríguez

Dedico este trabajo a mis padres, a quienes admiro por las grandes personas que son y que con su apoyo incondicional me ayudaron a culminar con mis estudios y a cumplir con todas las metas que me he propuesto. Gracias por su educación y por guiarme por el camino correcto.

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____ ,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____ .

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, 10, Mayo, 2022.

Contenido

	Pág.
Resumen	14
Abstract	15
Introducción	16
Planteamiento del problema	18
Objetivos	20
Alcance	21
1. Marco teórico	22
1.1 Planta de tratamiento	22
1.1.1. Prueba de jarras	22
1.1.1 Sedimentación.....	23
1.1.2 Floculación.....	23
1.1.3 Coagulación	24
1.1.4 Desinfección	24
1.1.5 Materiales filtrantes - filtración	24
1.1.6 Filtración	25
1.2 Sistemas hidráulicos	26
1.2.1 Caudales.....	26
1.2.2 Aprovechamiento de alturas	27
1.2.3 Diámetros requeridos de tuberías	27
1.3 Reúso del agua - aguas residuales	28
1.3.1 Medición de la turbidez.....	28
1.3.2 Medición del pH.....	28
1.3.3 Medición del nivel.....	29
1.4 Internet de las cosas	29
1.4.1 Fundamentos de internet de las cosas	29
1.4.2 Microcontroladores con acceso a internet	31
1.4.3 ThingSpeak	31
1.4.4 App Inventor	32

2. Planteamiento de la solución	33
2.1 Definición de requerimientos para el tratamiento de agua.....	33
2.1.1 Identificación de las necesidades de la finca	34
2.1.2 Establecer tanques para almacenaje y su disposición.....	35
2.1.3 Determinación de la cantidad y frecuencia de agua a procesar	36
2.1.4 Determinación de la potencia de las bombas.....	36
2.2 Implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	37
2.2.1 Prueba de jarras	37
2.2.2 Floculación y sedimentación	43
2.2.3 Desinfección	50
2.2.4 Filtración	51
2.2.5 Almacenamiento.....	55
2.2.6 Trampa de grasas.....	59
2.2.7 Reúso.....	60
2.2.8 Toma de muestras y pruebas de jarras en campo.....	61
2.2.9 Modelado en Solidworks.....	62
2.2.10 Métodos de unión para el acoplamiento del sistema	63
2.2.11 Sistemas de agitación.....	65
2.2.12 Implementación sistema de retro lavado para el filtro	67
2.2.13 Instalación de la red eléctrica.....	67
2.2.14 Disposición final de la planta de tratamiento.....	42
2.3 Monitoreo de la turbidez, el pH y el nivel de la planta de tratamiento de tratamiento usando IoT.....	70
2.3.1 Conectividad con el internet en la finca Villa Viviana	70
2.3.2 ThingSpeak	71
2.3.3 Desarrollo de software para el microcontrolador ESP32	72
2.3.4 Implementación de aplicación móvil	78
2.3.5 Sensores de turbidez, pH y nivel de la planta.....	89
2.4 Control de la turbidez en la planta de tratamiento de aguas residuales a través de la adición de poli cloruro de aluminio.	94
2.4.1 Control on/off vs Control PID	94
2.4.2 Configuración del tablero principal.....	94
2.4.3 Conexión de componentes eléctricos con el microcontrolador.....	100

3. Evaluación del desempeño del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales conectada a IoT implementado en la finca Villa Viviana.	102
3.1 Capacidad de la planta para tratar agua (Volumen de agua)	102
3.2 Evaluación de la red de telecomunicaciones y red eléctrica.	105
3.3 Medición de las variables con los sensores	109
3.4 Fidelidad de la medición de los sensores.....	114
3.5 Evaluación de las bombas de succión.....	116
3.6 Pruebas de funcionamiento (Caudal y tiempo de retención).....	118
3.7 Determinación del óptimo de producción (Volumen).....	120
3.8 Evaluación de los costos para la elaboración del prototipo	122
4. Conclusiones y recomendaciones	129
Conclusiones	129
Recomendaciones	131
Evidencias fotográficas.....	132

Lista de figuras

Figura 2-1: Agua contaminada y jarras	39
Figura 2-2: Agua contaminada y jarras	40
Figura 2-3: Bosquejo de la ubicación de cada proceso del prototipo.	43
Figura 2-4: Caneca de 55 gal adecuada para agitación y primer almacenamiento del agua a tratar	44
Figura 2-5: Esquema explicativo de agitación de químicos	47
Figura 2-6: Esquema explicativo para el proceso de dosificación y agitación	49
Figura 2-7: Resultado final del tanque de floculación y sedimentación	50
Figura 2-8: Disposición e implementación de la base del tanque de filtración para la acomodación del material filtrante	52
Figura 2-9: Ubicación del material filtrante	53
Figura 2-10: Dispositivo de distribución del agua	54
Figura 2-11: Tanque de almacenamiento de agua inicial entradas y salidas	55
Figura 2-12: Tanque de almacenamiento de agua final	56
Figura 2-13: Esquema explicativo para la instalación del sensor de turbidez final	58
Figura 2-14: Entrada de la trampa de grasas y ubicación sensor de turbidez.....	59
Figura 2-15: Salida trampa de grasas y salida con canal para el mantenimiento	60
Figura 2-16: Medición del pH mediante el uso de papel tornasol y una comparación del antes y después de la turbidez del agua tratada.....	62
Figura 2-17: Soldadura y pegamentos tipo silicona.....	63
Figura 2-18: Soldadura de electrodo manual revestido en la tapa del tanque de filtración	65
Figura 2-19: Agitación principal en el tanque de flotación.	66
Figura 2-20: Posicionamiento de la tubería de la red eléctrica.....	68
Figura 2-21: Ubicación del router MERCUSYS en el tablero principal	71
Figura 2-22: Esquema de entradas y salidas del microcontrolador ESP32.....	73

Figura 2-23: Diagrama de flujo de la función que cumple el algoritmo del microcontrolador de sensado	76
Figura 2-24: Diagrama de flujo de la función que cumple el algoritmo del microcontrolador de control de equipos	77
Figura 2-25: Esquema con la explicación del algoritmo realizado con diagrama de bloques	78
Figura 2-26: Programación mediante bloques de la aplicación móvil del proyecto	82
Figura 2-27: Menú principal de la aplicación del proyecto con el menú de opciones desplegable.....	86
Figura 2-28: Programación de botones relacionando la url del servidor http	87
Figura 2-29: Ventanas con las cuales interactúa el usuario con la aplicación móvil	87
Figura 2-30: Sensores de turbidez y pH utilizados en el proyecto.....	90
Figura 2-31: Soluciones buffer utilizadas en el laboratorio con valores de pH de 4, 7 y 10	92
Figura 2-32: Disposición general de los flotadores.....	93
Figura 2-33: Disposición del tablero eléctrico principal de la planta.....	95
Figura 2-34: Plano del circuito eléctrico de la planta y montajes en el tablero principal.....	98
Figura 2-35: Bloque de relé de 5 VDC.	101
Figura 3-1: Trampa de grasas	103
Figura 3-2: Tanque de almacenamiento de aguas grises	104
Figura 3-3: Tanque filtro y escape para retro lavado.....	105
Figura 3-4: Diagnostico del ping realizado mediante el símbolo del sistema para la red del router de la finca	106
Figura 3-5: Diagnostico del ping realizado mediante el símbolo del sistema para la red configurada en el router MERCUSYS	107
Figura 3-6: Esquema explicativo del funcionamiento de los sensores de nivel.	113
Figura 4-1: Aplicación de pintura de estructuras en el tanque de floculación....	132
Figura 4-2: Utilización de los respectivos elementos de seguridad personal	132

Figura 4-3: Realización de aforo de químico a dosificar

Figura 4-4: Medición del pH en muestras para el ajuste del sensor de pH utilizado en el proyecto..... 133

Figura 4-5: Mantenimiento y lavado inicial del tanque de almacenamiento final134

Figura 4-6: Soldaduras estructurales 134

Lista de gráficos

Gráfico 2-1: Ejemplo de visualización de las gráficas con valores de Thingspeak.
..... 72

Gráfico 2-2: Pendiente de la recta con los valores medidos en laboratorio..... 92

Gráfico 3-1: Medición extraída de Thingspeak de la medición de turbidez inicial
..... 110

Gráfico 3-2: Medición extraída de Thingspeak de la medición de turbidez final 111

Gráfico 3-3: Medición extraída de Thingspeak de la medición del pH 112

Gráfico 3-4: Mediciones extraídas de Thingspeak del nivel de llenado ubicado en el tanque floculador 113

Gráfico 3-5: Mediciones extraídas de Thingspeak del nivel de llenado ubicado en el tanque de almacenamiento final..... 114

Gráfico 3-6: Curva del sistema para la bomba de ½ hp	116
Gráfico 3-7: Curva del sistema para la bomba de 2 hp	117
Gráfico 3-8: Función de producción	120
Gráfico 3-9: Curva de costo total para el gasto químico	125
Gráfico 3-10: Curva de costo total del gasto energético	128

Lista de tablas

Tabla 1-1: Diagrama de bloques de la arquitectura de tres capas.	30
Tabla 2-1: Resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio..	40
Tabla 2-2: Características técnicas del motor de agitación principal.	45
Tabla 2-3: Constantes del tipo de impulsor para fluido turbulento (KT) y fluido laminar (KL).....	46
Tabla 2-4: Características técnicas del motor de agitación para el sedimentador.	48
Tabla 2-5: Corriente medida con pinza amperimétrica y selección de corriente de las protecciones eléctricas	96
Tabla 3-1: Comparación de mediciones del pH con un sensor patrón y el sensor adquirido por los autores.	114
Tabla 3-2: Comparación de mediciones de la turbidez con un sensor patrón y el sensor adquirido por los autores.	115
Tabla 3-3: Pruebas de caudal con diferentes diámetros de manguera.....	119
Tabla 3-4: Función de producción total.....	121
Tabla 3-5: Evaluación de costos y presupuesto	122
Tabla 3-6: Tabla de modelo de función de producción para los químicos utilizados.	125
Tabla 3-7: Tabla de modelo de función de producción para la energía consumida.	126

Anexos

Anexo A: Modelado en SolidWorks de la trampa de grasas	139
Anexo B: Modelado en SolidWorks del tanque de aguas grises inicial.	140
Anexo C: Modelado en SolidWorks del tanque de desinfección.	141
Anexo D: Modelado en SolidWorks del tanque floculador.	142
Anexo E: Modelado en SolidWorks del filtro.	143

Resumen

En el presente trabajo se documenta lo relacionado con la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales conectada a IoT para reúso en la finca Villa Viviana con el fin de mejorar el estado del recurso hídrico para lavado de fachadas, pisos y demás. Con la implementación de este proyecto se logra reducir el desperdicio de agua potable que es de escaso acceso a la finca, definiendo los requerimientos de la finca para el tratamiento del agua, se implementa un sistema hidráulico con una serie de tanques, los cuales poseen sistemas para el tratamiento de agua como la floculación, sedimentación, desinfección, filtro y almacenamiento. Adicionalmente el proyecto posee una monitorización mediante el internet de las cosas (IoT) del nivel de llenado en los tanques de floculación y almacenamiento final, la turbidez del agua en el inicio del sistema y en el final para evaluar el desempeño de la planta y lograr un control de la variable de turbidez por medio de un sistema de dosificación de químico en función a la medición de la misma, y medición del pH del agua tratada. El prototipo cuenta con un sistema de mantenimiento manual llamado retro lavado, el cual, por medio de cierre de válvulas que garantiza la durabilidad de los materiales filtrantes. El prototipo cuenta con una capacidad total de 4,61 m³ distribuidos en cada uno de sus procesos (Almacenamiento, floculación y sedimentación, desinfección y filtro. La implementación de este prototipo, da como producto una mejoría en cuanto a la turbidez en el agua disminuyendo el valor de la misma hasta en 20 veces con valores de entrada de 650 NTU, y valores de salida de 30 NTU.

La implementación de este proyecto da como fruto diversas ventajas en el consumo de agua en la finca Villa Viviana, ya que será posible la utilización de agua que se dispone para ser desechada, en otras tareas como lo son la limpieza de infraestructura.

Palabras clave: Conectividad, monitoreo, mejora del agua, disposición del agua, programación.

Abstract

In the present work, what is related to the implementation of a wastewater treatment plant connected to IoT for reuse in the Villa Viviana farm is documented in order to improve the state of the water resource for washing facades, floors and others. With the implementation of this project, it is possible to reduce the waste of drinking water that is of little access to the farm, defining the requirements of the farm for water treatment, a hydraulic system is implemented with a series of tanks, which have systems for water treatment such as flocculation, sedimentation, disinfection, filter and storage. Additionally, the project has a monitoring through the internet of things (IoT) of the filling level in the flocculation and final storage tanks, the turbidity of the water at the beginning of the system and at the end to evaluate the performance of the plant and achieve a control of the turbidity variable by means of a chemical dosage system based on its measurement, and measurement of the pH of the treated water. The prototype has a manual maintenance system called backwashing, which, by closing valves, guarantees the durability of the filter materials. The prototype has a total capacity of 4,61 m³ distributed in each of its processes (Storage, flocculation and sedimentation, disinfection and filter). The implementation of this prototype gives as a product an improvement in terms of turbidity in the water, decreasing the value of the same up to 20 times with input values of 650 NTU, and output values of 30 NTU.

The implementation of this project results in several advantages in the consumption of water in the Villa Viviana farm, since it will be possible to use the water that is available for disposal, in other tasks such as infrastructure cleaning.

Keywords: Connectivity, monitoring, water improvement, water disposal, programming.

Introducción

El proceso de clarificación del agua se emplea para llevar la calidad del agua utilizada y desechada a un punto que le proporcione un segundo uso, para lo cual se requieren diversos procesos y técnicas que satisfagan un resultado deseado de la calidad de la misma teniendo en cuenta los estudios realizados al agua a tratar, y modificar sus valores de turbidez y pH (Rishitha, K., & Ullas, S., 2019).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales requieren de una serie de procesos importantes para la separación del contaminante del recurso hídrico a tratar, estos procesos son la floculación, coagulación, sedimentación, filtración y desinfección (Guerrero, O., Romero, J., 2018).

Para dar seguimiento a los diferentes procesos necesarios para la purificación del agua a tratar, se hace necesario, la supervisión por parte de un operario con conocimiento de los factores que se deben cumplir para lograr dicho objetivo, o la supervisión asistida mediante sensores que permitan controlar dichos factores, midiendo los diferentes parámetros del agua a tratar (Hayes, J., Lau, K. T., & Diamond, D., 2007).

Los procesos de tratamiento de aguas residuales en la actualidad, poseen un componente de alto costo y metodologías que no son de accesibilidad para todos los sectores, más precisamente, para los sectores alejados de la civilización como lo son las personas propietarias de fincas o terrenos rurales. En dichas ubicaciones, conseguir los materiales más efectivos para construir plantas de tratamiento de aguas residuales, es una tarea complicada por sus respectivas razones geográficas. Resulta viable, bajo estas condiciones, la implementación de un prototipo de una planta de tratamiento de aguas residuales con costos moderados y materiales de fácil adquisición que pueda abrir las puertas a nuevas oportunidades para el sector en el que se implementa el mismo, que se trata de la finca Villa Viviana, ubicada en la vereda el Alto en Vianí Cundinamarca.

En el capítulo 1, se tratan todos los aspectos relacionados a las bases teóricas del proyecto, estableciendo una estructura que define los parámetros que necesitan todas las tareas que se llevan a cabo para la culminación de la implementación física en la finca.

El espacio donde se describen los pasos que se realizaron para la culminación del proyecto se encuentran en el capítulo 2, donde hay imágenes y tablas que ayudan a ilustrar los pasos realizados. En esta sección, se ven reflejados los sectores de electrónica y mecánica, con procesos de soldadura, programación, entre otros.

Para el capítulo 3, se dispone de todo lo relacionado con los resultados adquiridos del proyecto, como algunos cálculos relacionados con la composición hidráulica del proyecto, gráficos con información acerca de los sensores y una caracterización acerca de los costos operativos del prototipo.

Finalmente se presentan algunas conclusiones acompañadas de recomendaciones que pueden mejorar el estado actual del proyecto teniendo en consideración aspectos pos proyecto. Posteriormente se muestran anexos y evidencias fotográficas del desarrollo del proyecto por parte de los autores del documento.

Planteamiento del problema

El agua es un recurso limitado, y con el pasar de los años la demanda en el consumo se ve aumentada. Debido a este hecho, se están tomando medidas a nivel global para reducir el desperdicio del valioso recurso (Kadar, H. H., Rafee, P. A. A., & Sameon, S. S, 2018).

Uno de los métodos para cuidar la limitada disponibilidad de los recursos hídricos utilizables es el del tratamiento de las aguas residuales. En la actualidad existen plantas de tratamiento de aguas residuales, con mayoría en países subdesarrollados, sin embargo algunas de estas, realizan sus diferentes procesos para el tratamiento llevando un seguimiento manual por parte del personal encargado, lo que puede llevar a errores humanos y deficiencia en un monitoreo constante de los diferentes procesos necesarios para el tratamiento de las aguas residuales, debido principalmente a problemas en la ubicación de la planta de tratamiento, diversos problemas estructurales o situacionales relacionados al entorno. Producto de esta problemática se reflejan diversos impactos en la salud tanto en la población que accede al agua tratada cuando es el caso de la potabilización del agua para consumo, como en el ambiente en el que se desecha el agua con unos valores no aptos para entrar en contacto con el mismo, afectando la fauna y flora, ya que bajo estas circunstancias el tratamiento del agua carece de una elevada efectividad y estabilidad (Xiu & Dong, 2019).

La calidad del agua que es desechada y entra en contacto con las plantas y diferentes ecosistemas afecta el crecimiento y desarrollo de las mismas, en donde el pH cumple un papel fundamental, ya que si sus valores se encuentran por fuera del rango de 5.5 a 7, puede producir efectos nocivos sobre dichos ecosistemas (Kingsta, R. M., Saumi, A. S., & Saranya, P., 2019).

Justificación

Se planteó en este trabajo una solución que consiste en la implementación de un prototipo de una planta de tratamiento de aguas residuales con la capacidad de obtener un segundo uso para el agua que se desecha en la finca a causa del procesamiento del café. El agua pos tratamiento, sirvió para el lavado de las instalaciones del establecimiento, evitando así un consumo del limitado aprovisionamiento de agua potable que llega a la finca.

La posibilidad de haber realizado la implementación de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales de la finca permitió no solo un ahorro en el consumo del líquido a la finca, sino también a la vereda ya que todos disponen del mismo ducto, por lo que la totalidad del agua se reserva en tanques, entonces entre menor es el consumo más disponibilidad de agua se tiene para la comunidad en general.

Los tanques disponibles para utilizar en la planta es uno que sirve para el almacenamiento del agua tratada que sale del sistema y otro construido en concreto, que cuenta con divisiones internas útiles para realizar procesos de separación de sólidos y líquidos

Objetivos

Objetivos generales

Implementar un prototipo de una planta de tratamiento de aguas residuales conectada a IoT para reúso del agua en la finca Villa Viviana.

Objetivos específicos

- Establecer las condiciones actuales de uso de agua en el proceso productivo de café en la finca Villa Viviana que permite la definición de los requerimientos en el tratamiento de agua
- Implementar una planta de tratamiento de aguas residuales que incluya los procesos de floculación, sedimentación, - desinfección y filtración.
- Monitorear la turbidez, el pH y el nivel de llenado de la planta de tratamiento de aguas residuales usando IoT.
- Controlar la turbidez en la planta de tratamiento de aguas residuales a través de método químico.
- Evaluar el desempeño del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales conectada a IoT implementado en la finca Villa Viviana.

Alcance

De acuerdo con las situaciones que se presentan en estas zonas alejadas del país, el proyecto será ejecutado en su totalidad dando solución al problema planteado por la dueña del predio, garantizando una recolección, almacenamiento y tratamiento del agua que se utiliza, apoyado mediante el monitoreo y control por medio del internet de las cosas, en la dosificación de químico, que se hará con un microcontrolador ESP32. Estas funciones estarán disponibles en una aplicación para dispositivos móviles, para que el interesado en el proyecto pueda interactuar de manera directa con las mismas.

Mediante la conexión a Thingspeak se pretende dar acceso al propietario de la finca a gráficas que contienen un seguimiento de las variables a medir en la planta (Turbidez, pH y nivel de llenado de tanques). Este acceso será posible desde un computador o en el celular desde el aplicativo móvil desarrollado.

A su vez con el trabajo realizado se cubrirán todos los objetivos trazados en cuanto a la investigación, implementación y puesta en marcha del prototipo y así concluir exitosamente, y satisfacer a las partes en mención.

1. Marco teórico

1.1 Planta de tratamiento

El principio básico de una planta de tratamiento de aguas es cumplir la función de separar grasas, sólidos, arenas o partículas que se encuentren presentes en el fluido a tratar. En su gran mayoría se construyen en materiales de concreto, se fabrican tanques en aceros o comercialmente podemos encontrar una variedad de recipientes plásticos.

Cuando se realizan este tipo de montajes adecuados para infraestructuras a gran o mediana escala se tiene en cuenta la capacidad y el tipo de tratamiento que se requiere según el tipo de agua como pueden ser tratamientos primarios donde solo se requiere filtrar el agua directamente o secundarios utilizando métodos químicos para lograr una floculación o separación de sólidos en el líquido, desinfección, filtración y demás procesos. También hay métodos en los que se usan bacterias en su gran mayoría utilizadas en plantas de aguas domésticas. En general las construcciones van asociadas a la necesidad del sector a intervenir, la cantidad de fluido aprovechable y el factor monetario con el que se cuente pues este último influye de gran manera en la implementación de por ejemplo sistemas automáticos o simplemente operar de forma manual.

1.1.1. Prueba de jarras

Es un proceso que consiste en la identificación de las características que componen el agua cuando es sometida a ciertas pruebas con diferentes cantidades de coagulante y floculante con el fin de determinar cual lleva al líquido a valores de clarificación deseados. Como consecuencia a este procedimiento, se logra eliminar la presencia de materia orgánica y sólidos en suspensión a través del proceso de coagulación. Un resultado de clarificación elevada conlleva a valores más neutros de pH, que se encuentran entre un rango de 7.3 a 7.6. Los beneficios de la aplicación de esta técnica consisten en encontrar dosis indicadas para encontrar rangos de valores cercanos a los deseados, permitiendo

así la disminución de desperdicio de químicos. Las pruebas se aplican generalmente cuando se necesita conocer los resultados de materiales como: coagulantes, floculantes, sales fuertes (soda cáustica), ácidos (Ácido clorhídrico), etc. Para la aplicación de estas pruebas, se hace necesaria la homogeneización del líquido a examinar y químico que va a cambiar sus características (Arias & Garay Muñoz, n.d.).

1.1.1 Sedimentación

En procesos de tratamiento de aguas se debe tener muy en cuenta una buena selección del floculante y el coagulante y de la aplicación de la dosis adecuada de acuerdo con la cantidad y tipo de agua a tratar, ya que los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua al ser debidamente dosificados forman aglomeraciones o aglutinamiento de las partículas que se forman producto de la reacción del agente clarificador y hace que sean de un tamaño considerable el cual haga que los sedimentos sólidos se asienten o sedimenten en el fondo del recipiente donde se esté dando la clarificación del agua (Shen et al., 2010).

1.1.2 Floculación

Cuando se requiere del tratamiento de aguas residuales, se hace fundamental la aplicación de un proceso de floculación, esto debido a que el agua puede contener diminutas partículas que ningún filtro puede seleccionar, por lo que la floculación juega un papel importante en hacer que dichas partículas tomen un tamaño mucho más grande y puedan ser separadas del líquido en cuestión. Este proceso se logra mediante la aplicación de un floculante al agua seleccionado según sea la aplicación y necesidad requerida, dicho floculante o agente químico que aglomera las sustancias sólidas presentes en el agua lo cual genera la existencia de flóculos de los cuales depende su densidad en la eficiencia de la sedimentación y selección por arrastre de los sólidos presentes en el agua facilitando la sedimentación y posterior filtrado (He et al., 2009).

1.1.3 Coagulación

El proceso de coagulación aporta una solución a la claridad del agua en el tratamiento debido a que se encarga de reducir el nivel de turbidez que el recurso hídrico a tratar posee, esto se da en gran medida a que posee la capacidad de eliminar las partículas con tamaños de muy bajo diámetro, que modifican el color y las propiedades del agua, a estas partículas se les conoce como coloides y representan una impureza cuando están presentes en el agua. La coagulación según varios estudios, puede reducir el color y turbidez del agua de un 50 a 95%, esto en función del coagulante utilizado. Existen diversos tipos de coagulantes entre los cuales es común utilizar sales de aluminio y hierro, sin embargo es conocido que el cloruro de polialuminio (PAC) posee una mayor efectividad para la eliminación de coloides que producen la turbidez en el agua (Karwowska et al., 2021).

1.1.4 Desinfección

El agua es un medio importante para la proliferación de insectos, virus y bacterias los cuales logran producir enfermedades como el cólera, la disentería o diarrea, por lo que todo tratamiento de aguas residuales, debe poseer un proceso de desinfección, el cual pueda garantizar la eliminación de agentes biológicos contaminantes. El cloro es un desinfectante de uso elevado en la actualidad, esto dado que es de fácil acceso y posee una alta eficacia para la eliminación de dichas posibles proliferaciones que afecten la calidad del agua dependiendo su uso. (Taflin, 2006).

1.1.5 Materiales filtrantes - filtración

Una vez realizado el proceso de sedimentación en el agua a tratar utilizando el sistema de floculación, se obtiene un tipo de agua más clara la cual por lo regular presenta partículas más pequeñas que deben ser retiradas y debido al tamaño de estas deben ser filtradas en distintos materiales filtrantes con el propósito de retener numerosas partículas presentes en el agua como es el caso de emplear la arena sílice que ayuda a remover metales disueltos en el agua o el uso del carbón activado en la mejora de la calidad y propiedades del agua, encargándose de funciones como la retención del agua, mejorando las

propiedades organolépticas como lo pueden ser el color, olor y sabor (Karwowska et al., 2021).

Dichos materiales filtrantes son depositados en filtros los cuales requieren un lecho o especie de soporte en el cual se agregan los materiales de filtración que se desean usar. Al hacer la retención del material articulado en los filtros mencionados disminuyen la capacidad de filtración lo cual requiere que se realicen procesos de lavado a los materiales filtrantes con el fin de retirar los sólidos que han retenido durante largos periodos de trabajo y así poder darle un rehusó al sistema de filtración.(G et al., 2020).

1.1.6 Filtración

Como se explicó anteriormente, el agua contaminada, contiene partículas de diferentes tamaños, y algunas de estas una vez floculadas, coaguladas y sedimentadas son separadas del líquido, sin embargo algunas partículas permanecen en el agua en suspensión, por lo cual dependiendo del tipo de partículas, se debe aplicar un método de filtración para una mayor eliminación. Entre los métodos de filtración habituales, se encuentran los siguientes (Soni et al., 2020):

- Filtro de sedimentos: Es utilizado principalmente para la remoción de partículas con un tamaño superior a los 5 micrones, esto se debe a que posee una tela que contiene poros del tamaño de 5 micrones.
- Ultrafiltración: Proporciona una filtración superior al filtro anteriormente mencionado, ya que consiste en una técnica en la que usan mallas con poros de 0.01 micrones que se ubican en los extremos de un tubo de transporte de agua y retienen las partículas mayores que el tamaño explicado.
- Osmosis inversa: Método útil para los casos en los que se necesita filtrar el agua para potabilizarla, se constituye de una membrana por la que el agua contaminada fluye a elevada presión y a su vez mediante electroválvulas se discrimina el agua con impurezas.
- Filtro de carbón: Es el filtro más asequible por su facilidad de instalación, manejo, consumo energético y economía con respecto a los resultados. Este filtro viene acompañado de grava y arena para aumentar su

efectividad, y principalmente se encarga de eliminar la presencia de cloro e impurezas en el agua tratada.

1.2 Sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos están conformados por un conjunto de elementos presentados en materiales de aceros y plásticos para los cuales el ser humano se ha encargado de perfeccionar diversas técnicas de fabricación de tuberías lo que hace que se creen materiales con alta resistencia a las distintas presiones que se manejen. A su vez los distintos polietilenos y polivinilos que se han fabricado se hacen más accesibles. Que la compra de un tubo de acero y a su vez los problemas que ofrecen las tuberías de acero en cuanto a corrosión o desprendimiento de partículas metálicas ha llevado a diversificar la gama de materiales para el flujo de líquidos como son las aleaciones como bronce, latón o implementar materiales de cobre aceros inoxidable y aluminios.

Es de saber que los sistemas hidráulicos también se componen no solo de tuberías sino de bombas, mangueras, válvulas de paso, chequeos o elementos de unión como codos tees universales y demás.

1.2.1 Caudales

El caudal se define como la cantidad de fluido o flujo volumétrico (volumen) que pasa por un ducto o tubería a través de cierta sección transversal en una unidad de tiempo determinada (Mott L. Robert, 2006).

El caudal se puede definir mediante la fórmula:

$$Q = V / t \quad (1.1)$$

En donde Q es el caudal (m^3/s), V es el volumen y t es el tiempo (s). El caudal también puede ser definido como:

$$Q = A * v \quad (1.2)$$

Donde A es el área de la sección transversal (m^2) y v es la velocidad promedio del flujo (m/s). Los caudales suelen nombrarse como máximos o mínimos dependiendo de la

velocidad con la que fluyen y el medio que los transporta, los caudales máximos o extremos se usan a menudo en las hidroeléctricas con el fin de aumentar la energía del fluido y con ello obtener mayor capacidad de generación de energía, debido al mayor flujo másico (proporcional al flujo volumétrico = caudal). En estos procesos también es necesario vaciar o desocupar rápidamente un sistema o embalse para dar control al flujo por posibles amenazas de desbordes de tierra o inundaciones (García & Lastra, 1998).

Para los hogares comunes el caudal de las aguas potables por ejemplo es canalizado y enviado a través de tuberías de un diámetro adecuado para garantizar que el flujo sea rápido y no se presentan taponamientos durante el recorrido y al direccionarse a los hogares es reducido el diámetro de la tubería para garantizar la presión requerida en el punto de suministro (García & Lastra, 1998).

1.2.2 Aprovechamiento de alturas

Al hacer uso de este tipo de energías por gravedad es importante tener en cuenta si el agua que va a ser desplazada del punto 1 al punto 2 contará con válvula o no ya que la válvula juega un papel importante al estar cerrada o abierta lo cual puede aumentar el costo de compra debido a que si la válvula se encuentra cerrada el punto 2 que estaría a un nivel inferior recibirá toda la carga o presión que es equivalente a la presión hidrostática proveniente de la diferencia de alturas. Por lo cual es importante tener en cuenta las presiones internas, y espesor en las tuberías así evitar malos acoplamientos o sistemas sobrecargados (Rodríguez, 2012).

Se aplica la fórmula de tensión de diseño usando el valor de $C = 1,25$, que es el coeficiente de diseño proveniente de la norma europea y con la resistencia requerida se opera y de acuerdo al resultado se debe remitir a las tablas de selección de material para el polietileno y se escoge el polietileno (PE) necesario según la aplicación deseada (Rodríguez, 2012).

1.2.3 Diámetros requeridos de tuberías

En busca de un diseño seguro, confiable, bien estructurado y sobre todo económico de acuerdo con lo analizado los sistemas de tuberías en acero, galvanizado, cobre y demás presentan no solo un alto costo sino que la durabilidad, la resistencia a la corrosión son

menores y a su vez teniendo en cuenta los tubos de polietileno de alta densidad ofrecen menor peso por ser de material plástico, facilidad de instalación y resistencia a productos químicos (Mott L. Robert, 2006).

Teniendo en cuenta los valores hallados para el espesor y el diámetro externo hallamos la relación estándar del diámetro (SDR) dividiendo el diámetro nominal sobre el espesor. De acuerdo a esto obtenemos las presiones aproximadas de trabajo y según estas presiones evaluamos en tablas cuál de los distintos polietileno como son 40 - 60 - 80 -100. Se acomodan a la presión hallada (Rodríguez, 2012).

1.3 Reúso del agua - aguas residuales

1.3.1 Medición de la turbidez

El grado de turbidez en el agua es un dato crucial para poder asegurar que dicho recurso hídrico no es perjudicial tanto para el consumo, como con el contacto y esto es principalmente porque la medición de la turbidez indica aspectos como el nivel de claridad del agua y la cantidad de sólidos suspendidos con la que cuenta la misma, es decir cuantificar la contaminación con la que cuenta el agua. Uno de los métodos para determinar la turbidez del agua, es por nefelometría, lo que consiste en determinar la cantidad de reflectancia entre un emisor y receptor de luz enfrentados en un ángulo de 90° (Abd Rahman et al., 2019).

1.3.2 Medición del pH

Conocer el nivel de alcalinidad y acidez del agua, brinda una herramienta útil para determinar su estado y cuáles son sus condiciones, y a este nivel se le llama pH. En los casos en los que se busca medir el pH para agua potable, es de suma importancia tener un pH estable, ya que existen toxinas que el cuerpo humano no puede asimilar y esto genera enfermedades (Indu & Choondal, 2017).

1.3.3 Medición del nivel

Controlar y monitorear el nivel de llenado de un espacio determinado (tanques, recipientes, piscinas, etc) con líquidos es fundamental para mantener condiciones deseadas, como por ejemplo el control de nivel de una represa o un tanque de químicos, ya que esto asegura evitar el exceso de líquido o falta del mismo y elevar la eficiencia de la aplicación en donde se requiera. Para esto existen diferentes tipos de sensores, unos de contacto (sensores por flotación) y otros de no contacto (sensores ópticos, visión artificial), siendo los primeros, según el caso, más económicos, pero a la vez que en circunstancias de contacto con líquidos peligrosos conllevando al deterioro del mismo y constante mantenimiento, y los segundos más efectivos y seguros, pero teniendo sistemas más complejos para obtener la información del nivel. En el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, la medición de nivel juega un papel fundamental, ya que de esta manera es posible controlar la alimentación y transporte de agua a tratar en los diferentes procesos que esta contiene (Kuo & Tai, 2020).

1.4 Internet de las cosas

El internet de las cosas (IoT) plantea un nuevo estilo de vida, el de poseer todos los objetos cotidianos (electrodomésticos, puertas, iluminación, etc) y no tan cotidianos (procesos industriales, etc), conectados al internet para que estos mismos tenga la capacidad de comunicar diferentes variables al usuario y este pueda interactuar con las mismas para obtener un resultado deseado (Kaur, 2018).

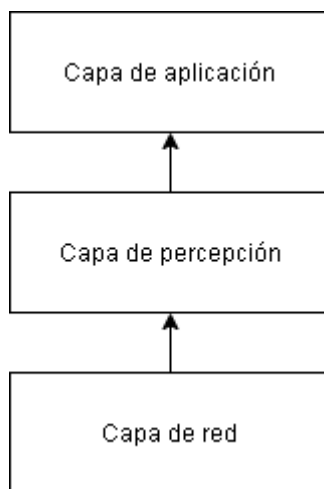
1.4.1 Fundamentos de internet de las cosas

Se estima que para el año 2025 todas las cosas cotidianas como lo son los muebles, electrodomésticos, entre otros, van a poseer nodos de conexión a internet, lo que se traduce en una conexión casi total con las cosas que se utilizan para vivir en los hogares

con el internet, facilitando así la integración de nuevos proyectos con los que se podrán diseñar nuevas estrategias para que el usuario tenga una comunicación más efectiva con los dispositivos con los que desea interactuar (Kaur, 2018).

Una de las maneras comunes en las que se implementa IoT en aplicaciones se basa en una arquitectura que está conformada por 3 capas fundamentales como se aprecia en la figura 1-1, estas son: 1. La capa de percepción, la cual abarca los elementos que son capaces de leer como una variable a un fenómeno como lo son sensores que se encargan de recibir información física para posteriormente entregar una variable digital, 2. La capa de red, en esta sección se encuentran medios para la obtención y tratamiento de la información generada en la capa de percepción mediante servicios como la nube, 3. La capa de aplicación, cuya utilidad reside en proporcionar una interfaz para que el usuario acceda a los datos trabajados en las anteriores capas, pero de una manera más sencilla que le permite interactuar con el proceso que se está interviniendo desde un dispositivo con acceso a internet, un ejemplo de ello es el internet de las cosas implementado en el hogar, caso en el que el usuario define parámetros de los electrodomésticos en el hogar de manera remota (Kaur, 2018).

Tabla 1-1: Diagrama de bloques de la arquitectura de tres capas (Kaur, 2018).



Las áreas más frecuentes de aplicación del internet de las cosas están arraigadas a seguimiento de procesos como lo son entornos médicos, en donde se hace necesaria la

implementación de monitoreo remotos a pacientes específicos que requieren una atención inmediata debido a condiciones de salud específicas, se conocen casos en los que se implantan dispositivos con tecnología de IoT en dichos pacientes, permitiendo recibir información constante de su estado de salud. Otras aplicaciones se pueden encontrar en situaciones muy recurrentes como lo es el tránsito en ciudades, en este sector se hace de vital importancia una gestión de las rutas por calles que sean beneficiosas para la fluidez del transporte en vehículos, y adicionalmente estos mismos pueden proporcionar información acerca de los sitios importantes o destacados (tiendas, centros comerciales, abastecimientos de combustible, etc) para construir mapas inteligentes (Kaur, 2018).

1.4.2 Microcontroladores con acceso a internet

En la actualidad existen diversos tipos de microcontroladores con la capacidad de controlar y manejar diversas funciones, sin embargo, ha sido reciente el auge de microcontroladores con acceso al internet, bluetooth y otros medios de telecomunicación. Se han desarrollado muchos modelos como los RTLDuino, Xbee, los cuales cuentan con ventajas como accesibilidad para programación, versatilidad y cantidad de funciones, sin embargo, poseen problemas de tamaño y precios, lo que reduce su practicidad en diferentes proyectos. Pero entre estos diseños se encuentra la familia de ESP, que proponen una mejoría en cuanto a su calidad y precio ofreciendo capacidades técnicas elevadas en comparación a otros modelos. El modelo más comúnmente utilizado era el ESP8266, el cual se disponía para la implementación de proyectos con énfasis en IoT, pero con la llegada del modelo ESP32 se reemplazó su uso por este último, ya que ofrece tamaños y facilidades con las que el ESP8266 no cuenta, como una mayor cantidad de entradas y salidas, mejores velocidades y mayor cantidad de memoria, lo que se traduce en un mejor desempeño en aplicaciones rigurosas (Maier et al., 2017).

1.4.3 ThingSpeak

Uno de los pilares importantes para que la tecnología IoT sea viable, es la capacidad del manejo de datos obtenidos de las aplicaciones que se desean intervenir, y para ello existen diferentes plataformas que ofrecen servidores en la nube capaces de obtener información

de manera inalámbrica una de estas es ThingSpeak. La comunicación entre la capa de percepción y la capa de red (ThingSpeak) se realiza enlazando microcontroladores con conectividad al internet como el Wi-Fi NodeMCU ESP8266 o el Wi-Fi NodeMCU ESP32 (Parida et al., 2019).

Las principales funcionalidades que ofrece ThingSpeak son las de recopilar y analizar los datos recibidos, y en base en estas dos funciones actuar sobre los mismos. Dichos datos provienen de los sensores que se encargan de traducir el fenómeno que se quiere medir a una magnitud que pueda ser leída por un microcontrolador o un dispositivo con la capacidad de conectarse con el internet y enviar información para su recopilación por ThingSpeak. El análisis realizado sobre los datos permite el cálculo de nuevos datos, visualización de los ya existentes en gráficas, comparación de diferentes datos en una misma gráfica, entre otros. Teniendo estas dos funcionalidades en cuenta, es posible mediante ThingSpeak, actuar en base a los datos, esto consiste en poder desencadenar acciones en base a un dato, lo que por ejemplo se puede traducir en el accionamiento de un motor en base al nivel de temperatura obtenido de un sensor (How To Collect, Analyze, and Act on IoT Data - ThingSpeak IoT, n.d.).

1.4.4 App Inventor

App inventor consiste en un entorno de desarrollo de programación visual para aplicaciones móviles, una de estas es App Inventor, mediante la cual se pueden configurar diversos parámetros de visualización e interacción en una aplicación. Dicha aplicación puede ser conectada a sistemas digitales que poseen la capacidad de conexión por medios como Bluetooth y Wi-Fi. El método de programación consiste en la utilización de diferentes tipos de bloques que cumplen diferentes funciones (Lógicas, control, matemáticas, texto, etc), estos bloques son inaccesibles para el usuario directo de la aplicación. El software posee un entorno gráfico para el ajuste de tamaños, posiciones y otros parámetros para los elementos visuales con los que el usuario tendrá una interacción (visualización de datos y botones para llevar a cabo una acción), los elementos de este entorno serán configurados internamente con los bloques de funciones de la programación, otorgando una configuración específica para cada elemento (MIT App Inventor | Explore MIT App Inventor, n.d.).

2. Planteamiento de la solución

En esta sección se presentarán una serie de procesos realizados para dar una solución al problema planteado y cumplir con cada uno de los objetivos especificados, así como se informará de cada uno de los procedimientos realizados para completar el presente proyecto.

La solución consiste en la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales que cuente con monitoreo mediante el internet de las cosas (IoT). Debido a que los autores de este documento, poseen cierta experiencia laboral en las áreas de soldadura, electricidad, montajes industriales y construcciones/operaciones en plantas de tratamiento de aguas residuales, pondrán en práctica algunos de esos conocimientos para la toma de decisiones a lo largo del desarrollo del proyecto con el fin de obtener los mejores resultados posibles.

2.1 Definición de requerimientos para el tratamiento de agua

En la vereda el alto (Vianí, Cundinamarca) más exactamente finca villa Viviana como hallazgo inicial se encontró que es una zona productora de café y se presenta limitación al acceso del recurso hídrico, por lo cual es necesario el mayor aprovechamiento del agua, en especial las aguas que se evacúan del lavado del café, así como de actividades de limpieza en la finca. Para ello, la finca dispone de una infraestructura tipo alberca donde se lava el fruto de café, por ende, el proceso a implementar debe ser ubicado cerca de este sitio de almacenamiento de agua con el propósito de tener una conexión mucho más corta y sencilla. De esta manera, la parte dispuesta para la implementación asignada por el propietario del predio fue un área de 900 m² con pendiente descendente, la cual ofrece una gran ventaja para la conducción del fluido durante el proceso de tratamiento.

Por otra parte, se definió previamente la ubicación de cada uno de los tanques y los materiales de construcción, teniendo en cuenta los pasos requeridos para el tratamiento del agua una vez estudiada. Con el propósito de adecuar el líquido no apto para el consumo humano a diversas labores como el lavado de pisos, fachadas, techos entre otros elementos que no requieran contacto con plantas (alimentos), animales y demás seres

vivos. A su vez se revisaron las fuentes cercanas de electricidad y de conectividad al internet, de acuerdo a esto se definió el material para construcción necesario y las longitudes y diámetros de cableado necesarias para la extensión de las conexiones eléctricas.

De acuerdo con lo previsto inicialmente se verificaron los materiales existentes con el propósito de poder acoplarlos (muchos de ellos) al prototipo. Dentro de estos, se contaba con un filtro que presentaba averías hidráulicas, puntos de óxido y pintura deteriorada por las condiciones climáticas. Dicho filtro paso por un proceso de mantenimiento el cual consistió en desocupar el material que contenía luego con mecanismos abrasivos de limpieza, se preparó la superficie que a su vez fue recubierta con pintura epoxi auto imprimante polimérica de 2 componentes, aplicada manualmente dejando un secado pertinente para el mismo.

Seguidamente de esto, según lo propuesto en el cronograma, se inició una serie de estimaciones para determinar qué tipo de sistemas para el transporte del fluido se implementan e iniciando su instalación general.

2.1.1 Identificación de las necesidades de la finca

Teniendo en cuenta la problemática relacionada con la escasez de los recursos hídricos y la necesidad de implementar alternativas que lleven a una solución a este problema, se hace necesario la identificación de los parámetros que influyen en la realización de esta alternativa de manera que permita obtener un mejor aprovechamiento de la limitada cantidad de agua con la que se cuenta. A continuación se exponen dichos aspectos:

- La finca Villa Viviana se encuentra ubicada en una vereda llamada el Alto, la cual está a 30 minutos del casco urbano del municipio de Vianí, Cundinamarca, en transporte en carro. Se resalta que un tramo del trayecto carece de vía pavimentada.
- El suministro de agua potable a cada una de las fincas de la vereda es limitado, con ocasión de 1 vez al día durante 2 horas, por lo que cada una de ellas debe disponer de un sistema de almacenamiento acorde con la cantidad de agua que recibe y en función del consumo.

- Dado que se realiza un lavado de café, que contamina la reducida cantidad de agua potable, se necesita mejorar el estado de esta agua contaminada, para extender su uso en el lavado del establecimiento.
- Se requiere ahorrar agua, dando un reusó al recurso hídrico para duplicar utilidad y aprovechar al máximo la condición de aprovisionamiento con la que se cuenta.
- Dado que la finca cuenta con un acceso constante al internet, se viabiliza la modernización y automatización mediante el internet de las cosas de un proceso de tratamiento de aguas residuales, que sea capaz de otorgarle al usuario herramientas para mejorar el estado del agua que se contamina en los diferentes procesos de la finca. Adicionalmente este aspecto impulsa la atracción turística del lugar permitiendo nuevas oportunidades para los propietarios de la finca.

2.1.2 Establecer tanques para almacenaje y su disposición

La finca dispone de diversos recursos para el almacenaje del agua como lo son canecas de 55 galones, albercas en concreto y un tanque en concreto con separaciones. Dichos recursos se aprovecharán en los diferentes procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales:

- Se utilizará un tanque hecho en concreto para, en el almacenamiento inicial, en donde el agua contaminada por el lavado del café será contenida junto con el agua proveniente del lavado de ropa (lavadora), un segundo tanque en concreto, empleado para el proceso de la sedimentación final y desinfección, y un último isotanque para el almacenamiento final, que contendrá el agua tratada, la cual será transportada a una de las albercas con las que cuenta la finca.
- El tanque de floculación es uno de los pilares fundamentales de este proyecto, ya que provee la función de separación de los sólidos del agua contaminada, con ayuda de floculantes y coagulantes. Dichos sólidos serán atrapados en cada una de las divisiones con las que este tanque cuenta, para el correcto funcionamiento de este tanque es necesario añadir modificaciones, como adaptar una estructura que soporte un sistema de agitación, válvulas y rejillas.
- Una de las canecas, será asignada para la función de agitación y disolución dispuesta en el tanque de floculación.
- Se dará reúsó a canecas de pintura base agua de aproximadamente 5 galones para la agitación y el almacenaje del químico a dosificar.

2.1.3 Determinación de la cantidad y frecuencia de agua a procesar

Contando con que en la finca villa Viviana, vive una sola familia, el consumo de agua es poco y el lavado de café se realiza durante los meses de abril, mayo, junio y parte de julio dos veces al año, ya que es el tiempo de cosecha y por cada cosecha se utilizan 2400 litros de agua potable aproximadamente, y al año se consumen hasta 30000 litros en el lavado del café y quehaceres del hogar aproximadamente. Por lo tanto, se tendría una frecuencia de 4 veces por mes equivalente a 3500 litros de agua utilizada en los dos oficios mencionados.

2.1.4 Determinación de la potencia de las bombas.

Para hallar la potencia en caballos de fuerza, se realiza la ecuación (2.1).

$$\gamma = \rho \cdot g ; P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q \quad (2.1)$$

Donde γ es el peso específico en kN/m^3 , ρ es la densidad de fluido en kg/m^3 , g es la aceleración de la gravedad m/s^2 , P_A es la potencia de suministro de energía al fluido en kW, h_A es la carga total sobre la bomba o altura requerida para el desplazamiento en m y Q , es el flujo volumétrico del fluido en m^3/s (Mott L. Robert, 2006).

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.2)$$

$$\gamma = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = 1,04 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 1,04 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot d}{t} = \frac{m \cdot g \cdot H}{t}$$

La potencia de la bomba (PB) se aprecia en la ecuación (2.3):

$$PB = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (2.3)$$

$$PB = 9810 \frac{m}{s^2} \cdot 1,04 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 6 m = 61,7 \frac{Kg \cdot m}{s}$$

$$PB = 61,7 W \cdot \frac{1 hp}{746 W}$$

$$PB = 0,08 hp$$

El cálculo de la energía mecánica (e_m) que es la división de la potencia transmitida en el fluido sobre la potencia especificada en la ficha técnica de la bomba, se puede observar en la ecuación (2.4):

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida en el fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}} = \frac{P_A}{P_I} \quad (2.4)$$

$$e_M = \frac{0,06 hp}{2 hp} = 0,04$$

2.2 Implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales

Para la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, se requieren de una serie de procesos que definen cada etapa necesaria para mejorar el estado en el que se encuentra el agua a tratar.

2.2.1 Prueba de jarras

Se extrajeron muestras de agua contaminada en la finca, que contenían residuos del lavado de café y cierto porcentaje de líquido de limpieza proveniente de la lavadora en cantidades de 5 galones cada tipo de muestra. Dichas muestras fueron transportadas en un recipiente térmico envasadas en botellas plásticas dado que el tamaño de un recipiente de 5 galones supera el tamaño del recipiente térmico, esto se almacenó con el acompañamiento de hielo, esto con el fin de evitar un aumento en la temperatura de las muestras y la posible modificación de sus propiedades, el agua contaminada fue disuelta. La determinación del volumen de coagulante y floculante adecuado para llevar a cabo la

separación de los sólidos del líquido y disminuir la turbidez del agua (y a su vez, tomar medidas de referencia para comparar con el sistema de monitoreo de turbidez desarrollado en este proyecto) fue evaluada mediante la prueba de Jarras. Para ello, se simuló una situación real de la finca en la que ambos tipos de muestra (agua contaminada proveniente del lavado del café y lavado de ropa en lavadora) y se hizo la disolución de ambos tipos en un recipiente como se aprecia en la figura 2-1. A), se realizaron pruebas de jarras en el laboratorio en donde se tuvo en cuenta el porcentaje de masa volumen del 1% y a su vez contando con que el balón de disoluciones se llevaría a 200 ml de solución se tiene mediante la ecuación (2.5), para que de esta manera se despejen los gramos de soluto, obtener la cantidad que se debe aportar a la mezcla y así establecer una concentración para producto a trabajar.

$$1\% = \frac{g_{sto}}{ml_{sm}} \quad (2.5)$$

$$0,01 = \frac{g_{sto}}{ml_{sm}}$$

$$0,01 \cdot 200 \text{ mL} = g_{sto}$$

$$g_{sto} = 2 \text{ g}$$

En donde g_{sto} es gramos del soluto, ml_{sm} son los mililitros de solución. Posteriormente, se pesó el floculante para tener 2 gramos como se aprecia en la figura 2-1, C). También se utilizó la ecuación de concentración del coagulante a inducir en cada jarra la cual se expresa en la ecuación (2.6).

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (2.6)$$

En donde C_1 son las partes por millón del coagulante que se está utilizando, C_2 son la parte por millón que se asumen en base a las pruebas que quieren realizarse, V_2 el volumen de la jarra y V_1 Es el volumen que se desea hallar en mL. Despejando la ecuación (2.7) en función de V_1 , se tiene:

$$V_1 = \frac{C_2 \cdot V_2}{C_1} \quad (2.7)$$

Reemplazando los valores en la fórmula, obtenemos los siguientes volúmenes:

$$V_{11} = \frac{40 \text{ Ppm} \cdot 500 \text{ mL}}{10000 \text{ Ppm}} ; V_{12} = \frac{60 \text{ Ppm} \cdot 500 \text{ mL}}{10000 \text{ Ppm}} ; V_{13} = \frac{80 \text{ Ppm} \cdot 500 \text{ mL}}{10000 \text{ Ppm}} \quad (2.8)$$

$$V_{11} = 2 \text{ mL} ; V_{12} = 3 \text{ mL} ; V_{13} = 4 \text{ mL}$$

En donde V_{11} , V_{12} y V_{13} son diferentes pruebas que se calculan con el fin de evaluar distintas concentraciones en las dosis a aplicar en las jarras, variando las partes por millón. Para ampliar el análisis en los diferentes resultados de las muestras para el floculante se utilizó el polímero aniónico y sulfato de aluminio aplicando los mismos volúmenes y relaciones masa-volumen para ambos floculantes. Como se aprecia en la figura 2-1, B), se evaluó el agua contaminada en 6 jarras, 3 para cada uno de los floculantes.

Figura 2-1: Agua contaminada y jarras (Fuente: los autores).

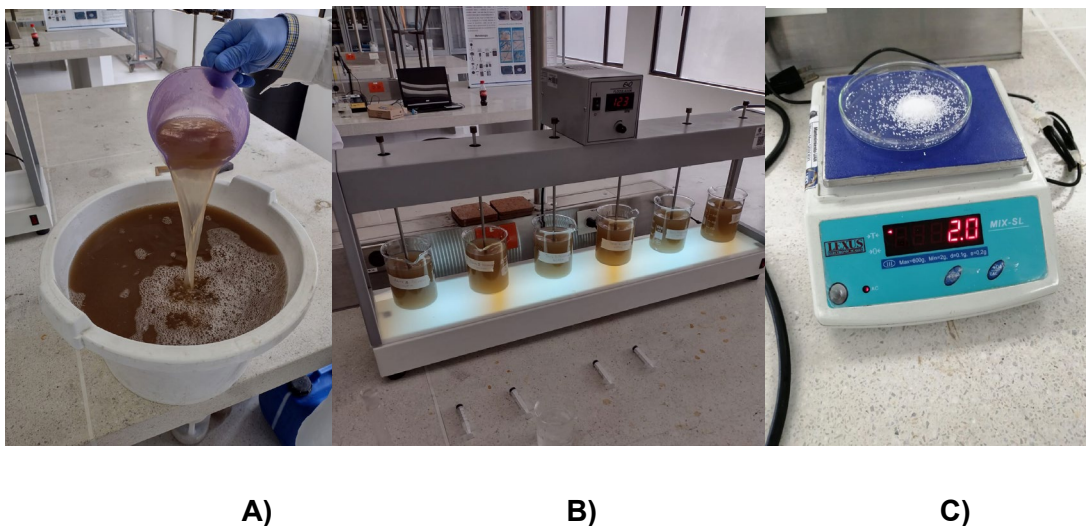
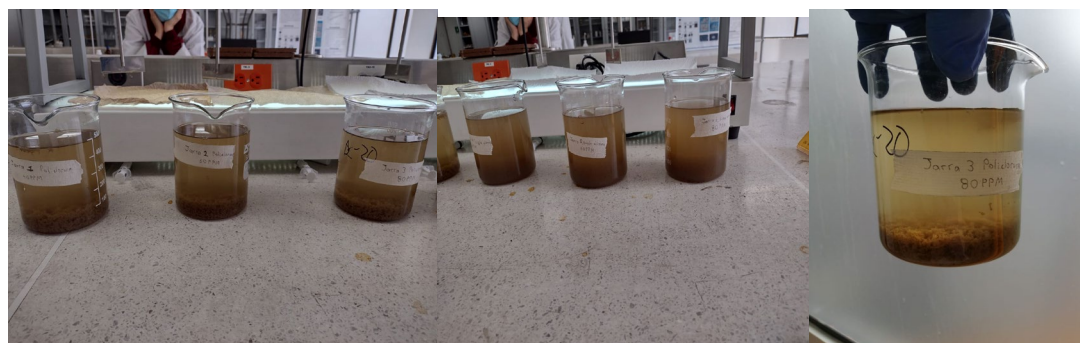


Figura 2-1: A) Ambos tipos de agua contaminada disueltos, B) Jarras con los 2 tipos de floculante, C) Pesaje el floculante en base a la relación masa-volumen.

Se realizó un proceso de agitación rápida a 120 RPM durante 15 segundos y luego una agitación lenta a 52 RPM durante 5 minutos a las 6 jarras. Los resultados con el polímero aniónico se pueden apreciar en figura 2-2, A) y los del sulfato de aluminio en la figura 2.2, B).

Figura 2-2: Agua contaminada y jarras (Fuente: los autores).



A)

B)

C)

Figura 2-2: A) Jarras resultantes del poli cloruro de aluminio, B) jarras resultantes del sulfato de aluminio, C) Jarra con mejores resultados.

Los resultados de estas pruebas se aprecian en la tabla 2-1, para lo cual se utilizaron los equipos de medición de turbidez y pH proporcionados por el laboratorio para comparar el rendimiento de los diferentes coagulantes. Se obtuvo un resultado notablemente mejor con el coagulante aniónico, más precisamente en la jarra en la que se aplicó dicho coagulante con 80 ppm obteniéndose una turbidez de 20,9 NTU, dando un mejor resultado en relación con su contraparte que es el coagulante de sulfato de aluminio, donde al usar 80 ppm se obtuvo 177 NTU después de realizado el proceso.

Tabla 2-1: Resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio. (Fuente los autores.).

	Poli cloruro de aluminio 40 PPM	Poli cloruro de aluminio 60 PPM	Poli cloruro de aluminio 80 PPM	Sulfato de aluminio 40 PPM	Sulfato de aluminio 60 PPM	Sulfato de aluminio 80 PPM
Aplicación de coagulante (mL)	2	3	4	2	3	4
Aplicación de floculante (mL)	2	3	4	2	3	4
Turbidez (NTU)	31,09	29,8	20,9	206	200	177
pH	5,18	5,16	5,15	5,1	5,06	4,99

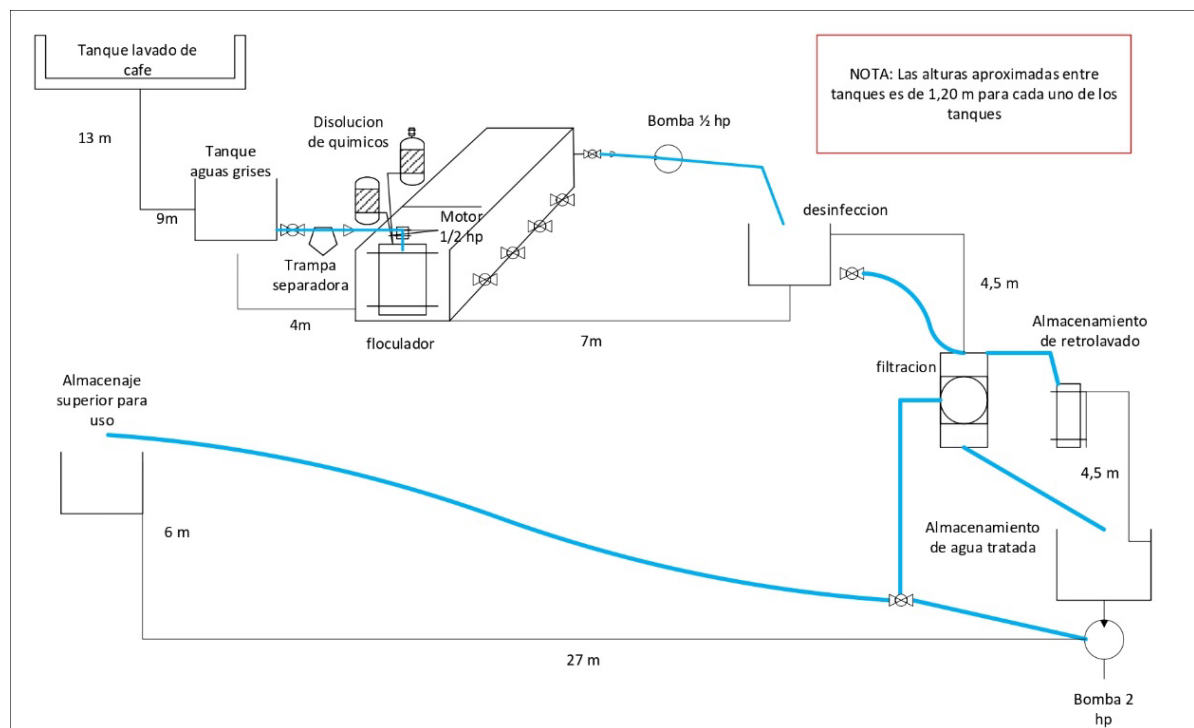
En esta serie de pruebas se estableció la turbidez del agua tratada y se identificaron los valores de pH máximo y mínimo, para referenciar el rango de valores del sensor de pH con el que contará la planta, dichos aspectos se explicarán a profundidad en próximas secciones.

Con base a estas pruebas de jarras se establecen las cantidades de químico a utilizar en función a una determinada cantidad de agua contaminada a tratar, estudio que se ampliará en las pruebas de campo descritas más adelante.

2.2.2 Disposición final de la planta de tratamiento

En las próximas secciones se abordaran cada uno de los procesos que componen a la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo que a continuación en la figura 2-3 se presenta un bosquejo de la distribución general de cada elemento que conformará la planta. El proceso comienza en el tanque de lavado del café, de donde por gravedad se extrae hacia el primer almacenamiento, luego se dirige el agua por gravedad hacia la trampa de grasas y el tanque floculador, en donde se realiza la dosificación y agitación de químicos. El paso siguiente es el tanque de desinfección, para el cual el agua es transportada mediante una bomba de $\frac{1}{2}$ hp y luego de la aplicación del desinfectante (Cloro), se abren las válvulas para el transporte del líquido hacia el filtro, que mediante sus materiales filtrantes, le da un tratamiento final al agua, dirigiéndola por gravedad hacia el tanque de almacenamiento final. En el último tanque, se encuentra una bomba que impulsa el agua tratada hacia un tanque de fácil acceso para el propietario de la finca. Dicho recorrido hasta este tanque es de 25 m con una altura de 6 m aproximadamente.

Figura 2-3: Bosquejo de la ubicación de cada proceso del prototipo. (Fuente: Los autores).



2.2.3 Floculación y sedimentación

Debido a la alta presencia de sólidos disueltos en el agua a tratar, se hace necesaria la implementación de un proceso de floculación y sedimentación con el propósito de reducir la presencia de sólidos en el agua, convirtiéndolos en flóculos y así facilitar la separación. Para suplir esta necesidad se dispone de un tanque construido con bloques de ladrillo en la parte exterior y posteriormente añadir una serie de divisiones con malla electro soldada y recubiertas de concreto con unas medidas se pueden observar en el anexo D, allí se pueden apreciar 4 divisiones en donde el primer paso consiste en un espacio sellado donde se da el ingreso del agua contaminada en la parte de agitación y dosificación de químicos, para dicho procesos implicó la adecuación y configuración de una caneca plástica de 55 galones compuesta por dos codos conectados en la parte superior mirando hacia abajo que funcionan como salida del fluido con conexión de tubería pvc en la entrada del agua a tratar como se observa en la figura 2-4.

Figura 2-4: Caneca de 55 gal adecuada para agitación y primer almacenamiento del agua a tratar (Fuente: los autores).



La caneca mencionada y representada en la figura 2-4 cumple con la función de almacenar el líquido mientras es agitado y recibe la adición de los químicos entre los cuales está el floculador (polímero aniónico) y el coagulante (policloruro de aluminio).

El sistema de agitación está presente en la caneca plástica de 55 galones, el cual cuenta con un acoplamiento en el centro de la base de la caneca fijando el eje para restringir su desvío al momento de girar. Debido a las cantidades de líquido que se manejan en esta caneca, se instala un motor robusto cuyas características se especifican en la tabla 2-2 y se acopla mediante un sistema de prisioneros con el eje explicado anteriormente.

Tabla 2-2: Características técnicas del motor de agitación principal. (En et al., n.d.).

	Motor monofásico para agitación en caneca de 55 gal
Tensión de alimentación (V)	110
Consumo de corriente (A)	5
Velocidad (RPM)	1725
Diámetro del eje (pulg)	1/2
Potencia (Hp)	1/4

Para saber si el flujo es de forma turbulenta o laminar se utiliza la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{N \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (2.9)$$

Donde R_e es el número de Reynolds, que sirve para definir si el fluido presenta forma turbulento, N es la velocidad de revoluciones por segundos (RPS) (Valor que se desea hallar), d es el diámetro del agitador en metros (m), ρ es la densidad del fluido en (kg/m³) y μ es la viscosidad en (Pa.s).

Para conocer el valor de N en revoluciones por minuto se despeja la ecuación de potencia en función de la misma.

$$P = KT \cdot N^3 \cdot D^5 \cdot \rho \quad (2.10)$$

Donde P es la potencia de agitación en vatios, KT es una constante para impulsor de tipo turbulento, dicha constante describe sus valores para diferentes tipos de hélices en la tabla 2-3, en el caso del proyecto se utilizan unas hélices de 6 palas planas, N es la velocidad de rotación, D el diámetro del agitador y ρ densidad del fluido.

El valor de constantes del tipo de impulsor para flujo turbulento (KT) y fluido laminar (KL), se asume que debido a la constante agitación el flujo es turbulento y la eje turbina de 6 palas planas que es el tipo de impulsor que más se asemeja a el sistema implementado

Tabla 2-3: Constantes del tipo de impulsor para fluido turbulento (KT) y fluido laminar (KL) (Fuente: *Castillo, 2013*).

Tipo de impulsor	KL	KT
Hélice paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Hélice paso de 2, tres palas	43,5	1,00
Turbina; seis palas planas	71,0	6,30
Turbina; seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Turbina dos palas planas	36,5	1,70
Turbina cerrada, seis palas curvas	97,2	1,80

Conocidos los valores, se procede con el despeje para hallar la velocidad de rotación (N) como se ve en la ecuación (2.10).

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{KT \cdot D^5 \cdot \rho}} \quad (2.10)$$

$$N = \sqrt[3]{\frac{186 \text{ W}}{6,3 \cdot (0,25)^5 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}}$$

$$N = 3,11 \text{ RPS}$$

Una vez obtenido el valor de la velocidad de rotación utilizamos la ecuación de número de potencia y reemplazamos como se aprecia en la ecuación (2.11).

$$P = 6,30 \cdot 3,11^3 \cdot 0,25^5 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2.11)$$

$$P = 185,99 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

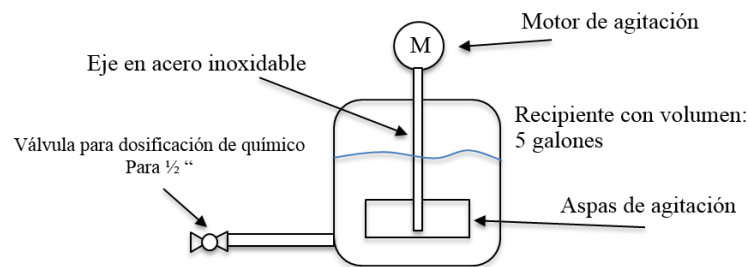
$$R_e = \frac{3,11 \text{ RPS} \cdot 0,25^2 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}{0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$R_e = 194700 = 194,7 \times 10^6 > 10000$$

Con el número de Reynolds R_e se comprueba que el fluido es turbulento, ya que el valor es mayor a 10000.

En un recipiente de menor tamaño (5 gal) en donde se almacena el coagulante, se utiliza un motor con las características consignadas en la tabla 2-3 el cual está acoplado a un eje de acero inoxidable con un diámetro de $\frac{1}{2}$ " con aspas de acero inoxidable soldadas, este se dispone para cumplir el propósito de agitación y disolución del químico empleado, ayudando a homogeneizar y dar movimiento a la mezcla por la alta viscosidad con la que cuenta el flujo de agua con el químico incorporado, aspecto que también influye en la no dosificación automática por problemas mecánicos de transporte del líquido.

Figura 2-5: Esquema explicativo de la agitación de químico (Fuente: Los autores).



Como se aprecia en el esquema de la figura 2-5, la dosificación de manera manual se realiza mediante la válvula luego de su agitación.

Tabla 2-4: Características técnicas del motor de agitación para el sedimentador. (En et al., n.d.).

	Motor tipo escobilla para la agitación del coagulante
Tensión de alimentación (V)	110
Consumo de corriente (A)	0.1
Velocidad (RPM)	140
Diámetro del eje (pulg)	1/4

La dosificación del floculante está dada por el valor de turbidez registrado por el sensor inicial y será administrada mediante una electroválvula cuya ubicación se puede apreciar en la figura 2-6.

En este orden de ideas, se generan 3 procesos fundamentales en el floculador que son agitación, dosificación y sedimentación o separación de sólidos disueltos, por lo cual la composición de dicho sistema se verá en la figura 2-7 en donde se aprecia el resultado final de la infraestructura implementada en el tanque. Adicionalmente con el fin de contrarrestar los cambios climáticos de la zona, se implementó una cubierta estructural con sistema de caída de dos aguas. Para explicar el funcionamiento del sistema de dosificación y agitación, se debe remitir a la figura 2-6 en donde es posible observar un esquema para la descripción de estos procesos. En primera instancia se ubica en la parte más alta un recipiente de agitación de químico, allí ingresa en primer lugar el floculante para su agitación, posteriormente se hace apertura de la válvula para floculante, se vacía el tanque de agitación química, para ingresar el coagulante, ya que este último es muy viscoso se cierra la válvula de floculante y se abre la válvula de coagulante, esto se hace principalmente para separar el coagulante del paso por la electroválvula, ya que la tiende

a atascar mecánicamente. Esta dosificación se hace a la caneca de agitación principal, donde llega el agua contaminada y por rebose cae a las divisiones de sedimentación, para que el agua pase por cada una y los sólidos queden atrapados. Por último se extrae el líquido mediante la bomba ubicada en este proceso

Figura 2-6: Esquema explicativo para el proceso de dosificación y agitación (Fuente: Los autores).

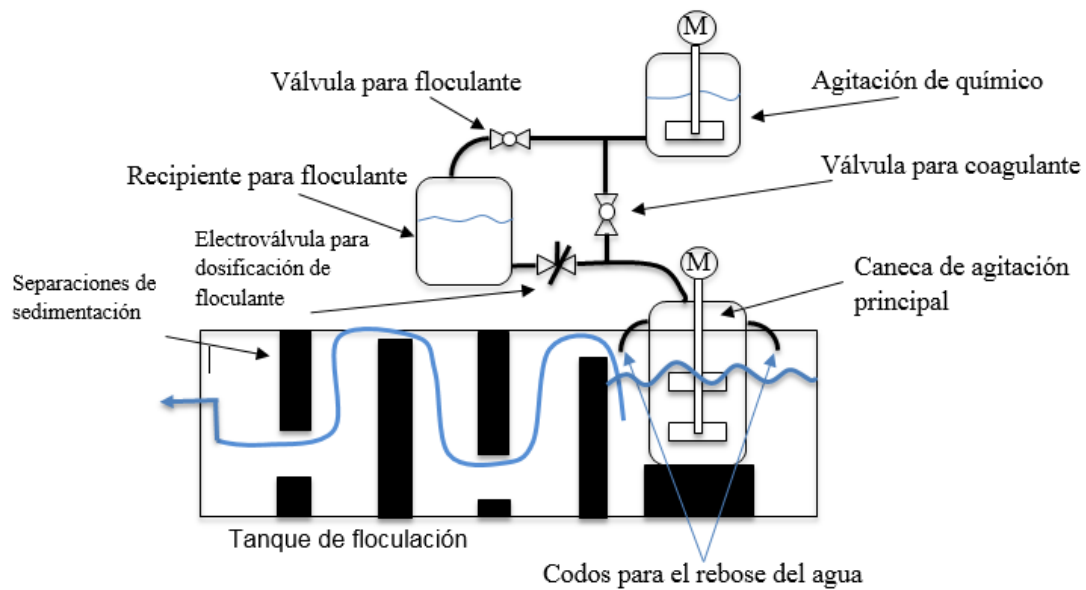


Figura 2-7: Resultado final del tanque de floculación y sedimentación (Fuente: los autores).

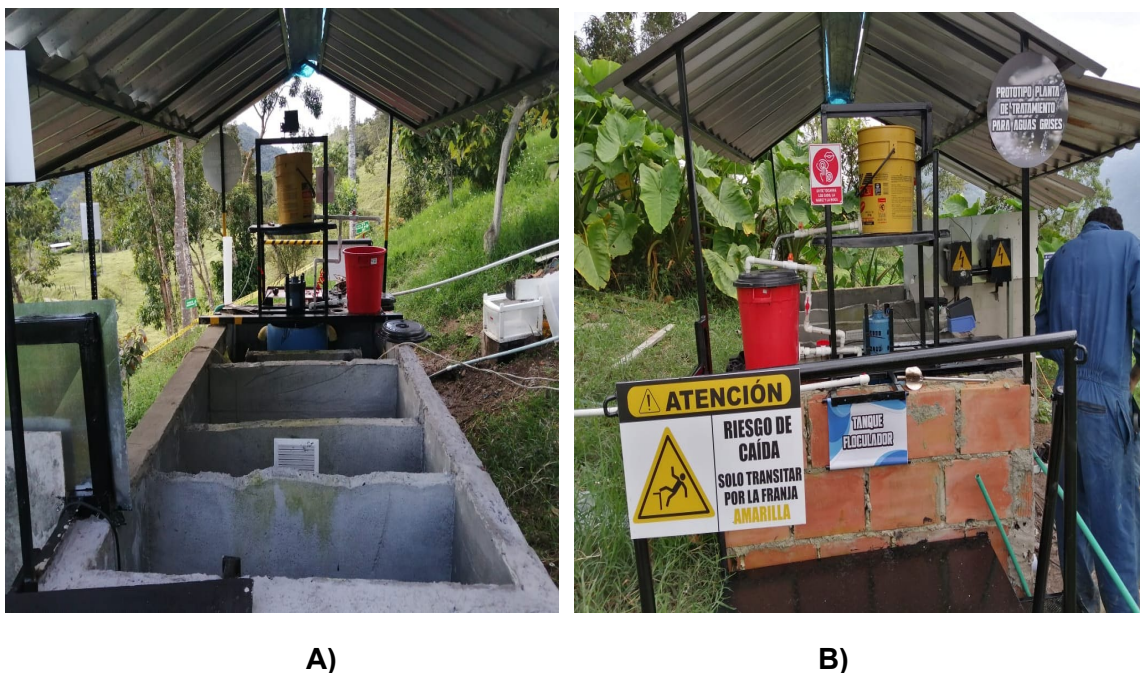


Figura 2-7: A) Vista trasera del floculador donde se aprecian sus divisiones, B) Vista frontal con el sistema de agitación y dosificación en sus respectivos recipientes.

2.2.4 Desinfección

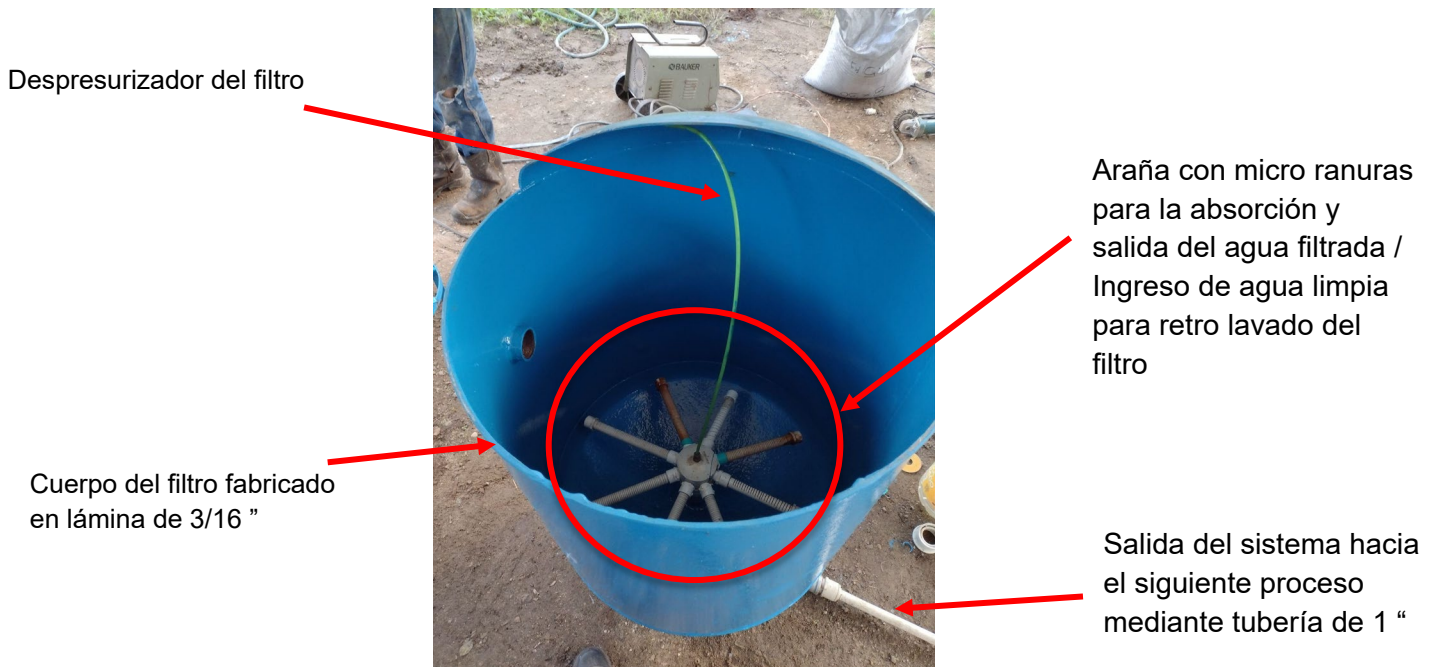
De acuerdo con el tipo que agua que se desee clarificar se deben establecer barreras que permitan eliminar ciertos microorganismos presentes y disminuir a su vez el olor presente, para el prototipo de planta de tratamiento se utilizó un isotanque de 1 m^3 como almacenamiento temporal para aprovechar la caída del agua del anterior proceso para la agitación y disolución de la sustancia química cloro (Cl), la cual tiene como fin disminuir el riesgo de formación de ciertas bacterias que puedan alterar la calidad del agua y dañar el filtro saturándolo y disminuyendo su tiempo útil de vida. Por ello la disolución del cloro se realizó de forma manual en un recipiente o caneca de 5 gls con una proporción esto debido a que su presentación es granulada, por lo que es necesario su disolución de forma mecánica o con agitación manual, previamente a su uso en el proceso de desinfección. De

esta manera es posible la disminución de presencia en cierto porcentaje de agentes bacterianos, y los que no pueden ser removidos quedarían en suspensión en la parte superior del agua para que no logren establecer contacto con el filtro. Una condición de uso para conservar la limpieza y efectividad de este proceso, consiste en evitar la acumulación de agentes contaminantes y residuos de cargas de agua anteriores, mediante la aplicación de agua a presión con una manguera para remover así los restos de contaminación que puedan afectar a futuras cargas de agua para ser desinfectadas.

2.2.5 Filtración

La filtración es un procedimiento necesario para eliminar las últimas impurezas del agua a tratar, para el cual en este proyecto se utilizan una serie de sólidos alojados en un tanque en un orden específico garantizando que el material más grueso sirviera de soporte para el más delgado y así garantizar la filtración únicamente del agua, estos sólidos son piedras con dos diferentes tamaños: grandes y pequeñas, arena para filtración de aguas sílice que cuenta con una permeabilidad y porosidad para el paso del agua a través de la misma, y carbón activado que retiene contaminante y residuos orgánicos. El tanque que se dispuso para la construcción del filtro, adquirido por parte del propietario de la Finca Villa Viviana, se le realizó una limpieza y posterior aplicación de pintura epoxica (disuelta con sus dos componentes como lo son base y activador) presentando las condiciones idóneas para el almacenamiento del agua y aseo necesario en el procesamiento del agua. Dicho tanque posee un mecanismo de absorción de agua tipo araña con distribución homogénea el cual presentaba acoples rotos que fueron limpiados y restaurados, este mismo se observa en la figura 2-8 para la ubicación de los sólidos filtrantes sobre esta estructura, esta configuración otorga un espacio al mecanismo de la figura 2-8 para que cumpla su función.

Figura 2-8: Disposición e implementación de la base del tanque de filtración para la acomodación del material filtrante (Fuente: los autores).



En cuanto al material filtrante, las piedras y el carbón activado fueron previamente lavadas, ya que este material tendrá contacto directo con el agua a tratar, el lavado se realizó en una superficie mallada en el caso de las piedras para que con agua limpia que se encontraba en la finca con origen de las lluvias, se hiciera una remoción de algunos contaminantes. El orden posterior que se da al material filtrante, como se puede observar en la figura 2-9, A, en donde se aprecian las piedras, las cuales se ubican en orden de tamaño mayor a menor de abajo hacia arriba encima de la estructura mallada posteriormente explicada, la cantidad de piedras es de 25 kg para las piedras grandes y 25 kg para las pequeñas y con un tamaño medido aproximadamente que oscila entre 12 a 20 milímetros y entre 6 y 8 milímetros, respectivamente. Luego de esto se ubica la arena sílice, encima de las piedras, y se agregan 50 kg de la misma, y por último se agregan 17 kg de carbón activado.

Figura 2-9: Ubicación del material filtrante (Fuente: los autores).



Figura 2-9: A) Piedras de tamaño grande y pequeño, B) Arena de sílice, C) Carbón activado.

Para una recepción lo más uniforme posible al filtro del agua se implementó un dispositivo como el observado en la figura 2-10, dicho dispositivo consiste en la unión de varios tubos de pvc que poseen agujeros tipo ducha con distribución uniforme para que el agua que entra al filtro se reparte en distintas posiciones y se aproveche la mayor parte del área del filtro garantizando que todo el material filtrante está en operación.

Figura 2-10: Dispositivo de distribución del agua (Fuente: los autores).



A)

B)

Figura 2-10: A) Dispositivo para la distribución del líquido de entrada, **B)** Salida del tanque.

Luego del ingreso del agua al filtro en un estado de material seco, se tarda entre 4 y 5 minutos para que el agua fluya hacia la salida del filtro pasando por cada una de las capas, sin embargo una vez que el material del filtro se encuentra mojado, su tiempo de filtración oscila entre los 35 y 40 segundos, tiempo medido con cronómetro desde el instante en el que el proceso anterior (desinfección), alimenta al filtro verificando las derivaciones de entrada que posee el mismo para la distribución homogénea del agua dentro del material filtrante. La velocidad de filtrado se debe a que hay una mejor conducción y existe menor resistencia al paso del agua.

2.2.6 Almacenamiento.

Se implementa para el almacenamiento de agua contaminada un tanque construido en concreto con unas medidas de ancho 730 mm, largo 930 mm y altura de 1020 mm dicho tanque posee una salida y una entrada, la entrada proviene del tanque de lavado del café y de una derivación que conduce el agua de la lavadora y lavamanos. Por otro lado, la salida alimenta la trampa de grasas como se aprecia en la figura 2-11.

Figura 2-11: Tanque de almacenamiento de agua inicial entradas y salidas (Fuente: los autores).



A)

B)

Figura 2-11: A) Salida del tanque, B) Entrada del tanque.

El último almacenamiento de la planta de tratamiento alberga el agua tratada. Dicho almacenamiento se trata de un isotanque que cuenta con las medidas de ancho 1000 mm, largo 1000 mm y una altura de 1000 mm aproximadamente. Cuenta con una capacidad de $1 m^3$ que a su vez tiene una salida conectada a la bomba de 2 hp que alimentará un almacenamiento final a 27 metros de distancia y 6 m de altura aproximadamente, a través de una manguera de 1 pulg. La disposición de dicho tanque se aprecia en la figura 2-12.

Figura 2-12: Tanque de almacenamiento de agua final (Fuente: los autores).



A)

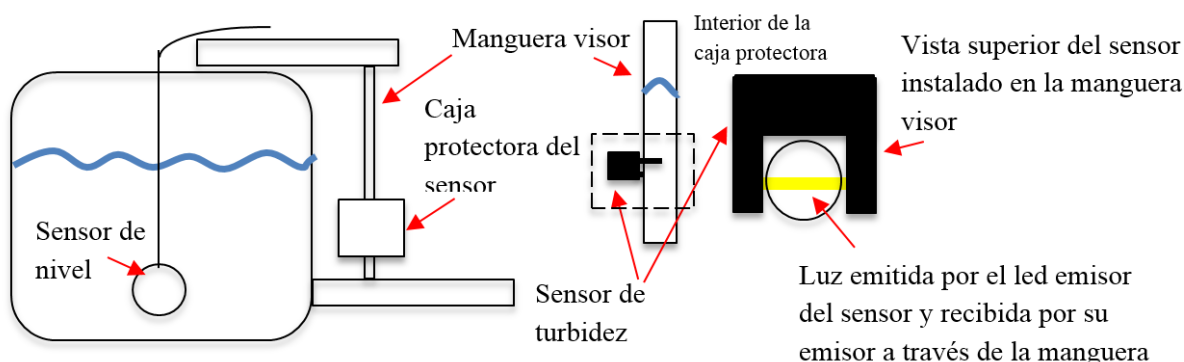


B)

Figura 2-12: A) Ubicación de la manguera visor y sensor de turbidez final cubierto, **B)** Vista periférica del tanque de almacenamiento final.

En la figura 2-12 B) se aprecia una manguera visor, esta manguera tiene como función mejorar las mediciones tomadas por el sensor de la turbidez. Los sensores de turbidez utilizados en este proyecto funcionan mediante la transmitancia de luz afectada por el agua entre un led emisor y uno receptor. Ya que el sensor de turbidez tiene una cubierta plástica como se verá en la sección de sensores para proteger la circuitería que lo compone, se presentan mediciones erróneas para bajos niveles de turbidez, esto debido a que la cubierta mencionada suma cierto grado de opacidad, en la figura 2-13 se presenta un esquema para explicar la instalación de este sensor con la manguera visor.

Figura 2-13: Esquema explicativo para la instalación del sensor de turbidez final (Fuente: Los autores).

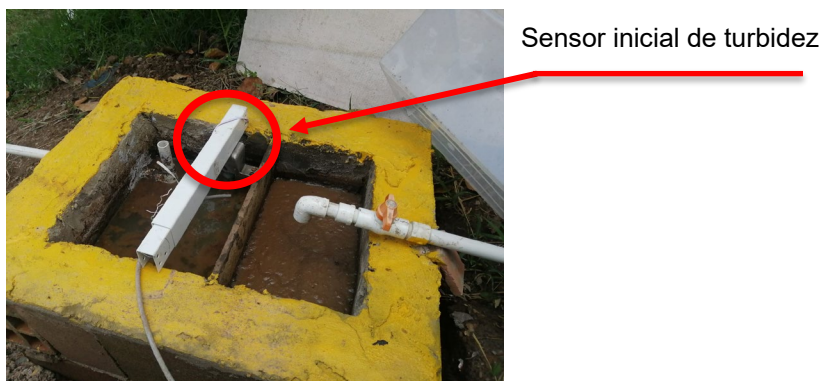


Debido a que la bomba de 2 hp se encuentra a una altura menor que el tanque de almacenamiento final tenemos una aspiración positiva a la entrada de la misma. La bomba se dispuso en la parte baja un pequeño cajón de concreto tipo dique con una canal que evita la retención de agua, posible inundación del sitio y posterior daño en la bomba.

2.2.7 Trampa de grasas

Los sistemas de trampas de grasas presentan un alto desempeño en el atrapamiento de sólidos muy densos, aceites o en el caso del estudio ayuda con el atrapamiento de cáscaras que se filtran en el paso inicial provenientes del fruto de café, el sistema reduce problemáticas que se podrían presentar en relación con el paso de grasas, las cuales al entrar en contacto con los filtros presentan taponamientos; a su vez mantiene un nivel constante. Teniendo en cuenta que cuando se le da apertura a la válvula de salida del tanque de aguas grises, que es el que hace contacto en primer lugar con la trampa de grasas, se transporta el agua para que el nivel de llenado de la trampa de grasas sea el suficiente para entrar en contacto con el primer sensor de turbidez sin que llegue a inundarlo.

Figura 2-14: Entrada de la trampa de grasas y ubicación sensor de turbidez (Fuente: los autores).



El proceso de mantenimiento de este tipo de trampas de lodos o grasas se realiza de manera fácil en su gran mayoría por la parte baja, para el sistema en mención se implementó un drenaje en la parte baja garantizando que salga todo el fluido o los residuos acumulados cuando se le dé apertura a una válvula de bola de 1 pulg de diámetro con la que cuenta como drenaje, a la misma vez conduce el fluido por un canal que atrapa el sólido y en la parte baja permite en un recipiente recolectar el agua y aislar el sólido; también vez ofrece beneficios de lavado interno y barrido teniendo en cuenta que la división con la que cuenta en la mitad es removible.

Figura 2-15: Salida trampa de grasas y salida con canal para el mantenimiento (Fuente: los autores).



2.2.8 Reúso.

Por la problemática de escasez de agua mencionada anteriormente la finca se ve en la necesidad de reutilizar el recurso hídrico al máximo posible, por lo cual se encuentra la recolección de la lluvia dirigida por tejas nuevas que se instalaron en un área de salón de reuniones. Dicho sistema cuenta con una cubierta de 4 aguas, lo que se traduce en 4 salidas que desembocan a un desagüe que se dirige hacia un tanque de almacenamiento, este líquido se utiliza en el riego de plantas. Por otra parte, cuando se realiza el lavado de ropa en la lavadora, se recoge el agua resultante de dicho proceso y se almacena junto con la contaminada proveniente del proceso del lavado de café.

2.2.9 Toma de muestras y pruebas de jarras en campo

Una vez la planta está en funcionamiento, se procede a realizar pruebas de jarras y toma de muestras, con el fin de observar los cambios realizados en el agua contaminada aplicando el método químico de tratamiento, teniendo en cuenta que las jarras a trabajar son de 500 ml, la dosis establecida en las pruebas de laboratorio dieron un resultado de 2 gr por 200 ml de los dos reactivos utilizados, lo cual tuvo que llevarse a una escala mayor considerando que ya no son 500 ml a trabajar sino 600 litros aproximadamente y contando como recipiente no 200 ml sino 17 litros dispuestos para la agitación del químico. Llevando esto a mayor escala se procedió como primera medida a verificar que los sistemas eléctricos instalados para el proceso de flotación funcionaran correctamente como el agitador del químico, agitador de aguas, bomba y flotador de paso hacia el siguiente proceso y demás.

La electroválvula fue probada con la probeta de 1 litro una vez disueltos los químicos, hallando el tiempo que tardaba en llenar 4780 ml que es lo que requiere el tanque lleno de aguas grises para su tratamiento, arrojando resultados favorables.

Por otra parte, una vez iniciado el proceso y dejando una sedimentación adecuada se procede a la toma de muestras verificando a su vez las condiciones de pH, para esto se midió el pH mediante papel tornasol para obtener una referencia a grandes rasgos del estado del agua. Se toma esta medida debido a que resulta complicado el transporte de un equipo patrón para tomar las medidas en la finca. En secciones posteriores se reflejan las mediciones de comparación entre los sensores.

Figura 2-16: Medición del pH mediante el uso de papel tornasol y una comparación del antes y después de la turbidez del agua tratada (Fuente: Los autores).



A)

B)

Figura 2-16: A) Mediciones tomadas con papel tornasol, B) Escala de colores proporcionada por el fabricante.

2.2.10 Modelado en Solidworks

El modelado previo de la disposición de los tanques que conforman el prototipo de aguas grises fue necesario para la construcción de los mismos en material concreto y se empleó como fuente de indicación para la implementación, teniendo en cuenta aspectos como el espacio con el que se cuenta, facilidad de armado y aprovechamiento de materiales de construcción.

Dentro de los planos de modelado se definen los acotados del elemento o pieza que se desea construir y a su vez se representan apreciativamente las distintas vistas que componen el objeto modelado.

Este tipo de software es de gran ayuda teniendo en cuenta que con los modelos de forma gráfica es posible ubicar las piezas parcialmente lo cual permite hacer correcciones sin afectar materias primas o dañarlas. Gracias a esto se pueden evaluar las posiciones de los componentes y corregir tempranamente antes de incurrir en gastos o cortes de materiales mal estructurados, lo cual nos conduce a una adecuada planificación y

ubicación donde se requiere. En los anexos A, B, C, D y E se disponen de los diferentes planos realizados.

2.2.11 Métodos de unión para el acoplamiento del sistema

Ya que las diversas estructuras que soportan distintos procesos del proyecto, necesitan uniones de varios tipos, desde soldadura en frío (polímeros) como en caliente (soldadura por arco eléctrico) hasta adhesivos para materiales plásticos, a continuación, se explican cada uno de los métodos realizados en las diferentes partes de la planta.

Figura 2-17: Soldadura y pegamentos tipo silicona. (Fuente: los autores).

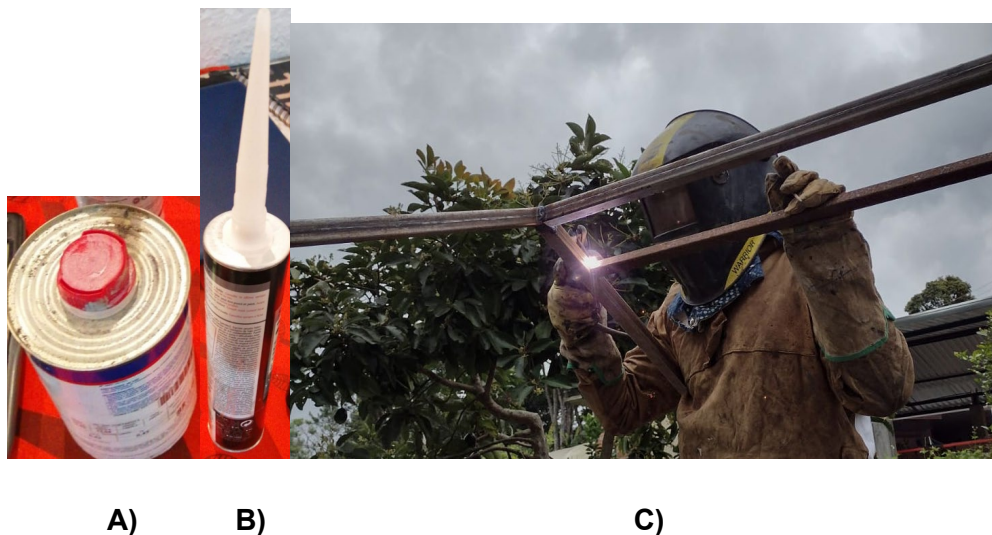


Figura 2-17: A) Pegamento para tubería PVC, B) Silicona para evitar el paso del agua, C) Aplicación de unión por soldadura.

- En el proceso de agitación se utilizó una caneca de 55 gal, la cual requiere un acople en el centro de la base con propósito de guiar el eje agitador que sirve para hacer la disolución de los químicos a trabajar en el tanque floculador. Dicho acople fue instalado en un agujero realizado con broca de alta precisión para que el mismo tuviera un ajuste deslizante con la caneca. La unión de este acople a la caneca se realizó con soldadura en frío tipo silicona Sikaflex la cual, teniendo en cuenta indicaciones del fabricante, ofrece una alta flexibilidad y resistencia a la humedad, a los rayos UV, solventes, detergentes y resistencia mecánica, características

apropiadas para el uso específico del contacto con residuos contaminantes en el agua. La implementación de este método de unión, requiere de una limpieza previa de la superficie en la que la silicona será aplicada, esto teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, que sugieren un aumento en la efectividad de la adherencia con un secado posterior a la aplicación de 12 horas.

- Para el acoplamiento de los sistemas hidráulicos se utilizó limpiador pvc adicionando a un trapo limpio y seco, con el cual se prepararon las juntas de tubería a pegar, garantizando un retiro adecuado de contaminantes que puedan interferir en la adhesión. Una vez preparadas las juntas a unir, se realiza la aplicación del pegante de forma homogénea en las uniones y a su vez se encajan los dos componentes teniendo en cuenta que la adhesión es de secado rápido.
- El tipo de unión por soldadura en caliente se aplicó en la construcción de la planta para la fabricación de soportes y en el mantenimiento y soldadura del tanque de filtración. Dentro de los tipos de soldaduras que se conocen en los procesos de aprendizaje de los autores de este documento, se tienen soldaduras semiautomáticas y manuales, utilizadas en procesos que requieren un trabajo en la intemperie por lo que se utilizan soldaduras de tipo Shield metal Arc Welding (SMAW) lo que traduce al español soldadura por arco manual revestido. Para estas aplicaciones se requieren electrodos dentro de los cuales se tiene una gran gama que trabajan según su diámetro y su contenido químico en una posición requerida y un amperaje adecuado en el equipo de soldadura. En los trabajos desempeñados en el mantenimiento del filtro se requieren cortes en la tapa superior con el fin de acceder al interior del mismo, y se requiere soldar la pieza retirada y el tanque, caso que requiere una soldadura con buena penetración, por lo que según especificaciones del fabricante West Arco, el electrodo 6011 de diámetro 3/32 pulg no se puede trabajar con un alto amperaje debido a la condición de las instalaciones eléctricas con las que cuenta la finca. El electrodo mencionado trabaja en todas las posiciones posibles y debido a su proporción de polvo de hierro ofrece una mejor estabilización en el arco, adicionalmente este electrodo posee una elevada capacidad de penetración, garantizando así, la ausencia de fugas en los elementos a unir siempre y cuando se garanticen unas condiciones óptimas en la superficie a trabajar realizando una preparación a la junta o láminas, para lo cual se utilizaron

discos para pulidora de 4" de diámetro y 1/4" de espesor con el fin de remover los excesos de soldadura en los bordes, y para la parte interior del mismo se realizó un proceso de grateado junto con una buena limpieza con aire de compresor y thinner, removiendo los residuos y ayudando a que la adherencia de la pintura a utilizar sea la correcta. (Westarco, 2021).

Figura 2-18: Soldadura de electrodo manual revestido en la tapa del tanque de filtración. (Fuente: los autores).



2.2.12 Sistemas de agitación

Los sistemas de agitación son procesos empleados para obtener mezclas uniformes, que en su gran mayoría, están acompañadas de métodos mecánicos para una correcta disolución dependiendo con el mecanismo implementado para precipitar los químicos asociados al tratamiento y revolver el agua que se trata. Se utiliza un motor tipo escobilla y otro de 1/4 caballo de potencia, respectivamente, los cuales son anclados a una estructura fabricada en perfiles cuadrados de 1" de diámetro por un espesor de 3 mm y no permite vibraciones en los mismos.

Figura 2-19: Agitación principal en el tanque de flotación. (Fuente: los autores).



A)

B)

C)

D)

Figura 2-19: A) Agitación principal del tanque floculador, B) Ubicación del eje respecto a la caneca, C) Espas del agitador de químico, D) Acople fabricado para el eje con el motor.

Por otro lado, los ejes de giro de los motores mencionados se encuentran unidos a ejes de acero inoxidable por medio de acoples hembra en material aluminio, torneados con el diámetro de hueco indicado para poder dar sujeción a los elementos por medio de tornillos bristol. A su vez los ejes de acero inoxidable cuentan con unas platinas soldadas que conforman las espas y dan movimiento al fluido a mezclar.

Para el prototipo se utiliza una caneca de 200 L y otra de 20 L aproximadamente, las cuales cuentan con un acople centrado en la parte baja y garantizan que al montar el eje al acople del motor y a su vez a la parte baja de la caneca, de un direccionamiento vertical constante y no permita descarrilamientos o giros inadecuados al momento de la agitación.

Dicha mezcla homogénea permite que tanto los químicos empleados como el agua a tratar se disuelvan de una manera pareja garantizando que el agua contaminada en su totalidad haga contacto con el agente químico y pueda realizar la reacción esperada.

2.2.13 Implementación sistema de retro lavado para el filtro

Los filtros tiene como función dejar pasar el agua a través del material filtrante, sin embargo, a través del tiempo se van acumulando sólidos que se retienen en la parte superior de dicho material, por lo cual, según sea la operación, es recomendable aproximadamente cada 8 tandas hacer el retro lavado para evitar taponamientos y que se generen capas viscosas en el material filtrante.

Dicho retro lavado aporta a la extensión de la vida útil del filtro y se realiza reutilizando el agua que se encuentra almacenada en el isotanque dispuesto para el almacenaje del agua, permitiendo que el material filtrante pueda ser empleado durante un tiempo de 3 a 4 años.

2.2.14 Instalación de la red eléctrica

La instalación eléctrica que alimentará a la planta y distribuirá el cableado para cada uno de los componentes eléctricos y electrónicos, se conectará de la acometida más cercana con el nivel de voltaje que se maneja en la finca (110 V). Dicha acometida se encuentra a 20 m de distancia aproximadamente del tablero de control principal, el cual se ubica en la estación de floculación y sedimentación, para lo cual se utiliza tubería en PVC para redes eléctricas de 1/2" con el fin de transportar de manera subterránea todo el cableado eléctrico. En el tablero de control principal se dispone de una distribución de tuberías que transporta el cableado para ser conectado eléctricamente con la bomba de llenado para los tanques encargados de la desinfección, filtro y almacenamiento del agua tratada, sensores, sistemas de agitación y la bomba que transporta el líquido tratado hacia la disposición final. Una perspectiva de la ubicación de la tubería desde la acometida hasta el tablero de control se puede apreciar en la figura 2-16, en donde dicha tubería posteriormente es cubierta por una pequeña zanja recubierta de tierra para su protección mecánica.

Figura 2-20: Posicionamiento de la tubería de la red eléctrica. (Fuente: los autores).



El cableado utilizado en la instalación eléctrica para la acometida de alimentación está constituido por un cable 2 x 12 encauchetado con el que se contaba previamente y se le da un uso práctico en la conexión de la planta. Adicionalmente el cableado de la bomba principal se hará con el cable mencionado anteriormente aprovechando que su capacidad es de 25 A. Para la conexión de los sensores y sistemas de control, se opta por la utilización de cableado más económico con el fin de optimizar los recursos con los que se cuentan, en este caso se seleccionó cable dúplex calibre 12 el cual sobrepasa la capacidad de corriente que exigen las señales de control utilizadas por dichos tipos de sistemas. Para la protección del circuito se instala un protector termo magnético con disparo de 32 A con el que ya se contaba para asegurar que se interrumpa el flujo de corriente antes de provocar daños severos en caso de un corto circuito. Aunque los recursos utilizados, se seleccionaron en base a sus capacidades, y sobre todo a su disponibilidad debido a que ya se contaba con estos, sus parámetros no se apegan exactamente a los calculados. Para la determinación de las capacidades de la protección y cableado ideales en la selección se deben realizar los cálculos de la ecuación (2.12).

$$I_p = I * 1.25 \quad (2.12)$$

En donde I_p es la corriente que debe soportar el cableado según características proporcionadas por el fabricante, así mismo, es la corriente de disparo que debe tener la protección eléctrica ante una falla, I es la corriente de consumo de la carga, en el caso de este proyecto, es la corriente consumida por el circuito general. Según la tabla 2-6, se aprecian los consumos medidos de la corriente de los equipos eléctricos con mayor consumo (Bomba de llenado de $\frac{1}{2}$ hp, motor de agitación principal de $\frac{1}{4}$ hp y bomba de almacenamiento final 2 hp), son de 4,35, 6,32 y 5,43 A respectivamente. Adicionalmente la electroválvula mencionada para la dosificación junto con el agitador de químico posee un consumo de 1 A. La corriente más baja corresponde al circuito electrónico, que posee 3 módulos de relés de 2 canales cuyo consumo es de 25 mA aproximadamente por relé, los microcontroladores ESP32 con un consumo aproximado de 80 mA. La sumatoria de corrientes la podemos apreciar en la ecuación (2.13).

$$I = I_m + I_d + I_e \quad (2.13)$$

Donde I_m es la corriente total de los equipos eléctricos con mayor consumo, I_d la corriente total de los equipos de dosificación y agitación de químico, e I_e es la corriente generada por los circuitos electrónicos.

$$I_m = (4,35 + 6,32 + 5,43) A = 16,1 A$$

$$I_d = 1 A$$

$$I_e = 80 mA + (25 * 6) mA = 230 mA$$

$$I = 16,1 A + 1 A + 230 mA = 16,83 A$$

Conociendo el valor de I podemos hallar la corriente necesaria para las protecciones eléctricas y los conductores:

$$I_p = 17,33 * 1.25$$

$$I_p = 21,66 A$$

La corriente que deberían tener las protecciones y conductores es de 21,66 A con todos los sistemas encendidos, pero este valor no es comercial por lo que se aproxima a un valor comercial cercano que sobrepase dicha corriente. El cable utilizado para el proyecto es de 25 A, lo que se traduce en que el cable con el que se cuenta, tiene la capacidad de conducir

la corriente que exige el sistema de la planta. Adicionalmente el valor de las protecciones de 32 A también sobrepasa el valor de corriente requerido, se aplican protecciones adicionales para los motores con mayor consumo, en caso de que en un mal funcionamiento, su sobre corriente no sea la suficiente para provocar la apertura del interruptor termo magnético.

2.3 Monitoreo de la turbidez, el pH y el nivel de la planta de tratamiento de tratamiento usando IoT.

El presente proyecto consta de una función que consiste en el monitoreo de diferentes variables de la planta de tratamiento de aguas residuales a través del internet de las cosas (IoT), función que aporta un grado de seguimiento más elevado a los procesos, ya que se pueden obtener mejores resultados con el agua tratada con respecto al resultado que se desea dar a la misma, que es un estado del agua no apta para el consumo, pero con una mejoría notable en comparación a la disposición final de los residuos de agua de la finca.

2.3.1 Conectividad con el internet en la finca Villa Viviana

El tablero principal en donde se encuentran los circuitos eléctricos, tiene una distancia hasta el router de conexión inalámbrica de aproximadamente 40 metros. Por este motivo, hay pérdida de paquetes y tiempos elevados de ida y vuelta de la información hacia la red, lo cual se explicará con resultados y mayor profundidad en el capítulo de resultados. Para solucionar este inconveniente, se tiende un cable de par trenzado (UTP) para telecomunicaciones con resistencia para instalaciones con exteriores desde el router de la finca conectado en uno de sus puertos para redes de área local (LAN), hasta un modem de marca MERCUSYS de modelo MW301R que se implementa lo más cerca posible de los microcontroladores. Los cables UTP poseen conductores eléctricos trenzados para disminuir la interferencia

electromagnética. La configuración de este dispositivo se realiza mediante su interfaz personalizada, que aparece cuando en el navegador se digita su dirección ip, o un link que proporciona el fabricante y se conecta mediante cable utp al computador en el que se hace la configuración. Debido a que la ip base del router es la misma a la establecida en el router de la finca que es 192.168.0.1, se procede a cambiar su dirección ip a 192.168.1.100.

Figura 2-21: Ubicación del router MERCUSYS en el tablero principal (Fuente: Los autores).

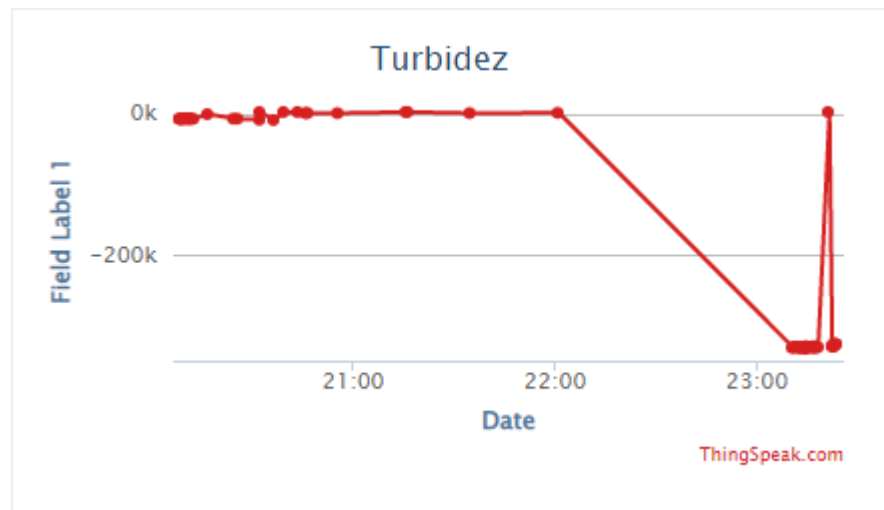


2.3.2 ThingSpeak

Como se explicó previamente, la comunicación entre el microcontrolador y la aplicación móvil se da mediante un servidor en línea capaz de recibir y transmitir la información que se le envía por medio de la conexión a internet. ThingSpeak al ser un servicio gratuito y fácil de operar se selecciona para este proyecto. Una de las herramientas que ofrece este servicio es el manejo de claves API la cual permite leer o escribir datos en un canal creado para la visualización de gráficas o escritura de datos en otras aplicaciones. Aprovechando la lectura de datos del servidor, se utiliza una visualización mediante gráficas a través del

tiempo de las variables de la turbidez y pH en la planta con las que cuenta ThingSpeak, estas se aprecian en la figura 2-1 en las que en algunos periodos de tiempo se muestran lecturas de las diferentes variables.

Gráfico 2-1: Ejemplo de visualización de las gráficas con valores de Thingspeak.
(Fuente: los autores).



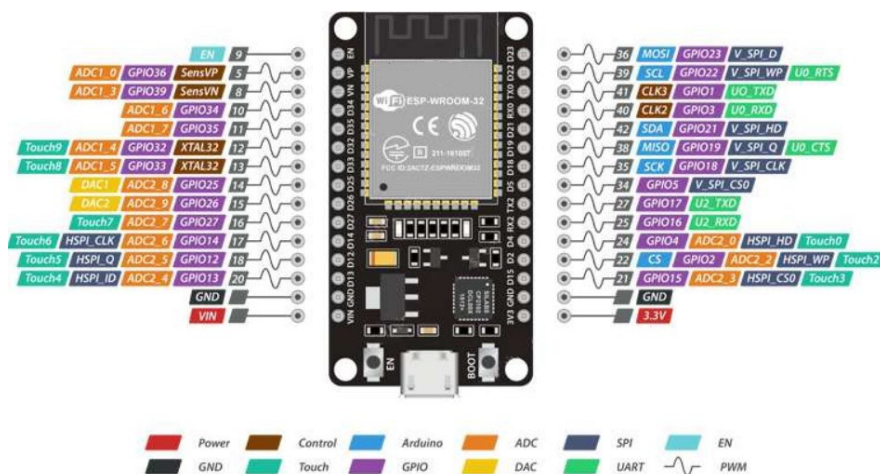
Habiendo abarcado muchas de las grandes ventajas que tiene Thingspeak se hace necesario dar claridad de que existe una desventaja y es que el servicio en versión gratuita tiene como penalización un retardo de 15 segundos en la recepción y transmisión de la información, por lo cual no es viable la utilización del mismo como intermediario entre la aplicación móvil desarrollada en app inventor y el micro controlador para la activación de los equipos montados en la planta (motores, electroválvulas), ya que en este tiempo de espera se pueden presentar inconvenientes a la hora de querer realizar alguna función.

2.3.3 Desarrollo de software para el microcontrolador ESP32

La programación de los microcontroladores depende de sus características de compatibilidad respecto a los diferentes lenguajes de programación que existen en la actualidad y los proveedores de servicios de entornos de desarrollo para la puesta en

marcha de diferentes proyectos. Para el caso que se cita en el presente documento, se utilizará el entorno de desarrollo de Arduino, el cual es un software que proporciona la opción de crear código libre y adicionalmente es compatible con una amplia gama de microcontroladores, entre ellos la familia ESP, esto se debe a que maneja lenguaje C el cual se enlaza de manera adecuada con una gran parte de los microcontroladores ofrecidos en la industria. Debido al alto número de entradas analógicas del microcontrolador ESP32 utilizado en el presente proyecto, es posible la obtención de diferentes variables, el pH y la turbidez del agua a tratar y tratada, a través de sus pines de entradas analógicas. En la figura 2-22 se muestra la ubicación y función de cada uno de los puertos con los que el microcontrolador cuenta.

Figura 2-22: Esquema de entradas y salidas del microcontrolador ESP32 (Fuente: Bruno Saravia, 2019).



Como se menciona en el marco teórico, existen otros tipos de microcontroladores, entre ellos hay uno que es muy utilizado, que es el Esp8266, que es el modelo anterior al Esp32 y también posee acceso a internet. A continuación se muestra una comparativa en la tabla 2-5 de los dos microcontroladores, y porque se selecciona el Esp32.

Tabla 2-5: Comparación entre los microcontroladores Esp32 y Esp8266 (Fuente: Fezari & Zakaria, 2019).

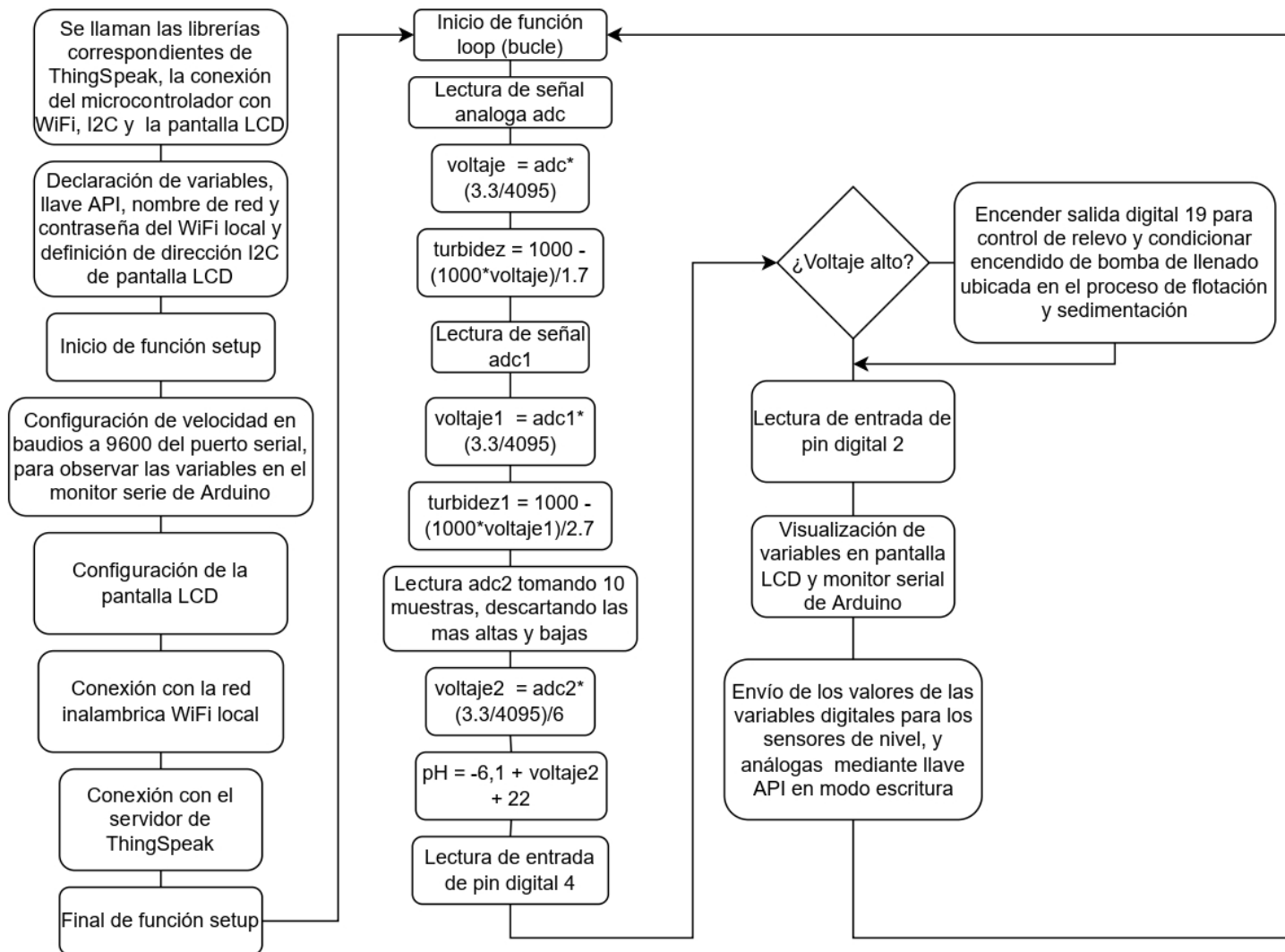
Características	Microcontrolador Esp32	Microcontrolador Esp8266
WiFi 802.11 b/g/n	HT40	HT20
Frecuencia (Hz)	160 MHz	80 MHz
Resolución de canales con convertidor análogo-digital (ADC)	12 bits	10 bits
Cantidad de canales (ADC)	18	1
Memoria RAM	520 KB	96 KB
Bluetooth	Bluetooth 4,2	No
Consumo en corriente	80 mA	80 mA

Como se aprecia en la tabla 2-5, la mejor elección para ser implementada es el Esp32 con respecto a la cantidad de memoria y número de pines con convertidor análogo-digital (ADC) para la medición de las variables, ya que se cuenta con 3 sensores y el Esp8266 únicamente cuenta con un pin con dicha capacidad para interpretar los valores medidos por los sensores. Adicionalmente el Esp32 posee una mejor conectividad al internet.

Con el fin de no solapar las funciones de envío de información a ThingSpeak con el servidor local http explicado anteriormente, se realizan 2 algoritmos diferentes para 2 Esp32. Para poder accionar los equipos en la planta de tratamiento de aguas residuales existen varios métodos, sin embargo los que se tienen en cuenta para el desarrollo del proyecto son los siguientes: Escribir órdenes por medio de la clave API enlazada al microcontrolador desde el aplicativo desarrollado en App Inventor, o implementar un servidor local en uno de los

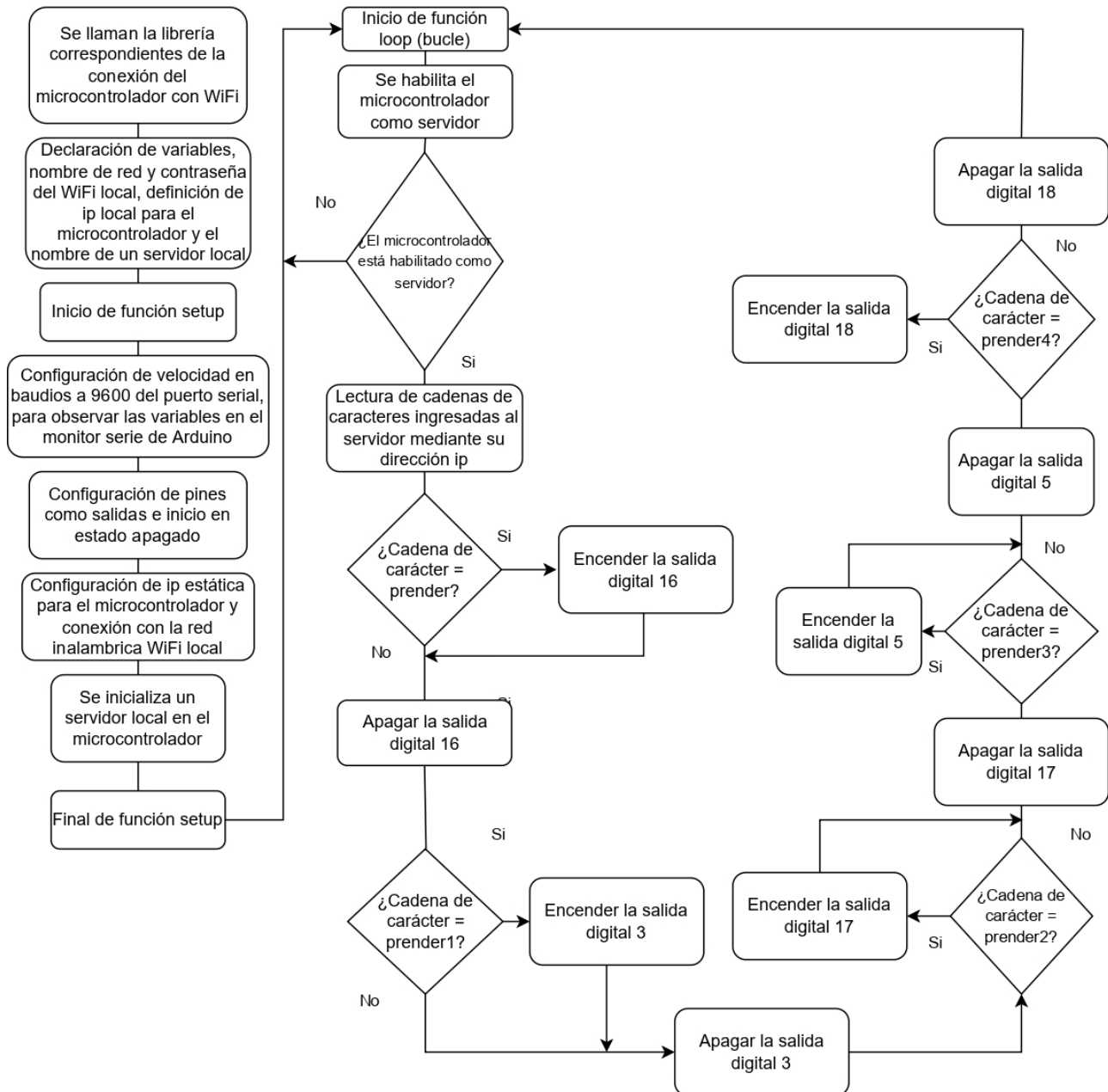
microcontroladores. Existen otros métodos que no requieren de un servidor intermediario, como lo puede ser la conectividad mediante Bluetooth, sin embargo, este último presenta limitaciones en la distancia de alcance respecto con el microcontrolador, por lo que los dos modelos de conexión planteados son más eficientes. Esto dirige a establecer las diferencias entre el método como ThingSpeak como intermediario vs el servidor local. Como se comenta en secciones anteriores, la versión gratuita utilizada de ThingSpeak, aunque ofrezca una conexión desde cualquier parte del mundo en la que haya acceso a WiFi, limita el tiempo de respuesta en el envío y recepción de datos a cada 15 segundos, esto sin contar la casual pérdida de un paquete que amplíe ese plazo de tiempo, motivos que dirigen la propuesta a la implementación de un servidor local. El servidor local, como su nombre lo indica, es un servidor alojado en el dispositivo (Esp32) que a su vez pertenece a la red local, lo que quiere decir que una vez la el dispositivo en donde se opera la aplicación móvil cambie a la red de otro lugar, no podrá conectarse con el servidor local, a cambio de esta desventaja, los tiempos de respuesta son casi inmediatos, y teniendo en cuenta que la planta de tratamiento de aguas residuales no es totalmente automática, se requiere que el operador esté por lo menos presente en la finca para la decisión de encendido de los diferentes equipos. Una vez explicados los motivos de la elección, se debe aclarar que cuando el microcontrolador Esp32 utilizado en el proyecto, se conecta en modo de cliente (es decir que solo puede visitar a su servidor), ya no puede convertirse en servidor y viceversa, por lo que se opta por programar un microcontrolador para su conexión con ThingSpeak, enviar variables de los sensores, y el segundo microcontrolador, disponerlo en modo servidor local para llevar a cabo únicamente la recepción de órdenes que se explican en la figura 2-24. El procedimiento realizado para crear un algoritmo que permita realizar la operación de sensar las variables definidas y llevar a cabo la transmisión de dicha la información, se explica en el diagrama de la figura 2-23.

Figura 2-23: Diagrama de flujo de la función que cumple el algoritmo del microcontrolador de sensado (Fuente: los autores)



El otro algoritmo desarrollado consiste en la implementación de condiciones para el encendido remoto de cada uno de los equipos, la conexión y creación de un servidor local http para la recepción de información mediante la aplicación móvil. En el diagrama de bloques presentado en la figura 2-24, se muestra con mayor detalle el proceso realizado para dicha programación.

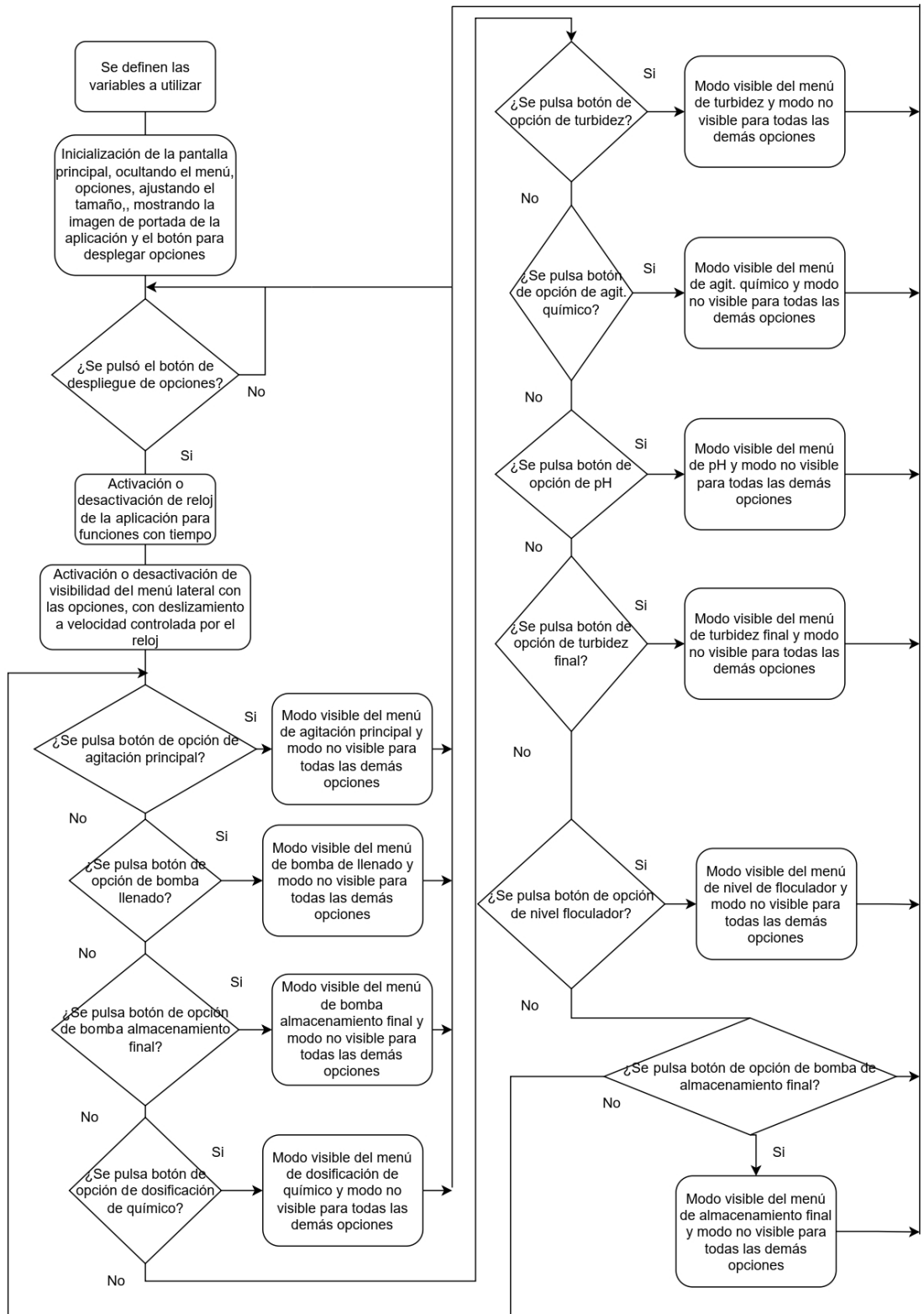
Figura 2-24: Diagrama de flujo de la función que cumple el algoritmo del microcontrolador de control de equipos (Fuente: los autores).



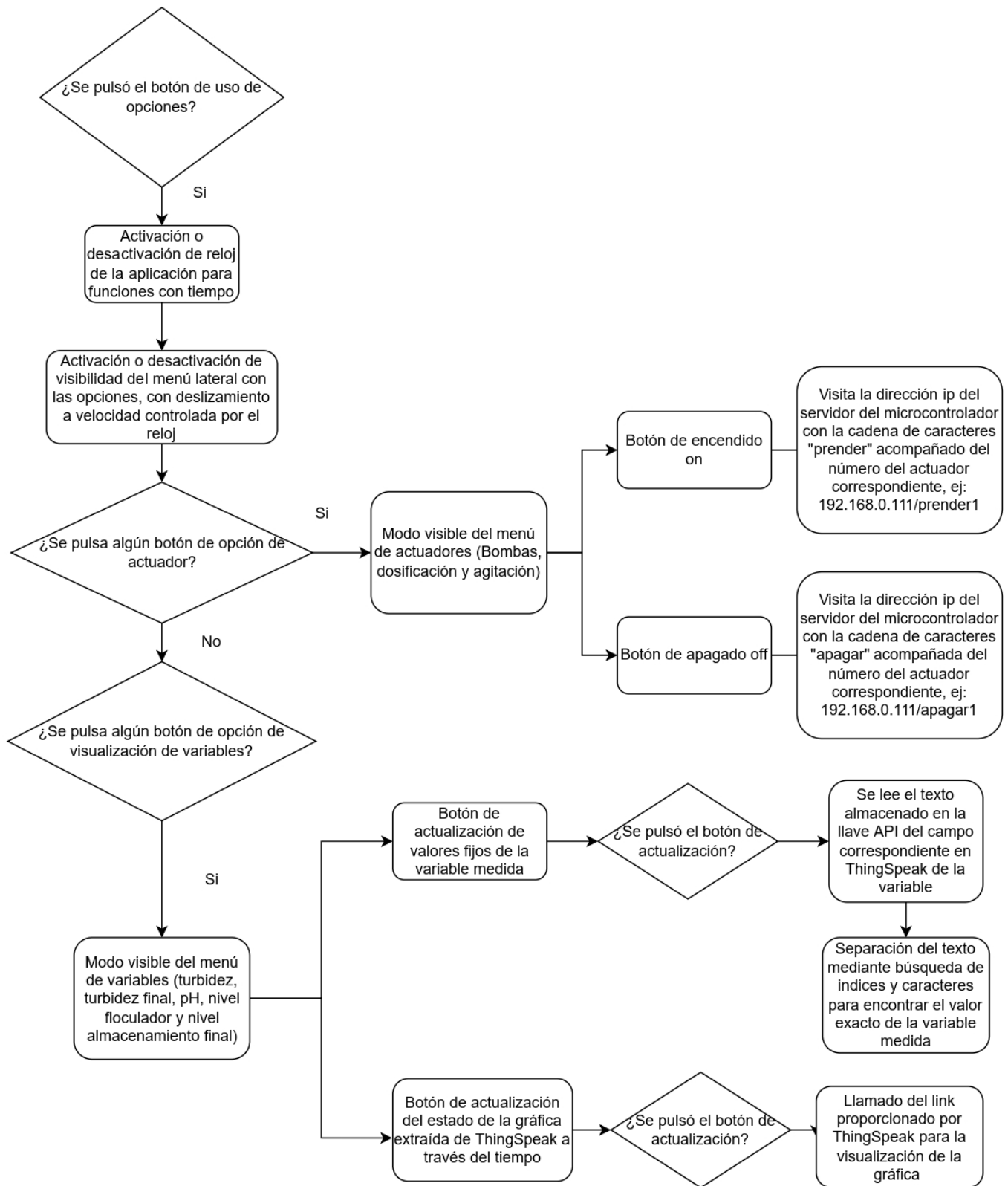
2.3.4 Implementación de aplicación móvil

Con el fin de que el dueño de la finca tenga un acercamiento a las funciones de la planta de tratamiento de aguas residuales y controle una parte de su funcionamiento, se implementa una aplicación móvil en el software libre MIT App Inventor mencionado en secciones anteriores. Se desarrolló un algoritmo mediante programación de bloques como se aprecia en la figura 2-25, en donde se crea un menú lateral desplegable con diferentes opciones en las que se encuentra el acceso a los valores de sensores y control de equipos de la planta de tratamiento. Los diferentes procesos que se realizan en la programación por bloques de la aplicación se visualizan en la figura 2-25 A), allí se encuentra un diagrama de flujo con la manera en la que se despliega un menú lateral que contiene una serie de opciones (Agitación principal, bomba de llenado, bomba de almacenamiento final, dosificación del químico, turbidez inicial y final, nivel de llenado del floculador y nivel de almacenamiento final). En este diagrama, se explica cómo mediante condiciones tipo if, se interactúa con la visibilidad o no visibilidad de elementos en la pantalla, administrando de esta manera el llamado de las opciones. En el diagrama de la figura 2-25 B), se representan los procesos ocurridos en el interior de las opciones a seleccionar, se dividen en 2 tipos de opciones (Menú de variables y menú de actuadores). En el caso del menú de variables, se disponen visualizaciones para las variables medidas, pH, turbidez y nivel de llenado. Para la visualización de la gráfica extraída de ThingSpeak, se hace llamado mediante un url de la llave API en modo lectura. Adicionalmente en este tipo de menús hay un campo para visualización de la variable como valor fijo, para obtener este valor, se hace necesaria la extracción del valor de la variable que se encuentra en un texto llamado “notación de objetos JavaScript” (json), el cual tiene como función la transmisión de datos, mediante él envió de textos sencillos que permiten la extracción de valores anidados a este. Cuando se ingresa al url correspondiente a la llave API en modo lectura donde se almacenan los valores de las variables, se puede apreciar un texto como el observado en la figura 2-25 C).

Figura 2-25: Esquema con la explicación del algoritmo realizado con diagrama de bloques (Fuente: Los autores).



A)



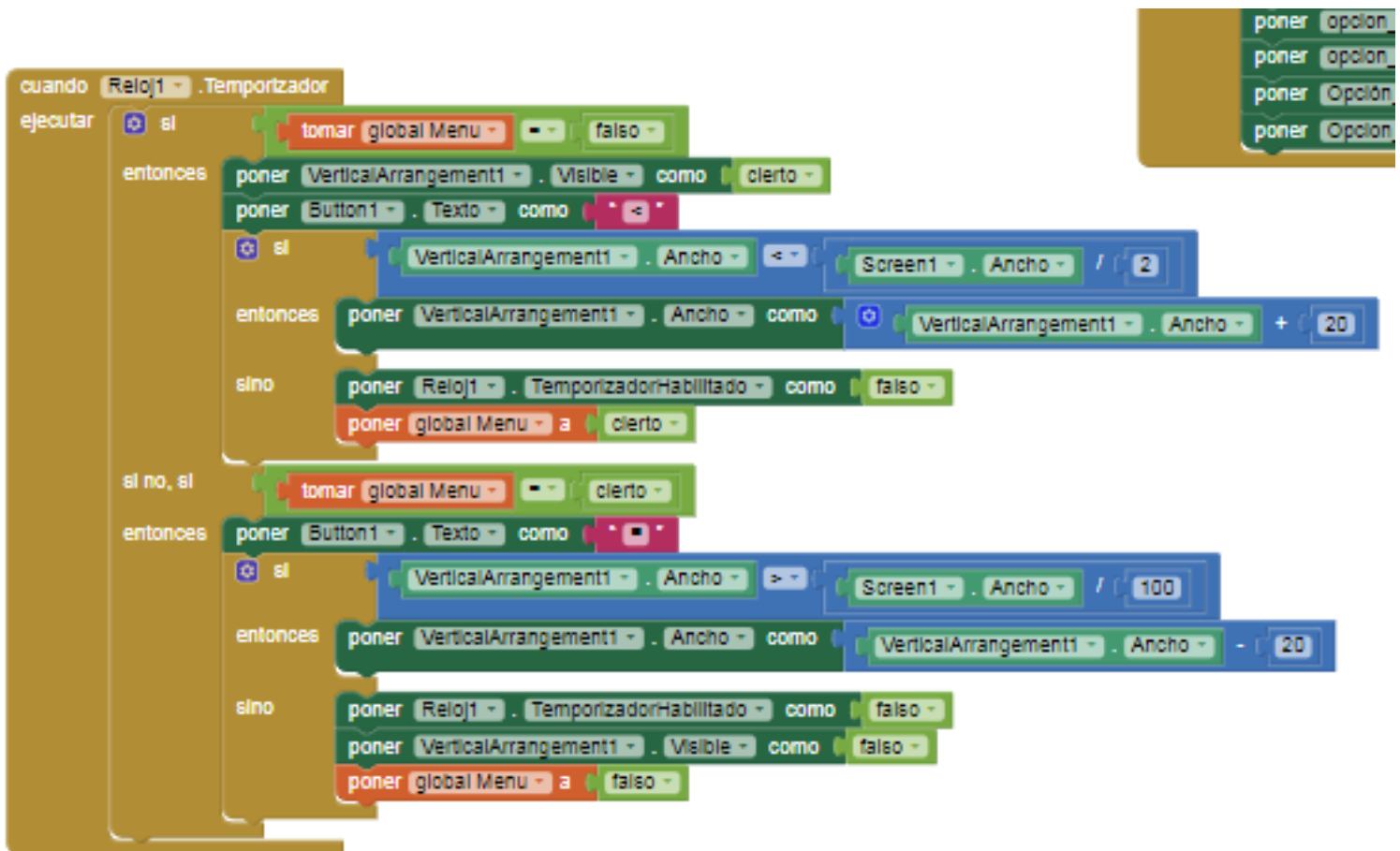
B)

```
{"channel":{"id":1523110,"name":"Variable tratamiento de
agua","description":"Medición
remota","latitude":"0.0","longitude":"0.0","field1":"Turbidez
inicial","field2":"pH","field3":"Turbidez final","field4":"Nivel
llenado","field5":"Nivel almacenamiento","created_at":"2021-09-
30T16:42:33Z","updated_at":"2022-04-
28T22:56:37Z","last_entry_id":5147},"feeds":[{"created_at":"2022-05-
28T22:09:07Z","entry_id":5146,"field1":"0","field2":"3.24477","field3":"0","field4"
:"1","field5":"0"},{"created_at":"2022-05-
28T22:09:22Z","entry_id":5147,"field1":"0","field2":"19.25450","field3":"0","field4
":"1","field5":"0"}]}
```

C)

Figura 2-25: A) Diagrama de flujo del funcionamiento de la apertura y navegación a través de las opciones, **B)** Diagrama de flujo explicativo para las operaciones a realizar en cada opción, **C)** Código json extraído de la llave API en modo lectura

Figura 2-26: Programación mediante bloques de la aplicación móvil del proyecto (Fuente: los autores).



A)

```

cuando Agitacion .Clic
ejecutar
poner DisposiciónVertical2 . Visible como cierto
poner DisposiciónVertical1 . Visible como falso
poner opcion_bomba_llenado . Visible como falso
poner opcion_bomba_filtro . Visible como falso
poner opcion_dosificacion . Visible como falso
poner opcion_turbidez . Visible como falso
poner opcion_agitquimico . Visible como falso
poner opcion_turbfinal . Visible como falso
poner opcion_pH . Visible como falso
poner Opción_nivel_llenado . Visible como falso
poner Opcion_llenado_final . Visible como falso

cuando Bomba_llenado .Clic
ejecutar
poner DisposiciónVertical2 . Visible como falso
poner DisposiciónVertical1 . Visible como falso
poner opcion_bomba_llenado . Visible como cierto
poner opcion_bomba_filtro . Visible como falso
poner opcion_dosificacion . Visible como falso
poner opcion_turbidez . Visible como falso
poner opcion_agitquimico . Visible como falso
poner opcion_turbfinal . Visible como falso
poner opcion_pH . Visible como falso
poner Opción_nivel_llenado . Visible como falso
poner Opcion_llenado_final . Visible como falso

cuando Bomba_filtro .Clic
ejecutar
poner opcion_bomba_filtro . Visible como cierto

```

```

cuando Botón1 .Clic
ejecutar
poner Web2 . Uri como "http://192.168.0.111/prender"
llamar Web2 .Obtener

```

```

cuando Botón2 .Clic
ejecutar
poner Web2 . Uri como "http://192.168.0.111/apagar"
llamar Web2 .Obtener

```

```

cuando Botón3 .Clic
ejecutar
poner Web2 . Uri como "http://192.168.0.111/prender1"
llamar Web2 .Obtener

```

```

cuando Botón4 .Clic
ejecutar
poner Web2 . Uri como "http://192.168.0.111/apagar1"
llamar Web2 .Obtener

```

```

cuando Botón5 .Clic
ejecutar
poner Web2 . Uri como "http://192.168.0.111/prender2"
llamar Web2 .Obtener

```

B)



The image shows a Scratch script for the initialization of a screen named 'Screen1'. The script is organized into two main sections: a 'cuando Screen1 .Iniciar' (when Screen1 starts) event and an 'ejecutar' (do) loop. The 'ejecutar' loop contains several 'poner' (set) blocks for global variables and UI elements, and 'tomar' (get) blocks for global variables. The 'tomar' blocks are used to calculate the width and height of 'Image1' based on the width and height of 'Screen1' and the values of 'v1' and 'v2'.

Global variable initialization blocks:

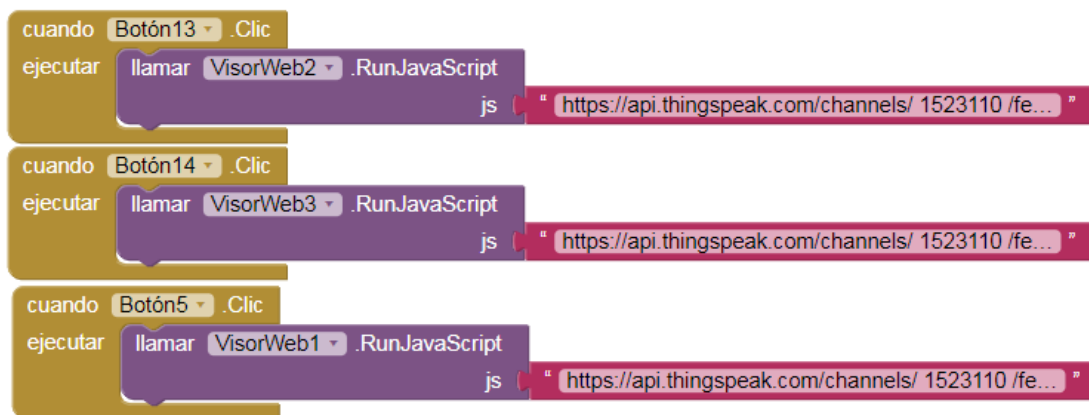
- inicializar global nivel2 como Tanque vacío
- inicializar global nivel20 como Tanque lleno
- inicializar global turbidez1 como 0
- inicializar global turbidez2 como 0
- inicializar global turbidez10 como 0
- inicializar global turbidez20 como 0
- inicializar global pH1 como 0
- inicializar global pH10 como 0
- inicializar global nivel1 como Tanque vacío
- inicializar global nivel10 como Tanque lleno
- inicializar global v1 como 0
- inicializar global v2 como 0

cuando Screen1 .Iniciar

ejecutar

- poner global v1 a Screen1 . Ancho
- poner global v2 a Screen1 . Alto
- poner Image1 . Ancho como tomar global v1 x 1
- poner Image1 . Alto como tomar global v2 x 0.5
- poner DisposiciónVertical2 . DispVertical como VerticalAlignment Top
- poner DisposiciónVertical2 . DispHorizontal como HorizontalAlignment Right
- poner DisposiciónVertical2 . Visible como falso
- poner DisposiciónVertical1 . Visible como cierto
- poner opcion_bomba_llenado . Visible como falso
- poner opcion_bomba_filtro . Visible como falso
- poner opcion_dosificacion . Visible como falso
- poner opcion_turbidez . Visible como falso
- poner opcion_agitquimico . Visible como falso

c)



D)

Figura 2-26: **A)** Bloques para la configuración del menú desplegable, **B)** Bloques condicionantes de mostrar u ocultar las opciones del menú y escritura en llaves API de señales para el encendido remoto de los equipos de la planta, **C)** Definición de variables y condiciones iniciales para el momento de acceso a la aplicación, **D)** Condiciones para la actualización de las graficas de las variables mediante un botón, llamando el url de las claves API en modo lectura.

La pantalla principal como se aprecia en la figura 2-27 A), la cual a su vez contiene una pestaña lateral que despliega un listado de opciones como se aprecia en la figura 2-27 B).

Figura 2-27: Menú principal de la aplicación del proyecto con el menú de opciones desplegable (Fuente: los autores).

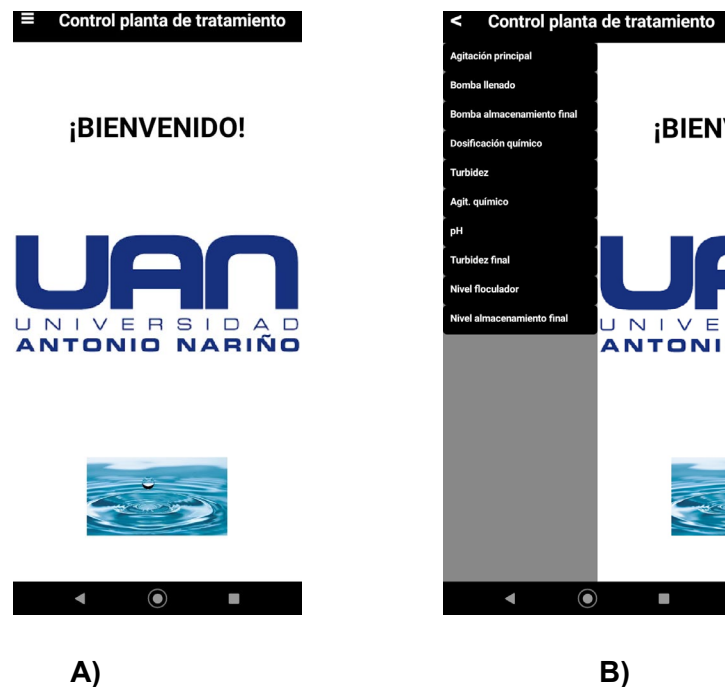


Figura 2-27: A) Pantalla principal de la aplicación, B) Menú desplegable de opciones.

El desarrollo y configuración de las diferentes funciones de la aplicación se basan en la programación por lenguaje de bloques de cada uno de los aspectos que componen a la aplicación. Entre uno de los más importantes se encuentra la obtención de información de la planta de tratamiento por parte de la aplicación, esto es posible gracias al uso de ThingSpeak (información presentada a continuación), en donde con la clave API es posible leer la información que el microcontrolador ESP32 recibe y procesa de los sensores instalados en los diferentes procesos (Turbidez, pH y nivel). Por otro lado, para la función de encendido de los diferentes equipos de la planta, se establecen opciones en el menú dispuestas como se aprecia en la figura 2-28, en donde mediante un botón es posible enviar una señal al microcontrolador para darle una orden de encendido o apagado para alguno de sus pines digitales y establecer un control básico sobre la planta. Como se explicó en la sección anterior, se utiliza un servidor local http para la recepción de señales en forma de url mediante los botones, así como es evidenciado en la figura 2-28. Cuando

la aplicación mediante el botón visita el url con la ip del microcontrolador, este lo recibe y ejecuta las condiciones if para encender o apagar un puerto digital.

Figura 2-28: Programación de botones relacionando la url del servidor http (Fuente: los autores).

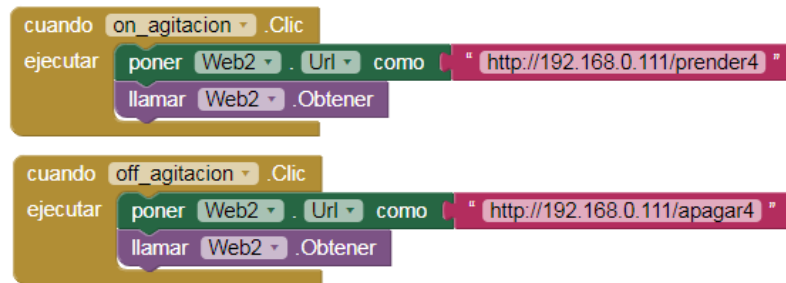
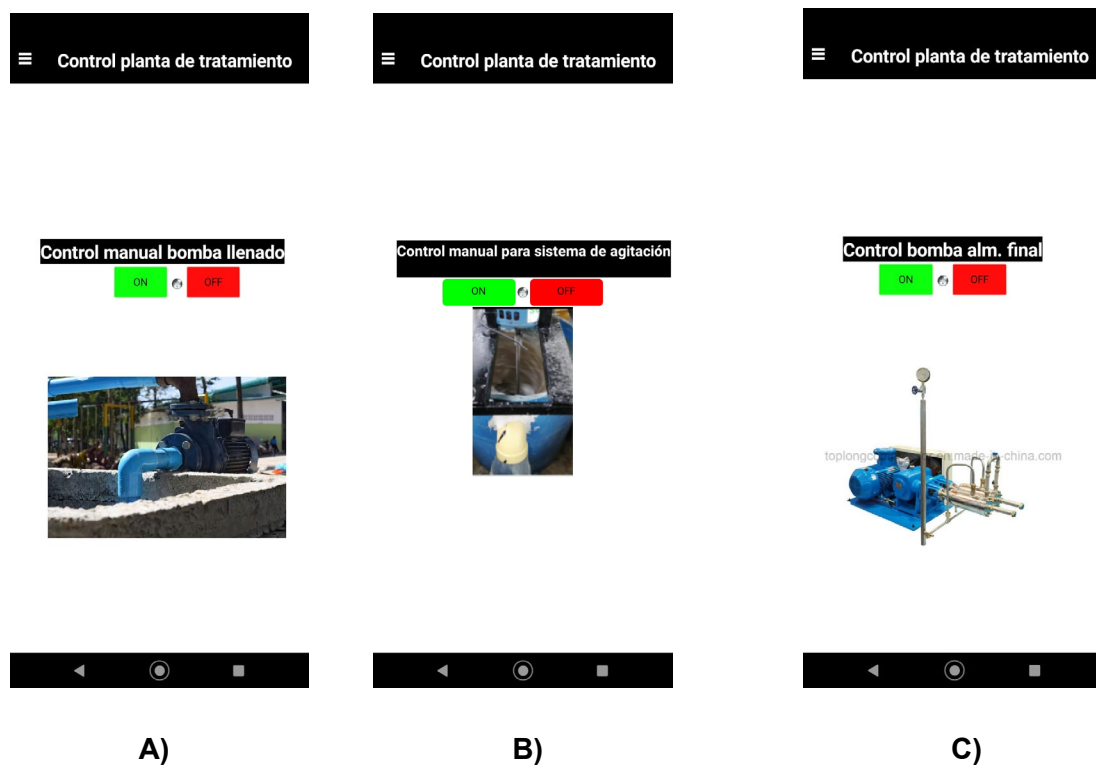


Figura 2-29: Ventanas con las cuales interactúa el usuario con la aplicación móvil (Fuente: los autores).



☰ Control planta de tratamiento

Control manual de la dosificación de

ON OFF

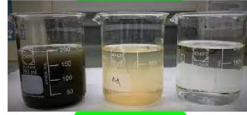


D)

☰ Control planta de tratamiento

Valor turbidez inicial

Tocar para actualizar



Tocar para actualizar

Variable tratamiento de agua



E)

☰ Control planta de tratamiento

Control agitación de químico

ON OFF



F)

☰ Control planta de tratamiento

Valor turbidez final

Tocar para actualizar



Tocar para actualizar

Variable tratamiento de agua



G)

☰ Control planta de tratamiento

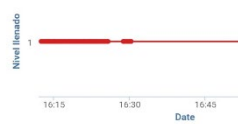
Nivel del tanque de floculación.

Pista para CampoDeTe

Tocar para actualizar



Variable tratamiento de agu



H)

☰ Control planta de tratamiento

Nivel de tanque de almacenamiento final

Tocar para actualizar



Variable tratamiento de agua



I)

Figura 2-29: **A)** Menú para control bomba de llenado, **B)** Menú para control para sistema de agitación, **C)** Menú para control bomba almacenamiento final, **D)** Menú para control manual de la dosificación de químico, **E)** Menú para control de planta de tratamiento, **F)** Menú para control de agitación de químico, **G)** Menú para control de variable de turbidez, **H)** Menú para control para nivel del tanque de floculación, **I)** Menú para control de nivel del tanque de floculación. (Fuente: los autores).

2.3.5 Sensores de turbidez, pH y nivel de la planta

Para llevar cierto control sobre la planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario obtener información de cada uno de los aspectos que se buscan controlar. Para esto se utilizan sensores que serán explicados con mayor detalle a continuación:

- **Sensores de turbidez:** Los sensores de turbidez constan de un sistema cuyo funcionamiento está dado por la interacción de dos leds enfrentados entre ellos, uno de estos leds es emisor y el otro receptor, de esta interacción se genera un voltaje dependiendo si la luz que recibe el receptor es tenue el rango de turbidez es alto o si es intensa los rangos de valores que resultaron serán bajos, de esta manera se medirá la turbidez del agua, ya que esta hará que la intensidad varíe según su turbidez al pasar en medio de los leds, de esta manera el operador de la planta tendrá herramientas para definir la cantidad de químico requerida según el tipo de agua. El sensor a utilizar en el presente proyecto tiene como referencia SEN0189 y es un dispositivo de bajo costo cuya precisión depende de diversos factores como la luminosidad del entorno que lo rodea. Como se aprecia en la figura 2-30 A), el sensor posee dos protuberancias en donde se encuentran alojados un led emisor y otro receptor, de manera tal que la luminosidad que obtiene el receptor depende de cuánto el agua interrumpe al emisor. Según algunas fuentes, algunos modelos de estos sensores son utilizados en aplicaciones como lavadoras y lavavajillas, aplicaciones que indican niveles de turbidez no muy elevados. Adicionalmente se evidencia que los sensores poseen una capacidad de medición lineal de 0 a 1000 NTU, teniendo esto en cuenta, y una validación de aproximación en las medidas con un equipo del laboratorio de la universidad que aunque no posee un certificado de calibración reciente, mide valores con razonable precisión. Dichas mediciones en la turbidez presente en el agua contaminada de la finca Villa

Viviana que se midió con el equipo mencionado, oscilan entre los 620 y 700 NTU para el agua pretratamiento y el agua pos tratamiento entre 20 y 22 NTU, por lo que se puede utilizar un modelo lineal para acercar las medidas del sensor aquí mencionado con las medidas de referencia (Hakim et al., 2019).

Figura 2-30: Sensores de turbidez y pH utilizados en el proyecto (Fuentes: DFRobot, 2018, e-Gizmo Mechatronix Central, 2017).

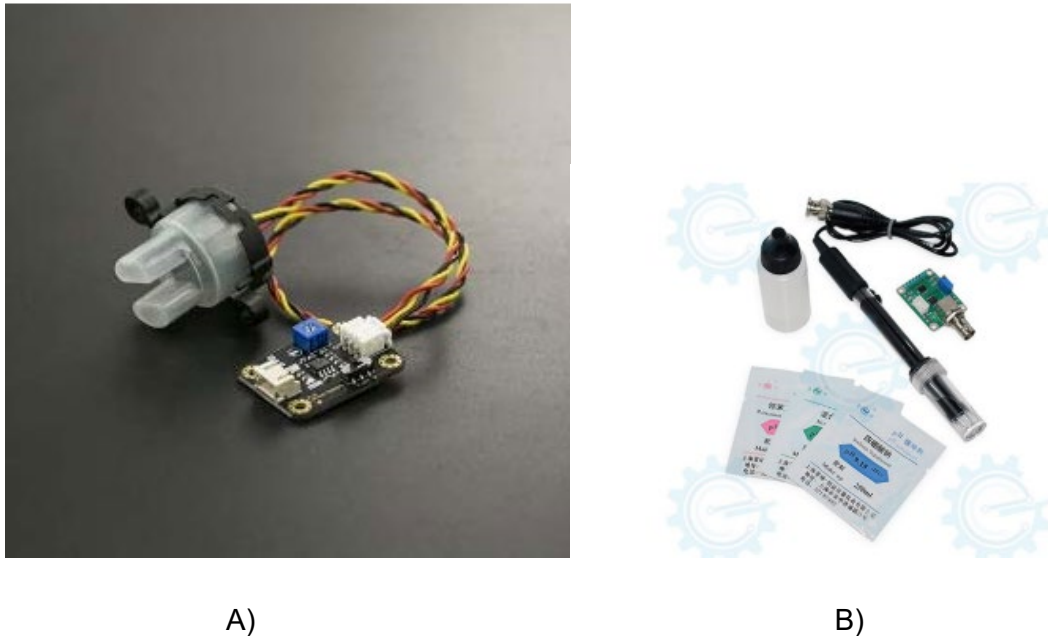


Figura 2.30: **A)** Sensor de turbidez, **B)** Sensor de pH.

Sensor de pH: La medición del pH es fundamental para determinar cuál es el impacto del agua en el ambiente que la rodea, adicionalmente se hará seguimiento del nivel de pH del agua tratada. Para esto se dispone de un sensor de pH PH-E201 con conexión BNC que cuenta con una membrana con la capacidad de determinar el pH del agua con la que entra en contacto. Dicho sensor se puede apreciar el sensor en la figura 2-30 B). Debido a que esta membrana está fabricada en un vidrio especial de alta sensibilidad y fragilidad, el uso del sensor será aplicado de forma manual para realizar pruebas tomadas en un solo contacto con el agua tratada, esto debido a que el exceso de contaminación prolongada en dicha membrana conlleva al daño permanente del sensor. La disposición del sensor se ubica en el proceso final que es el almacenamiento del agua tratada, donde queda disponible un puerto hembra coaxial Bayonet Neil Concelman (BNC). Los puertos

tipo BNC, son puertos de conexión coaxial comúnmente utilizados para la entrega de servicios de televisión y tienen como característica principal su fácil conexión y desconexión. Este posee contacto eléctrico para 2 hilos: Para cable de datos y otro para conexión a tierra que protege al cable de interferencias de ruido externas. La caracterización de la escala de medición para este sensor se realiza principalmente con la variación de voltaje al contacto con soluciones tampon también llamadas buffer, las cuales poseen un valor ya conocido. Las sustancias se pueden ver en la figura 2-31. Con el multímetro se miden 5 veces los voltajes que genera el sensor con las sustancias con valores de 4 y 7, hallando el promedio se tienen los resultados siguientes:

Para 4 pH:

$$V_4 = \frac{3,02 V + 3 V + 2,96 V + 3,12 V + 2,9 V}{5} \quad (2.15)$$

$$V_4 = 3 V$$

Para 7 pH:

$$V_7 = \frac{2,49 V + 2,5 V + 2,46 V + 2,51 V + 2,54 V}{5} \quad (2.16)$$

$$V_7 = 2,5 V$$

Teniendo estos valores, se realiza el gráfico 2-2 con la equivalencia de voltaje para cada valor de pH, lo que genera una recta que describe el comportamiento del sensor como lineal, por lo que se halla la ecuación de la pendiente observada en la gráfica. Esta ecuación va a describir el comportamiento del sensor con diferentes niveles de pH, por lo que esa ecuación se implementará en el programa del Esp32 de variables, cuya x será el valor leído por su entrada con convertidor análogo digital el cual cambiará a medida que el líquido medido cambie.

Gráfico 2-2: Pendiente de la recta con los valores medidos en laboratorio
(Fuente: Los autores).

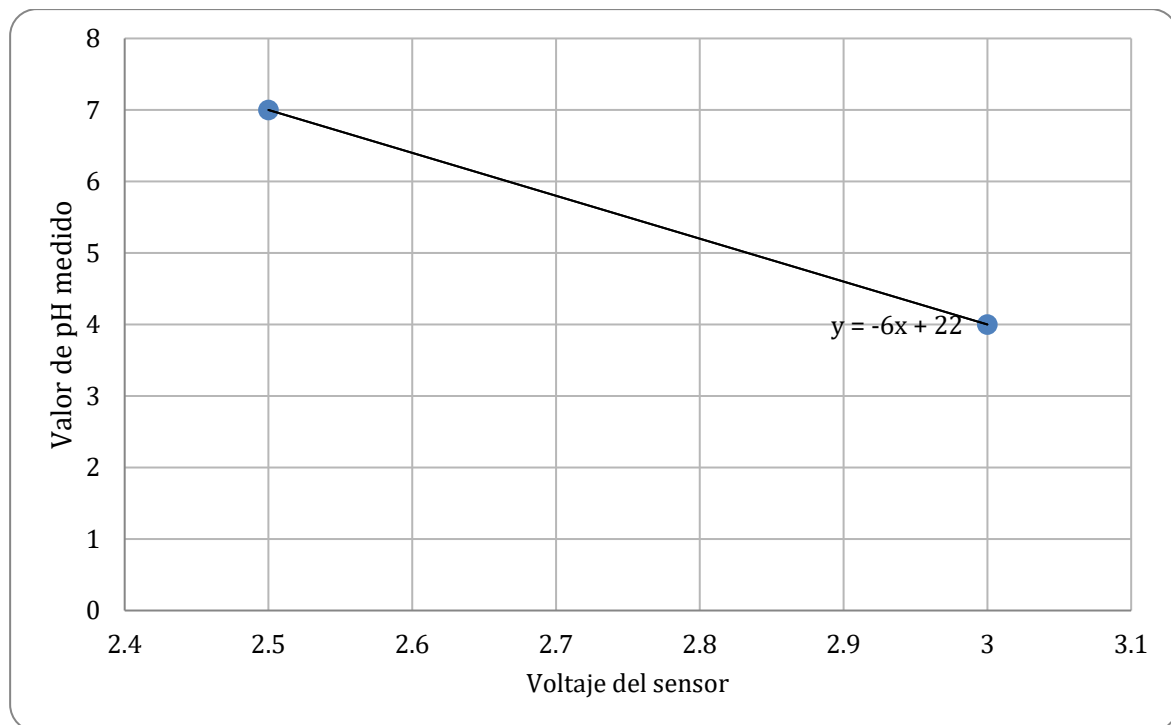


Figura 2-31: Soluciones buffer utilizadas en el laboratorio con valores de pH de 4, 7 y 10
(Fuente: Los autores).



- **Sensores de nivel de llenado:** La planta de tratamiento cuenta con varios procesos como se ha mencionado a lo largo del documento, por lo que es de vital importancia llevar un control de llenado de líquido en el proceso de floculación y almacenamiento final del agua tratada para evitar derrames, accidentes y errores en la floculación que conlleven a desperdicio del valioso recurso hídrico de la finca o una mejoría inferior a la esperada. Para esto se implementan sensores de nivel, que comercialmente se conocen como flotadores. Dichos sensores consisten en la interrupción de una señal eléctrica en función a su inclinación, de esta manera el nivel del agua influirá en la interrupción de la señal eléctrica, la cual alimentará una de las entradas del microcontrolador, acción que desencadenará la condición de encendido para la bomba de llenado ubicada en el proceso de floculación y la bomba ubicada en el tanque de almacenamiento final. La disposición general de los sensores se puede ver en la figura (2.32).

Figura 2-32: Disposición general de los flotadores (Fuente: Los autores).



2.4 Control de la turbidez en la planta de tratamiento de aguas residuales a través de la adición de poli cloruro de aluminio.

2.4.1 Control on/off vs Control PID

Para el control de la turbidez en la planta de tratamientos de aguas grises, se utiliza el valor medido por el sensor inicial de turbidez para que el operario tenga una idea de la concentración de sólidos que tiene el agua a intervenir.

Teniendo en cuenta que los procedimientos de ajustes de dosificación, se realizan según el tipo de agua y de manera experimental. Luego de varias pruebas con las aguas a tratar y la electroválvula, se establece un margen amplio de cantidad de químico, con el fin de asegurar que tanto el agua turbia como la no tan turbia cuenten con la dosis adecuada para el caso que se desee tratar. Dicha cantidad es regulada por el tiempo de encendido según el grado de turbidez que visualiza el operario en la aplicación móvil e interpreta con el tiempo de encendido de la dosificación

En el caso de la implementación de un control PID, obtendremos un encendido de la electroválvula para que su apertura varíe, y adicionalmente se tendría que implementar una retroalimentación que puede complicar la configuración del circuito hidráulico que alimenta y descarga en el tanque de floculación.

Para el caso particular de este proyecto, solo se requeriría que la electroválvula haga apertura al 100% para agilizar el proceso, ya que los tiempos de apertura son prolongados debido a la alta cantidad de agua a tratar.

2.4.2 Configuración del tablero principal

El tablero principal de control y potencia se encuentra cerca del tanque de floculación, se dispone de esta configuración ya que es un punto medio de ubicación en la planta. Dicho aspecto facilita la distribución del cableado eléctrico para cada uno de los equipos y, así

mismo, permite la disposición de interruptores de tipo muletilla como se muestra en la figura 2-33 para el encendido de dichos equipos. En adición, se realiza instalación de una caja que portará el circuito electrónico con una pantalla lcd 16x2 para la visualización de las variables de turbidez y pH. La protección contra los aspectos climatológicos y en el ambiente, se da mediante el techado del sitio con tejas y una estructura metálica.

Figura 2-33: Disposición del tablero eléctrico principal de la planta (Fuente: los autores).



Se implementa un circuito de lógica cableada que se compone de contactores y relevos para controlar los procesos desde el tablero. Para la protección de los motores se implementan relés térmicos con un rango de disparo por corriente que oscila en valores cercanos y mayores a los motores que protegen. Como se observa en los valores de la tabla 2-6, la corriente medida mediante una pinza amperimétrica con carga de los motores que constituyen la planta se presentan valores entre 4 y 7 amperios. A partir de estos parámetros se realiza la selección de los relés térmicos teniendo en cuenta un rango aceptable entre el límite de protección y su carga.

Tabla 2-6: Corriente medida con pinza amperimétrica y selección de corriente de las protecciones eléctricas (Fuente: Los autores).

	Consumo en corriente (A)	Protección del relé térmico (A)	Consumo de corriente en placa de datos (A)
Bomba de llenado ½ hp	4,35	6 - 10	4.6
Bomba de almacenamiento final (2 hp)	6,32	7 - 10	25
Motor de agitación	5,43	7 - 10	5

En el caso del motor de agitación, presenta un consumo mayor al que muestra la placa de datos ya que tiene una carga elevada al agitar la cantidad de agua de aproximadamente 48 galones, de lo que se puede concluir que la carga no sobrepasa demasiado sus características.

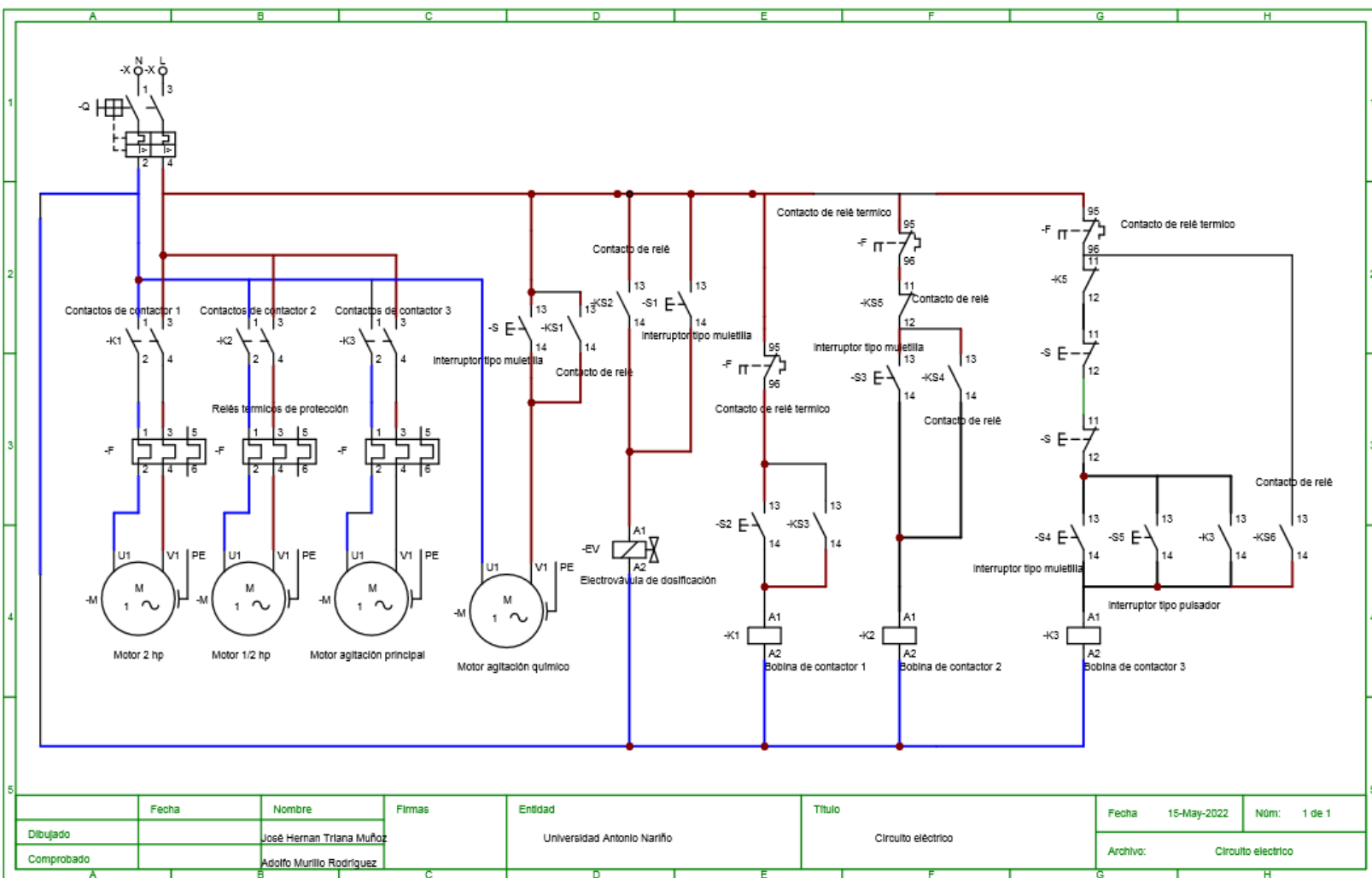
En cuanto a la bomba de almacenamiento final, se observa una corriente máxima de 25 A en la ficha técnica suministrada por el fabricante, sin embargo las mediciones arrojaron valores de 6,32 A debido a que la bomba está operando en condiciones casi ideales respecto al caudal y la altura que ella maneja. Teniendo en cuenta esto se utiliza un cable con capacidad de 25 A para evitar sobrecalentamientos.

En la figura 2-34 A), se observa el plano eléctrico del control y potencia del sistema, la parte de control, está regida por contactores y relés que poseen bobinas con la capacidad electromagnética para mover contactos normalmente cerrados y abiertos, permiten el paso de corriente eléctrica hacia la carga (motores y bombas). La potencia del sistema se encuentra aislada del control del circuito, ya que los circuitos conductores que se conectan directamente a la carga presentan consumos de corrientes más elevados que los contactos de control no podrían soportar. Los contactos normalmente abiertos de los relés implementados conducirán 110 voltios necesarios para activar las bobinas mencionadas con las que cuentan los contactores, y por consiguiente que sus contactos normalmente

abiertos de potencia se cierran, dando lugar al encendido del equipo en cuestión. Para la protección de los equipos con mayor consumo, se implementan relés térmicos, cuya función principal es abrir los contactos normalmente cerrados de los contactores para cortar el paso de corriente ante una sobrecarga de corriente en el equipo.

En la figura 2-34 D), es posible observar el plano electrónico del circuito relacionado al microcontrolador encargado de recibir las variables de los sensores. En este plano, se realizan las conexiones mediante bornes con etiquetas que permiten visualizar su conexión en otro punto, se presenta de esta manera para impedir que el exceso de cables interrumpa la visualización del circuito. Se parecían 3 módulos de sensor, estos módulos son conversores que contienen una serie de resistores y amplificadores operacionales para mejorar la ganancia de los valores de voltaje con los que se comunica el sensor. Los sensores de turbidez inicial, pH y turbidez final se conectan al pin de conexión VP, VN y D34, que dentro del programa se identifican con el número 36, 39 y 34 respectivamente. Para el circuito de activación de equipos, se utiliza un subcircuito con transistores para la alimentación de las señales de activación de los relés. Esto último se debe a que el microcontrolador Esp32, solo maneja voltajes de 3,3 V en sus pines, y los relés requieren de 5 V para su activación, por lo que se requiere de la activación de los transistores con 3.3 V en serie con una resistencia de 1 kohm , para que estos por su colector conduzca 5 V hacia el relé.

Figura 2-34: Plano del circuito eléctrico de la planta y montajes en el tablero principal
(Fuente: Los autores).



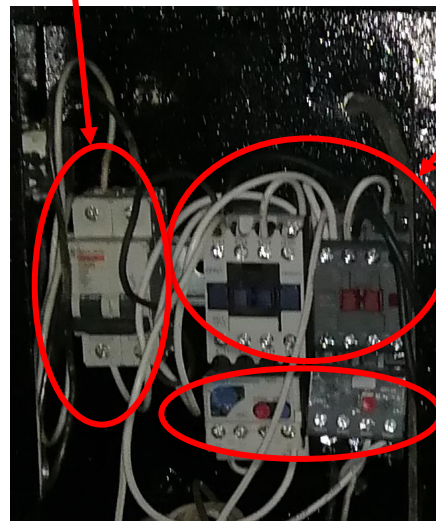
A)



Bloques de relés de 5 voltios

B)

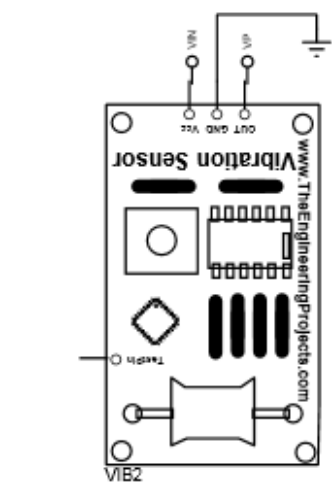
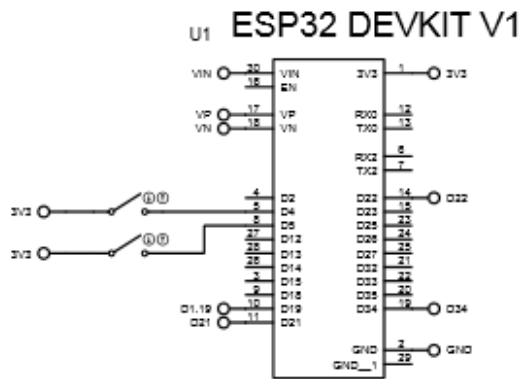
Interruptor termo magnético



Contactores

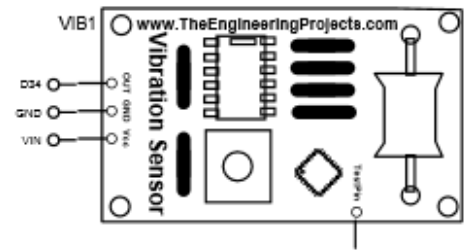
Relés térmicos

C)

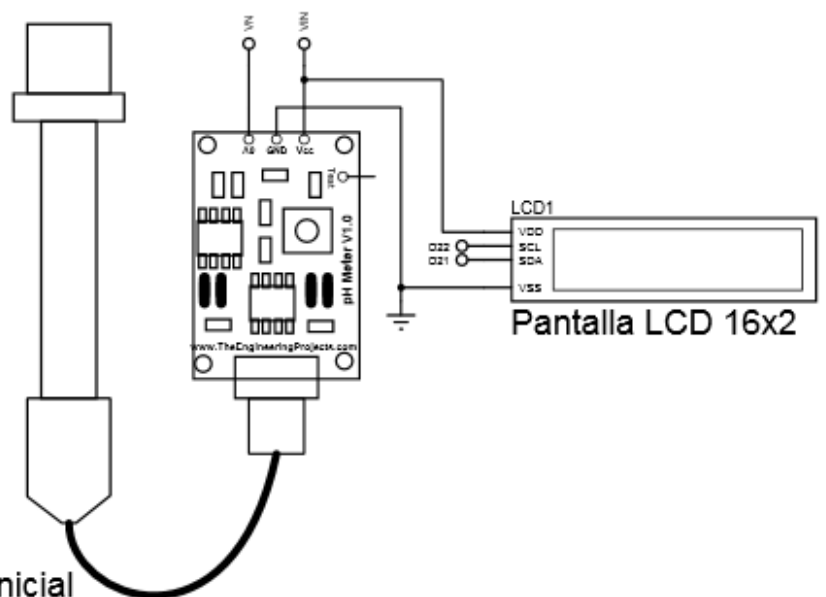


Modulo de sensor de turbidez inicial

Modulo de sensor de turbidez final

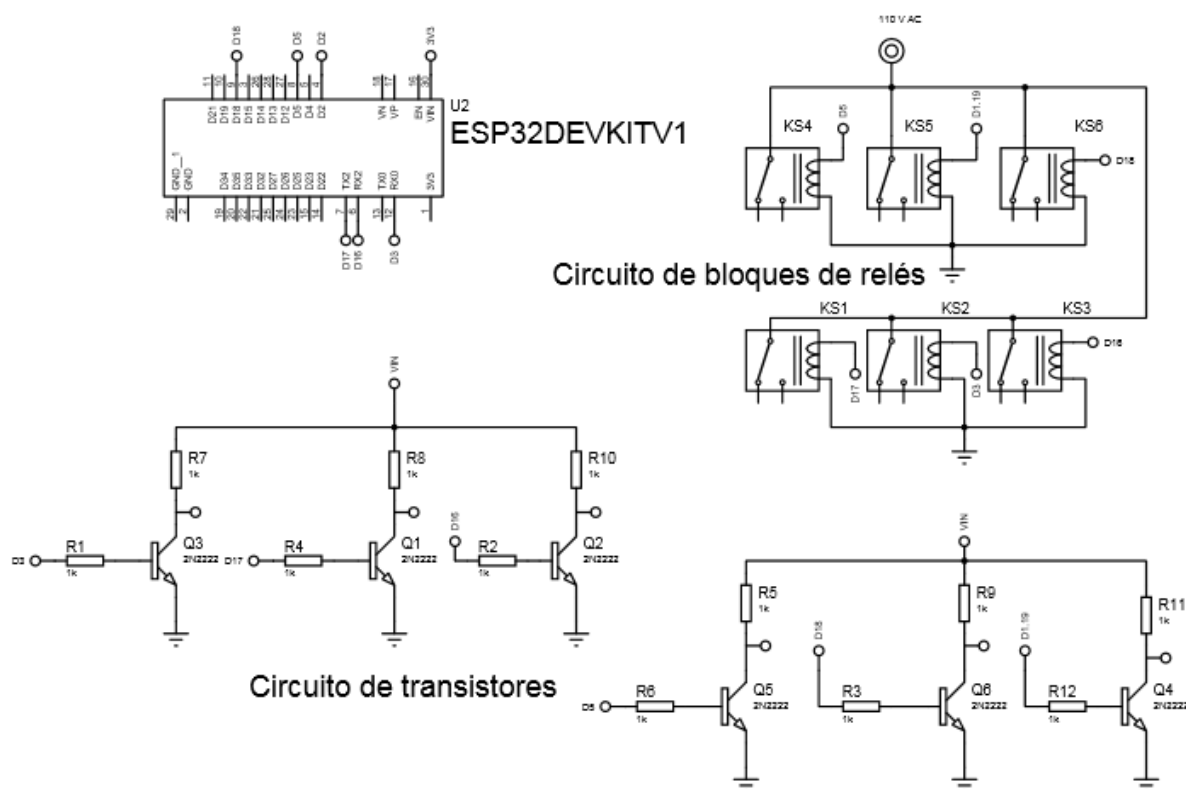


SENSOR DE PH



Pantalla LCD 16x2

D)



E)

Figura 2-34: **A)** Plano eléctrico de control y potencia, **B)** Disposición de los relés de control en la caja del tablero eléctrico, **C)** Componentes eléctricos de control para los motores, **D)** Circuito electrónico del microcontrolador de variables, **E)** Circuito electrónico del microcontrolador encargado de la actuación remota de los equipos.

2.4.3 Conexión de componentes eléctricos con el microcontrolador

El enlace entre la programación, el microcontrolador y los equipos de potencia son los bloques relés de control que cumplen la función de alimentar las bobinas de los contactores respondiendo a las órdenes realizadas por el microcontrolador mediante 5 VDC, estos se pueden apreciar en la figura.

Figura 2-35: Bloque de relé de 5 VDC (Fuente: Handson Technology, 2005).



Dichos relés poseen un sistema de optoacoplación, con el fin de aislar la corriente directa de la alterna, ya que el contacto de ambos tipos de corriente, genera daños fatales para los equipos. La optoacoplación, consiste en la activación de un led que ilumina a un componente sensible a la luz. Finalmente se alimenta la bobina de activación mediante el sistema de optoacoplación que trabaja con 5 VDC y 3 contactos: un contacto común, un contacto normalmente abierto y otro normalmente cerrado. Para el encendido mediante la aplicación móvil de los diferentes equipos de la planta, se utiliza el contacto normalmente abierto, y el común para alimentar con 110 VAC la carga a alimentar. El encendido de los módulos de relés y las señales que alimentan, deben realizarse mediante una fuente de voltaje de 5 VDC, y en el caso de las entradas de control se deben alimentar de manera inversa para obtener el encendido de las mismas, es decir, que cuando se alimenta a 5 VDC el relé, se apaga. En el caso de los sensores de nivel se plantea la utilización de los contactos normalmente cerrados de los relevos para dar una condición de encendido y apagado para las bombas que requieren que el nivel del agua esté en cierto punto para poder funcionar.

3. Evaluación del desempeño del prototipo de la planta de tratamiento de aguas residuales conectada a IoT implementado en la finca Villa Viviana.

A través de este capítulo se estudiarán los diferentes resultados obtenidos del prototipo implementado, cuyo desarrollo fue descrito en el capítulo anterior en cumplimiento con los objetivos propuestos. Dado que en el prototipo se consideran diferentes aspectos como la ubicación del terreno, la toma de variables importantes para el análisis del agua que se trata, entre otros, se mostrarán los resultados a través del tiempo de las variables obtenidas y la capacidad de la planta para tratar el agua.

De acuerdo con la disposición topográfica en la finca Villa Viviana el área a trabajar cuenta con desniveles en los cuales se puede hacer uso del aprovechamiento de alturas dada la necesidad de minimizar el uso de energía eléctrica (Rodríguez, 2012).

3.1 Capacidad de la planta para tratar agua (Volumen de agua)

Para establecer la capacidad de la planta para tratar el agua, debemos conocer los volúmenes correspondientes a cada uno de los procesos por los cuales el agua a tratar se mueve para mejorar su estado. El primer proceso es el almacenamiento del agua contaminada, en este proceso se cuenta con un tanque el cual tiene un volumen de $0,6 m^3$.

Luego de este proceso, el agua se transporta por efectos de gravedad a través de una trampa de grasas que retiene partículas sólidas o grasas suspendidas y posee un volumen de $0.05 m^3$.

Figura 3-1: Trampa de grasas (Fuente: Los autores).



$$V = L \cdot A \cdot h \quad (3.1)$$

$$V = 0,40m \cdot 0,31m \cdot 0,44m$$

$$V = 0,05m^3$$

La tubería especificada en secciones anteriores hacia el tanque de floculación el cual posee ciertas divisiones que se especifican en el anexo D. El volumen de este tanque es hallado en la ecuación (3.2).

$$V = L \cdot A \cdot h \quad (3.2)$$

$$V = 2,38m \cdot 1,20m \cdot 0,85m$$

$$V = 2,42m^3$$

En donde L es el largo, A es el ancho y h la altura del tanque. Originalmente, el tanque posee un largo de 2,70 m, sin embargo, con efectos de separación de sólidos por sedimentación del agua a tratar, el tanque posee divisiones internas elaboradas en concreto para separación especificados en el anexo D, dichos muros tienen un ancho de 0,08 m, que se resta al largo total del tanque y hay 4 de estos en total, de allí el valor de 2,38 m para el largo total útil del tanque en el cálculo del volumen.

Por otro lado, el tanque de desinfección cuenta con un volumen aproximado de $0,36 m^3$ teniendo en cuenta un descuento de $0,07 m$ en la altura del mismo en el momento de calcular su volumen.

$$V = L . A . h \quad (3.3)$$

$$V = 0,78 m . 0,78 m . 0,60 m$$

$$V = 0,36 m^3$$

Figura 3-2: Tanque de almacenamiento de aguas grises (Fuente: Los autores).



El siguiente proceso de la planta es el sistema de filtración que consiste en un tanque metálico de tipo cilíndrico donde su volumen es de $0,16 m^3$ o $169 L$. Como se expresa en la ecuación (3.4). y para el área de la base (Ab) círculo se tiene la expresión:

$$Ab = \pi . (0,3 m)^2 \quad (3.4)$$

$$Ab = 0,28 m^2$$

Volumen del cilindro:

$$V = \pi . r^2 . h = Ab * h \quad (3.5)$$

$$V = 0,28 m^2 . (0,6 m)$$

$$V = 0,16 m^3$$

Volumen tanque filtro (Litros):

$$V = 0,16 \text{ m}^3 \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \quad (3.6)$$

$$V = 169 \text{ L}$$

Figura 3-3: Tanque filtro y escape para retro lavado (Fuente: Los autores).



Como almacenaje de agua filtrada o tratada se tiene un isotanque el cual cuenta con 1 m^3 de volumen.

Realizando la sumatoria de los volúmenes hallados se obtiene la capacidad de recepción de las aguas a filtrar en metros cúbicos como se observa en la sumatoria de la ecuación (3.7).

$$\begin{aligned} \Sigma \quad (0,59 \text{ m}^3 + 0,05 \text{ m}^3 + 2,42 \text{ m}^3 + 0,36 \text{ m}^3 + 0,16 \text{ m}^3 + 1 \text{ m}^3) \quad (3.7) \\ = 4,61 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3.2 Evaluación de la red de telecomunicaciones y red eléctrica.

La ubicación del proyecto dentro de la finca Villa Viviana, presenta ciertas ventajas y desventajas con diversos aspectos. Una de las ventajas es el terreno geológico que beneficia el transporte de fluidos a través de los procesos por acto de gravedad. Sin embargo, los servicios de telecomunicación con la red WiFi local de la finca se ve afectada por la lejanía descrita en secciones anteriores. Y para evaluar el estado de la comunicación con la red en el sitio en el que se ubica el tablero de control principal que aloja la circuitería

electrónica, se hace una evaluación desde un computador ubicado en el mismo sitio. Desde el símbolo del sistema del computador, se ejecuta un comando ping hacia la dirección ip del router de la finca. Ping es un método análogo al funcionamiento de un sonar en el que se envían pulsos de sonido para determinar cuánto tiempo tardan en regresar, detectando así los objetos con los que las ondas revotan, en el caso de ping se envían paquetes de datos a la dirección ip seleccionada, en este caso, es la dirección ip del router de la finca. Mediante este diagnóstico se pueden conocer los tiempos en los que tardan los paquetes en comunicarse, como se observa en la figura 3-4 se aprecia un resultado de 8 paquetes perdidos entre 312. Estos paquetes perdidos aumentarán durante prolongados espacios de tiempo, y adicionalmente se presentan tiempos muy elevados en el transporte de algunos de estos, con valores máximos de 883 ms, lo que se traduce en una visualización más lenta, y pérdida de valores a través del tiempo en las gráficas de sensores.

Figura 3-4: Diagnostico del ping realizado mediante el símbolo del sistema para la red del router de la finca (Fuente: Los autores).

```

C:\> Símbolo del sistema
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=15ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=9ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=5ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.1:
    Paquetes: enviados = 312, recibidos = 304, perdidos = 8
    (2% perdidos).
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 883ms, Media = 19ms
Control-C
^C

```

Una vez instalado y configurado el router MERCUSYS como punto de acceso, se realiza el diagnóstico, arrojando resultados muy favorables, sin paquetes perdidos entre 139 y 0 ms en el transporte de los paquetes. La dirección ip 192.168.1.100 que se aprecia en la figura 3-5 es la asignada al router para que sea diferente a la dirección ip del router de la finca y evitar conflictos de comunicación.

Figura 3-5: Diagnostico del ping realizado mediante el símbolo del sistema para la red configurada en el router MERCUSYS (Fuente: Los autores).

```
Símbolo del sistema
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.100: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.1.100:
Paquetes: enviados = 139, recibidos = 139, perdidos = 0
<0% perdidos).
Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
Control-C
^C
```

En cuanto al consumo de energía eléctrica de la planta, se tienen los valores mencionados en la sección 2.2.13 de corriente consumida por los equipos y componentes de la bomba, a continuación se calculará el consumo por hora de los diferentes equipos que componen la planta. El consumo energético que se cobra en las facturas del servicio eléctrico, se mide en energía por hora, que se expresa con unidades de medida de kW/h, para hallar

ese valor, se debe hallar la potencia de la carga, que es la multiplicación de la corriente por el voltaje, datos que se conocen y se operan en la ecuación (3.8):

$$P = V \cdot I \quad (3.8)$$

$$P_d = V \cdot I_d = 110 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 110 \text{ W}$$

$$P_e = V \cdot I_e = 110 \text{ V} \cdot 230 \text{ mA} = 25 \text{ W}$$

$$P_{b1} = V \cdot I_{b1} = 110 \text{ V} \cdot 4,35 \text{ A} = 478 \text{ W}$$

$$P_{b2} = V \cdot I_{b2} = 110 \text{ V} \cdot 6,32 \text{ A} = 695,2 \text{ W}$$

$$P_m = V \cdot I_m = 110 \text{ V} \cdot 5,43 \text{ A} = 597,3 \text{ W}$$

En donde V es el voltaje de la red, que en este caso es 110 V, P_d y I_d , P_{b2} y I_{b2} son los valores de potencia y corriente de la dosificación y agitación de químico que se incluyen en un mismo análisis porque siempre se encienden los dos, P_e y I_e son la potencia y corriente de los sistemas electrónicos, P_{b1} y I_{b1} son la potencia y corriente de la bomba de $\frac{1}{2}$ hp, P_{b2} y I_{b2} corresponden a la potencia y corriente de la bomba de almacenamiento final de 2 hp y, P_m y I_m equivalen a la corriente y potencia del motor de agitación. Con las potencias obtenidas, se hace la sumatoria de estas como se ve en la ecuación (3.9).

$$P_T = P_m + P_{b2} + P_{b1} + P_e + P_d = 1905,5 \text{ W} \quad (3.9)$$

Este resultado se divide entre 1000 y se halla el valor en kW/h:

$$e_T = \frac{1905,5 \text{ W}}{1000} = 1,905 \text{ kW/h}$$

En donde e_T es el consumo total del sistema expresado en kW/h. El consumo total de la finca es de 1,905 kW/h, sin embargo, hay equipos que no siempre estarán encendidos y son las bombas, esto se debe a que los tanques tardan en llenarse cierto tiempo, por lo que se puede decir que el valor de consumo que será constante es el de agitación principal y de químicos, la dosificación y los circuitos electrónicos ya que en el caso de la agitación principal, habrá flujo constante de líquido a agitar cuando se trata el agua y los sistemas electrónicos monitorean las variables constantemente. Para este análisis se toman únicamente los valores de consumo de estos tres equipos como se ve en la ecuación (3.10):

$$P_c = P_m + P_d + P_e \quad (3.10)$$

$$P_c = 597,3 W + 110 W + 25 W$$

$$P_c = 732,3 W$$

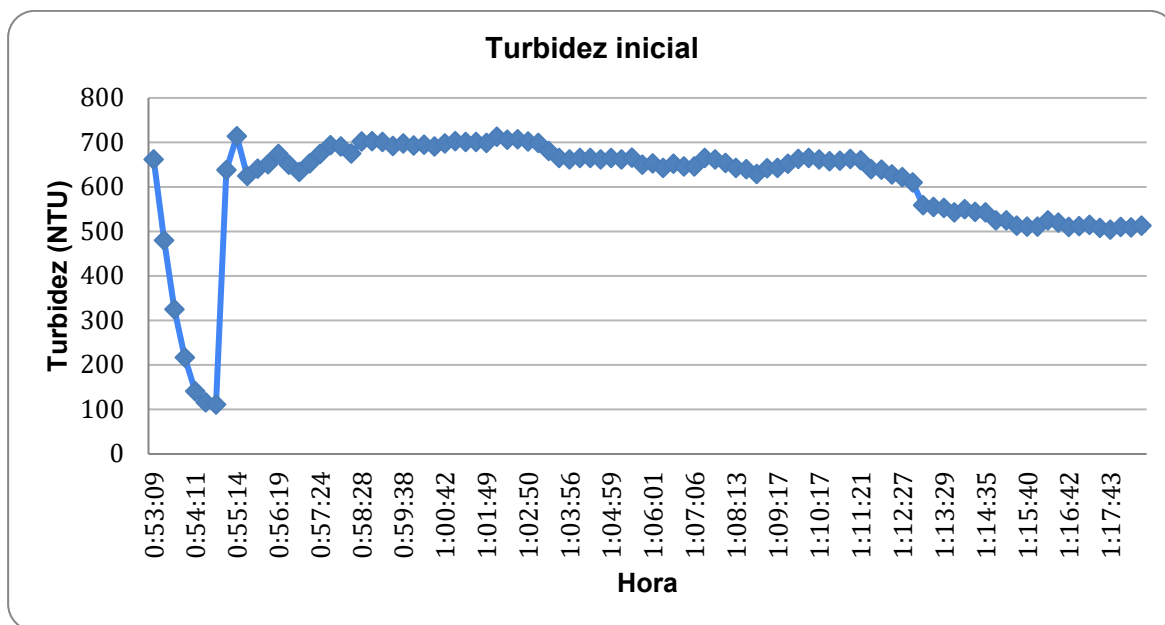
$$e_c = \frac{732,3 W}{1000} = 0,73 kW/h$$

En donde e_c es el consumo constante del sistema expresado en kW/h. En la sección de evaluación de costos, se hará un análisis acerca de la viabilidad de la finca en temas energéticos relacionando los precios estimados en Colombia del kW/h.

3.3 Medición de las variables con los sensores

Para la turbidez inicial se hicieron mediciones en la trampa de grasas debido a que en este proceso se mezclan las aguas provenientes del lavado del café y las aguas grises producto de la lavadora y lavamanos. Se apreciaron valores cercanos a los 700 NTU con el agua más turbia y valores de alrededor de los 500 NTU para aguas cuyo lavado ya ha limpiado una parte de la cantidad de café con el agua proveniente de la lavadora y lavavajillas, mientras que los valores que decaen hasta los 100 NTU aproximadamente, pertenecen al agua con mayor tasa de líquido proveniente de la lavadora y lavavajillas, intencionalmente se hace una prueba manual con el sensor analizando este último tipo de agua, para comprobar la variabilidad de los valores, en la gráfico 3-1 se aprecia la gráfica con valores obtenidos en Thingspeak con respecto al tiempo.

Gráfico 3-1: Medición extraída de Thingspeak de la medición de turbidez inicial (Fuente: Los autores).



El rango de valores que se ilustra en el gráfico 3-1, pertenece a sensores de la turbidez del fluido que se encuentra en la trampa de grasas. Se toma un rango de 95 datos en un tiempo de 25 minutos aproximadamente, por lo que se obtiene el promedio del agua en tiempo real. Esto es de gran apoyo en el momento de la dosificación del químico, pues se estandariza un valor dosificación para diferentes rangos cercanos de datos:

$$p = \frac{\sum n}{n}$$

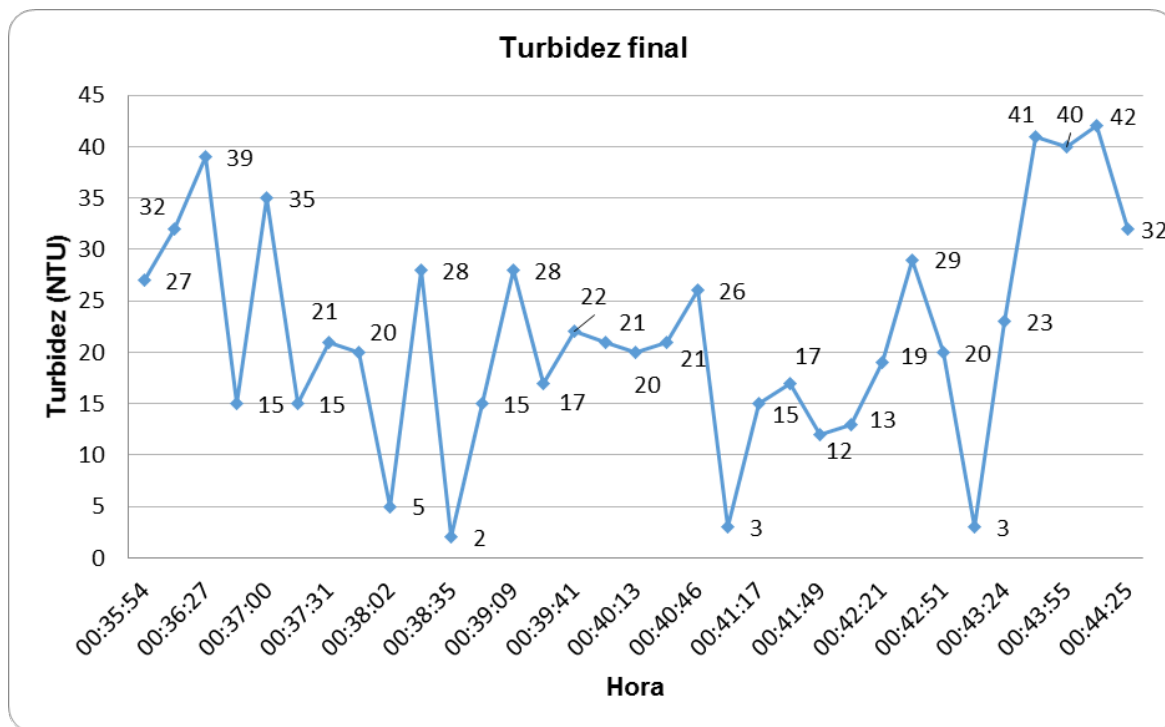
$$p = 613,7$$

Donde n son el número de datos y p el promedio. Este promedio sirvió para comparación y validación de los valores obtenidos en el laboratorio, lo cual indica que las dosis para aplicar de floculante y coagulante son similares a las del agua tratada en las jarras de muestreo.

Los valores resultantes del tratamiento son mucho más bajos de los iniciales, debido a la aplicación de químicos durante los procesos, en la gráfico 3-2 se aprecia que la turbidez oscila entre 0 y 40 NTU, en parte esto se debe a que las mediciones del sensor suelen

poseer cierto grado de ambigüedad con bajos niveles de turbidez por su nivel de precisión, sin embargo, es posible evidenciar la disminución de la turbidez debido al método químico.

Gráfico 3-2: Medición extraída de Thingspeak de la medición de turbidez final (Fuente: Los autores).



El sensor de pH arroja los resultados presentes en el gráfico 3-3 en donde se logra visualizar un valor de 21 que es mayor a 14, este valor proviene de las situaciones en donde se dejará desconectado para guardar en un lugar seguro el sensor para su protección. Adicionalmente se puede apreciar que hay valores que oscilan entre 4 y 8

aproximadamente, estos valores son producto de diferentes pruebas realizadas con el agua contaminada de la finca y agua potable con valores que oscilan entre 7 y 7,5.

Gráfico 3-3: Medición extraída de Thingspeak de la medición del pH (Fuente: Los autores).



La detección del nivel de llenado se puede visualizar en los gráficos 3-4 y 3-5 con valores de 1 y 0, esto se debe a que se están manejando variables binarias para conocer el estado de llenado del tanque de floculación y almacenamiento final. Cuando el tanque de floculación genera el valor 1, significa que el flotador posee una inclinación vertical hacia abajo, lo que se traduce en que el tanque no tiene suficiente líquido para que la bomba pueda transportar el agua, mientras que en el caso del flotador del tanque de almacenamiento, el flotador estará en 1 si se encuentra con una inclinación hacia arriba, lo que significa que el nivel de llenado es lo suficientemente alto como para garantizar que la bomba tendrá agua suficiente para transportar.

Figura 3-6: Esquema explicativo del funcionamiento de los sensores de nivel (Fuente: Los autores).

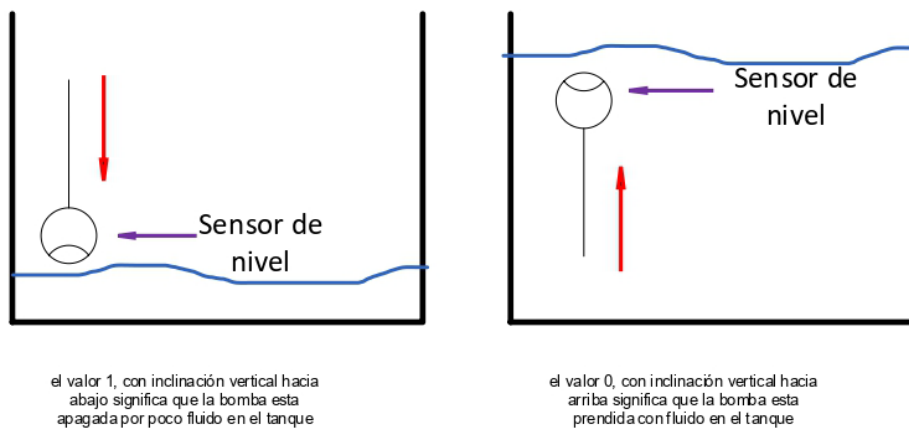


Gráfico 3-4: Mediciones extraídas de Thingspeak del nivel de llenado ubicado en el tanque floculador (Fuente: Los autores).



Gráfico 3-5: Mediciones extraídas de Thingspeak del nivel de llenado ubicado en el tanque de almacenamiento final (Fuente: Los autores).



3.4 Fidelidad de la medición de los sensores

El ajuste de los sensores se realizó en el laboratorio comparando los resultados de mediciones similares. Para el caso del sensor de pH, se toman como muestra líquidos patrones con un valor de pH ya definido y sus resultados se aprecian en la tabla 3-1 por lo que se encuentra una alta fidelidad con el equipo comercial y reactivo.

Tabla 3-1: Comparación de mediciones del pH con un sensor patrón y el sensor adquirido por los autores. (Fuente: Los autores).

Tampón químico	Sensor pH PH-E201	Sensor pH patrón

2	2,38	2,01
7	6,89	7,1
9	8,7	8,9-9,1

La turbidez es una variable que posee mayores complicaciones, ya que varios factores afectan su valor. Para el caso de este proyecto se realiza la comparación de valores obtenidos de un sensor de turbidez de laboratorio con respecto al sensor configurado y programado por los autores del documento, y los resultados se pueden observar en la tabla 3-2, donde se puede concluir que el sensor utilizado en el proyecto posee una menor fidelidad, esto en parte se debe al bajo costo que constituyen este tipo de sensores y la naturaleza de su técnica para medir la variación la luminosidad en el agua a medir, ya que esto produce variaciones de voltaje muy pequeñas para que el microcontrolador pueda leerlas.

Tabla 3-2: Comparación de mediciones de la turbidez con un sensor patrón y el sensor adquirido por los autores. (Fuente: Los autores).

Muestras de agua	Sensor de turbidez SEN0189 (NTU)	Sensor de turbidez patrón (NTU)
Contaminada	500-700	620 - 700
Tratada	0 - 40	20 – 22

3.5 Evaluación de las bombas de succión

De acuerdo al estudio de la mecánica de fluidos y la necesidad de implementación de un sistema de succión de aguas, se requiere de una bomba centrífuga de 2 caballos de fuerza con la que cuenta el propietario de la finca Villa Viviana que fue implementada para el transporte del agua tratada una vez culmina el proceso (Almacenamiento final), y otra bomba de $\frac{1}{2}$ caballo de fuerza para el transporte de agua del tanque de floculación hacia el de desinfección. Por lo que se aplican cálculos teniendo en cuenta las alturas a operar de la bomba, tipo de fluido a mover, viscosidad dinámica, cinemática longitud de tuberías, caudales y demás parámetros. Se estimaron las pérdidas por fricción y se analiza el sistema de potencia contando con la ficha técnica del fabricante se obtuvo la curva característica del sistema como se presenta.

En el caso de la bomba de $\frac{1}{2}$ hp disponible no fue posible consultar la información del fabricante específico de la bomba, por lo cual se optó por usar como referencia la curva característica de un equipo con parámetros similares (potencia y diámetro de conexiones) ya que la bomba utilizada en el proyecto no posee información del fabricante oficial. Para la bomba de 2 hp se utilizó la curva del fabricante (Alemoronisi, 2015), (Prestaciones et al., 1975).

Gráfico 3-6: Curva del sistema para la bomba de $\frac{1}{2}$ hp (Fuente: Los autores).

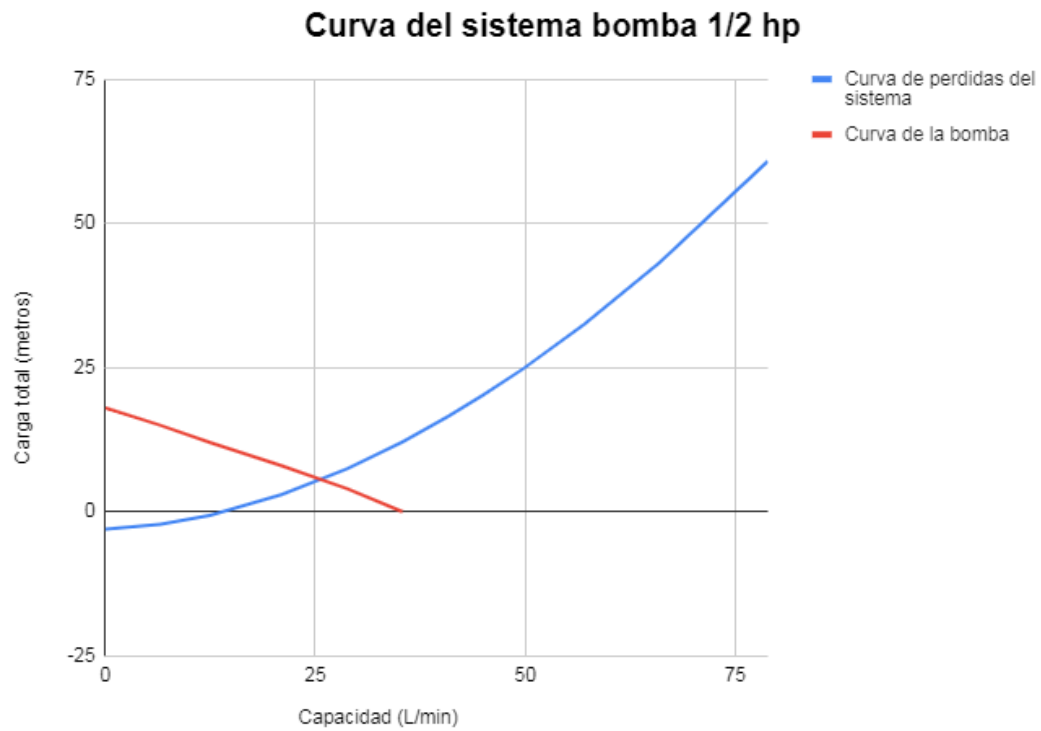
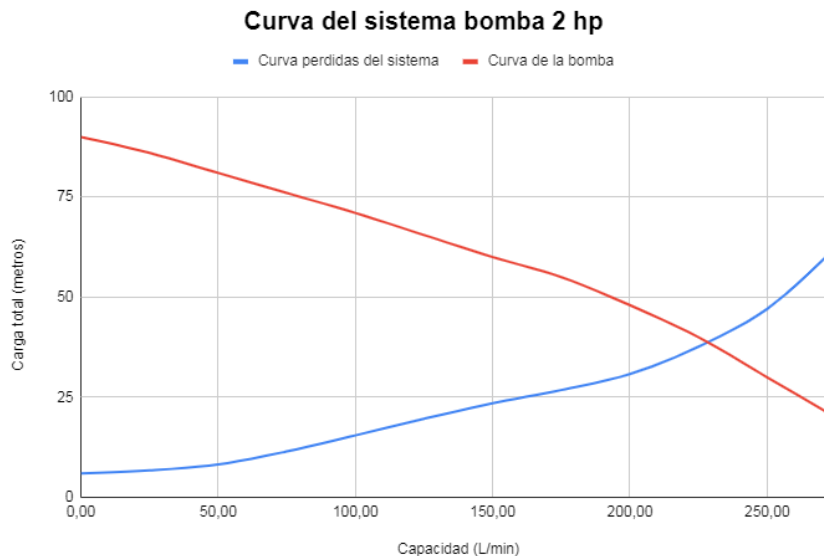


Gráfico 3-7: Curva del sistema para la bomba de 2 hp (Fuente: Los autores).



3.6 Pruebas de funcionamiento (Caudal y tiempo de retención)

Caudal: Debido a que el terreno en el que se implementa el prototipo posee cierta inclinación, se aprovecha la pendiente, para obtener un movimiento hidráulico en el cual se aproveche la gravedad, la cual es necesaria para el transporte del agua a tratar. Dado que en el proceso de floculación se requiere de un transporte lento del agua. Para así lograr la creación de floculos y una agitación acorde al volumen, tiempo de retención del tanque, correcta sedimentación y aglomeración adecuada de los sólidos en suspensión o coloides. Para lograr dicho transporte lento, se opta por seleccionar la tubería que alimenta a cada uno de los procesos a un diámetro de tubería de alta presión PVC que comercialmente tiene un valor de 1/2 ". En la selección del diámetro para la tubería, se hicieron pruebas de funcionamiento del sistema de transporte por gravedad empleando mangueras de diferentes diámetros: 1/2", 1" y 2", se tomaron los tiempos de llenado de un recipiente de 20L a través de cada una de las mangueras. Como se aprecia en la ecuación (3.8) se halla el caudal en base a este diámetro.

Tabla 3-3: Pruebas de caudal con diferentes diámetros de manguera (Fuente: los autores).

Diámetro de manguera de prueba (pulg)	Tiempo de llenado recipiente 20 L (s)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
0.5	40,35	0,49	2,29
1	19,06	1,04	2,36
2	7	2,85	1,54

El caudal sin altura, es decir por gravedad se calcula en la ecuación (3.11).

$$Q = \frac{0,02 \text{ m}^3}{36.4 \text{ s}} \quad (3.11)$$

$$Q = 0,54 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ ó } 32.96 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Teniendo en cuenta que la altura para subir el fluido es de 6 m aproximadamente y tomando un tiempo estimado de 24,16 s experimentales llenando una caneca de 20 L. podremos hallar el caudal según la altura tomada con la expresión siguiente:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.12)$$

$$Q = \frac{20\text{L}}{0.40} = 49,66 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$Q = 49,66 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$Q = \frac{0,02 \text{ m}^3}{24.16 \text{ s}}$$

$$Q = 0,82 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

3.7 Determinación del óptimo de producción (Volumen)

La teoría de la producción hace alusión a las funciones que pueden estar relacionadas como productividad media o promedio, productividad marginal, función de producción que son las que se visualizan en la gráfica y dan cuenta de cómo se comportan los factores que intervienen en la producción, como son el trabajo, capital, recursos naturales, capacidad empresarial y tecnología.

Para el caso de estudio se toman como factores el trabajo en horas y como producción total el volumen en metros cúbicos, hallando seguidamente la producción promedio y marginal e involucrando los datos para obtener el gráfico de dispersión en el cual se presentan formas de funciones y según sea el caso, para cada curva obtenida se ajusta el polinomio ya sea de grado 2 o 3 generalmente o lineal si es una recta de allí obtenemos las ecuaciones en los puntos de la gráfica los cuales indican la función promedio, marginal y producción total de la planta, de la curva de producción total se despeja el factor trabajo (L) se reemplazan los β quienes describen la forma de la curva de la función hallada en el gráfico 3-8 y a su vez se reemplaza en la ecuación de productividad total (3.13) despejando el Q y reemplazando el trabajo hallado. Es así como se obtiene el punto máximo de la capacidad instalada de la planta hasta donde se puede operar el prototipo de tratamiento.

$$Q = \beta_1 - 2\beta_2 = 0; L = \frac{\beta_1}{2\beta_2} \quad (3.13)$$

Gráfico 3-8: Función de producción (Fuente: Los autores).

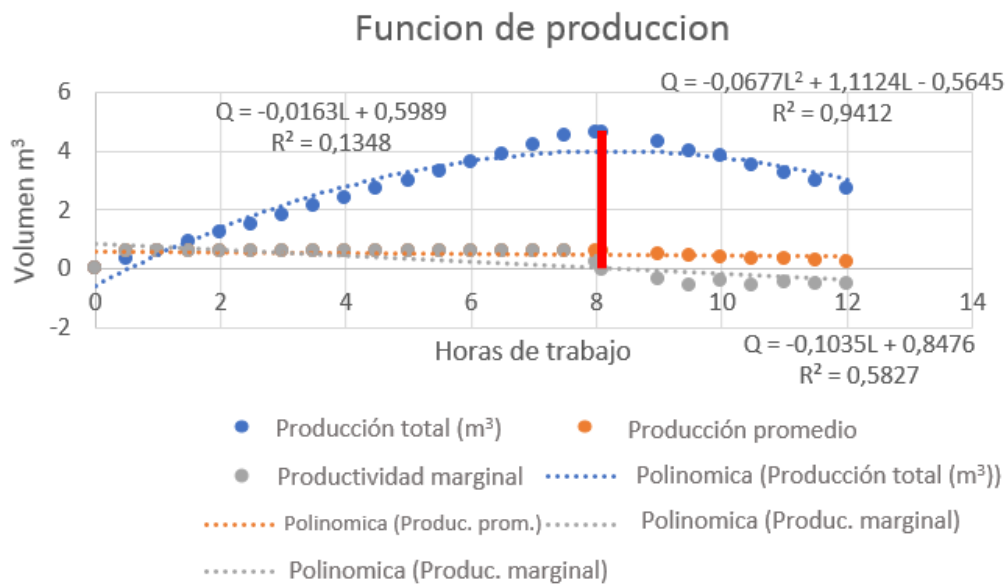


Tabla 3-4: Función de producción total. (Fuente: los autores).

		FUNCION DE PRODUCCION TOTAL FINCA VILLA VIVIANA		
T	L	Q	PP	PML
TIERRA	TRABAJO (horas)	PRODUCCION TOTAL (volumen m3)	PRODUCCION PROMEDIO	PRODUCTIVIDAD MARGINAL
1	0	0	0	0,000
1	0,5	0,3	0,6	0,600
1	1	0,6	0,6	0,600
1	1,5	0,9	0,6	0,600
1	2	1,2	0,6	0,600
1	2,5	1,5	0,6	0,600
1	3	1,8	0,6	0,600
1	3,5	2,1	0,6	0,600
1	4	2,4	0,6	0,600
1	4,5	2,7	0,6	0,600
1	5	3	0,6	0,600
1	5,5	3,3	0,6	0,600
1	6	3,6	0,6	0,600
1	6,5	3,9	0,6	0,600
1	7	4,2	0,6	0,600

1	7,5	4,5	0,6	0,600
1	8	4,614	0,57675	0,228
1	8,1	4,61	0,569135802	-0,040
1	9	4,3	0,477777778	-0,344
1	9,5	4	0,421052632	-0,600
1	10	3,8	0,38	-0,400
1	10,5	3,5	0,333333333	-0,600
1	11	3,25	0,295454545	-0,500
	11,5	2,99	0,26	-0,520
	12	2,73	0,2275	-0,520

3.8 Evaluación de los costos para la elaboración del prototipo

De acuerdo en lo propuesto para la realización de proyectos con infraestructuras se requieren una serie de elementos como lo son: materiales hidráulicos, eléctricos, construcción y movilidad, que se contempla en el presupuesto de costos generados durante el montaje, como se presenta en el gráfico 3-5. La mano de obra no se contempla en la totalidad del valor relacionado.

Tabla 3-5: Evaluación de costos y presupuesto. (Fuente: los autores).

PRESUPUESTO DE COSTOS IMPLEMENTACIÓN PROTOTIPO PLANTA DE TRATAMIENTO				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNIT	COSTO
1	Bloque #5 estándar 12 cm ancho x 20 cm largo x 15 cm alto 2,6 kilos	90	\$ 1.350	\$ 121.500
2	Cemento Cemex Uso General 50kg	10	\$ 25.700	\$ 257.000
3	Mixto 40kg	20	\$ 17.200	\$ 344.000
4	Arena de Río 40kg	7	\$ 16.800	\$ 117.600
5	Tubo Conduit tl 1/2" 3 metros	7	\$ 9.500	\$ 66.500
6	Interruptores de muletilla	5	\$ 10.000	\$ 50.000
7	Cable Eléctrico Duplex 2x12 100 Mts Nacional	1	\$ 950	\$ 95.000
8	Contactador 110v ac- 15 amp	2	\$ 30.000	\$ 60.000
9	Relevo de 110v ac -11 pines	1	\$ 15.000	\$ 15.000
10	Relevo de control 5v dc de 2 bloques	3	\$ 5.000	\$ 15.000
11	Electroválvula 110v ac 1/2" roscada	1	\$ 40.000	\$ 40.000
12	Adaptador hembra pvc 1"	1	\$ 2.100	\$ 2.100
13	Adaptador macho pvc 1"	3	\$ 1.800	\$ 5.400
14	Buje soldado pvc 2"x1"	1	\$ 2.100	\$ 2.100
15	Tee pvc 1"	2	\$ 3.000	\$ 6.000
16	Tubería pvc 1" valor x metro	12	\$ 3.560	\$ 42.720
17	Universal pvc 1/2" soldada	2	\$ 1.900	\$ 3.800
18	Universal pvc 1" soldada	4	\$ 4.600	\$ 18.400
19	Codo 90° pvc 1"	5	\$ 2.100	\$ 10.500
20	Registro pvc soldado 1/2" economico	2	\$ 3.000	\$ 6.000

21	Registro pvc soldado 1" económico	4	\$ 5.200	\$ 20.800
22	Registro pvc soldado 2" económico	4	\$ 17.700	\$ 70.800
23	Adaptador macho pvc 1/2"	2	\$ 600	\$ 1.200
24	Cheque chino 1/2"	1	\$ 15.000	\$ 15.000
25	Arena silice 12-20 x 75 kg	2	\$ 16.000	\$ 32.000
26	Carbón activado 8 x 30 granulado x 25kg	1	\$ 212.500	\$ 212.500
27	Policloruro de aluminio solido x 25kg	1	\$ 112.500	\$ 112.500
28	Polímero anionico x 1kg	1	\$ 30.000	\$ 30.000
29	Sensor de turbidez SEN 0189	2	\$ 85.000	\$ 170.000
30	Sensor de ph referencia: ph - e201	1	\$ 120.000	\$ 120.000
31	Microcontrolador ESP32	2	\$ 30.000	\$ 60.000
32	Pantalla LCD 16 x 2 (i2c)	1	\$ 20.000	\$ 20.000
43	Viáticos generales para 2 personas	2		\$ 950.000
			TOTAL	\$ 3.093.420

Los costos de producción son egresos o salidas de dinero, para adquirir los materiales o materia prima que le dan forma al producto, mano de obra y demás factores que intervienen en dichas evaluaciones. La materia prima directa (que va al consumidor final) e indirecta (sirve de materia prima para otros procesos).

Los costos de producción se pueden identificar a través de gráficas esquematizadas en el programa Excel. al generar un cuadro con las cantidades a trabajar, evaluar los costos fijos como pueden ser los servicios públicos en la finca villa Viviana los cuales nos dan una idea, de cuanto es el valor de servicio de acueducto, ya que el recibo llega allí cada 4 meses por una tarifa única.

Dicho valor del recibo se toma como valor fijo, seguido de esto se escoge un costo variable total. Que para el caso de estudio se tomó el valor de cada gramo de químico, y se escaló con respecto al volumen teniendo en cuenta que por cada volumen de agua a tratar se

requiere una dosis variada de floculante y coagulante. La sumatoria del costo fijo y el costo variable, da como resultado el costo total.

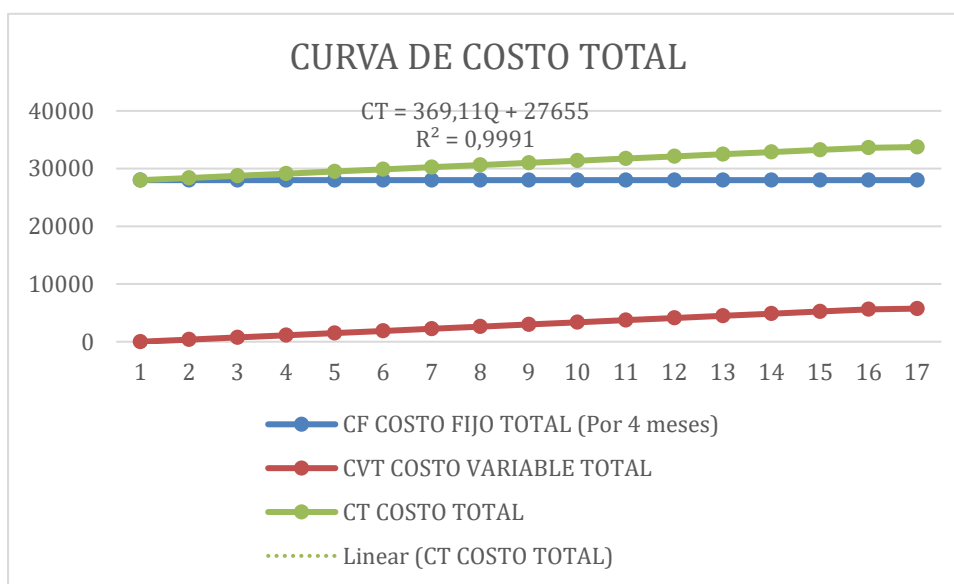
Tabla 3-6: Tabla de modelo de función de producción para los químicos utilizados.

(Fuente: los autores).

MODELO DE FUNCION DE PRODUCCION PARA QUIMICO					
	Q	CF	CVT	CT	CT'
GRAMOS DE QUIMICO	CANTIDAD (Volumen m ³)	COSTO FIJO TOTAL (Por 4 meses)	COSTO VARIABLE TOTAL	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL ESTIMADO
0	0	28000	\$ -	\$ 28.000,00	\$ 27.655,00
85	0,3	28000	\$ 374,00	\$ 28.374,00	\$ 27.765,73
170	0,6	28000	\$ 748,00	\$ 28.748,00	\$ 27.876,47
255	0,9	28000	\$ 1.122,00	\$ 29.122,00	\$ 27.987,20
340	1,2	28000	\$ 1.496,00	\$ 29.496,00	\$ 28.097,93
425	1,5	28000	\$ 1.870,00	\$ 29.870,00	\$ 28.208,67
510	1,8	28000	\$ 2.244,00	\$ 30.244,00	\$ 28.319,40
595	2,1	28000	\$ 2.618,00	\$ 30.618,00	\$ 28.430,13
680	2,4	28000	\$ 2.992,00	\$ 30.992,00	\$ 28.540,86
765	2,7	28000	\$ 3.366,00	\$ 31.366,00	\$ 28.651,60
850	3	28000	\$ 3.740,00	\$ 31.740,00	\$ 28.762,33
935	3,3	28000	\$ 4.114,00	\$ 32.114,00	\$ 28.873,06
1020	3,6	28000	\$ 4.488,00	\$ 32.488,00	\$ 28.983,80
1105	3,9	28000	\$ 4.862,00	\$ 32.862,00	\$ 29.094,53
1190	4,2	28000	\$ 5.236,00	\$ 33.236,00	\$ 29.205,26
1275	4,5	28000	\$ 5.610,00	\$ 33.610,00	\$ 29.316,00
1303,33	4,6	28000	\$ 5.734,67	\$ 33.734,67	\$ 29.352,91

SUMATORIA DE COSTO TOTAL ESTIMADO	\$ 485.120,87
PROMEDIO DE DATOS	\$ 28.536,52

Gráfico 3-9: Curva de costo total para el gasto químico (Fuente: Los autores).



En la sección anterior de evaluación de la red eléctrica, se apreciaron los consumos energéticos por hora expresados en kW/h. En la tabla 3-7 se expresa un análisis relacionando el valor del kW/h en pesos colombianos, cuyo valor se estima en \$ 265,80.

Tabla 3-7: Tabla de modelo de función de producción para la energía consumida.

(Fuente: los autores).

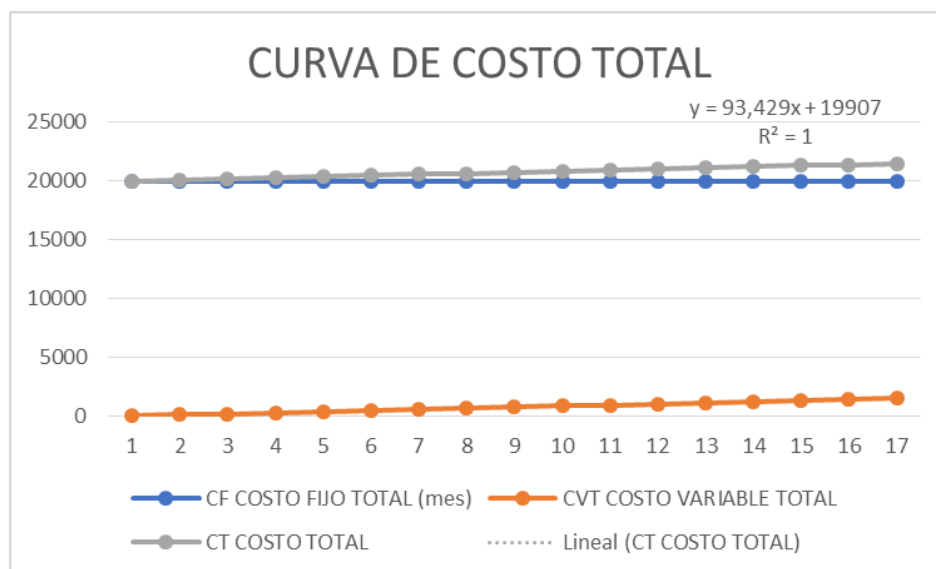
MODELO DE FUNCION DE PRODUCCION PARA LA ENERGIA					
	Q	CF	CVT	CT	CT'
Energía (Kw/h)	CANTIDAD (horas)	COSTO FIJO TOTAL (mes)	COSTO VARIABLE TOTAL	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL ESTIMADO
0	0	50000	\$ -	\$ 50.000,00	\$ 50.212,80
0,37	0,5	50000	\$ 97,28	\$ 50.097,28	\$ 50.259,50
0,73	1	50000	\$ 186,9	\$ 50.186,85	\$ 50.306,20
1,10	1,5	50000	\$ 291,85	\$ 50.291,85	\$ 50.352,89
1,46	2	50000	\$ 389,13	\$ 50.389,13	\$ 50.399,59
1,83	2,5	50000	\$ 486,41	\$ 50.486,41	\$ 50.446,29
2,20	3	50000	\$ 583,70	\$ 50.583,70	\$ 50.492,99

2,56	3,5	50000	\$ 680,98	\$ 50.680,98	\$ 50.539,69
2,93	4	50000	\$ 778,26	\$ 50.778,26	\$ 50.586,38
3,29	4,5	50000	\$ 875,55	\$ 50.875,55	\$ 50.633,08
3,66	5	50000	\$ 972,83	\$ 50.972,83	\$ 50.679,78
4,03	5,5	50000	\$ 1.070,11	\$ 51.070,11	\$ 50.726,48
4,39	6	50000	\$ 1.167,39	\$ 51.167,39	\$ 50.773,18
4,76	6,5	50000	\$ 1.264,68	\$ 51.264,68	\$ 50.819,87
5,12	7	50000	\$ 1.361,96	\$ 51.361,96	\$ 50.866,57
5,49	7,5	50000	\$ 1.459,24	\$ 51.459,24	\$ 50.913,27
5,86	8	50000	\$ 1.556,52	\$ 51.556,52	\$ 50.959,97
COSTO ENERGIA					
CANTIDAD	EQUIPO	PRECIO:			
Kw/h Colombia	PROCESO	\$ 265,8			
Kw/h	BOMBA 2 Hp	184,7			
Kw/h	BOMBA 1/2 Hp	127,1			
			SUMATORIA DE COSTO TOTAL ESTIMADO	\$	859.968,53
			PROMEDIO DE DATOS	\$	50.586,38

Se insertan las gráficas de costos ajustando el polinomio que más se acomode a los puntos graficados y luego se generan las ecuaciones. Se toma la ecuación de costo total, se reemplazan las cantidades Q y operando se da por obtenido el costo total estimado de la planta de tratamiento de aguas. Si se comparan los valores del recibo de agua que llega cada 4 meses por \$28000 o \$7000 mes con la dosis de químico empleada en el tratamiento, se aprecia que el aproximado de químico establecido por mes es de \$748,00. y teniendo en cuenta que el consumo de energía es de \$ 50000 mensual aproximado. y el valor de 1 kilovatio cada hora es de \$186,85. Tomando como valor de Kw/h el precio a

nivel colombia que es \$265,8. Se denota que el incremento no es muy elevado considerando que habrá una reducción en el gasto de los recibos de luz y agua potable y abundante agua para ser usada en tareas de limpieza. El ahorro monetario debido al bajo costo de los insumos se incrementará para el beneficiario de la finca. En el gráfico 3-10 se aprecia la gráfica de costos ajustando el polinomio que más se acomode a los puntos graficados y luego se generan las ecuaciones.

Gráfico 3-10: Curva de costo total del gasto energético (Fuente: Los autores).



4. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- De acuerdo con los hallazgos encontrados en la vereda el alto, (finca villa Viviana) el proceso de lavado de café. requiere de un gasto de agua potable considerable, aproximadamente 4200 litros por año. Sumado a esto el suministro se recibe 3 horas al día. lo que llevó a la necesidad de implementar un proceso de clarificación de las aguas monitoreado por IoT. A su vez dando uso a elementos con los que se contaban se logró retirar gran parte de los sólidos disueltos en dichas aguas y dar un segundo uso de las mismas con valores de pH adecuados para su aprovechamiento en lavados de pisos y fachadas esencialmente.
- Aunque el proyecto mostrado en este documento, tiene la capacidad de dar resultados muy favorables, se requiere de una inversión más elevada para controlar la totalidad de los factores negativos que pueden llegar a afectar al producto final. Con respecto a la instrumentación, se requieren sensores de turbidez más robustos, para ofrecer una mayor confiabilidad y precisión en las mediciones.
- La implementación de sistemas para el reúso de agua contribuyen, no solo con el cuidado de las fuentes hídricas, sino también minimizando el uso de aguas limpias. dándole un valor agregado a fincas como villa Viviana pues con poca inversión se logró implementar un sistema que puede clarificar aguas y adicionalmente los químicos que se requieren son de muy bajo costo. Dicho sistema consiste en la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales con procesos de almacenamiento, floculación, sedimentación, desinfección y filtrado, el cual se compone de una serie de tanques que cubren cada proceso construido mediante obras civiles. Adicional mente dicha planta cuenta con un circuito hidráulico para la conexión entre cada proceso, una instalación eléctrica con un tablero principal de control que garantizan el desempeño de los procesos.
- El monitoreo de las variables de la planta, se realiza mediante el internet de las cosas (IoT), para lo cual se utilizan herramientas digitales como lo son ThingSpeak y App Inventor para almacenar, procesar y visualizar los datos obtenidos por sensores de

turbidez, ph y nivel de llenado de los tanques. Los sensores mencionados envían señales eléctricas a un microcontrolador ESP32 que a su vez tiene la capacidad de conectarse a internet para la comunicación con ThingSpeak y App Inventor. Para obtener un monitoreo más fluido y amplio, se requiere de la adquisición de la versión de pago de Thingspeak, ya que como se observó, la versión gratuita tiene ciertas limitaciones como un menor número en los mensajes enviados por día y por año, y una menor velocidad de respuesta en el transporte de datos.

- Se establece que la capacidad máxima para el tratamiento de las aguas en la finca villa Viviana es de 4,61 m³ en todos los tanques que intervienen en el proceso.
- Con los procesos de control mediante método químico implementados, se consiguió que la turbidez en el agua disminuyera en 20 veces aproximadamente, teniendo en cuenta la reducción en los valores de la turbidez más alta que es en promedio de 650 NTU vs la turbidez de salida de la planta que es de 30 NTU. Para esta mejoría se hace uso de poli cloruro de aluminio, el cual posee mejores resultados de separación de sólidos en comparación al sulfato de aluminio durante las pruebas de jarras, como acompañamiento se adiciona el coagulante de polímero anionico.
- La inversión monetaria realizada en el proyecto, ofrece resultados que satisfacen las necesidades de usuarios que habitan en zonas rurales y necesitan el reúso del agua con materiales y equipos que sean de fácil adquisición y económicos, aspecto que puede beneficiar a los propietarios vecinos en la vereda el alto en Vianí y en muchas otras zonas del país. Se logra establecer que la capacidad máxima para el tratamiento de las aguas en la finca villa Viviana es de 4,61 m³ en todos los tanques que intervienen en el proceso.
- Teniendo en cuenta que los desplazamientos hacia la finca, los lugares donde se pueden conseguir las cosas están muy alejados. se debe contar con una buena planeación a la hora de incurrir con este tipo de gastos. ya que no solo se generan pérdidas de dinero o combustible, sino también de tiempo, retrasos y demás. Todo ello asociado a la labor que desempeña un ingeniero. Es parte de la responsabilidad, una buena planificación no solo de tareas sino a su vez de materiales, herramientas y equipos involucrados en los procesos que desempeñe.

- Los valores de compra de todos los elementos para este tipo de implementaciones ofrecen un bajo valor de inversión en comparación con el beneficio y reducción del consumo del agua.

Recomendaciones

- El lavado del material filtrante debe hacerse según el uso del filtro, esto alarga la vida del filtro y para la finca villa Viviana sería recomendable realizar un retro lavado cada 2 metros cúbicos de agua tratada.
- Siempre el uso de los elementos de protección adecuados y por ningún motivo meter las manos en los sistemas de agitación cuando estos estén en movimiento
- Siempre aplicar una dosis de cloro al agua tratada y así evitar el olor y a su vez eliminar organismos presentes en ella.
- Se recomienda la adquisición de la versión de pago de Thingspeak a largo plazo para obtener una mayor cantidad de valores y extender las ventajas de velocidad de respuesta del servidor con respecto al sistema de la planta de tratamiento.
- Ampliar el tamaño de las cajas de circuitos eléctricos para tener más espacio disponible para el orden del cableado y componentes eléctricos.
- Adquirir equipos de medición para la turbidez más robustos, con el fin de obtener resultados más precisos y confiables para el agua a tratar.

Evidencias fotográficas

Figura 4-1: Aplicación de pintura de estructuras en el tanque de floculación (Fuente: Los autores).



Figura 4-2: Utilización de los respectivos elementos de seguridad personal (Fuente: Los autores).



Figura 4-3: Realización de aforo de químico a dosificar (Fuente: Los autores).



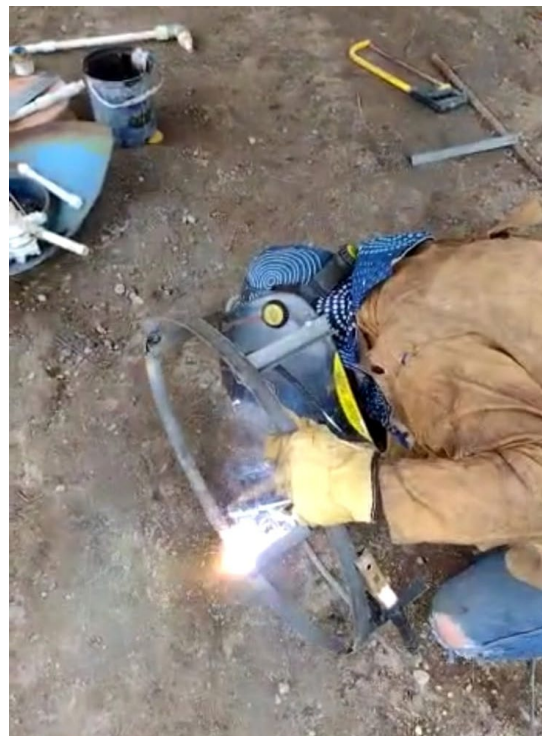
Figura 4-4: Medición del pH en muestras para el ajuste del sensor de pH utilizado en el proyecto (Fuente: Los autores).



Figura 4-5: Mantenimiento y lavado inicial del tanque de almacenamiento final (Fuente: Los autores).



Figura 4-6: Soldaduras estructurales (Fuente: Los autores).



Referencias bibliográficas

- Kaur, K. (2018). A Survey on Internet of Things - Architecture, Applications, and Future Trends. *ICSCCC 2018 - 1st International Conference on Secure Cyber Computing and Communications*, 581–583. <https://doi.org/10.1109/ICSCCC.2018.8703341>
- Parida, D., Behera, A., Naik, J. K., Pattanaik, S., & Nanda, R. S. (2019). Real-time environment monitoring system using ESP8266 and thingspeak on internet of things platform. *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICCS 2019*, 225–229. <https://doi.org/10.1109/ICCS45141.2019.9065451>
- Mohammad Muztaba Fuad, L. A. (2016). *Comunicación entre aplicaciones entre aplicaciones de Android desarrollada en App-Inventor y Android Studio | Publicación de la conferencia IEEE | IEEE Xplore*. <https://ezproxy.uan.edu.co:2139/document/7832956>
- How To Collect, Analyze, and Act on IoT Data - ThingSpeak IoT. (n.d.). Retrieved November 11, 2021, from https://thingspeak.com/pages/how_to
- MIT App Inventor | Explore MIT App Inventor. (n.d.). Retrieved November 11, 2021, from <https://appinventor.mit.edu/>
- Maier, A., Sharp, A., & Vagapov, Y. (2017). Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. *2017 Internet Technologies and Applications, ITA 2017 - Proceedings of the 7th International Conference*, 143–148. <https://doi.org/10.1109/ITECHA.2017.8101926>
- Mott L. Robert. (2006). *Mecánica de fluidos* (Pearson (ed.); Sexta edic). <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>
- García, D., & Lastra, D. J. (1998). El Concepto De Caudal Ecológico Y. *Simposio Sobre La Gestión Ecosistémica Del Agua, April*.
- Rodríguez, A. S. L. (2012). *Conducciones forzadas por gravedad con tuberías de PEAD. (2012). Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382012000300001&script=sci_arttext&lng=pt#tabla_1ones_forzadas_por_gravedad_con_tuberías_de_PEAD. Ingeniería Hidráulica y Ambiental.

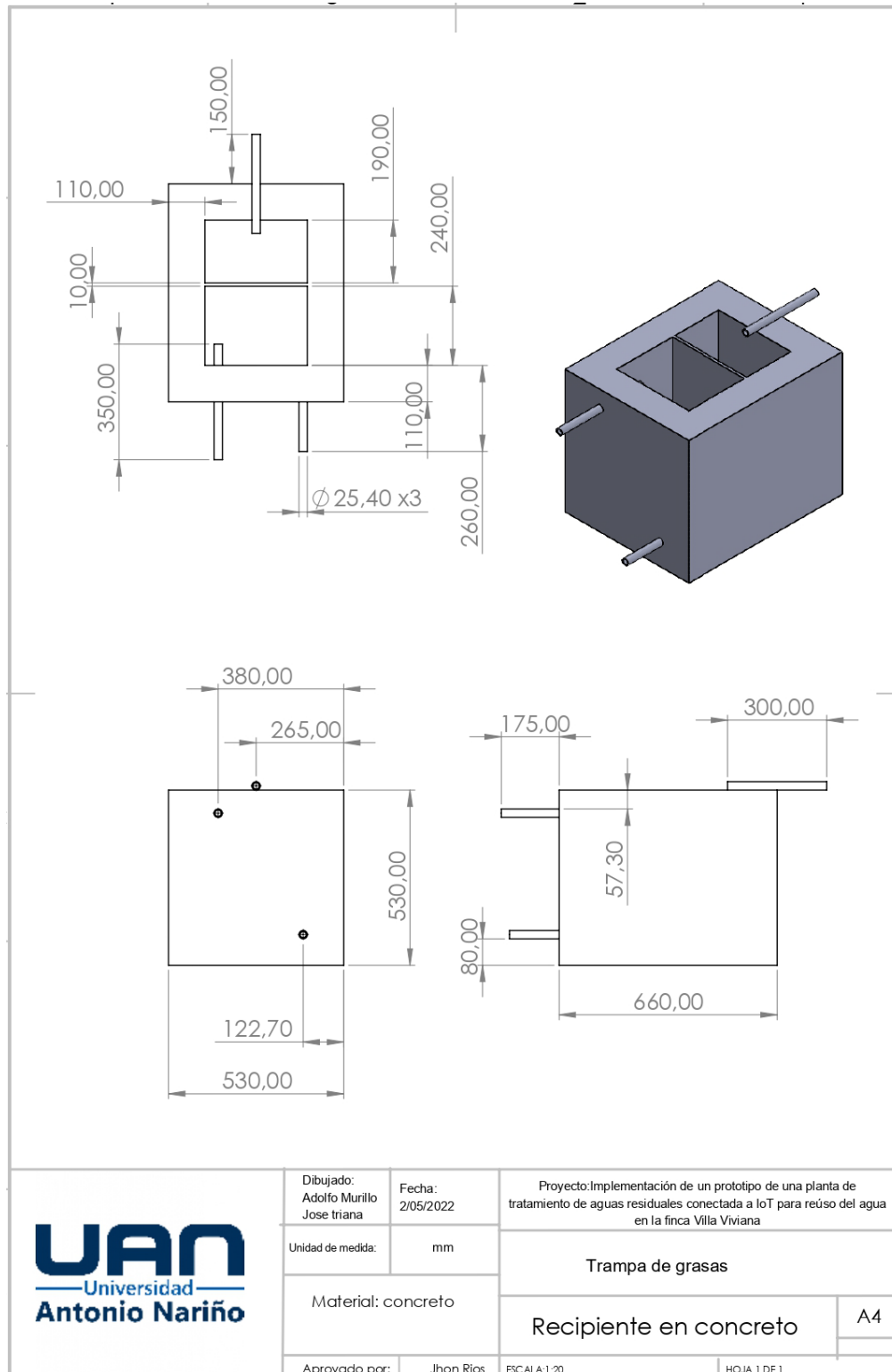
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382012000300001&script=sci_arttext&lng=pt#tabla 1

- Abd Rahman, M. F., Samah, A. H. A., Ahmad, K. A., Boudville, R., & Yahaya, S. Z. (2019). Performance evaluation of LED Based sensor for water turbidity measurement. *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST, 2018-December*, 20–24.
<https://doi.org/10.1109/ICSENST.2018.8603655>
- He, W., Nan, J., Song, J., & Song, X. (2009). Application of numerical simulation to investigate fractal structure of floc formed in flocculation process of water treatment. *2009 International Conference on Energy and Environment Technology, ICEET 2009*, 2, 441–445. <https://doi.org/10.1109/ICEET.2009.345>
- Karwowska, B., Sperczynska, E., & Dabrowska, L. (2021). Water Treatment in Hybrid Connection of Coagulation, Ozonation, UV Irradiation and Adsorption Processes. *Water 2021, Vol. 13, Page 1748, 13(13)*, 1748.
<https://doi.org/10.3390/W13131748>.
- Shen, L., Cheng, L., Wang, H., Lian, X., & Qi, J. (2010). Pilot-scale study of efficient coagulation sedimentation of micro-polluted water. *ICBEE 2010 - 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, Proceedings*, 124–127. <https://doi.org/10.1109/ICBEE.2010.5653560>
- Taflin, C. (2006). A low-cost solution to rural water disinfection: The development of an effective chlorinator. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 25(3), 36–37. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2006.1636349>
- G, J., N, M., S, S., & S, A. (2020). Smart Monitoring and Control of Water Filtration System Using IOT. *2020 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICPECTS49113.2020.9336991>.
- Indu, K., & Choondal, J. J. (2017). Modeling, development & analysis of low cost device for water quality testing. *2016 IEEE Annual India Conference, INDICON 2016*.
<https://doi.org/10.1109/INDICON.2016.7839131>
- Kuo, L. C., & Tai, C. C. (2020). Implementation of Inverse Perspective Mapping for Camera-Vision Water-Level Measurements. *Proceedings - 2020 International Computer Symposium, ICS 2020*, 348–351.
<https://doi.org/10.1109/ICS51289.2020.00075>

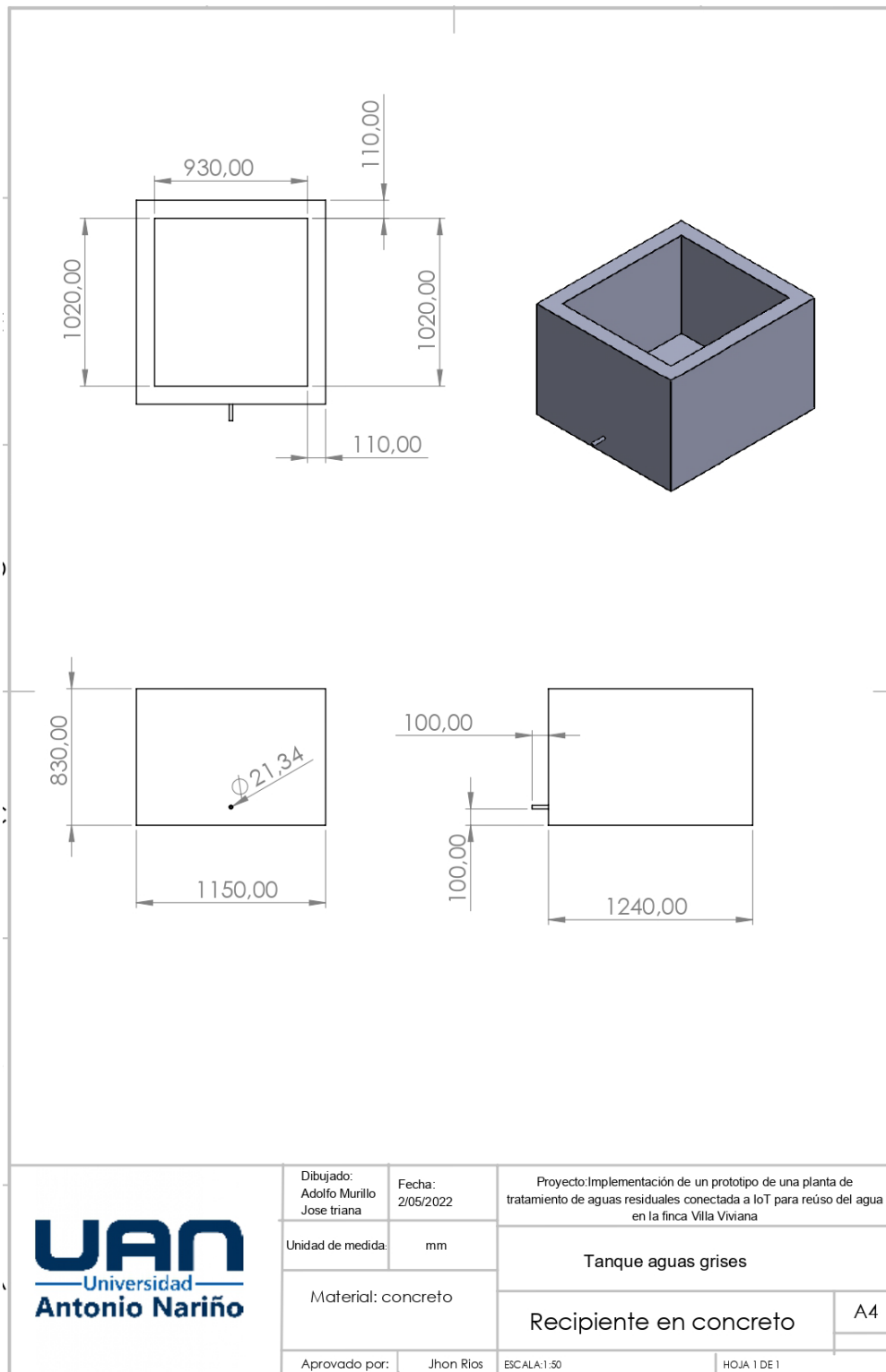
- Soni, A., Singh, K., & Kumar, P. (2020). Smart Water Purification Technique. *2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, 438–444. [https://doi.org/10.1109 / ICACCCN51052.2020.9362834](https://doi.org/10.1109/ICACCCN51052.2020.9362834)
- En, U. N. E., En, U. N. E., En, U. N. E., & En, U. N. E. (n.d.). *Ficha Técnica 1500 1175*. Westarco. (2021). *Guía de electrodos para soldar west arco (Resumen)*. <https://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/catalogo-resumido-westarco.pdf>
- h, E., & Howard, S. J. (2017). Do aspects of social, emotional and behavioural development in the pre-school period concurrently predict later cognitive and academic attainment? *Australian Journal of Education*, 61(3), 270–287. (x)<https://doi.org/10.1177/0004944117729514>
- Handson Technology. (2005). 2 Channel 5V Optical Isolated Relay Module. *Datasheet*, 74(2), 24. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15773677
- DFRobot. (2018). Turbidity sensor SKU: SEN0189. *DFRobot Electronic*, 4.
- Hakim, W. L., Hasanah, L., Mulyanti, B., & Aminudin, A. (2019). Characterization of turbidity water sensor SEN0189 on the changes of total suspended solids in the water. *Journal of Physics: Conference Series*, 1280(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/2/022064>
- Bruno Saravia, A. R. (2019). Esp32 Node Mcu. *Microelectrónica Componentes Srl*, 7. www.microelectronicash.com
- Rishitha, K., & Ullas, S. (2019). IoT based Automation in Domestic Sewage Treatment Plant to Optimize Water Quality and Power Consumption. 2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 306–310. <https://doi.org/10.1109 / ICCMC.2019.8819700>
- Guerrero, O., & Romero, J. (2018). Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del sector La Loma del Cabí , en el. *Revista de La Escuela Colombiana de Ingeniería*, 110, 67–71.
- Hayes, J., Lau, K. T., & Diamond, D. (2007). A Wireless Sensor Network for Monitoring Water Treatment. 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2007), 514–519. <https://doi.org/10.1109 /SENSORCOMM.2007.4394972>

- Kadar, H. H., Rafee, P. A. A., & Sameon, S. S. (2018). Internet of Things (IoT) and Water Crisis. 2018 4th International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCOINS.2018.8510561>.
- Design of Sewage Treatment Monitoring System Based on Internet of Things. Proceedings of the 31st Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2019, 960–964. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2019.8832470>
- Kingsta, R. M., Saumi, A. S., & Saranya, P. (2019). Design and construction of Arduino based pH control system for household wastewater reuse. Proceedings of the International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2019, 1037–1041. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862752>.
- Proceso 101: ¿Qué Es El Café Lavado Y Por Qué Es Tan Popular? - Perfect Daily Grind español. (n.d.). Retrieved August 14, 2021, from <https://perfectdailygrind.com/es/2018/12/24/proceso-101-que-es-el-cafe-lavado-y-por-que-es-tan-popular/>
- Alemoronisi. (2015). *Bombas Periféricas*. <https://gcpmotoreselectricos.wordpress.com/2015/07/28/bombas-perifericas/>
- Prestaciones, C. D. E. L. A. S., Funcionamiento, P. D. E., Instalaciones, E. E., Construcción, C. D. E. (1975). *Electrobombas con Rodete Periférico*. 1, 3–4.
- Arias, P., & Garay Muñoz, P. (n.d.). Jar Test Lab Report Systematic reviews and meta-analyses on treatment of wastewater: critical evaluation A Fuentes Coagulación y Floculación del Agua Potable.
- Castillo, V. (2013). Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos. Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Mecánica, 69. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf
- Fezari, M., & Zakaria, N. (2019). Comparative study between two Powerful NodeMCU Circuits : ESP32 and Comparative study between two Powerful NodeMCU Modules : ESP32 and ESP8266. April, 1–9.

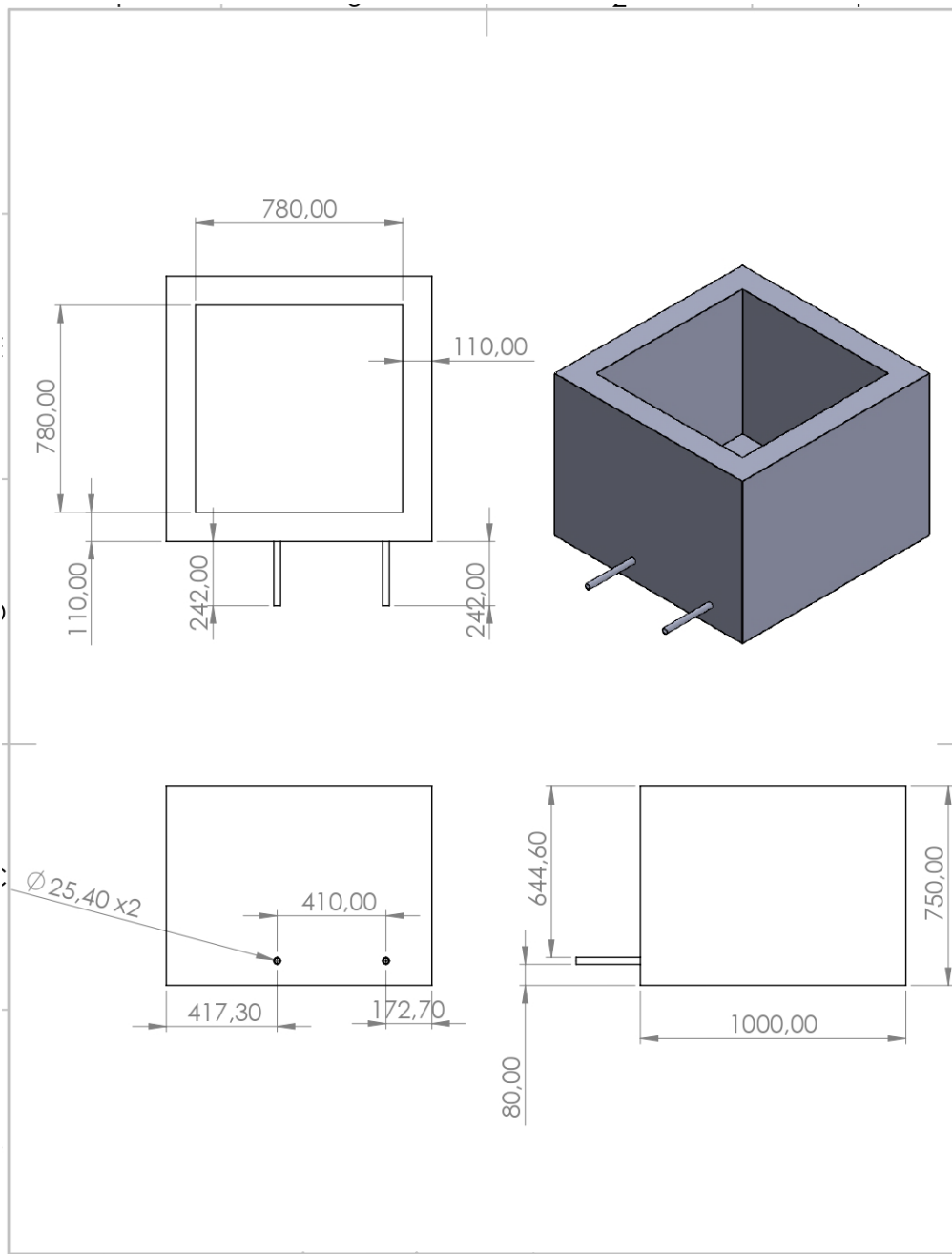
Anexo A: Modelado en SolidWorks de la trampa de grasas




Anexo B: Modelado en SolidWorks del tanque de aguas grises

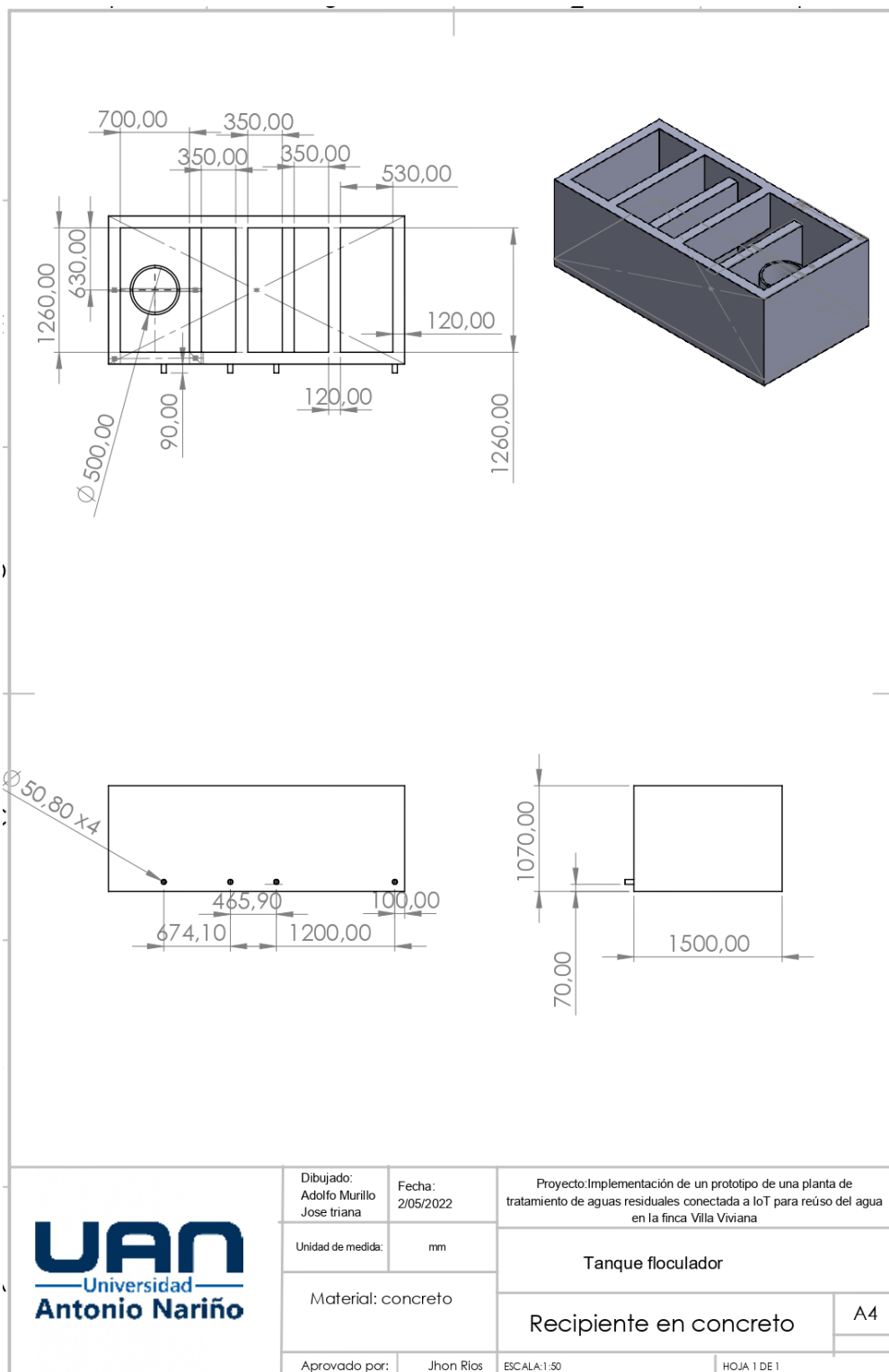


Anexo C: Modelado en SolidWorks del tanque de desinfección.



	Dibujado: Adolfo Murillo Jose triana	Fecha: 2/05/2022	Proyecto: Implementación de un prototipo de una planta de tratamiento de aguas residuales conectada a IoT para reúso del agua en la finca Villa Viviana		
	Unidad de medida:	mm	Tanque desinfeccion		
	Material: concreto	Recipiente en concreto			
	Aprobado por:	Jhon Rios	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1	

Anexo D: Modelado en SolidWorks del tanque floculador



Anexo E: Modelado en SolidWorks del filtro.

