

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño de un sistema IoT para monitoreo inteligente de una bomba diésel

ING-2533

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecatrónica**

Presentado por:

Anthony Daniel López Uquillas

Victor Francisco Lara Orellana

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## **Dedicatoria**

---

El presente proyecto lo dedico con mucho cariño a mi familia: a mi padre, Danilo López, y a mi madre, Jenny Uquillas, por ser mi apoyo principal durante tantos años de esfuerzo continuo, dándome aliento y apoyo ante todas las adversidades presentes e impulsándome a aprovechar cada una de las oportunidades que se me han presentado; a mis hermanos, Dilan y Ailyn López, por ser mis compañeros y mi luz en diversas jornadas. Con honor, dedico mi esfuerzo a mis abuelos, Nicolás Uquillas y Ángel López, por ser ejemplos de determinación y esfuerzo en mi vida. Con profundo afecto y gratitud, dedico este trabajo a mi abuela, Carlota Rosero, cuyo cariño incondicional ha sido mi constante fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de esta jornada.

**Anthony López**

## Dedicatoria

---

Hago una mención especial a Dios, por haber permitido llegar a este punto de mi vida llenándome de sabiduría y de autosuficiencia ante los caminos adversos de la vida.

En primer lugar, dedico esta tesis a mi querida madre Daniela Orellana por jugar en ese papel fundamental de mi vida, siendo mi pilar, mi cimiento, mi todo para así seguir preparándome en un ámbito personal y profesional.

En segundo lugar, a mi hermana Valentina Lara, por ayudarme desinteresadamente durante toda mi trayectoria universitaria, su amor, su paciencia me sirvieron para mantenerme en pie cuando más precisaba de su ser.

En tercer lugar, a mí, por sobre todas las cosas que he aprendido, de las veces que caí y de todas las veces que me volví a levantar, más cauto, más sabio con estos cuatro pilares.

**Victor Lara**

## Agradecimientos

---

Mi más sincero agradecimiento a cada amigo que formó parte de esta etapa universitaria, deseo que sus buenas acciones los sigan caracterizando ya que de ellas pude aprender mucho. De manera especial quiero expresar mi gratitud a Iesus, Yandry, Nathaly, Kevin, Jorge, Medardo, Marianella, María Jose, Luz, Camila, Sebastián, Alexander y José por acompañarme en cada jornada e impulsarme a mejorar siempre y ser un apoyo incondicional. A mis mejores amigos Marcela y Julio por ser un pilar fundamental en los años compartidos durante esta etapa. Agradezco a mi amigo Tyrone por sus enseñanzas y correcciones oportunas con la delicadeza e ingenio que lo destacan a lo largo de mi vida universitaria. Además, deseo extender un agradecimiento especial a Ericka, cuyo apoyo ha sido esencial durante el desarrollo de este proyecto.

**Anthony López**

## Agradecimientos

---

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi madre, una persona sabia de su devoción que me ha aconsejado y en conjunto con mi hermana han sido mi mayor motivación. En los momentos difíciles han sido aquellos hombros donde me he recostado recordando las adversidades de cómo afrontar la vida.

A mis amigos Augusto, Steven, Alex, Dustin, Ramón y Kevin por permitirme compartir experiencias positivas, negativas; llena de momentos que siempre irán en el naufragio de mi memoria. A ellos que se han ganado mi respeto, admiración y lealtad.

A mis amigas Alison, Sofia, Roxelte, Stefany y Meggie por ser unas personas muy capaces e inteligentes de compartir momentos apreciados a lo largo de esta aventura.

Al Ing. Tyrone Villavicencio por brindarme su amistad, cursos de acompañamiento y asesorías a lo largo de esta etapa universitaria, siendo un ejemplo de constancia y superación.

Finalmente, a mí, por detallar con nostalgia y recuerdo cada memoria plasmada en estas letras.

**Víctor Lara**

## Declaración Expresa

---

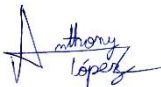
Nosotros Anthony Daniel López Uquillas y Victor Francisco Lara Orellana acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 22 de mayo del 2024.



---

Anthony Daniel López  
Uquillas



---

Victor Francisco Lara  
Orellana

## **EVALUADORES**

---

**Marcelo Fajardo, Ph.D.**

Profesor de materia

---

**Wilton Agila, Ph.D.**

Tutor de proyecto





## Resumen

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de monitoreo IoT para bombas diésel, proporcionando datos relevantes en tiempo real. Se enfoca en la escalabilidad y la aplicación en el riego de plantaciones de arroz, atendiendo a las necesidades específicas del cliente. Se diseñó una PCB utilizando EasyEDA, un software de código abierto. Los servicios de comunicación, base de datos y visualización se configuraron y se integraron con un microcontrolador programado para conectar con sensores de presión, caudal y nivel, utilizando Linux por su robustez, flexibilidad y seguridad. Se aplicaron filtros para atenuar el ruido en los datos recogidos, aunque no se eliminó completamente. El prototipo mostró limitaciones físicas, con variaciones en presión y caudal que llevaron a una eficiencia inferior al 20%. En conclusión, el proyecto demuestra escalabilidad, adaptabilidad y fiabilidad, utilizando servicios de código abierto para proporcionar una solución económica y consistente.

**Palabras Clave:** Monitoreo, Sistema IoT, Eficiencia, Bomba diésel.

### ***Abstract***

*This project aims to develop an IoT monitoring system for diesel pumps, providing relevant real-time data. It focuses on scalability and application in rice plantation irrigation, addressing the specific needs of the client. A PCB was designed using EasyEDA, an open-source software. Communication, database, and visualization services were configured and integrated with a programmed microcontroller to connect with pressure, flow, and level sensors, using Linux for its robustness, flexibility, and security. Filters were applied to attenuate noise in the collected data, although it was not eliminated. The prototype showed physical limitations, with variations in pressure and flow that led to an efficiency lower than 20%. In conclusion, the project demonstrates scalability, adaptability, and reliability, using open-source services to provide an economical and consistent solution.*

*Keywords: Monitoring, IoT system, Efficiency, Diesel pump.*

## ÍNDICE GENERAL

Resumen .....	I
Abstract .....	II
Índice general .....	III
Abreviaturas .....	VII
Simbología.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas.....	X
Índice de planos.....	XII
Capítulo 1 .....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Internet de las cosas .....	5
1.5.2 Sistemas de monitoreo inteligente.....	5

1.5.3 Tecnología de sensores en IoT .....	6
1.5.4 Redes de comunicación en IoT .....	7
1.5.5 Motor diésel.....	7
1.5.6 Bomba centrífuga.....	9
1.5.7 Rendimiento de una bomba.....	9
1.5.8 Eficiencia de una bomba .....	10
1.5.9 Potencia hidráulica de la bomba.....	10
1.5.9.1 Caudal volumétrico .....	10
1.5.9.2 Densidad .....	11
1.5.9.3 Cabezal .....	11
1.5.9.4 Ecuación de la potencia hidráulica de la bomba .....	11
1.5.10 Plataformas de análisis de datos.....	12
Capítulo 2.....	11
2.1 Metodología.....	12
2.2 Requerimientos.....	12
2.3 Diagrama metodológico.....	14
2.4 Diseño del dispositivo IoT.....	15
2.4.1 Selección del método a aplicarse en la investigación.....	15
2.4.1.1 Dispositivo IoT con sensor integrado y plataforma en la nube.....	15
2.4.1.2 Dispositivo IoT con comunicación local y almacenamiento interno .....	16
2.3.1.3 Dispositivo IoT modular con interfaz de comunicación flexible.....	16
2.3.2 Selección del método a aplicarse en la investigación .....	17
2.4.2 Diseño de la arquitectura del dispositivo IoT.....	18
2.4.3 Configuración de los servicios del dispositivo IoT .....	20
2.4.3.1 Configuración del protocolo de comunicación MQTT .....	20

2.4.3.2 Configuración del agente de servidor: telegraf .....	21
2.4.4 Definición de los servicios del dispositivo IoT .....	24
2.4.4.1 Definición del servicio de protocolo de comunicación: MQTT.....	24
2.4.4.2 Definición del servicio del agente servidor: telegraf.....	25
2.4.4.3 Definición del servicio de la base de datos: influxdb.....	27
2.4.4.4 Definición del servicio de visualización de datos: grafana.....	29
2.5 Propuesta de solución.....	30
2.5.1 Identificación de los requerimientos del proyecto.....	30
2.5.1.1 Sistema de riego con aspersores xcel #10 de media pulgada.....	31
2.5.1.2 Sistema de riego con aspersores spring de una pulgada.....	32
2.5.1.3 Selección del aspersor a utilizar. ....	33
2.5.2 Identificación y selección de los elementos del sistema. ....	33
2.5.3 Selección del método a aplicarse en la investigación.....	34
2.5.3.1 Análisis de eficiencia del motor en base a la potencia mecánica. ....	34
2.5.3.2 Análisis de eficiencia del motor en base a los gases emitidos. ....	36
2.5.3.3 Análisis de eficiencia de la bomba en base al flujo y cabezal requeridos.....	36
2.5.3.4 Selección del método a utilizar .....	38
2.5.4 Cálculos para la selección de la bomba.....	39
2.5.4.1 Uso de la aproximación de Haaland.....	40
2.5.4.2 Uso de la Ecuación de Hazen-Williams.....	41
2.5.4.3 Obtención del cabezal total .....	44
2.5.5 Selección de la bomba.....	44
2.5.6 Curva de eficiencia de la bomba seleccionada.....	45
2.6 Prototipo realizado .....	47
2.7 Diseño electrónico del dispositivo IoT .....	48

2.7.1 Selección de sensores .....	49
2.7.2 Diseño PCB del módulo.....	51
2.7.3 Diseño eléctrico para prototipo .....	54
2.8 Programación y configuración: microcontrolador ESP 32 .....	55
Capítulo 3.....	52
3.1 Comparación de pérdidas presión entre el prototipo teórico y la implementación realizada .....	53
3.2 Requerimientos del equipo para los sistemas de riego.....	54
3.3 Tipo de flujo en tuberías.....	54
3.4 Prototipo del sistema de riego implementado .....	56
3.5 Registro de datos iniciales con variabilidad.....	57
3.6 Análisis de datos de sensores en operación normal .....	58
3.7 Análisis de la base de datos: influx DB.....	64
3.8 Filtrado de datos y gráficas finales.....	65
3.7 Costos .....	68
Capítulo 4.....	68
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	69
4.1.1 Conclusiones.....	69
4.1.2 Recomendaciones .....	70
Referencias.....	72
Apéndices .....	75

**ABREVIATURAS**

6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (IPv6 sobre Redes Inalámbricas de Área Personal de Baja Potencia)
BLE	Bluetooth Low Energy (Bluetooth de Baja Energía)
DTLS	Datagram TLS (TLS de Datagramas)
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure (Protocolo de transferencia de hipertexto seguro)
IoT	Internet of Things (Internet de las cosas)
LoRa	Long Range Radio (Radio largo alcance)
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network (Red de Área Amplia de Largo Alcance)
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
SSL/TLS	Secure Sockets Layer/ Transport Layer Security (Capas de socket seguros/Capas de transporte seguro)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión)
TLS	Transport Layer Security (Seguridad de la Capa de Transporte)
UDP	User Datagram Protocol (Protocolo de Datagramas de Usuario)
WI-FI	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica)

**SIMBOLOGÍA**

A	Área
D	Diámetro
g	Aceleración debida a la gravedad
h	Altura
K	Coefficiente de pérdida local
Min	Minutos
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
n	Eficiencia
P	Presión
Q	Caudal volumétrico
R	Resistencia eléctrica
s	Segundo
t	Tiempo
V	Velocidad
$\nu$	Viscosidad cinemática



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Motor a diésel .....	8
Figura 1.2	Bomba centrífuga .....	9
Figura 2.1	Diagrama metodológico.....	14
Figura 2.2	Esquema del dispositivo IoT.....	18
Figura 2.3	Protocolo de comunicación: MQTT .....	20
Figura 2.4	Configuración del agente de servidor: Telegraf .....	21
Figura 2.5	Definición del servicio de protocolo de comunicación: MQTT .....	24
Figura 2.6	Definición del servicio del agente servidor: Telegraf.....	25
Figura 2.7	Definición del servicio de la base de datos: InfluxDB .....	27
Figura 2.8	Definición del servicio de visualización de datos: Grafana.....	29
Figura 2.9	Aspersor Xcel #10 de media pulgada .....	31
Figura 2.10	Distribución de aspersores Xcel #10 de media pulgada .....	32
Figura 2.11	Aspersor spring de una pulgada .....	32
Figura 2.12	Distribución de aspersores spring de una pulgada.....	33
Figura 2.13	Diagrama de flujo de cálculos para la selección de la bomba .....	40
Figura 2.14	Ficha técnica tubos PVC .....	41
Figura 2.15	Seccionamiento por tramos para la distribución del sistema de riego para una hectárea .....	42
Figura 2.16	Curva de eficiencia hidráulica de la bomba seleccionada .....	46
Figura 2.17	Diagrama hidráulico del prototipo implementado.....	48
Figura 2.18	Sensor de presión .....	49
Figura 2.19	Sensor de flujo de agua .....	50
Figura 2.20	Sensor de presión .....	51
Figura 2.21	Ubicación de componentes en la placa PCB .....	52

Figura 2.22	Pistas de la placa PCB .....	53
Figura 2.23	Arranque directo de motor monofásico .....	54
Figura 2.24	Diagrama de flujo: configuración de la ESP 32 .....	55
Figura 3.1	Prototipo del sistema de riego implementado .....	56
Figura 3.2	Registro de datos iniciales con presencia de variaciones.....	57
Figura 3.3	Registro de datos sensados después de calibrar los sensores .....	57
Figura 3.4	Dashboard final .....	58
Figura 3.5	Datos medidos presión de entrada y salida .....	59
Figura 3.6	Valores medidos de caudal.....	60
Figura 3.7	Potencia hidráulica.....	61
Figura 3.8	Eficiencia del sistema implementado.....	62
Figura 3.9	Información adicional del dashboard.....	63
Figura 3.10	Comprobación de la base de datos mediante el terminal de Linux .....	64
Figura 3.11	Filtro de datos de la presión de salida.....	65
Figura 3.12	Filtro de datos de caudal .....	66
Figura 3.13	Información de eficiencia filtrada.....	67
Figura 3.14	Acceso a información histórica obtenida.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Requerimiento en base a las necesidades .....	13
Tabla 2.2	Asignación de Relevancia y peso a los criterios de selección.....	17
Tabla 2.3	Matriz de selección para el diseño del dispositivo IoT .....	17
Tabla 2.4	Tabla de intervalos .....	22
Tabla 2.5	Asignación a cada configuración de InfluxDB .....	28

Tabla 2.6	Asignación a cada configuración de Grafana.....	30
Tabla 2.7	Elementos de la propuesta de solución.....	34
Tabla 2.8	Peso y relevancia de cada criterio para la selección del método a emplear .....	38
Tabla 2.9	Matriz de decisión acerca del método a utilizar con respecto a los cálculos .....	39
Tabla 2.10	Requerimientos de caudal por tramo caso teórico.....	42
Tabla 2.11	Resumen de información por tramo acerca del caso teórico.....	43
Tabla 2.12	Pérdidas de presión mayores por tramo en el caso teórico.....	43
Tabla 2.13	Pérdidas localizadas por tramo.....	44
Tabla 2.14	Requerimientos de caudal por tramo caso implementado.....	47
Tabla 2.15	Resumen de información por tramo acerca del caso implementado.....	47
Tabla 2.16	Pérdidas de presión mayores por tramo en el caso implementado.....	47
Tabla 2.17	Información relevante del sensor de presión.....	49
Tabla 2.18	Información relevante acerca del sensor de caudal .....	50
Tabla 2.19	Información relevante del sensor de nivel.....	51
Tabla 2.20	Configuración de Wifi y MQTT. ....	56
Tabla 2.21	Definición de los pines del microcontrolador .....	56
Tabla 2.22	Descripción de variables utilizadas.....	57
Tabla 3.1	Comparación de pérdidas de presión en ambos casos.....	53
Tabla 3.2	Potencia de la bomba necesaria para ambos casos.....	54
Tabla 3.3	Número de Reynolds por tramo en el caso teórico .....	54
Tabla 3.4	Número de Reynolds por tramo en el caso implementado.....	55
Tabla 3.5	Costos referentes al prototipo diseñado .....	68
Tabla 3.6	Tabla referente al diseño de ingeniería.....	69

**ÍNDICE DE PLANOS**

- PLANO 1 Diseño electrónico
- PLANO 2 Diseño eléctrico
- PLANO 3 Diseño PCB: Frontal
- PLANO 4 Diseño PCB: Pistas
- PLANO 5 Diseño PCB 3D
- PLANO 6 Plano hidráulico teórico
- PLANO 7 Plano hidráulico implementado

## **CAPÍTULO 1**

## 1.1 Introducción

La interconexión de dispositivos ha transformado profundamente diversos sectores industriales al permitir la comunicación entre equipos y sistemas para la recolección y análisis de datos en tiempo real. El Internet de las Cosas (IoT) ha introducido innovadoras formas de monitorear y controlar maquinaria pesada, como las bombas diésel, empleadas en múltiples aplicaciones industriales y agrícolas. Estas bombas diésel son fundamentales para operaciones clave, como el riego agrícola y el transporte de agua en la silvicultura.

Sin embargo, la falta de un sistema de monitoreo efectivo ha limitado la capacidad de optimizar el rendimiento y prolongar la vida útil de estas bombas. La integración de sensores en las bombas permite la recolección continua de datos sobre parámetros clave como presión, temperatura, nivel de combustible y vibraciones. Estos datos se analizan en tiempo real para detectar anomalías y prevenir fallos, mejorando así la eficiencia operativa, reduciendo los costos de mantenimiento y aumentando la confiabilidad del equipo.

En la región costa del Ecuador, se produjeron 1.630.328 toneladas métricas de arroz en 2023, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [1].

Nuestra propuesta se centra en el monitoreo de las bombas utilizadas para el riego de plantaciones de arroz en la región costa del Ecuador. El objetivo es obtener datos detallados de las

bombas ya en operación, considerando los parámetros clave mencionados anteriormente. Esto permitirá extender su vida útil y controlar el rendimiento del sistema de la bomba de manera eficiente.

## **1.2 Descripción del Problema**

En la actualidad, las empresas en agricultura, silvicultura y pesca carecen de un sistema eficaz para sus bombas a diésel. La falta de este sistema impide conocer con precisión el rendimiento de las bombas, afectando la eficiencia operativa y la gestión del suministro de combustible. Sin una solución adecuada, es difícil mantener el rendimiento óptimo de los motores diésel, que puede alcanzar hasta el 45-50%, debido a problemas mecánicos no detectados y condiciones adversas.

Implementar una solución inteligente mejoraría el rendimiento y la eficiencia operativa al detectar y resolver problemas antes de que se vuelvan críticos. Proporcionar datos en tiempo real sobre temperatura, presión, vibraciones entre otros; aumentaría la confiabilidad, productividad, dando como resultado la reducción tiempos de inactividad y costos de reparación. Además, facilitaría la transición hacia motores eléctricos en el futuro, ofreciendo una opción más sostenible y reduciendo la huella de carbono.

## **1.3 Justificación del problema**

Es importante contar con un monitoreo eficaz de las bombas a diésel en sectores como la agricultura, la silvicultura y la pesca. Estas bombas son cruciales para actividades como el riego en la agricultura, el bombeo de agua y la aireación en piscicultura, y el manejo y transporte en la silvicultura. Su desempeño afecta directamente la productividad y rentabilidad de las empresas. Sin un sistema adecuado, resulta difícil evaluar la eficiencia de los motores y anticipar problemas, lo que puede llevar a costosas interrupciones y reparaciones de emergencia. Un sistema inteligente proporciona datos en tiempo real, lo cual es clave para planificar el mantenimiento preventivo,



reducir el desgaste del equipo y optimizar el uso del combustible. Esto no solo disminuye los costos operativos, sino que también extiende la vida útil de las bombas.

El enfoque se dirige a la región costa, donde se produce más del 95% del arroz del país [1]. La producción de este alimento básico puede verse afectada por problemas en el sistema de riego, lo que podría resultar en la pérdida parcial o total de la plantación. Alternativamente, se podría requerir una inversión temporal en riego manual, lo que obligaría a los productores a aumentar los precios, afectando su competitividad frente a las importaciones de arroz de países vecinos.

Abordar este problema no solo mejorará la eficiencia y rentabilidad de las operaciones agrícolas, sino que también promoverá la sostenibilidad al optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental del consumo excesivo de diésel. Además, facilitará la adopción futura de bombas eléctricas como una alternativa más viable.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema de monitoreo inteligente en bombas diésel mediante una plataforma IoT, para la optimización del rendimiento operativo y la facilitación de la toma de decisiones.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Desarrollar un sistema de sensores para monitorear en tiempo real presión, temperatura, nivel de combustible y vibraciones en bombas diésel, asegurando la precisión de los datos.
2. Implementar un sistema de comunicación confiable entre los sensores y la plataforma de software, asegurando la transmisión de datos precisa en diversas condiciones ambientales.
3. Diseñar una plataforma de software para recibir, almacenar, procesar y visualizar datos de los sensores, proporcionando información en tiempo real a los administradores.

## **1.5 Marco teórico**

Para el diseño e implementación de un sistema de monitoreo inteligente para bombas diésel, es esencial revisar conceptos clave que facilitarán la resolución del problema definido. Estos conceptos ayudarán a delimitar los alcances del proyecto según las necesidades del cliente y garantizarán que el sistema cumpla con las expectativas del usuario final. Además, es crucial examinar estos conceptos para comprender el funcionamiento del sistema y cómo pueden influir en los parámetros de este, así como en el monitoreo continuo de bombas diésel en diversos sectores.

### **1.5.1 Internet de las Cosas (IoT)**

El IoT se refiere a la interconexión de dispositivos y sistemas a través de Internet, lo que permite la recolección y el intercambio de datos en tiempo real. Esta tecnología facilita la obtención de datos precisos y continuos, mejorando la detección temprana de fallos y el mantenimiento predictivo. Los principales componentes incluyen dispositivos y sensores, conectividad, plataformas de análisis de datos e interfaces de usuario [2], [3]. En el monitoreo de bombas diésel, especialmente en la agricultura, ha aumentado la eficiencia y confiabilidad. Los sensores instalados en las bombas recopilan datos críticos como presión, temperatura, nivel de combustible y vibraciones, que se envían a una plataforma central para análisis en tiempo real. Esto permite detectar problemas antes de que se conviertan en fallos graves, optimizando el rendimiento y prolongando la vida útil del equipo. Además, el mantenimiento predictivo reduce costos de reemplazo y mano de obra, y las soluciones tecnológicas facilitan la gestión remota y el diagnóstico, mejorando la eficiencia operativa y disminuyendo la necesidad de visitas in situ [3].

### **1.5.2 Sistemas de Monitoreo Inteligente**

Un sistema de monitoreo inteligente para bombas diésel es una red de dispositivos interconectados que recopilan, procesan y transmiten datos en tiempo real mediante tecnologías

avanzadas como la computación en la nube y la inteligencia artificial. Estos sistemas son autónomos y adaptativos, utilizando redes avanzadas (Wi-Fi, 5G, LoRa) y técnicas de computación en la nube y en el borde para analizar grandes volúmenes de datos y mejorar la eficiencia. Se caracterizan por su alta automatización, análisis avanzado y escalabilidad, permitiendo la integración flexible de nuevos dispositivos y tecnologías [4].

Diseñados para proporcionar información en tiempo real sobre parámetros críticos en bombas diésel, estos sistemas mejoran la eficiencia en comparación con los sistemas tradicionales de automatización. La comunicación efectiva, crucial para el manejo de datos, está garantizada por periféricos que aseguran una gestión consistente.

Un sistema para monitoreo de bombas diésel incluye varios componentes esenciales:

- **Sensores:** Miden temperatura, presión y niveles de combustible [5].
- **Plataformas de Procesamiento:** Utilizan microcontroladores como Arduino, ESP32 y Raspberry Pi para las conexiones electrónicas y la transmisión de datos.
- **Comunicación:** Emplea tecnologías como NFC, LoRa y LTE-A para enviar datos a plataformas de gestión [5].
- **Procesamiento en la Nube:** Analiza y almacena datos en servidores en la nube [5].
- **Análisis de Datos:** Utiliza algoritmos de aprendizaje automático para interpretar datos y apoyar la toma de decisiones [5].

El monitoreo del sistema requiere cumplir con requisitos específicos que abarcan desde las variables físicas del entorno hasta el análisis de datos, incluyendo sensores, microcontroladores robustos, comunicación entre periféricos y procesamiento de datos.

### 1.5.3 Tecnología de Sensores en IoT

Los sensores son componentes clave en el IoT, ya que permiten la recopilación y transmisión de datos sobre el entorno a sistemas centrales para su análisis y toma de decisiones. Estos

dispositivos convierten diversas formas de energía, como luz, temperatura, presión y vibraciones, en señales eléctricas procesables. En el monitoreo de bombas diésel, especialmente en sectores como agricultura, silvicultura y pesca, se utilizan varios tipos de sensores:

- **Sensores de presión:** Miden la presión interna de la bomba para detectar posibles fugas o fallos en el sistema de combustible.
- **Sensores de temperatura:** Monitorizan la temperatura de la bomba para prevenir sobrecalentamientos y detectar anomalías.
- **Sensores de nivel de combustible:** Controlan el nivel de combustible para asegurar un suministro adecuado y detectar posibles pérdidas.
- **Sensores de vibraciones:** Identifican vibraciones anormales que pueden indicar problemas mecánicos o desbalanceo en la bomba [6].

#### 1.5.4 Redes de Comunicación en IoT

Los protocolos y estándares son fundamentales para el funcionamiento y la interoperabilidad de los dispositivos en el Internet de las Cosas (IoT). En el contexto del proyecto, los protocolos relevantes son:

- **Message Queuing Telemetry Transport (MQTT):** Protocolo de mensajería ligero basado en TCP/IP, adecuado para monitoreo remoto y control con baja latencia [4].
- **LoRaWAN:** Tecnología de red de baja potencia y largo alcance, ideal para monitoreo en áreas extensas [4]

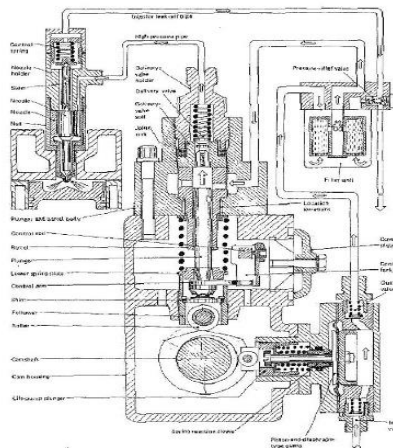
Estos protocolos facilitan la comunicación para el monitoreo y registro de datos. Las señales se procesan y luego se envían a una base de datos para su análisis según los parámetros establecidos.

#### 1.5.5 Motor diésel

Un motor diésel es un tipo de motor de combustión interna que utiliza diésel como combustible. A diferencia de los motores de gasolina, que encienden la mezcla de aire y

combustible mediante una chispa, los motores diésel comprimen el aire a altas presiones. Este aumento de temperatura en la cámara de combustión es suficiente para encender el combustible diésel inyectado, un proceso conocido como combustión por compresión [7]. El ciclo de funcionamiento del motor diésel consta de cuatro etapas: admisión, compresión, combustión y escape.

**Figura 1.1** Motor a diésel [8]



En el contexto de las aplicaciones discutidas, una bomba diésel se refiere a una bomba impulsada por un motor diésel para trasladar fluidos, como agua o combustible. Estas bombas son cruciales en industrias y agricultura, donde se necesita mover grandes volúmenes de fluido de manera eficiente y confiable. Según la aplicación y los requisitos de rendimiento, las bombas diésel pueden ser de tipo centrífugo, de desplazamiento positivo, entre otros [9].

### 1.5.6 Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que emplea un impulsor giratorio para incrementar la velocidad del fluido, convirtiendo esa velocidad en flujo. El impulsor hace girar el fluido, generando presión que lo empuja a través del sistema de tuberías. Estas bombas son ideales para aplicaciones que requieren mover grandes volúmenes de líquido a baja presión [10].

*Figura 1.2* Bomba centrífuga [11]



### 1.5.7 Rendimiento de una bomba

El rendimiento de una bomba mide su capacidad para realizar el trabajo deseado en condiciones específicas de operación. Este concepto incluye la cantidad de líquido que la bomba puede mover por unidad de tiempo y la altura a la que puede elevarlo. El flujo volumétrico, expresado en litros por minuto (L/min) o galones por minuto (GPM), es un indicador clave del rendimiento. La altura de elevación, medida en metros (m) o pies (ft), indica la máxima altura a la que la bomba puede elevar el líquido. Un alto rendimiento permite a la bomba mover más líquido a mayores alturas y en menos tiempo, lo cual es crucial en aplicaciones industriales y agrícolas que requieren una transferencia rápida de grandes volúmenes [12].

### 1.5.8 Eficiencia de una bomba

La eficiencia de una bomba evalúa la efectividad con la que convierte la energía consumida en trabajo útil. Se define como la proporción de energía que la bomba utiliza para mover el líquido en comparación con la energía total que consume. Por ejemplo, si una bomba usa cierta cantidad de energía, pero solo una parte se destina a mover el líquido mientras que el resto se pierde por fricción, fugas internas u otras resistencias, la eficiencia disminuye. Los factores que afectan la eficiencia incluyen:

- **Eficiencia mecánica:** Refleja las pérdidas debido a la fricción en los componentes móviles, reduciendo la energía disponible para mover el líquido.
- **Eficiencia volumétrica:** Se refiere a las pérdidas por fuga interna de líquido, indicando que no todo el líquido que entra se expulsa con la misma presión.
- **Eficiencia hidráulica:** Incluye las pérdidas por resistencia al flujo dentro de la bomba y las tuberías, lo que afecta la efectividad del movimiento del líquido.

### 1.5.9 Potencia hidráulica de la bomba

#### 1.5.9.1 Caudal volumétrico (Q)

El caudal es el volumen de fluido que pasa por una sección del sistema de bombeo en un tiempo determinado. Se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo.

$$Q = A * v \quad (1.1)$$

### 1.5.9.2 Densidad ( $\rho$ )

La densidad de un material es una medida de su masa por unidad de volumen. Se expresa generalmente en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ). La densidad del agua cuando se encuentra a  $4^\circ\text{C}$  es aproximadamente de  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

### 1.5.9.3 Cabezal (H)

Es la energía que una bomba debe impartir al fluido para moverlo desde el punto de succión hasta el punto de descarga. En este concepto se considera la diferencia de altura y presión entre los puntos de succión y descarga, así como las pérdidas de energía producida debido a la fricción del fluido contra las paredes de las tuberías.

$$H = \frac{\Delta P}{\rho * g} \quad (1.2)$$

### 1.5.9.4 Ecuación de la potencia hidráulica de la bomba

$$W_h = \rho * g * Q * H \quad (1.3)$$

Donde  $g$  es la aceleración debido a la gravedad, reemplazando por la  $H = \frac{\Delta P}{\rho * g}$

(1.2), se tiene que la ecuación de la potencia hidráulica de la bomba es la que se presenta en la  $W_h = Q * \Delta P$  (1.4.

$$W_h = Q * \Delta P \quad (1.4)$$



### **1.5.10 Plataformas de Análisis de Datos**

Las plataformas de análisis de datos son cruciales en soluciones de IoT, ya que permiten gestionar grandes volúmenes de información en tiempo real. Estas plataformas manejan bases de datos relacionales y no relacionales, asegurando un almacenamiento y recuperación eficientes. La visualización de datos a través de dashboards facilita el monitoreo continuo mediante gráficos y tablas que permiten una interpretación clara de la información. En el monitoreo de bombas diésel, los datos recolectados por sensores se envían a estas plataformas para identificar desviaciones en los parámetros operativos y detectar problemas de manera temprana. Estas plataformas mejoran la capacidad para predecir y mitigar fallos, optimizando así el rendimiento y extendiendo la vida útil del equipo [6].

## **CAPÍTULO 2**

## **2. Metodología.**

### **2.1 Metodología**

En el estudio de la eficiencia de la bomba centrífuga se establecieron las variables a monitorear, organizadas en tres etapas que abordan la problemática de manera integral. La primera etapa comprende el diseño del dispositivo IoT, que incluye la comunicación entre los sensores seleccionados según el análisis de las variables necesarias para calcular la eficiencia (presión, caudal) y el dispositivo a diseñar. Además, se deben considerar las variables indirectas empleadas en las ecuaciones respectivas.

La segunda etapa implica la implementación de una base de datos en el sistema, estableciendo la comunicación entre el dispositivo diseñado y el servicio de almacenamiento de información. Esta información puede ser almacenada localmente o en la nube, dependiendo de cómo se gestione la manipulación de los datos.

Finalmente, en la tercera etapa, se utiliza un servicio de visualización de datos en tiempo real. Una vez recopilada y procesada la información, el usuario puede comprender mejor los parámetros relacionados con la eficiencia de la bomba. Esta interfaz debe ser amigable, flexible e intuitiva, facilitando así el mantenimiento predictivo y/o correctivo, o el reemplazo por una bomba eléctrica

### **2.2 Requerimientos**

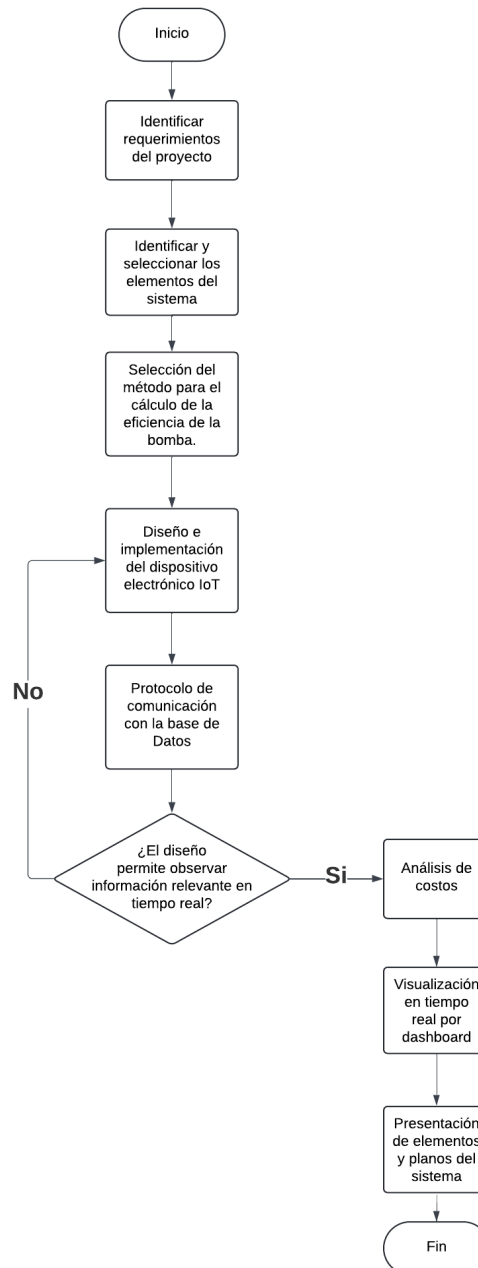
En base a la necesidad del cliente y la aplicación de un sistema de riego para una plantación de arroz se muestra la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Requerimiento en base a las necesidades

<b>Requerimientos</b>	
<b>Adaptabilidad</b>	La solución debe ser compatible con diversas bombas diésel, independientemente de la marca, y capaz de integrarse con sistemas existentes en la planta.
<b>Escalabilidad</b>	La solución debe ser capaz de ajustarse a plantas con mayores requisitos de caudal o cabezal, y adaptarse a cambios en la capacidad de datos o funcionalidades según el crecimiento de la planta.
<b>Confiabilidad</b>	Es fundamental verificar y validar la información proporcionada por el fabricante de la bomba diésel para asegurar su eficiencia, y realizar pruebas de calibración periódicas para mantener la precisión.
<b>Visualización de datos en Dashboard.</b>	La visualización de datos, incluyendo el consumo de combustible y el gasto aproximado, debe realizarse a través de un dashboard que grafique los valores relacionados con el flujo y la diferencia de presión en la bomba. Este dashboard debe proporcionar retroalimentación en tiempo real y la capacidad de generar reportes y alertas basadas en los datos analizados.
<b>Económico</b>	El coste de implementación debe ser accesible sin comprometer la funcionalidad del proyecto, y considerar también el costo total de propiedad, incluyendo mantenimiento y actualizaciones.

## 2.3 Diagrama metodológico

Figura 2.1 Diagrama metodológico



## **2.4 Diseño del dispositivo IoT**

En base a lo descrito, el proyecto empezó con la elaboración del desarrollo e implementación del dispositivo IoT que establecería la comunicación con los sensores situados en la bomba diésel recopilando las variables a estudiar: presión, caudal y nivel del combustible. La función que cumple el dispositivo se centra en la recopilación de la información durante un tiempo de muestreo para su posterior envío a la base de datos. Para aquello se empleó el uso del protocolo de comunicación MQTT. De tal manera que esta información sea respaldada para su estudio en base a la toma de decisiones que tome el cliente o usuario final a la información recopilada para obtención de la eficiencia del sistema.

Entre las opciones de diseño e implementación del dispositivo, se analizaron las siguientes propuestas:

1. Dispositivo IoT con sensor integrado y plataforma en la nube.
2. Dispositivo IoT con comunicación local y almacenamiento interno.
3. Dispositivo IoT modular con interfaz de comunicación flexible.

### **2.4.1 Selección del método a aplicarse en la investigación.**

Durante el desarrollo de este trabajo, se tomaron en cuenta tres alternativas diferentes para la obtención de información relevante acerca sobre el diseño del dispositivo IoT.

#### **2.4.1.1 Dispositivo IoT con sensor integrado y plataforma en la nube.**

Diseñar un sistema el cual integre sensores específicos para la medición de los parámetros de presión, caudal y nivel del combustible y que se transmita estos datos a una plataforma en la nube. La plataforma permite el análisis y visualización en tiempo real, con alertas y reportes. Este sistema es capaz de agregarse o reemplazar sensores en base a necesidades del cliente. Así mismo, la plataforma en la nube permite que se tenga una mayor cantidad de usuarios como periféricos esto a su vez puede incluir redundancias y copias de seguridad. No obstante, presenta

una dependencia de la conexión a internet y un costo recurrente debido al uso de plataforma en la nube.

#### **2.4.1.2 Dispositivo IoT con comunicación local y almacenamiento interno.**

Desarrollar un dispositivo IoT con características de comunicación local (Bluetooth o Zigbee) con un almacenamiento interno para el registro de los datos. Este dispositivo es capaz de establecer una sincronización de datos con un servidor central, esto dependerá de su disponibilidad. Sin embargo, este puede operar de forma autónoma.

Por otro lado, este sistema es configurable para trabajar con varios protocolos de comunicación, integrándose así a redes ya existente dando así costos de operación relativamente bajos para evitar el consumo de tarifas de nube. No obstante, su almacenamiento sería limitado y dependería de un servidor central para ir actualizando los datos de manera constante.

#### **2.3.1.3 Dispositivo IoT modular con interfaz de comunicación flexible.**

Para este sistema, la modulación, es importante debido a la adecuación de actuadores, sensores, interfaces de comunicación. La interfaz de comunicación va a depender del usuario dando flexibilidad en base al requerimiento del área de la aplicación abarcada. Esto da facilidad de que se tenga una conexión local o en la nube, lo cual aquello dependerá de la cantidad de periféricos que se vayan a utilizar.

Por otro lado, la adición de elementos (modularidad) ayuda a que el sistema se mantenga actualizado o permita que se puedan reparar componentes específicos sin afectar al sistema en general. Además de, la escalabilidad que presenta en base a la adición de módulos en base a requerimientos de específicos de la problemática. No obstante, este sistema requiere inicialmente costos más altos debido a su modulación y la gestión de los módulos sería compleja en base a los módulos y conexiones.

### 2.3.2 Selección del método a aplicarse en la investigación.

Para la selección del método se consideraron los requerimientos del proyecto, en primer lugar, se organizó de acuerdo con la relevancia que tiene cada uno en el proyecto y se les otorgó un peso tal y como se observa en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Asignación de Relevancia y peso a los criterios de selección

<b>Criterio</b>	<b>Relevancia</b>	<b>Peso</b>
<i>Adaptabilidad</i>	1	6
<i>Escalabilidad</i>	2	5
<i>Confiabilidad</i>	3	4
<i>Interactividad</i>	4	3
<i>Económico</i>	5	2

Luego se procedió a otorgar una calificación en base a cada parámetro y obtener el promedio para obtener el método a utilizar en este proyecto, tal y como se puede observar en la

Tabla 2.3

**Tabla 2.3** Matriz de selección para el diseño del dispositivo IoT

	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	<b>Criterio 4</b>	<b>Criterio 5</b>	
<b>Descripción</b>	Adaptabilidad	Escalabilidad	Confiabilidad	Interactividad	Económico	Total
<b>Peso %</b>	6	5	4	3	2	20
	30%	25%	20%	15%	10%	100%
	Calificación	Calificación	Calificación	Calificación	Calificación	
<b>Solución 1</b>	8	9	8	8	6	7.75
<b>Solución 2</b>	7	6	7	7	8	7.05
<b>Solución 3</b>	9	8	8	8	6	7.85

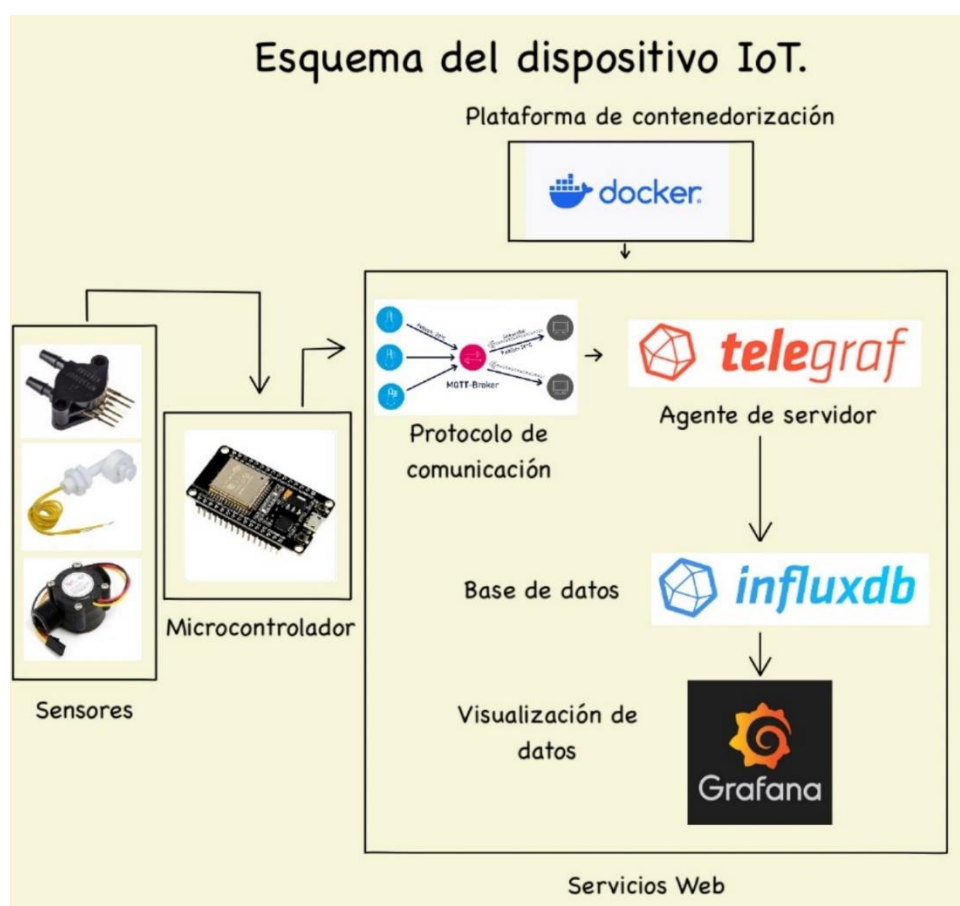
La solución ganadora corresponde al dispositivo IoT modular con interfaz de comunicación flexible. Esta solución ofrece con respecto a las otras: mayor adición de módulos en base a las necesidades del usuario, expansión del sistema, remplazo o actualización de componentes,



mantenimientos más sencillos, durabilidad del dispositivo, monitoreo y control en tiempo real y relación de costo-beneficio a largo plazo.

### 2.4.2 Diseño de la arquitectura del dispositivo IoT.

*Figura 2.2 Esquema del dispositivo IoT*



Para la fase de diseño de nuestro dispositivo, se tiene un desglose de las partes que componen al diseño de la arquitectura, tal que podemos observarla a detalle en la Figura 2.2. En primera instancia, se tienen tres diferentes tipos de sensores, de arriba hacia abajo, en ese orden, tenemos el sensor de presión, seguido del sensor de nivel y finalmente el sensor de caudal. Estos empleados para recopilar la información de nuestras variables físicas a medir para posteriormente hacer un análisis sobre la eficiencia del motor. Estas variables deben ser leídas mediante la

utilización de un microcontrolador en este caso una ESP32, lo cual posteriormente van a ser enviados a través de la red. Este tipo de red es mediante Wi-Fi.

Antes de establecer la comunicación, se hizo el uso de una plataforma de contenedores llamada Docker, esta plataforma es ventajosa al momento de dar ejecución a los servicios de manera aislada y consistente en el servidor. Para poder enviar los datos se necesita de un protocolo de comunicación que me establezca la conexión entre los valores leídos con respecto a la base de datos. Para esto se ha decidido usar el protocolo MQTT, protocolo ligero que es basado en la suscripción y publicación, sencillo de configurar y con un consumo de transmisión de datos bajo. Estos datos deben ser recogidos, procesados para el envío de métricas y eventos de diferentes fuentes. Telegraf, es un agente intermediario para la conexión hacia la base de datos.

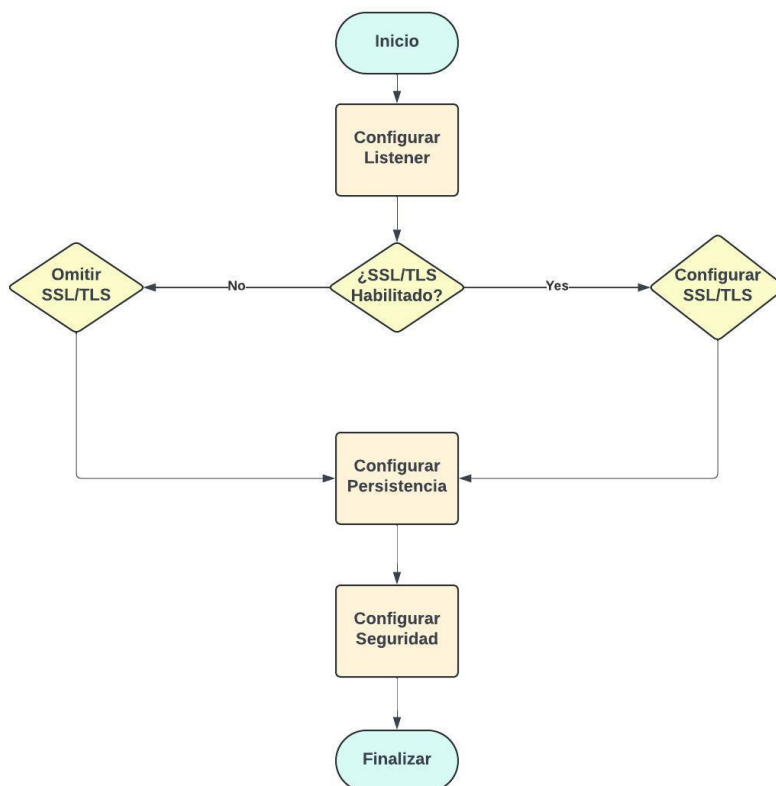
El servicio que se va a encargar de almacenar los datos es InfluxDB, este servicio es ideal para generar volúmenes de datos grandes en series temporales facilitando así consultas rápidas del comportamiento de las variables del motor.

Finalmente, se obtiene la plataforma de visualización de aquellos datos, el servicio empleado es el de Grafana el cual permite crear una interfaz gráfica amigable, en tiempo real para la monitorización y el análisis de las variables físicas a lo largo de un tiempo  $t$ .

### 2.4.3 Configuración de los servicios del dispositivo IoT.

#### 2.4.3.1 Configuración del protocolo de comunicación: MQTT.

*Figura 2.3* Protocolo de comunicación: MQTT



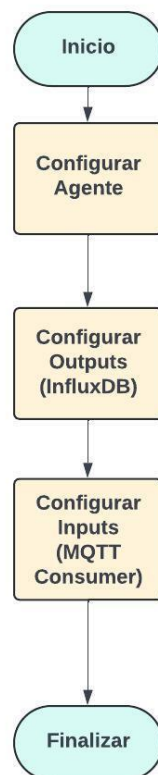
Para realizar la comunicación de entre nuestro dispositivo que está procesando los datos, el microcontrolador ESP32 y la plataforma central de los servidores se empleó el uso de MQTT, un protocolo de comunicación ligero y eficiente en el envío de datos tanto de manera local o en la nube. Para aquello se necesitó realizar una configuración previa, el archivo nombrado en el proyecto fue el de mosquitto.config. La configuración realizada es presentada mediante la *Figura 2.3*.

En primera instancia, se realizó la configuración del listener aquí se define el puerto del servicio y la IP que escuchará la/s interfaz/es de red disponible en el servidor. Posterior aquello se detalla el proceso de la seguridad en los protocolos de comunicación SSL/TLS, si se

específica o no, en tal caso no se especificó debido a que se estaba empleando una red local para los datos experimentales enviados de nuestro prototipo. Luego se habilita la persistencia en el bróker, indicando así que los datos estarían siendo guardados en el disco, en caso de un reinicio la recuperación de aquellos es posible. Además de, especificar la ruta en donde se guardarán estos datos. En este caso, la autenticación fue libre, no fue necesario de un nombre usuario y contraseña para así tener una comunicación más asequible y libre para cualquier persona que desee visualizar los datos simplemente conectándose a la red.

#### 2.4.3.2 Configuración del agente de servidor: Telegraf.

*Figura 2.4 Configuración del agente de servidor: Telegraf*



Una vez implementado en el envío de datos, estos necesitaban ser recopilados, procesados, agregados y escritos para esto se implementó el agente basado en servidor: Telegraf.

En la configuración de la agente, se estableció una definición de etiquetas globales para que así se añadan todas las métricas recolectadas. En este caso no fue necesario su uso, pero es importante tener en claro si se desea modularizar el sistema. Posterior aquello se definieron los siguientes parámetros que se visualizan en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Tabla de intervalos

[Agent]		
Interval	60s	Recopilación de datos cada 60 segundos.
Round_interval	True	Redondea el tiempo al múltiplo más cercano, en este caso al minuto.
Metric_batch_size	1000	Número de métricas que se envían en un solo lote de salida.
Metric_buffer_limit	10000	Número de métricas a almacenadas en el buffer en caso de que no se envíen en el momento.

Collection_jitter	0s	Tiempo de recolección para evitar que los agentes recopilen al mismo tiempo.
Flush_interval	10s	Intervalo de tiempo en que se envían las métricas. Diez segundos envían a la base de datos.
Flush_jitter	0s	Evita que los agentes envíen métricas al mismo tiempo. En este caso cero.
Precision	""	Precisión predeterminada.
Hostname	192.xxx.0.xxx	Etiquetar a las métricas. En este caso por default.
Omit_hostname	False	Incluye el hostname en las métricas enviadas.

Luego se definió el puerto de salida y el hostname donde se recibirán y almacenarán las métricas. En este caso el hostname fue influxdb en el puerto 8086. Se estableció el nombre de la base de datos, influx. El tiempo de espera máximo para las conexiones de influxDB. Finalmente, el usuario y contraseña para la autenticación en InfluxDB.

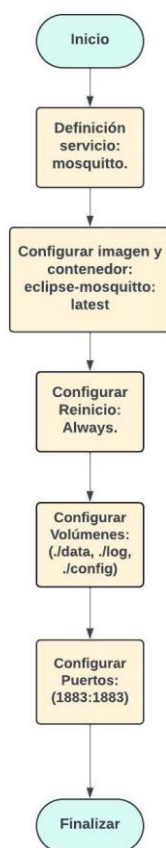
Finalmente, se definió el puerto y dirección de entrada de donde se consumirán los mensajes, en este caso la del servidor de MQTT. Además de, la lista de temas o tópicos que se publicará y recibirá los mensajes: los datos de los sensores de flujo, de nivel de combustible, presión. Así mismo como los datos de eficiencia y de potencia. Los datos enviados fueron en tipo JSON.

#### 2.4.4 Definición de los servicios del dispositivo IoT.

Los servicios que fueron empleados en la implementación del sistema fueron ejecutados dentro de un entorno de contenedores, Docker. El uso de esta herramienta permitió automatizar el despliegue, escalado y la gestión de los servicios. Los servicios fueron ejecutados en diferentes entornos con su respectiva configuración en este caso se la realizó en nuestra máquina local.

##### 2.4.4.1 Definición del servicio de protocolo de comunicación: MQTT.

*Figura 2.5 Definición del servicio de protocolo de comunicación: MQTT*

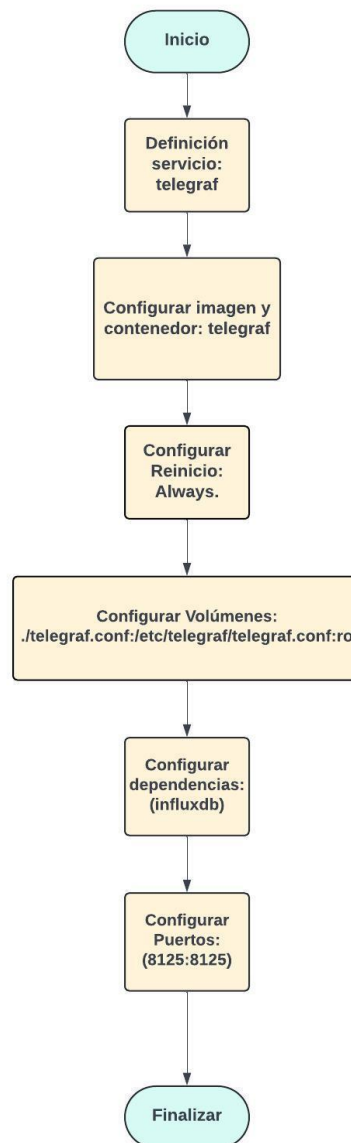


En la Figura 2.5 se detalla la configuración llevada a cabo con el servicio de Mosquitto, en donde la imagen en Docker que fue escogida fue la de 'eclipse-mosquitto:latest' para el contenedor. Este contenedor fue configurado para que se reinicie cada vez que se presente un fallo, garantizando su disponibilidad constante. Los volúmenes configurados fueron montados en directorios locales,

almacenándose en el sistema de archivos del host. Finalmente, se mapean los puertos del host y del contenedor, ambos '1883:1883' para la comunicación.

#### 2.4.4.2 Definición del servicio del agente servidor: Telegraf.

*Figura 2.6* Definición del servicio del agente servidor: Telegraf



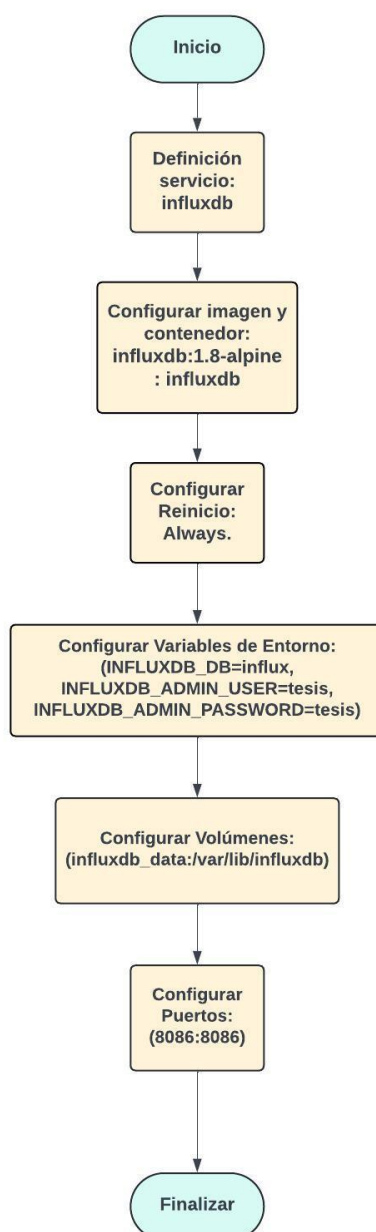


El diagrama de flujo de la Figura 2.6 se presenta la configuración que se estableció para el servicio de Telegraf. El nombre que se estableció al servicio fue el de 'telegraf', mientras que se definió la imagen respectiva para el contenedor. Luego, el contenedor se configuró para el reinicio automático en caso de fallo. Posteriormente, se montó el archivo 'telegraf.config' desde el sistema de archivos hacia el host del directorio '/etc/telegraf/telegraf.conf' dentro del contenedor, pero sólo en modo de lectura 'ro'.

En consecuencia, también se configuraron las dependencias, en este caso el servicio base de datos de 'influxdb' que es donde se almacenaran los datos o métricas. Finalmente, se mapean los puertos del host y del contenedor, ambos '8125:8125' para la recepción de los datos.

### 2.4.4.3 Definición del servicio de la base de datos: InfluxDB.

*Figura 2.7 Definición del servicio de la base de datos: InfluxDB*



En el diagrama de la Figura 2.7 se detalla la configuración realizada al servicio de InfluxDB. En primera instancia se definió el nombre del servicio, 'influxdb', mientras que la imagen que se eligió fue 'influxdb:1.8-alpine', versión ligera de InfluxDB, el nombre del contenedor fue el de 'influxdb'. Además, el contenedor también contó con el reinicio automático

en caso de fallo. Posteriormente, las variables configuradas para las credenciales del entorno fueron las que se nombran a continuación en la Tabla 2.5.

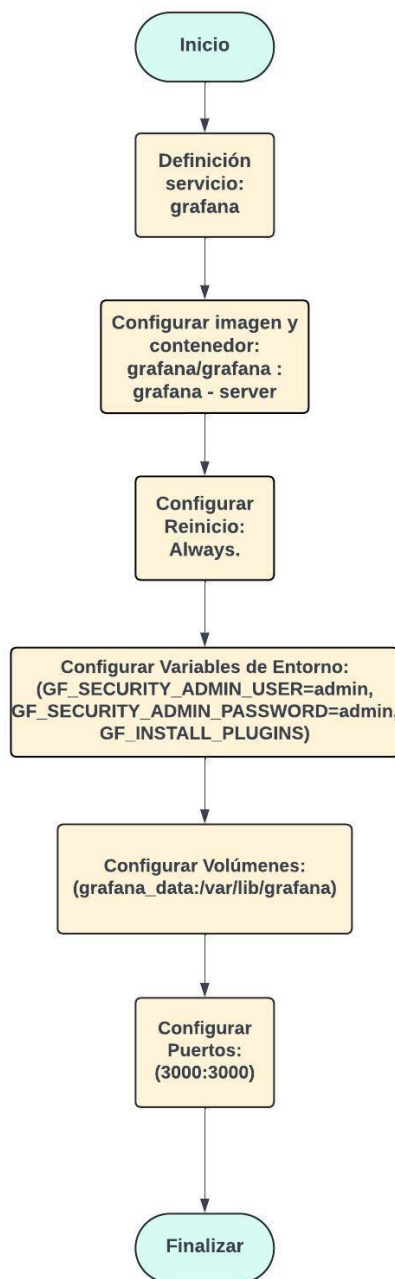
**Tabla 2.5** Asignación a cada configuración de InfluxDB

Configuración	Asignación
INFLUX_DB	'influx'
INFLUX_ADMIN_USER	'tesis'
INFLUX_ADMIN_PASSWORD	'tesis'

El volumen 'influx\_data' fue montado en el directorio '/var/lib/influxdb' dentro del contenedor garantizando así el almacenamiento de los datos de forma persistente en el sistema de archivos host. Finalmente se mapean los puertos del host y del contenedor '8086:6086' valores predeterminados para conexiones HTTP en influx.

#### 2.4.4.4 Definición del servicio de visualización de datos: Grafana.

*Figura 2.8 Definición del servicio de visualización de datos: Grafana*



En la Figura 2.8, se denota la secuencia de paso para la configuración del servicio de visualización Grafana. El servicio llevó el nombre de 'grafana', mientras que la imagen seleccionada fue 'grafana/grafana' asignándose de nombre 'grafana-server'. El contenedor fue configurado para su reinicio automático en caso de fallos. Posteriormente, se establecieron variables de configuración que se observan en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6** Asignación a cada configuración de Grafana

Configuración	Asignación
GF_SECURITY_ADMIN_USER	'admin'
GF_SECURITY_ADMIN_PASSWORD	'admin'
GF_INSTALL_PLUGIN	Instalación de plugins adicionales.

Estas variables, permitieron el acceso al panel de control de grafana. En primera instancia, la página del servicio pide un cambio de contraseña, posterior a aquello se puede acceder con normalidad al servicio configurado. También se detalló una configuración adicional en los plugins en tal caso se requiera del uso de estos.

Luego se configuró los volúmenes del directorio del host 'grafana\_data' se monta en el del host '/var/lib/grafana' del contenedor lo que permitió que los datos mantengan persistencia aun así si existe un reinicio o actualización.

Finalmente se mapean los puertos del host y del contenedor, ambos con '3000:3000' donde se accedió así a la interfaz web de Grafana.

## 2.5 Propuesta de solución

### 2.5.1 Identificación de los requerimientos del proyecto

Con la finalidad de establecer una solución se propuso cubrir la necesidad de riego para una plantación de arroz correspondiente al área de una hectárea. En base a esto se proponen los siguientes aspersores y sus correspondientes escenarios:

### 2.5.1.1 Sistema de riego con aspersores Xcel #10 de media pulgada.

Este aspersor cuenta con las indicaciones del fabricante que establece que la disposición entre cada aspersor sea de 10 metros entre sí y la cobertura que ofrecen los mismos es de un diámetro de 15 metros. El caudal que requieren para trabajar es de 700 l/h y una presión de 22 psi.

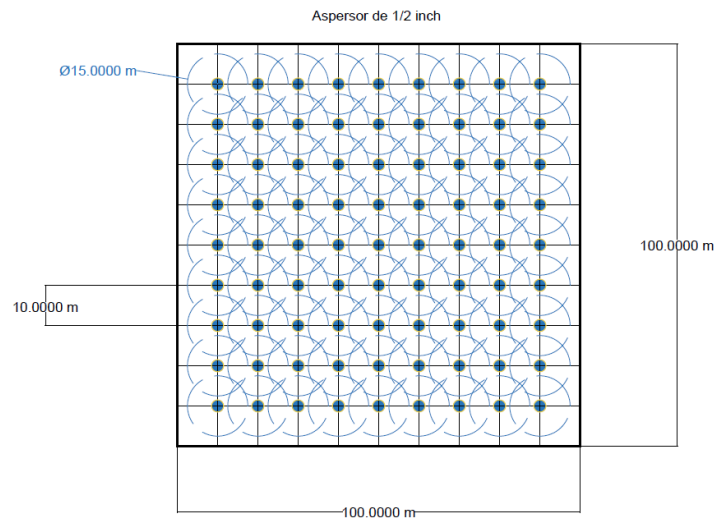
*Figura 2.9* Aspersor Xcel #10 de media pulgada [13]



El diagrama de distribución correspondiente a esta propuesta es el que se detalla a la Figura 2.10.

Donde se contabilizan 81 aspersores de este tipo.

**Figura 2.10** Distribución de aspersores Xcel #10 de media pulgada



### 2.5.1.2 Sistema de riego con aspersores spring de una pulgada.

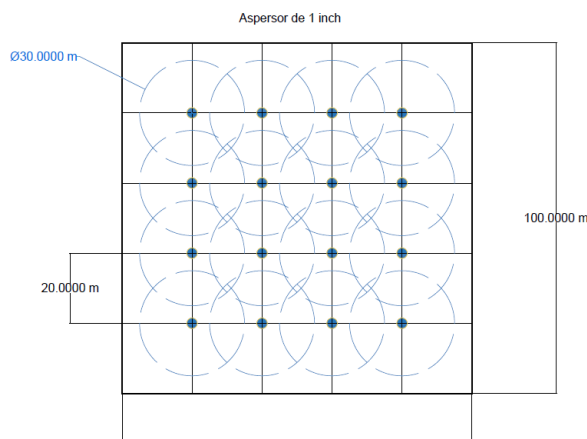
Este sistema de riego cuenta con las indicaciones del fabricante que establecen que la distancia entre cada aspersor sea de 20 metros entre sí y la cobertura que ofrecen los mismos es de un diámetro de 30 metros. El caudal que requieren para trabajar es de 3000 l/h y una presión de 45 psi.

**Figura 2.11** Aspersor spring de una pulgada[14]



La Figura 2.12 permite observar la distribución de los aspersores de tipo spring, permitiendo contabilizar el requerimiento de 16 aspersores para cubrir la demanda de riego de la hectárea de arroz.

**Figura 2.12** Distribución de aspersores spring de una pulgada



### 2.5.1.3 Selección del aspersor a utilizar.

En base al criterio de facilidad de mantenimiento se consideró el sistema de riego implementando los regadores de tipo spring de una pulgada para comprender el requerimiento de riego considerando la cobertura del área de una hectárea. En base a esto se realizaron los cálculos correspondientes.

### 2.5.2 Identificación y selección de los elementos del sistema.

Los elementos presentes en la solución cubren diferentes parámetros de selección los cuales se presentan a manera de resumen en la siguiente tabla:



**Tabla 2.7** Elementos de la propuesta de solución

<b>Elementos</b>	
<b>Bomba</b>	La selección de la bomba se realizó en base al requerimiento de cabezal y caudal que debe cubrir la misma.
<b>Tuberías de PVC</b>	El sistema de tuberías se realizó en base de los requerimientos de la bomba y de los aspersores ya que estos definen la presión y el diámetro de la tubería.
<b>Sensores de flujo</b>	La selección de los sensores de flujo se realizó en base al caudal con el que se alimentará el sistema de riego.
<b>Sensores de presión</b>	Los sensores de presión se seleccionaron en base a la presión de entrada y salida de la bomba hidráulica.

### 2.5.3 Selección del método a aplicarse en la investigación.

Durante el desarrollo de este trabajo, se tomaron en cuenta tres alternativas diferentes para la obtención de información relevante acerca del sistema de riego. Algunas de estas alternativas no están relacionadas a la bomba a diésel, sin embargo, fueron consideradas en su momento debido a su capacidad de aportar en la problemática.

#### 2.5.3.1 Análisis de eficiencia del motor en base a la potencia mecánica.

La eficiencia del motor consiste en la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia de entrada, a fines de obtener la eficiencia en un valor porcentual se la multiplica por cien.

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \times 100 \quad (2.1)$$

La potencia de salida consiste en la energía útil que el motor produce para generar movimiento rotativo en el eje que se conectará con la bomba. Para este parámetro se toman en cuenta el torque producido por el motor y la velocidad angular del eje.

$$P_{salida} = T \times \omega \quad (2.2)$$

Se consideró este método ya que, de contar con los implementos necesarios, con la ayuda de un dinamómetro se puede obtener el torque producido por el motor y con la ayuda de un tacómetro óptico o digital obtener la velocidad angular del eje.

Esta opción destacó en su momento debido a la escalabilidad que permite del proyecto en desarrollo ya que la potencia de entrada en el caso de motores a diésel puede calcularse en base a la cantidad de diésel consumido por unidad de tiempo y el poder calorífico del diésel.

$$P_{entrada} = \dot{m}_f \times PC \quad (2.3)$$

El flujo másico de combustible  $\dot{m}_f$  se calcula a partir del consumo de combustible  $Q_f$  en unidades de litro por hora y la densidad del combustible  $\rho_f$  en unidades de kilogramo por litro, en este caso el diésel.

$$\dot{m}_f = \frac{Q_f}{3600} \times \rho_f \quad (2.4)$$

Asimismo, este método permite considerar la potencia de entrada de un motor eléctrico considerando variables de voltaje y corriente consumidas por el motor.

### 2.5.3.2 Análisis de eficiencia del motor en base a los gases emitidos.

Otro de los métodos que se consideraron fue el método en el cual se analiza la cantidad y calidad de los gases emitidos por el motor, en este método se considera que a menor emisión de gases nocivos para una cantidad de energía producida se considerará más eficiente el motor. Dentro de los gases nocivos se consideran los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

El inconveniente que se encontró a este método es que no era escalable, tampoco era económico ya que se necesita un equipo especializado para obtener los valores por cada gas nocivo así como filtros que deben cambiarse después de un número de ensayos.

### 2.5.3.3 Análisis de eficiencia de la bomba en base al flujo y cabezal requeridos.

Para este método fue necesario considerar tres ecuaciones y una aproximación que se encuentran relacionadas entre sí, la primera es la aproximación de Haaland de la cual se obtiene el factor de fricción que permite el cálculo del cabezal de pérdida con la ecuación de Hazen-Williams. Estas dos ecuaciones consideran las pérdidas de energía en el sistema de riego debido a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería. La aproximación de Haaland considera características de la tubería a utilizar tales como la rugosidad absoluta  $\epsilon$  y el diámetro interno  $D$  de esta.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left( \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \quad (2.5)$$

Dentro de esta aproximación se menciona el número de Reynolds el cuál es un valor adimensional que considera parámetros como la densidad del fluido  $\rho$ , la velocidad del fluido  $v$ , el diámetro interno de la tubería  $D$  y la viscosidad cinemática del fluido  $\mu$ .

Ecuación de Hazen-Williams:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (2.6)$$

De esta manera tendríamos el cálculo de las pérdidas de carga de cabezal mayores, adicionalmente a esto se consideraron las pérdidas de carga de cabezal menores o también conocidas como pérdidas de carga local están relacionadas por la fricción en los accesorios que permiten la unión de las tuberías tales como codos o las derivaciones en T, el valor a considerar para este aspecto con respecto a las pérdidas de carga mayores es del 10% [15]. Por lo que se considera un factor de 1.1 al valor obtenido en el cálculo de las pérdidas de cabezal mayores para considerar estas pérdidas y obtener las pérdidas de carga de cabezal totales  $h_{cabezal}$ .

Se consideró la ecuación de la potencia hidráulica permite obtener la potencia de salida de la bomba a diésel. La misma consiste en el producto del caudal por la caída de presión a la entrada y salida de la bomba, al realizar la medición de estos tres parámetros con sensores se puede obtener la potencia hidráulica en tiempo real, también con la información de las pérdidas de carga por cabezal totales y el caudal medido en tiempo real se puede obtener la eficiencia de la bomba considerando la curva característica de la misma entregada en su hoja de datos producida por el fabricante.

La ecuación de Bernoulli integra todos los conceptos mencionados en este apartado y permite conocer el requerimiento de la potencia de entrada para la selección de la bomba.

$$\frac{P_{in}}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_{out}}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{perdida} \quad (2.7)$$

Este método tiene como características su escalabilidad, la adaptabilidad que tiene el mismo para integrarse junto a diferentes bombas a diésel.

### 2.5.3.4 Selección del método a utilizar

Para la selección del método se consideraron los requerimientos del proyecto, en primer lugar, se organizó de acuerdo con la relevancia que tiene cada uno en el proyecto y se les otorgó un peso tal y como se observa en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8** Peso y relevancia de cada criterio para la selección del método a emplear

<b>Criterio</b>	<b>Relevancia</b>	<b>Peso</b>
Adaptabilidad	1	8
Escalabilidad	2	7
Económico	3	5

Luego se procedió a otorgar una calificación en base a cada parámetro y obtener el promedio para obtener el método a utilizar en este proyecto, tal y como se puede observar en la siguiente Tabla 2.9.

**Tabla 2.9** Matriz de decisión acerca del método a utilizar con respecto a los cálculos

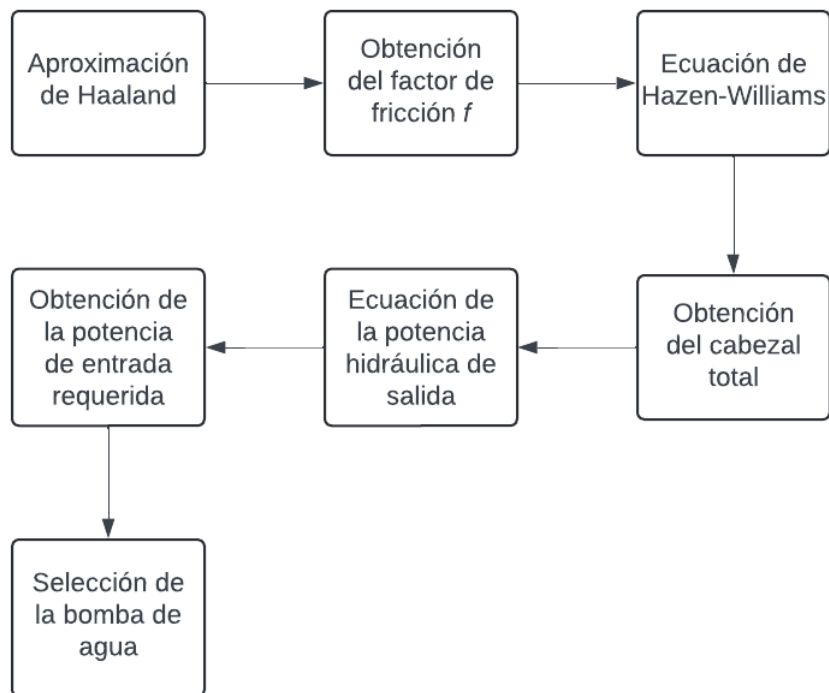
	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	
Descripción	Adaptabilidad	Escalabilidad	Económico	Total
Peso	8	7	5	20
Peso porcentual	40%	35%	25%	100%
	<b>Calificación</b>			
<b>Solución 1</b>	8	8	1	6.25
<b>Solución 2</b>	7	2	1	3.75
<b>Solución 3</b>	8	8	9	8.25

La solución ganadora corresponde al análisis de eficiencia de la bomba en base al flujo y cabezal requeridos.

#### **2.5.4 Cálculos para la selección de la bomba.**

Previamente se describió el método seleccionado para la realización de este proyecto sin embargo para simplificar la comprensión de este documento se muestra el siguiente diagrama de flujo que facilita la lectura de esta sección.

**Figura 2.13** Diagrama de flujo de cálculos para la selección de la bomba



#### 2.5.4.1 Uso de la aproximación de Haaland

Para este paso primero se calculó el número de Reynolds donde se definió la velocidad del agua en función de la ecuación de caudal.

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu} \quad (2.8)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2} \quad (2.9)$$

Se consideró la viscosidad cinemática del agua a 30°C con valor de  $0.800 \text{ mm}^2/\text{s}$  [16]. Con respecto al diámetro interno de las tuberías se consideró la información disponible acerca de las mismas en el mercado nacional.

**Figura 2.14** Ficha técnica tubos PVC [17]

Diámetro Nominal (in)	Diámetro nominal exterior	Espesor de pared	Diám. Interior	Presión Nominal del tubo		
	mm	mm	mm	MPa	psi	Bar
1/2	21.34	3.73	13.88	2.9	420.6	29.0
3/4	26.67	3.91	18.85	2.34	339.4	23.4
1	33.4	4.55	24.3	2.21	320.5	22.1
1 1/4	42.16	4.85	32.46	1.79	259.6	17.9
1 1/2	48.26	5.08	38.1	1.65	239.3	16.5
2	60.32	5.54	49.24	1.38	200.2	13.8

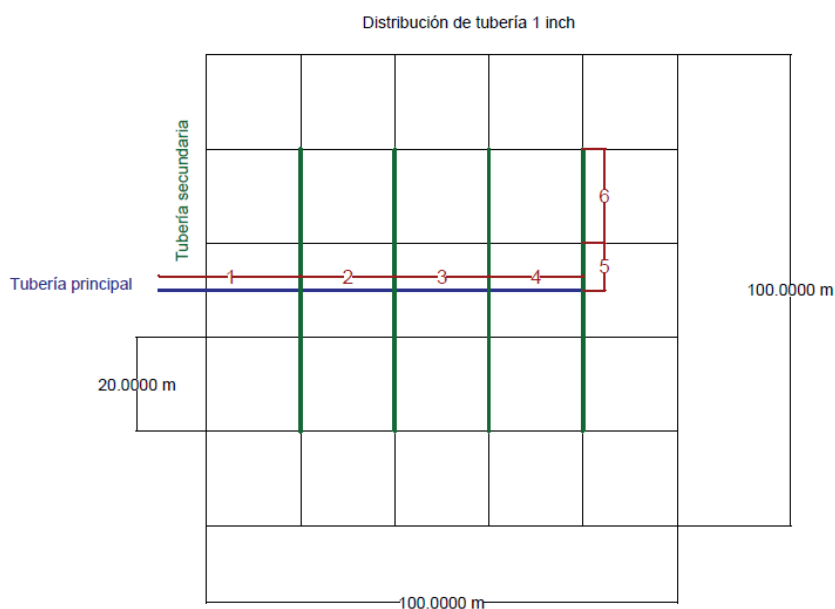
Debido a que se deseaba observar el cambio según el grosor de tubería seleccionado se formuló esta sección en una hoja de cálculo donde primero se calculó la velocidad dentro de las tuberías considerando que estas no excedan el valor de 2.5 m/s, siguiendo las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción [18]. Con esto se calculó el número de Reynolds, posteriormente se obtiene el argumento del logaritmo y se obtiene el factor de fricción  $f$ .

#### 2.5.4.2 Uso de la Ecuación de Hazen-Williams

Una vez obtenido el factor de fricción  $f$ , se procede a considerar también la longitud  $L$  de la tubería a utilizar en cada tramo y el valor de la gravedad gravitacional que corresponde a  $9.81 \text{ m/s}^2$ . La utilización de esta ecuación da el paso a obtener las pérdidas de presión por cabezal mayor, es importante mencionar que la velocidad del agua variará en cada tramo debido a que el requerimiento de caudal es diferente en cada uno de los tramos para una mejor comprensión de esto se presenta en la Figura 2.15 donde se denotan los tramos existentes dentro de la distribución de aspersores propuesta.



**Figura 2.15** Seccionamiento por tramos para la distribución del sistema de riego para una hectárea



En la Tabla 2.10 se presentan los requerimientos de caudal por cada tramo

**Tabla 2.10** Requerimientos de caudal por tramo caso teórico

Tramo	Caudal
1	16Q
2	12Q
3	8Q
4	4Q
5	2Q
6	1Q

Reemplazando el valor del caudal por el requerido por cada aspersor spring de una pulgada el cual es de  $3.5 \text{ m}^3/\text{h}$  se presenta la siguiente tabla adicionando los valores de longitud de tubería

a cada tramo respectivo y el diámetro interno utilizado en base a la información otorgada por el fabricante priorizando que las pérdidas de carga por cabezal mayores sean lo menores posible.

**Tabla 2.11** Resumen de información por tramo acerca del caso teórico

<b>Tramo</b>	<b>Caudal (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro interno (m)</b>
1	56	30	0.15
2	42	20	0.15
3	28	20	0.15
4	14	20	0.07
5	7	10	0.0381
6	3.5	20	0.0381

Reemplazando los valores e ingresando las ecuaciones en la hoja de cálculo se obtuvo las pérdidas de presión de cabezal mayores por tramo.

**Tabla 2.12** Pérdidas de presión mayores por tramo en el caso teórico

<b>Tramo</b>	<b>Cabezal(m)</b>	<b>Cabezal (PSI)</b>
1	10.005	14.23
2	3.751	5.33
3	1.667	2.37
4	3.282	4.67
5	0.111	0.16
6	0.0557	0.08

### 2.5.4.3 Obtención del cabezal total

Para realizar este cálculo se realizó la suma de las pérdidas de presión por cabezal mayor se multiplicó este valor por 1.1 para considerar la pérdida debido a los accesorios dando como resultado un valor de 29.524 PSI. Otra manera de realizar esto es obtener los valores del factor de pérdida local donde se considera el coeficiente K de cada uno de los elementos, para codos se consideró 1.5 y para las tee 2.0 [19].

$$H_L = K * \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

**Tabla 2.13** Pérdidas localizadas por tramo

<b>Tramo</b>	<b>Velocidad(m/s)</b>	<b>H<sub>L</sub> (m)</b>	<b>H<sub>L</sub> (PSI)</b>
1	0.88	0.14	0.20
2	0.66	0.08	0.11
3	0.44	0.03	0.04
4	1.01	0.18	0.26
5	1.71	0.52	0.74
6	0.85	0.13	0.18

En la Tabla 2.13 las velocidades de cada tramo se obtuvo las pérdidas localizadas por tramo. Donde se pudo observar que para este caso el factor empleado de 1.1 cubrió perfectamente.

### 2.5.5 Selección de la bomba.

Al valor del cabezal total se le debe sumar el valor correspondiente la presión de los aspersores que se encuentran entre los tramos cinco y seis explicados anteriormente, así como la

presión necesaria para el último aspersor a alimentar, obteniendo un cabezal de pérdida de 119.524 PSI, este valor debe multiplicarse para el caudal necesario del sistema el cual es de  $56 \text{ m}^3/\text{h}$ . Se agregó un factor de 1.07 por posibles prolongaciones en alguno de los tramos durante la implementación en el caso de la presión.

$$P_{requerida} = \frac{824088.971 \text{ Pa} \times 0.01556 \text{ m}^3/\text{s}}{745.7} = 18,485 \text{ HP} \quad (2.11)$$

Para cumplir con las necesidades de este sistema teórico se propone utilizar la bomba 3LP 65-250/376 de la marca EBARA cuya potencia hidráulica recomendada por el distribuidor es de 35 HP, la misma será alimentada por un motor a diésel marca Weichai modelo 4M06V6D0 que entrega una potencia entre 47 y 64 HP según el fabricante. Se seleccionó este motor considerando que por lo general el sistema de motor a diésel - bomba hidráulica tiene una eficiencia del 70%.

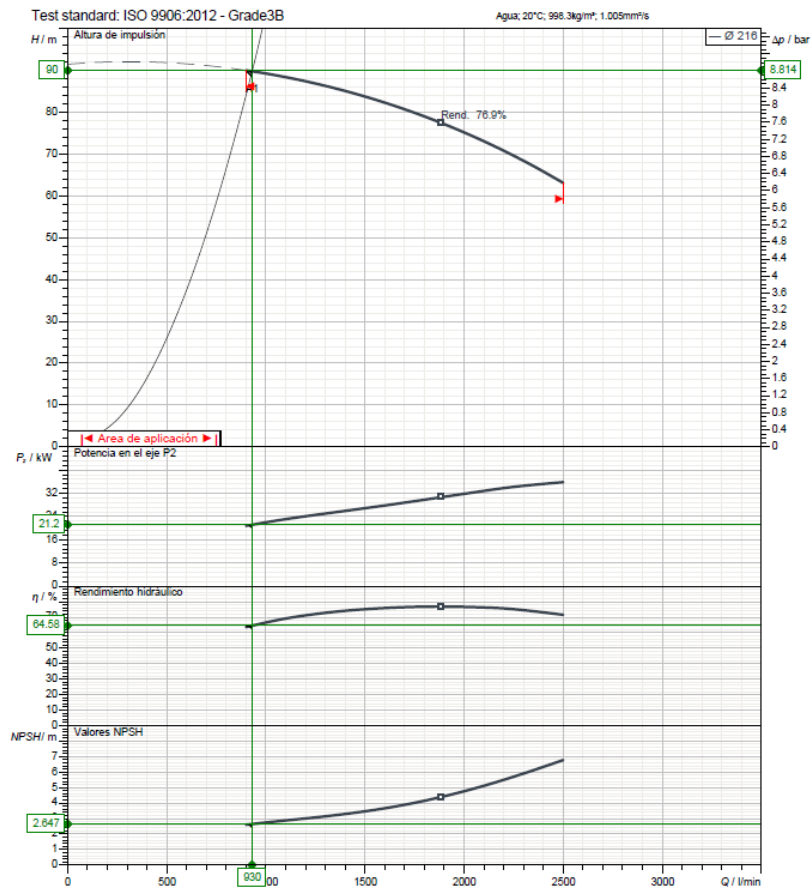
### 2.5.6 Curva de eficiencia de la bomba seleccionada

La curva de rendimiento de la bomba de agua, también conocida como curva de eficiencia hidráulica, proporciona información clave sobre el comportamiento de este componente encargado del desplazamiento del líquido de riego. Como se observa en la Figura 2.16, es necesario conocer el caudal para poder obtener el caso adecuado dentro en la misma. El cabezal variará en función del caudal entregado por la bomba; a medida que el caudal aumenta, el cabezal disminuye.

Además, el rendimiento de la bomba, que representa la eficiencia con la que convierte la energía mecánica en energía hidráulica, también varía con el caudal. En este caso, la bomba alcanza un rendimiento máximo del 76.9% aproximadamente a un caudal de 1900 L/min. Sin

embargo, este valor de rendimiento disminuye si el caudal aumenta o disminuye respecto a este punto óptimo.

**Figura 2.16** Curva de eficiencia hidráulica de la bomba seleccionada [20]



Debido a esto, se propone la instalación de un sensor de caudal para poder mapear y determinar el punto de rendimiento en el que se encuentra la bomba, utilizando la información proporcionada por el fabricante. Este sensor permitirá ajustar y optimizar el funcionamiento de la bomba, asegurando que opere lo más cerca posible de su punto de máxima eficiencia.

## 2.6 Prototipo realizado

El área por cubrir para el prototipo fue de 60 metros cuadrados, para esta área a cubrir se incorporó una bomba hidráulica periférica de 0.5 HP debido a que cumplía con las directrices de costo reducido y cumplía para abastecer al sistema.

Utilizando el mismo procedimiento que para el ejemplo teórico, se obtuvo el requerimiento de caudal para el tramo implementado, se definió la longitud de la tubería en conjunto con la información del tramo, asimismo se calcularon las pérdidas de presión mayores y totales.

**Tabla 2.14** Requerimientos de caudal por tramo caso implementado

<b>Tramo</b>	<b>Caudal</b>
1	16Q

**Tabla 2.15** Resumen de información por tramo acerca del caso implementado

<b>Tramo</b>	<b>Caudal (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro interno (m)</b>
1	2.6	16	0.0243

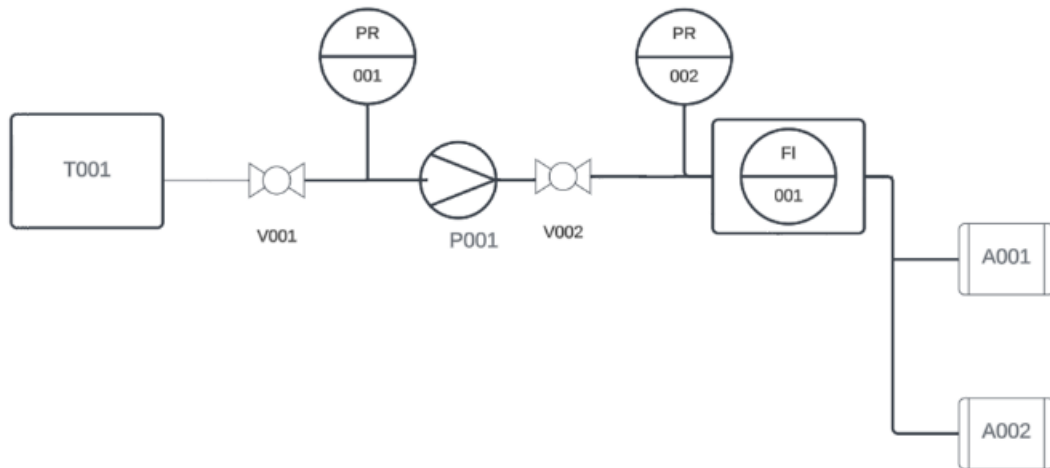
**Tabla 2.16** Pérdidas de presión mayores por tramo en el caso implementado

<b>Tramo</b>	<b>Cabezal(m)</b>	<b>Cabezal (PSI)</b>
1	15.786	22.44

Para el cálculo de las pérdidas de presión totales, se multiplicó el cabezal por 1.1 para considerar la pérdida debido a los accesorios dando como resultado un valor de 24.684 PSI.

$$P_{requerida} = \frac{170223.829 \text{ Pa} \times 0.0007222 \text{ m}^3/\text{s}}{745.7} = 0.16 \text{ HP} \quad (2.12)$$

**Figura 2.17** Diagrama hidráulico del prototipo implementado



## 2.7 Diseño electrónico del dispositivo IoT.

Una vez definido los parámetros operativos del prototipo, se procedió con la selección de los sensores. En este caso se definieron los sensores de presión: entrada y salida y el sensor de caudal.

Así mismo, se establecieron indicadores visuales para que el usuario obtenga información sobre su funcionamiento con su respectiva resistencia para la protección de estos.

### 2.7.1 Selección de sensores.

**Figura 2.18** Sensor de presión [21]



**Tabla 2.17** Información relevante del sensor de presión

Características	
Voltaje de operación	5VDC
Voltaje de salida	0,5 – 4,5 VDC
Rango de presión de trabajo	0 – 1.2 MPa
Error de medición	$\pm 1,5\%$ FSO

En la Tabla 2.17 se describen las características del sensor utilizado en nuestro prototipo. Este sensor varía su lectura de presión en función del rango de voltaje de salida, el cual es directamente proporcional a la presión medida. Es importante destacar que fue necesario realizar un escalamiento de la señal eléctrica para su correcta transmisión. Este proceso se aplicó tanto al sensor de entrada como al sensor de salida.



**Figura 2.19** Sensor de flujo de agua [22]



**Tabla 2.18** Información relevante acerca del sensor de caudal

Características	
Voltaje de operación	5 – 24 VDC
Salida	Onda cuadrada pulsante
Rango de flujo de trabajo	1 – 60 L/min
Presión máxima de trabajo	1.2 MPa

**En la**

Tabla 2.18 se muestran las características de nuestro sensor de flujo que se utilizó en la salida de la tubería de la bomba. Este sensor fue elegido en base a la cantidad de caudal máximo que entregaba la bomba en su especificación técnica de 35 L/min. El sensor también fue calibrado con un factor de conversión en cuanto a los pulsos para obtener el valor real del flujo medido. Por otra parte, este sensor requirió de la activación de una resistencia interna ‘PULL\_UP’ con la finalidad de que se obtuvieran medidas precisas y confiables evitando que el pin quede en un estado indeterminado cuando el sensor no esté enviando la señal.

**Figura 2.20** Sensor de presión [23]



**Tabla 2.19** Información relevante del sensor de nivel

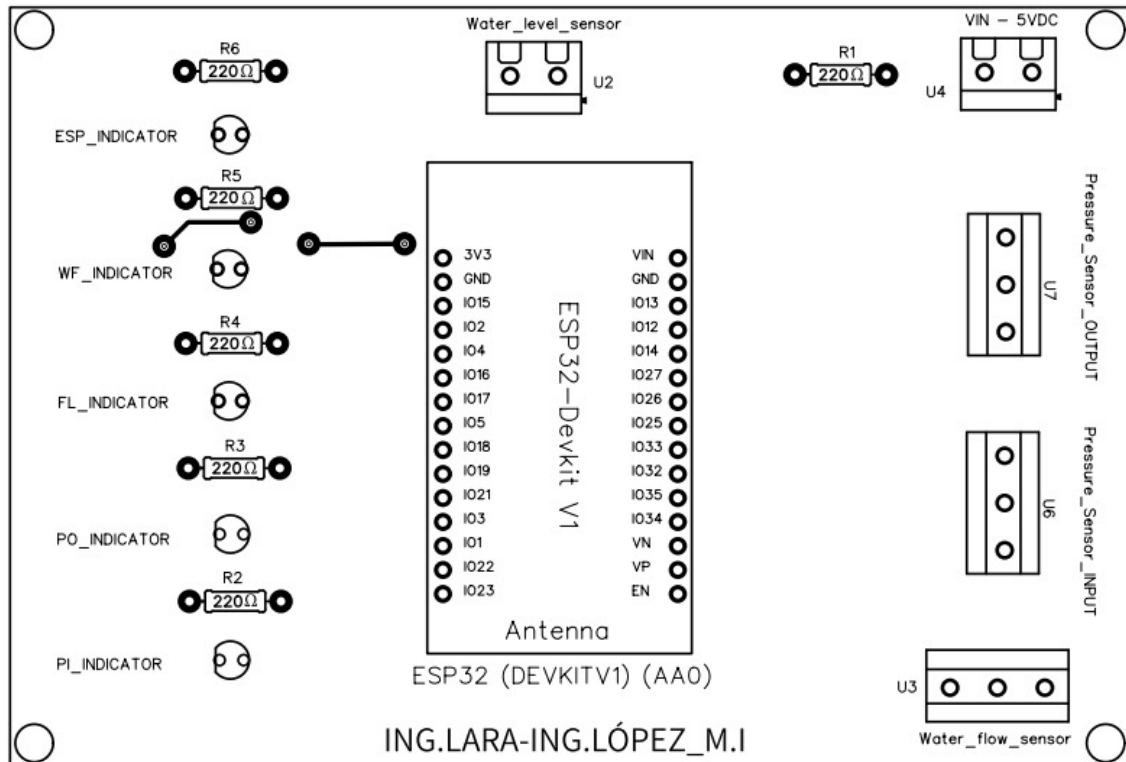
Características	
Voltaje de operación	5 VDC
Salida	Analógica
Corriente de trabajo	< 20 mA
Señal de voltaje de salida	0 – 4.2 VDC

En la Tabla 2.19 se muestran las características del porque se eligió este sensor de nivel para enviar datos relacionados con el nivel del combustible, debido a su bajo costo y su capacidad óptima para operar en un reservorio de diésel. El sensor emite una señal analógica en su salida, la cual fue escalada de acuerdo con las dimensiones estimadas del reservorio.

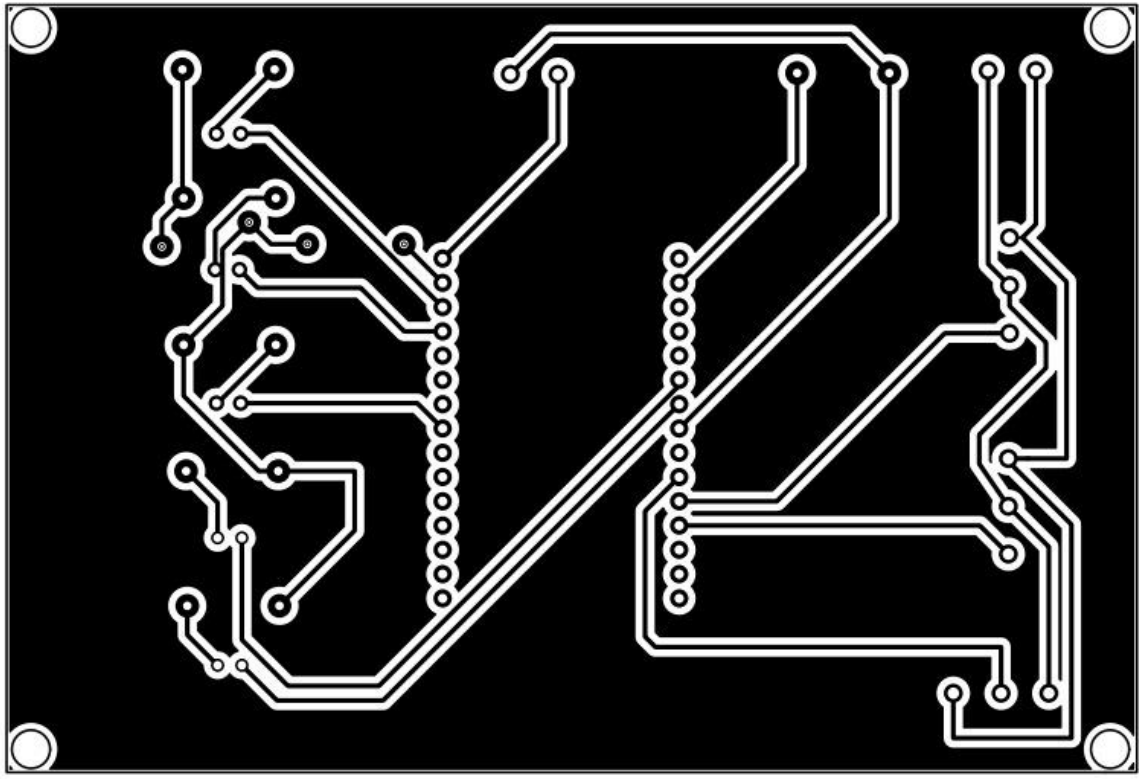
### 2.7.2 Diseño PCB del módulo.

Una vez establecido, el microcontrolador a emplear, los sensores tanto de presión, caudal y de nivel se procedió con la elaboración de la placa PCB con sus respectivas pistas y parámetros a considerarse previo a su diseño.

Figura 2.21 Ubicación de componentes en la placa PCB

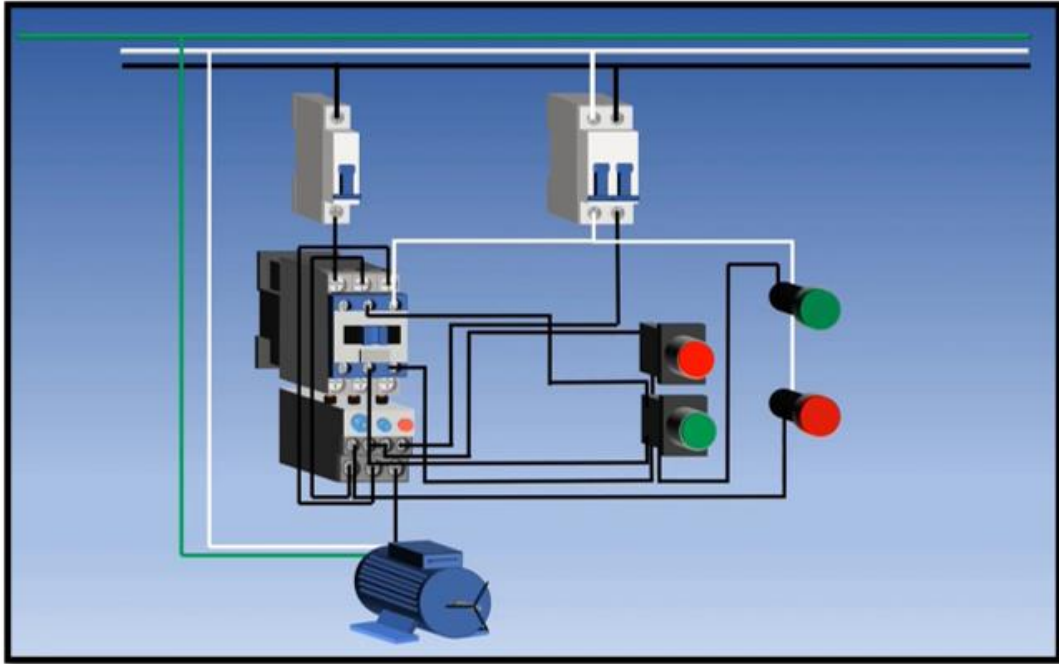


*Figura 2.22* Pistas de la placa PCB



### 2.7.3 Diseño eléctrico para prototipo.

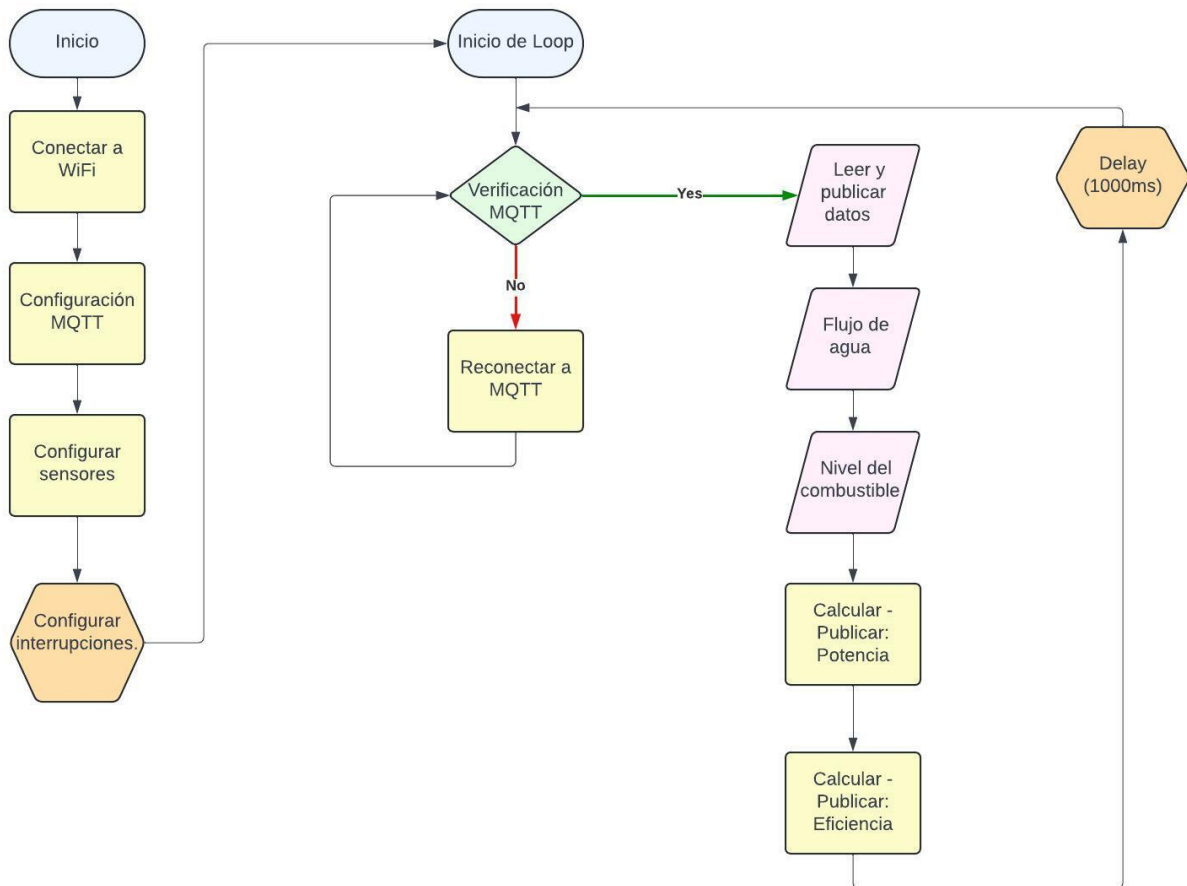
*Figura 2.23 Arranque directo de motor monofásico [24]*



Se muestra en la Figura 2.23 una configuración que debe considerarse para el arranque de un motor monofásico, incluyendo sus protecciones, como disyuntores y relés térmicos, así como elementos electromecánicos como contactores. También se contempla el uso de luces piloto para indicar al operador el estado de operación de la máquina, y pulsadores o selectores para la manipulación adecuada del equipo.

## 2.8 Programación – Configuración: Microcontrolador ESP 32.

**Figura 2.24** Diagrama de flujo: configuración de la ESP 32



En la Figura 2.24, se visualiza lo que fue la secuencia de programación que se empleó en nuestro microcontrolador la ESP32. En primera instancia, se instalaron librerías necesarias para la conexión mediante a la red local y el del protocolo de comunicación, para la publicación de datos en el servidor, mediante MQTT. Posterior aquello, se procedió a configurar nuestra conexión Wifi del microcontrolador a una red local. Además de, la configuración de la dirección IP. de nuestra computadora en este caso y el puerto el cual se conectó para la publicación de datos. En la Tabla 2.20 se visualiza los parámetros configurados.

**Tabla 2.20** Configuración de Wifi y MQTT.

Nombre de la variable	Tipo de dato	Descripción
SSID	Cadena de caracteres	Nombre de la red Wifi
PASSWORD	Cadena de caracteres	Contraseña de la red Wifi
MQTT_SERVER	Cadena de caracteres	Dirección IP del pc
MQTT_PORT	Número entero	Puerto del servidor MQTT
WIFICLIENT	Puntero	Objeto que maneja la conexión a WiFi
PUBSUBCLIENT	Puntero	Objeto que maneja conexión y comunicación MQTT sobre el cliente Wifi

En la Tabla 2.20 también se definieron parámetros en la creación de clientes tanto Wifi como MQTT para que se manejen tanto la conexión del Wifi, la comunicación y conexión MQTT se realizan sobre este cliente.

Posteriormente, se realizaron las configuraciones de los pines respectivos a los sensores empleados tal y como se muestran en la Tabla 2.21.

**Tabla 2.21** Definición de los pines del microcontrolador

Pines GPIO	Entrada - Salida	Descripción
GPIO2	Salida	Indicador de sensor de flujo
GPIO4	Entrada	Sensor de flujo
GPIO5	Salida	Indicador de nivel de combustible
GPIO15	Salida	Indicador de ESP32

GPIO26	Salida	Indicador de sensor de presión de entrada
GPIO27	Salida	Indicador de sensor de presión de salida
GPIO32	Entrada	Sensor de nivel
GPIO34	Entrada	Sensor de presión de entrada
GPIO35	Entrada	Sensor de presión de salida

Asimismo, también se establecieron variables que se muestran en la Tabla 2.22.

**Tabla 2.22** Descripción de variables utilizadas

Nombre de la variable	Tipo de dato	Descripción
CALIBRATIONFACTOR	Float	Valor de calibración sensor de flujo
PULSECOUNT	Volatile byte	Conteo de pulsos del sensor de flujo
FLOWRATE	Float	Valor de caudal
FLOWRATE_M3S	Float	Valor de caudal en metros cúbicos sobre segundo
FLOWMILLILITRES	Unsigned long	Valor de flujo en mililitros
TOTALLITRES	Float	Valor total de litros del sensor de flujo
SENSORMINVOLTAGE	Float	Voltaje mínimo de los sensores de presión



SENSORMAXVOLTAGE	Float	Voltaje máximo de los sensores de presión
PRESSUREOFFSET	Const Float	Valor de ajuste en las lecturas de presión
VOLTAGE	Const Float	Voltaje de operación de la bomba
CURRENT	Const Float	Corriente de consumo de la bomba

Siguiendo con el diagrama, se implementó una interrupción para el sensor de flujo con la finalidad de que no se pierdan pulsos en cada medición, recolectando datos de manera precisas y eficiente. Por otro lado, los sensores de presión y nivel no presentaron un comportamiento que varíe rápidamente en el tiempo, ni necesitan el valor preciso en un instante de tiempo, es por eso por lo que no se optó de interrupciones ya que estos pueden ser ejecutados directamente en el lazo de control.

Luego de esto, se tiene el lazo de control donde se ejecutaron los parámetros de ejecución de forma secuencial. Para esto se verificó que el cliente MQTT se encuentre conectado, si este no se encuentra conectado, se vuelve a reconectar hasta conseguir establecer la comunicación.

Una vez se encontró conectada la comunicación se procedió a la lectura y publicación de datos como el flujo de agua y el nivel de combustible. Además de, que se realizó el cálculo y publicación de la potencia y eficiencia. Donde este proceso se repetía después de un segundo. El loop se repite indefinidamente hasta que se presente algún error en la comunicación del protocolo. Todos los datos fueron publicados en formato tipo JSON.



## **CAPÍTULO 3**

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1 Comparación de pérdidas presión entre el prototipo teórico y la implementación realizada

Para ambos casos propuestos en este estudio, que cubren diferentes áreas de riego por el mismo método se calcularon las pérdidas de presión en base a su requerimiento de flujo, el caudal necesario de cada aspersor, así como el mejor caso posible obtenido en las iteraciones para disminuir las pérdidas de presión.

**Tabla 3.1** Comparación de pérdidas de presión en ambos casos

<b>Caso</b>	<b>Cabezal (PSI)</b>
Teórico	29.524
Implementación	24.684

Si bien la diferencia porcentual de cabezal es de 16.39% aproximadamente, siendo el caso teórico el mayor; se podría disminuir el valor de pérdidas de presión en la implementación usando una tubería de mayor diámetro.

### 3.2 Requerimientos del equipo para los sistemas de riego.

Se conoce que el sistema de riego a alimentar en el caso teórico corresponde a cubrir el área de una hectárea, para la implementación se propuso alimentar el riego en la jardinera de un hogar con un área de 60 metros por el mismo método de riego, por aspersion.

**Tabla 3.2** Potencia de la bomba necesaria para ambos casos

<b>Caso</b>	<b>Potencia de la bomba (HP)</b>
Teórico	19
Implementación	0.5

La relación de potencia requerida es 38 veces menor para la implementación, como se explicó en el Capítulo 2. No se pudo realizar la implementación con una motobomba a diésel, sino que en este caso fue eléctrica debido a que en el mercado local no se cuenta con una motobomba que cumpla con la potencia requerida, en la investigación local se encontraron motobombas a diésel a partir de los 2 HP y a gasolina a partir de los 1.5 HP.

### 3.3 Tipo de flujo en tuberías

El número de Reynolds indica el tipo de flujo en tuberías en la Tabla 3.3 y la Tabla 3.4 se puede observar que en cada tramo el número de Reynolds es mayor a 4000. Por lo que se trata de flujo turbulento, esto fue considerado en los cálculos del Capítulo 2.

**Tabla 3.3** Número de Reynolds por tramo en el caso teórico

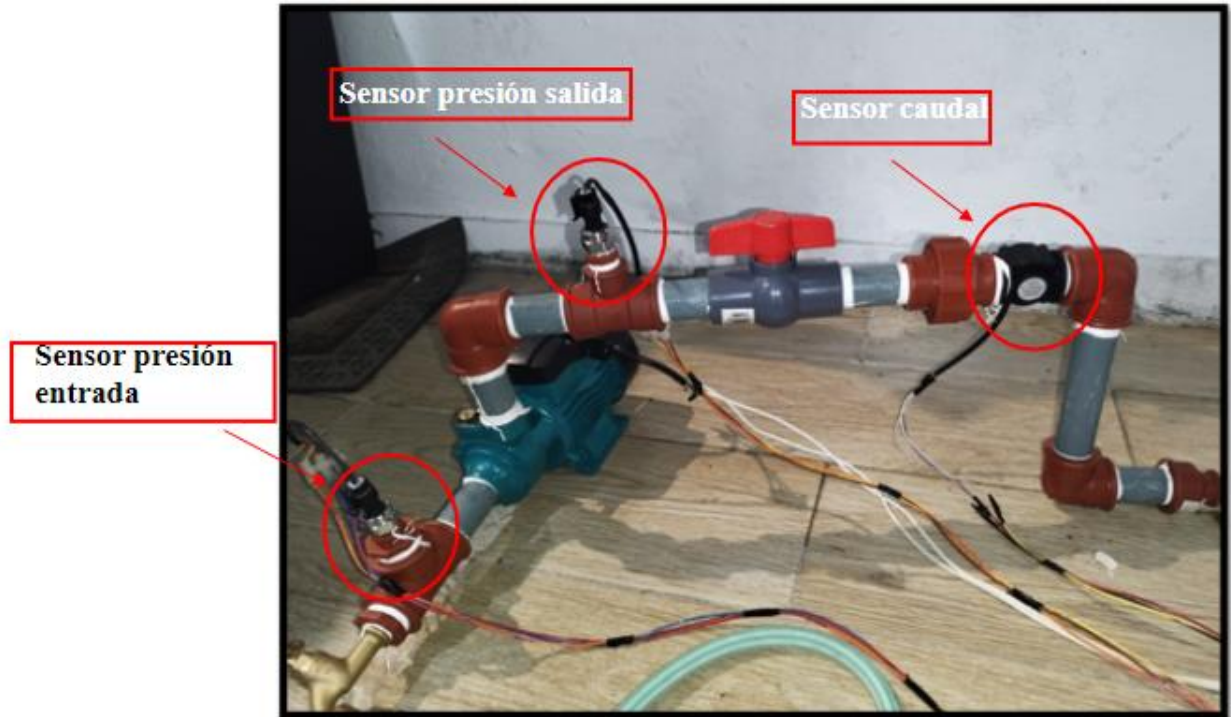
<b>Tramo</b>	<b>Número de Reynolds</b>
1	164946.48
2	123709.86
3	82473.24
4	88364.19
5	81174.45
6	20587.22

**Tabla 3.4** Número de Reynolds por tramo en el caso implementado

<b>Tramo</b>	<b>Número de Reynolds</b>
1	47273.02

### 3.4 Prototipo del sistema de riego implementado.

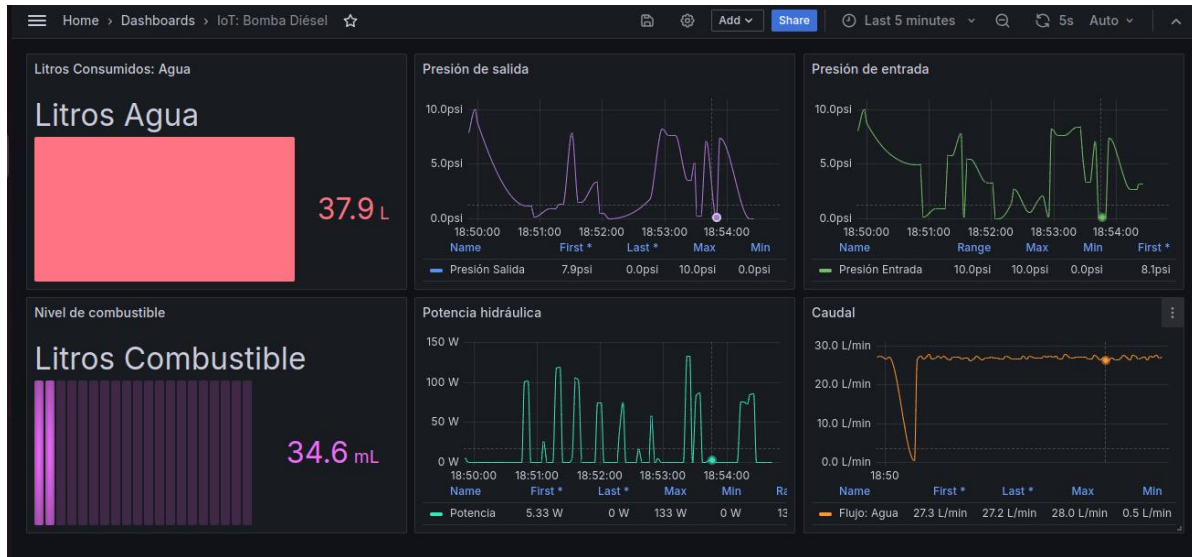
*Figura 3.1 Prototipo del sistema de riego implementado*



La Figura 3.2 proporciona una representación visual de la maqueta que se diseñó con la finalidad de obtener datos en base a las variables más importantes como la presión de entrada, la presión de salida y el caudal. Con esto fue posible determinar la potencia hidráulica que en relación con la potencia eléctrica de la bomba periférica en este caso se pudo determinar el valor de eficiencia del sistema. No obstante, la finalidad de este fue el comportamiento de los datos de las diferentes variables a lo largo del tiempo.

### 3.5 Registro de datos iniciales con variabilidad.

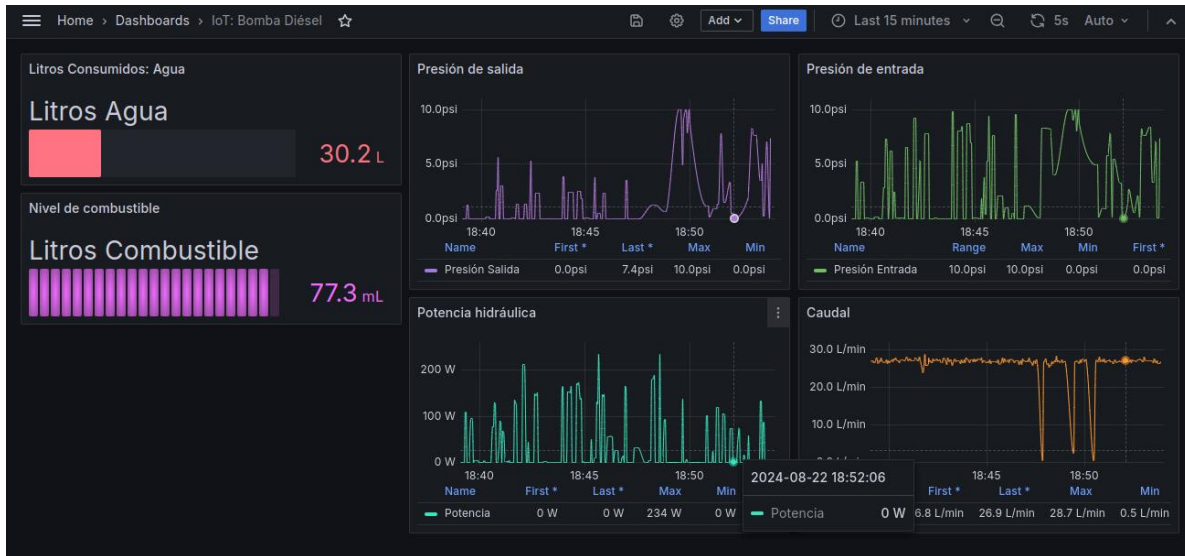
**Figura 3.2** Registro de datos iniciales con presencia de variaciones



En la Figura 3.2 se puede corroborar que en primera instancia los valores medidos, presentaron fluctuaciones a lo largo del tiempo. Esto se debió a los factores de calibración empleados en la programación para cada una de las variables medidas. En especial para la variable de presión que es donde se evidenció mayor fluctuación.

**Figura 3.3** Registro de datos sensados después de calibrar los sensores





La Figura 3.3, se puede visualizar que las curvas ya se denotaron un poco más estables que en primera instancia. Se procedió a establecer valores de calibración adecuados hasta encontrar el valor idóneo para la correcta toma de datos.

### 3.6 Análisis de datos de sensores en operación normal.

**Figura 3.4** Dashboard final



En la Figura 3.4, se puede visualizar el dashboard final en donde se evidencia las siguientes variables: la presión de entrada, presión de salida, caudal, potencia hidráulica (Dato que se consideró solamente para la implementación, pero no se aplicaría para la propuesta teórica),

potencia eléctrica, litros consumidos por agua, el nivel de combustible y la eficiencia. Estos datos fueron tomados en tiempo real con el prototipo diseñado para su debida comprobación del IoT.

**Figura 3.5** Datos medidos presión de entrada y salida



En la Figura 3.5, se observaron fluctuaciones que oscilan entre valores, mínimo 0.1 PSI y máximo de 19.7 PSI lo que quiere decir que las fluctuaciones presentadas fueron producto de posibles cambios en la resistencia interna dentro del sistema de tuberías y la variación del suministro de agua, en este caso fue tomado del agua de la red local de agua.

En los primeros minutos se pudo evidenciar que la presión fue totalmente inestable presentando picos y caídas abruptas. Esto vino presentado por la longitud del cable, que fue un aproximado de

tres metros. Esto con la finalidad de que el microcontrolador se encuentre lejos del suministro de agua por si existía algún problema de fuga o goteo, este prevalezca salva guardado.

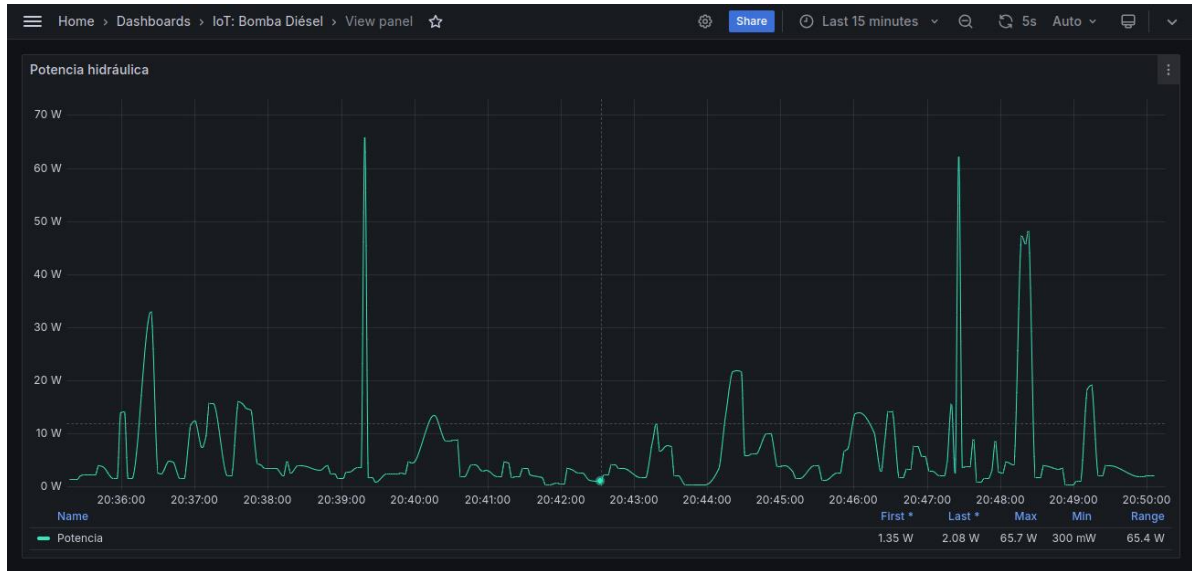
Al final se puede encontrar que la presión se estabiliza ligeramente aun presentando ciertos picos altos.



**Figura 3.6** Valores medidos de caudal

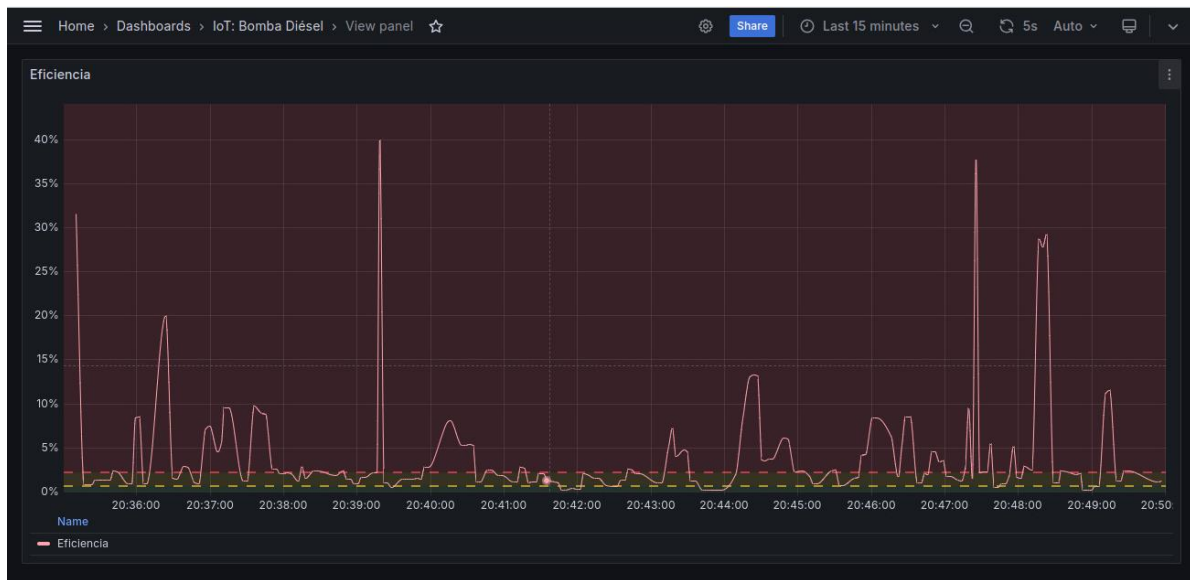
En la Figura 3.6 de caudal, se pudo denotar que este oscilaba entre 26.6 L/min y 32.5 L/min, con un caudal promedio alrededor de 30 L/min. El caudal mantiene fluctuaciones constantes a lo largo del tiempo. Sin embargo, se evidencia que cae drásticamente en un punto de la gráfica, esto se dio por una alteración en la fuente de agua, como es tomada desde la red pública de alcantarillado esta pudo haber tenido fluctuaciones. Esto de aquí es indispensable corregir debido a que afectaría directamente con la eficiencia, se debe de tener un flujo de agua más estable.

**Figura 3.7** Potencia hidráulica



En la Figura 3.7 de la potencia hidráulica, se presentaron variaciones considerables a lo largo del tiempo. Se observa un pico significativo de 65.7 W lo que indicaría que la carga de la bomba presentó un incremento en el aumento de la presión o en el flujo de agua. Mientras que la potencia mínima registrada fue de 300 mW, lo que en momentos la bomba trabajó con una carga muy baja. No obstante, estas fluctuaciones vienen presentadas en lo descrito ya en la Figura 3.5. La potencia hidráulica opera en rango de 1 a 10 W en el tiempo. Esto debido a que no existió una diferencia de altura en la que se pudo situar a la bomba o de un sistema de aire comprimido que inyecte presión y así tener un mayor incremento en el flujo del agua.

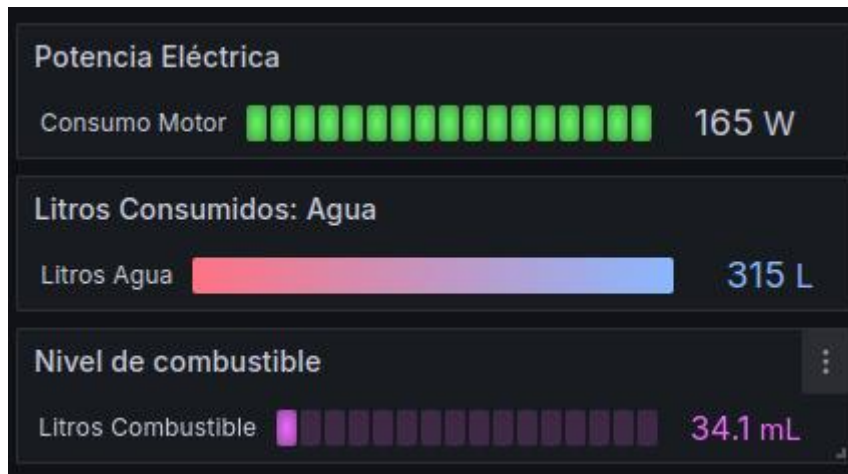
**Figura 3.8** Eficiencia del sistema implementado



Se presenta en Figura 3.8, la eficiencia, en donde se denotó que esta alcanzó valores del 0% al 40%, lo que indica que el sistema estaba operando con una eficiencia subóptima en la mayoría del tiempo. No obstante, hubo puntos en donde se maximizó la eficiencia lo cual la bomba podría a tener condiciones específicas para maximizar su rendimiento.

La eficiencia es variable a lo largo del tiempo, esto se presentó por los cambios de presión, los cambios de caudal o variaciones de potencia hidráulica esto debido a las limitaciones que se presentaron en el proyecto como la falta de un depósito o aire comprimido que inyecte una presión para la mejora de la potencia hidráulica.

**Figura 3.9** Información adicional del dashboard



Observando la Figura 3.9, la potencia eléctrica del motor que fue adquirida por un amperímetro de gancho en donde la corriente fue de 1.5A y el voltaje fue de 110V a plena carga. El valor de litros consumidos de agua, que fluyeron por la tubería a lo largo del caudalímetro en total se obtuvo un gasto de 315L en alrededor de 2 horas de monitoreo continuo. Finalmente, se obtuvo la medición del nivel de combustible que fue de 34.1mL este valor fue considerado para el envío del dato y su visualización con la finalidad de que este pueda ser colocado en el depósito de combustible en un motor de combustión interna a diésel.

### 3.7 Análisis de la base de datos: Influx DB.

Figura 3.10 Comprobación de la base de datos mediante el terminal de Linux

```
victor@victor-HP-Laptop-14-dq1xxx: ~/Descargas/loT_Tesis/loT_Bomba
victor@victor-HP-Laptop-14-dq1xxx:~/Descargas/loT_Tesis/loT_Bomba$ influx
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.10
InfluxDB shell version: 1.6.7-rc0
> USE influx
Using database influx
> SELECT * FROM "mqtt_consumer" WHERE "topic" = 'sensor/waterflow' AND time > now() - 7d;
name: mqtt_consumer
time                efficiency flowRate  host                powerElectric_W powerHydraulic_W pressure_in pressure_out topic
-----
1724376046492039682 29.76190376 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 19.5139984
1724376049460984818 31.26502991 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 20.03507423
1724376052533005705 29.79146004 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 20.53159904
1724376055508479606 30.48322678 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 21.03965378
1724376058574955404 31.73695946 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 21.56860352
1724376061544950079 30.52356148 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 22.07732964
1724376064616880519 30.51346779 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 22.58588791
1724376067586357249 31.29607773 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 23.10748863
1724376070658956931 29.46127892 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 23.59851074
1724376073633083782 30.03273582 192.xxx.0.xxx      sensor/waterf
low 24.09905624

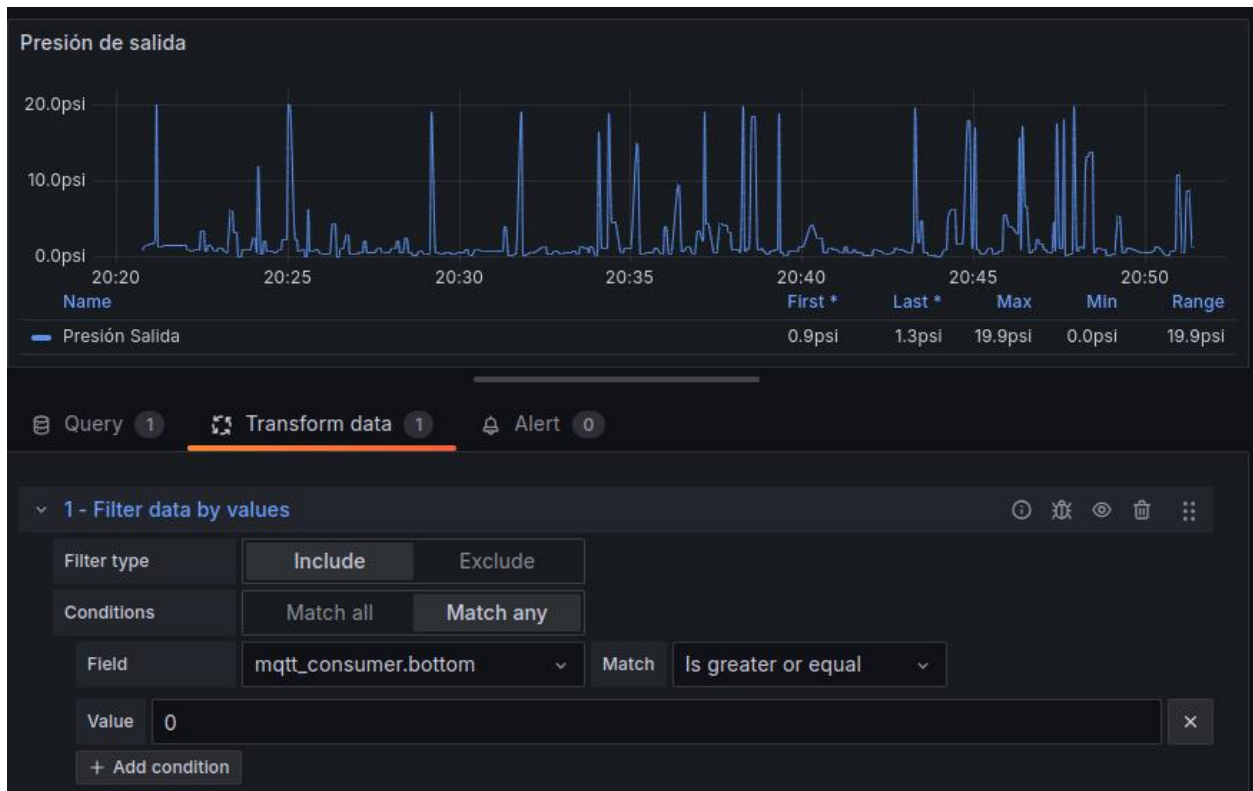
victor@victor-HP-Laptop-14-dq1xxx: ~/Descargas/loT_Tesis/loT_Bomba
1724377854296431353 192.xxx.0.xxx 165 0 sensor/power
1724377854296404207 192.xxx.0.xxx 10.79082298 10.79082298 sensor/press
ure
> SELECT * FROM "mqtt_consumer" ORDER BY time DESC LIMIT 10;
name: mqtt_consumer
time                efficiency flowRate  host                powerElectric_W powerHydraulic_W pressure_in pressure_out topic
-----
1724377884304903442 0 192.xxx.0.xxx      sensor/effic
iency
1724377884304889215 165 0 192.xxx.0.xxx      sensor/power
1724377884304874904 1.295546651 192.xxx.0.xxx      sensor/press
ure
1724377884304833541 192.xxx.0.xxx      sensor/water
level 0.06642247
1724377884300091701 0 192.xxx.0.xxx      sensor/water
flow 322.2954407
1724377881535747643 0.054320954 192.xxx.0.xxx      sensor/effic
iency
1724377881535706640 165 0.089629576 192.xxx.0.xxx      sensor/power
1724377881535645230 1.295546651 192.xxx.0.xxx      sensor/press
ure
1724377881535581517 192.xxx.0.xxx      sensor/water
level 0.031196579
1724377881330630529 0.602046967 192.xxx.0.xxx      sensor/water
flow 322.2954407
>
```

Visualizando la Figura 3.10, se puede corroborar la base de datos usada en este caso mediante el terminal de Linux, se pudo capturar todas las métricas como la eficiencia, el flujo de agua, la

potencia eléctrica e hidráulica, y las presiones de entrada y salida. Esta estructura, mostró los últimos diez valores registrados en la base de datos de manera descendente. Además de, que demostró ser una herramienta de almacenamiento de métricas consistente lo que permitió evaluar rápidamente el estado del sistema. Sin embargo, la variabilidad de los datos requería un análisis del estado físico de las conexiones de los sensores y las consideraciones de ruido que se presentaron en el ambiente para la mejoría de la eficiencia operativa. El monitoreo seguido en base los ajustes los esos datos resultaron esenciales para así obtener una retroalimentación del estado de operación de la bomba y las posibles adversidades que se presentaron en la toma de las mediciones.

### 3.8 Filtrado de datos y Gráficas finales.

*Figura 3.11 Filtro de datos de la presión de salida*



Debido a que se presentaron valores constantes de cero debido al ruido presentado a lo largo del cable, se decidió hacer un filtrado de los valores que daban cero para así obtener una



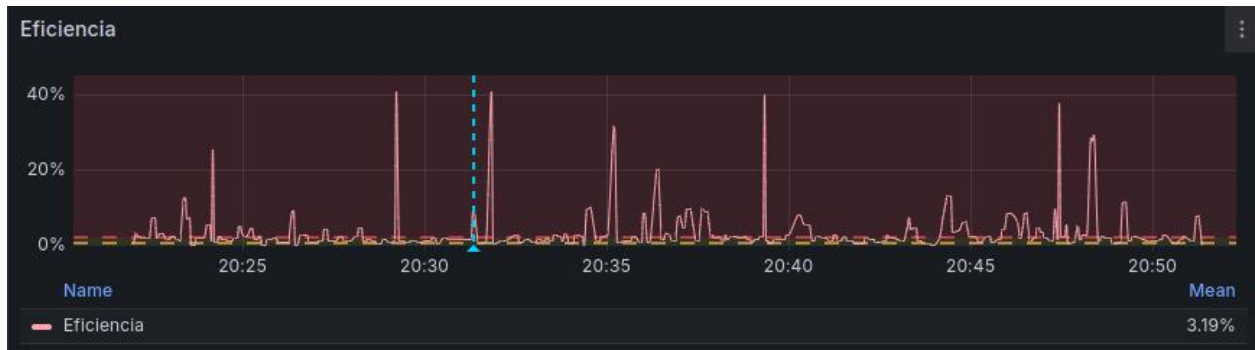
curva más suave y aproximada de lo que se deseaba analizar. Tratando de eliminar ese valor atípico en cuanto a la toma de mediciones receptadas en el modelo propuesto. El filtro fue desarrollado en *Grafana* en donde la condición impuesta fue el de tomar las mediciones mayores que cero, como se observa en Figura 3.10. Así se obtuvieron una mejoría en cuanto a lectura de los datos de las demás variables. Así mismo, a las otras variables se les aplicó el respectivo filtrado tales como el caudal en la Figura 3.10.

**Figura 3.12** Filtro de datos de caudal



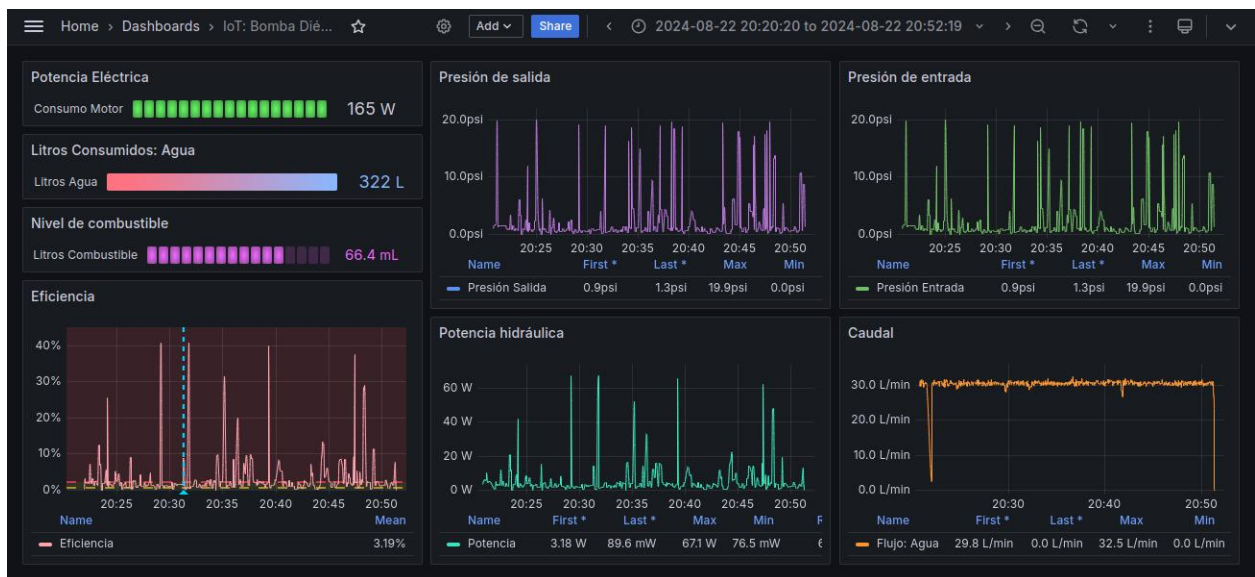
Con respecto a la eficiencia se obtuvo un promedio del 4%, véase en la Figura 3.10. Esto se dio producto de que la red de agua que alimentaba a la bomba de riego no contaba con una diferencia de presión significativa al estar a la misma altura de donde se receptaba el agua, con la altura de riego como tal. Asimismo, se le adicionan los problemas en la infraestructura de las tuberías tales como pequeñas fugas que a pesar de haber colocado teflón y haber realizado las uniones con el correspondiente esfuerzo físico se presentaron en la implementación. Hay dos casos en los que aumentará significativamente la eficiencia del sistema, aumente la diferencia de presión esto en el caso de que la alimentación de agua corresponda a una cisterna que se encuentre a diferente altura que la del sistema del riego, aproximadamente 5 metros; se aumente el caudal seleccionando una bomba con mejores prestaciones en tanto a este requerimiento.

**Figura 3.13** Información de eficiencia filtrada



Asimismo, es importante mencionar que se puede acceder a datos históricos de operación, esto considerando que se quiera realizar un estudio con métodos computarizados en un futuro para poder predecir con ayuda de técnicas de *Machine Learning* tanto de manera gráfica como también se cuenta con la opción de exportar los datos en una hoja de cálculo para poder procesar la información medida y calculada. Véase en la Figura 3.10.

**Figura 3.14** Acceso a información histórica obtenida



### 3.7 Costos

En la implementación de nuestro proyecto, se realizaron dos modelos de costos de acuerdo con el costo del prototipo y al del diseño de ingeniería.

En la 3.5 se realiza un énfasis en cuanto a las consideraciones de la aplicación en las que se realizó el enfoque estableciendo rubros que inicialmente no se deberían de considerar. Sin embargo, la selección de los demás componentes como sensores, cables entre otros es de vital consideración de acuerdo con el objetivo de monitoreo de la bomba a diésel.

**Tabla 3.5** Costos referentes al prototipo diseñado

<b>Costos Implementación – Prototipo diseñado.</b>			
<b>Rubro</b>	<b>Valor Unidad (\$)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total (\$)</b>
<b>Sensor de caudal FS400A 1". 1-60 l/min.</b>	\$13,05	1	\$13,05
<b>Sensor Transductor de presión ¼. 0- 1MPa</b>	\$28,27	2	\$56,54
<b>6 metros de tubería 1"</b>	\$20,82	3	\$62,46
<b>Bomba periférica ½ HP</b>	\$20,00	1	\$20,00
<b>Codo roscable hembra PVC de 1"</b>	\$1,81	4	\$7,24
<b>Tee de 1"</b>	\$2,23	2	\$4,46
<b>Bushing polipropileno 1" a 1/2"</b>	\$1,31	3	\$3,93
<b>Neplo perdido ½ " a ¼"</b>	\$0,81	2	\$1,62

<b>Unión universal 1"</b>	\$1,5	2	\$3,00
<b>Llave de paso 1"</b>	\$5,00	1	\$5,00
<b>Llave de paso 1/2 "</b>	\$4,00	1	\$4,00
<b>Manguera 1/2"</b>	\$8,00	1	\$8,00
<b>ESP32</b>	\$17,00	1	\$17,00
<b>Borneras de 3 pines</b>	\$0,50	5	\$2,50
<b>Cable #18</b>	\$0.45	40	\$18,00
	<b>Total</b>		<b>\$226,80</b>

En Tabla 3.66 se visualiza el costo por la fabricación y diseño de la PCB. Además de, la programación del microcontrolador y la configuración de los servicios empleados para la visualización de la bomba a diésel. Estos costos están sujetos a cambios de acuerdo con la escalabilidad del proyecto.

**Tabla 3.66** Tabla referente al diseño de ingeniería

<b>Costos Implementación – Diseño de ingeniería.</b>			
<b>Rubro</b>	<b>Valor Unidad (\$)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total (\$)</b>
<b>Diseño PCB</b>	\$100,00	-	\$100,00
<b>Manufactura y soldadura PCB</b>	\$75,00	-	\$75,00
<b>Diseño de estructura de contenedores y programación</b>	\$600,00	-	\$600,00
<b>Aplicación de filtros a los datos</b>	\$100,00	-	\$100,00

	<b>Total</b>		<b>\$875,00</b>
--	--------------	--	-----------------

## Capítulo 4

## **4.1 Conclusiones y recomendaciones**

### **4.1.1 Conclusiones**

Debido de la expansión del IoT a nivel industrial, de la industria 4.0, este proyecto de monitoreo de la bomba diésel ayuda a dirigirse hacia otras aplicaciones agrícolas con el fin de recopilar métricas importantes para la mejora de su sistema a lo largo del tiempo.

- La implementación del sistema de monitoreo inteligente para bombas diésel en base a una plataforma IoT demuestra eficacia en el envío de métricas facilitando un análisis preliminar de cada una de aquellas.
- La integración de tecnologías de sensores, comunicación, almacenamiento de datos y visualización de estos permite crear una solución completa capaz de garantizar en base las variables medidas para obtener un estudio sobre su rendimiento.
- Las variables medidas como la presión, caudal y nivel de combustible mostraron un grado de fiabilidad en cuanto al envío de los datos. Sin embargo, la presencia de factores como el ruido, longitud y tipo de cable provocan que aquellos no tengan mucha precisión a lo largo de las mediciones. Así mismo, el filtrado de datos fue de utilidad para obtener valores más fiables en cuanto la toma de decisiones en cuanto a información precisa y libre de interferencias.
- El sistema de comunicación y la integración de los servicios, se mantuvo constante en las condiciones ambientales presentadas, alrededor de una hora de envío de datos sin presentar alguna anomalía en cuanto a la desconexión de la publicación de datos.

Aquello mantiene integridad de los datos en tiempo real para disposiciones del usuario o cliente. Así mismo, el almacenamiento eficiente facilita el acceso al histórico para revisar tendencias y patrones operativos.

- La interfaz de visualización presentó la respectiva toma de datos en tiempo real. Una de las variables de importancia fue el de la eficiencia, que se limita en un margen menor al 20% debido a factores como el suministro de agua de la bomba. El abordar esta limitación ayuda a futuro a maximizar el rendimiento operativo del sistema aprovechándose así una utilización más efectiva de los recursos disponibles.
- El sistema es totalmente escalable, debido a que el análisis que se hizo en el prototipo de implementación fue con una bomba eléctrica. Eso conlleva a que las posibilidades de aplicación no sólo se limitan a una sola necesidad, sino que es adaptable en situaciones donde se desea el aseguramiento de la relevancia y utilidad a largo plazo para su aplicación en diferentes contextos industriales.

#### **4.1.2 Recomendaciones**

El presente proyecto se diseñó el dispositivo IoT para monitoreo de bombas a diésel del cual está abierto a mejoras entre ellos:

- Implementar una configuración en el diseño de agua para las bombas. En este caso es necesario un ajuste en cuanto a la entrada de presión con la



que va el agua que permitiría un análisis de la eficiencia que supere la limitación del 20% en eficiencia.

- Incorporar elementos de protección como varistores, diodos de protección, fusibles o capacitores de desacoplamiento tanto para la placa como los sensores, promoviendo su durabilidad y fiabilidad en condiciones adaptativas adversas. Además de, la integración de sensores de temperatura y vibración para la extensión de la capacidad de monitoreo.
- Emplear un sistema de filtración de señales más robusto como el filtro pasa bajo, filtro de mediana, filtro pasa-banda en otros, para la mejora de adquisición de datos y el procesamiento de estos en cuanto a precisión y calidad de la información.
- Implementar elementos de aislamiento de ruidos, como blindajes, técnicas de acondicionamiento de señales que minimicen las interferencias garantizando integridad en la información transmitida, indistinto del medio de operación de la bomba.
- Aprovechar al máximo la escalabilidad y flexibilidad conectando más bombas para el estudio de los diferentes tipos de sistemas con la finalidad de una validación de aplicabilidad en un rango de amplios escenarios, asegurando su relevancia y eficacia en un período a largo plazo.

## Referencias

- [1] INEC, «Estadísticas Agropecuarias|». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- [2] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, y M. Palaniswami, «Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions», *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, n.º 7, pp. 1645-1660, sep. 2013, doi: 10.1016/J.FUTURE.2013.01.010. Accedido: 18 de agosto de 2024.
- [3] «DATOMS – Industrial IoT Platform for OEMs & System Integrators». Accedido: 30 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://datoms.io/>
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, y M. Ayyash, «Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications», *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 17, n.º 4, pp. 2347-2376, oct. 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095. Accedido: 18 de agosto de 2024.
- [5] L. B. Furstenuau *et al.*, «Internet of things: Conceptual network structure, main challenges and future directions», *Digital Communications and Networks*, vol. 9, n.º 3, pp. 677-687, jun. 2023, doi: 10.1016/J.DCAN.2022.04.027. Accedido: 10 de agosto de 2024.
- [6] D. P. Viana *et al.*, «Diesel Engine Fault Prediction Using Artificial Intelligence Regression Methods», *Machines 2023, Vol. 11, Page 530*, vol. 11, n.º 5, p. 530, may 2023, doi: 10.3390/MACHINES11050530. Accedido: 10 de agosto de 2024
- [7] J. B. . Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Book Company, 1988. Accedido: 15 de julio de 2024
- [8] «Diesel Engine In-Line Injection System - MATLAB & Simulink - MathWorks América Latina». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/hydro/ug/diesel-engine-in-line-injection-system-il.html>
- [9] «Pump Handbook - Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald - Google Books». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Pump\\_Handbook.html?id=2QioAAr4mUC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Pump_Handbook.html?id=2QioAAr4mUC&redir_esc=y)
- [10] LEV. NELIK, *CENTRIFUGAL & ROTARY PUMPS: fundamentals with applications*. CRC PRESS, 2019. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea].

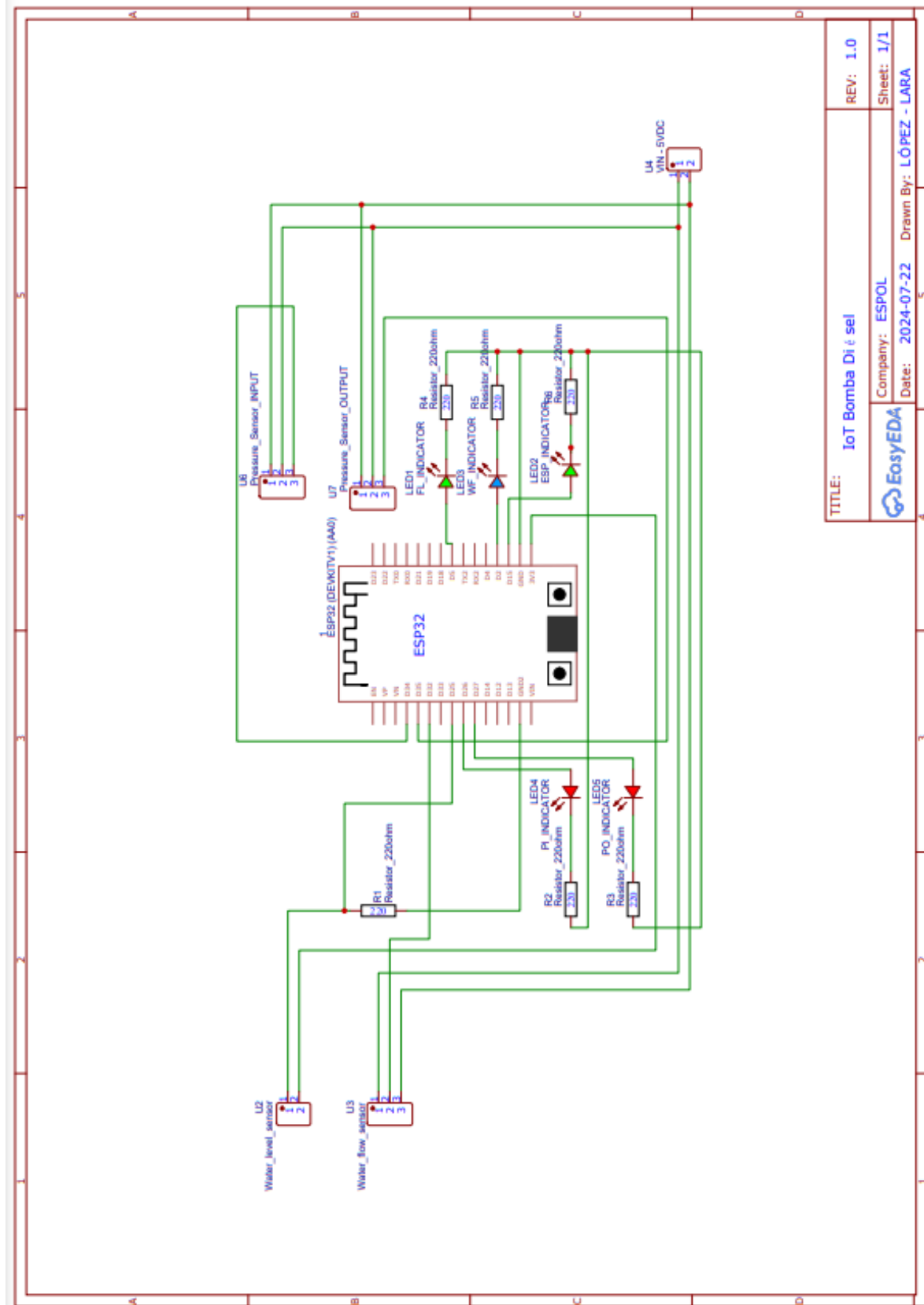
- Disponible en: <https://www.routledge.com/Centrifugal--Rotary-Pumps-Fundamentals-With-Applications/Nelik/p/book/9780367399870>
- [11] «BOMBA CENTRIFUGA HF 20A-N\_5.5HP 220-440V/60 HZ TRIF 4X4 NPT - Pedrollo Bombas de Agua Ecuador». Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://pedrollo.com.ec/producto/bomba-centrifuga-hf-20a-n\\_5-5hp-220-440v-60-hz-trif-4x4-npt/](https://pedrollo.com.ec/producto/bomba-centrifuga-hf-20a-n_5-5hp-220-440v-60-hz-trif-4x4-npt/)
- [12] S. Yedidiah, «Centrifugal Pump User's Guidebook», *Centrifugal Pump User's Guidebook*, 1996, doi: 10.1007/978-1-4613-1217-8. Accedido: 15 de julio de 2024.
- [13] «Riego Ecuador». Accedido: 30 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.riegoecuador.com/index.php/productos/aspersor-1-2-xcel>
- [14] «Riego Ecuador». Accedido: 19 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.riegoecuador.com/index.php/productos/aspersor-1in-spring->
- [15] Y. ; Wang *et al.*, «A Review of Optimal Design for Large-Scale Micro-Irrigation Pipe Network Systems», *Agronomy* 2023, Vol. 13, Page 2966, vol. 13, n.º 12, p. 2966, nov. 2023, doi: 10.3390/AGRONOMY13122966. Accedido: 15 de julio de 2024.
- [16] J. Kestin, M. Sokolov, y W. A. Wakeham, «Viscosity of liquid water in the range  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ », *J Phys Chem Ref Data*, vol. 7, n.º 3, pp. 941-948, jul. 1978, doi: 10.1063/1.555581. Accedido: 10 de agosto de 2024.
- [17] «Catálogo de Tuberías Tigre». Accedido: 30 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.riegoecuador.com/uploads/catalogo/1664571047.pdf>
- [18] «NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11 CAPÍTULO 16 NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA». [Online]. Accedido: 1 de julio de 2024.
- [19] H. Kudela, «Hydraulic losses in pipes». Accedido: 2 de agosto de 2024.
- [20] «3 SERIES Data Book 60Hz 3 SERIES CENTRIFUGAL PUMPS». Accedido: 30 de junio de 2024.
- [21] «Sensor de presión DC5V G1/4, transmisor, transductor de presión 1,2 MPa 174 PSI para agua, Gas, aire, aceite, combustible, interruptor de acero inoxidable para coche - AliExpress 1420». Accedido: 31 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/33024627641.html>

- [22] «Sensor de flujo de agua 1" FS-400A». Accedido: 31 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-liquido/233-sensor-de-flujo-de-agua-1-fs400a.html>
- [23] «Sensor Detección de Agua para Arduino | Aprendiendo Arduino». Accedido: 31 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/10/17/sensor-deteccion-de-agua-para-arduino/>
- [24] «Arranque directo de motor monofásico CADESIMU / Direct start of single-phase motor - YouTube». Accedido: 31 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Ov1fm-WPNbY>

## Apéndices

# Apéndice A

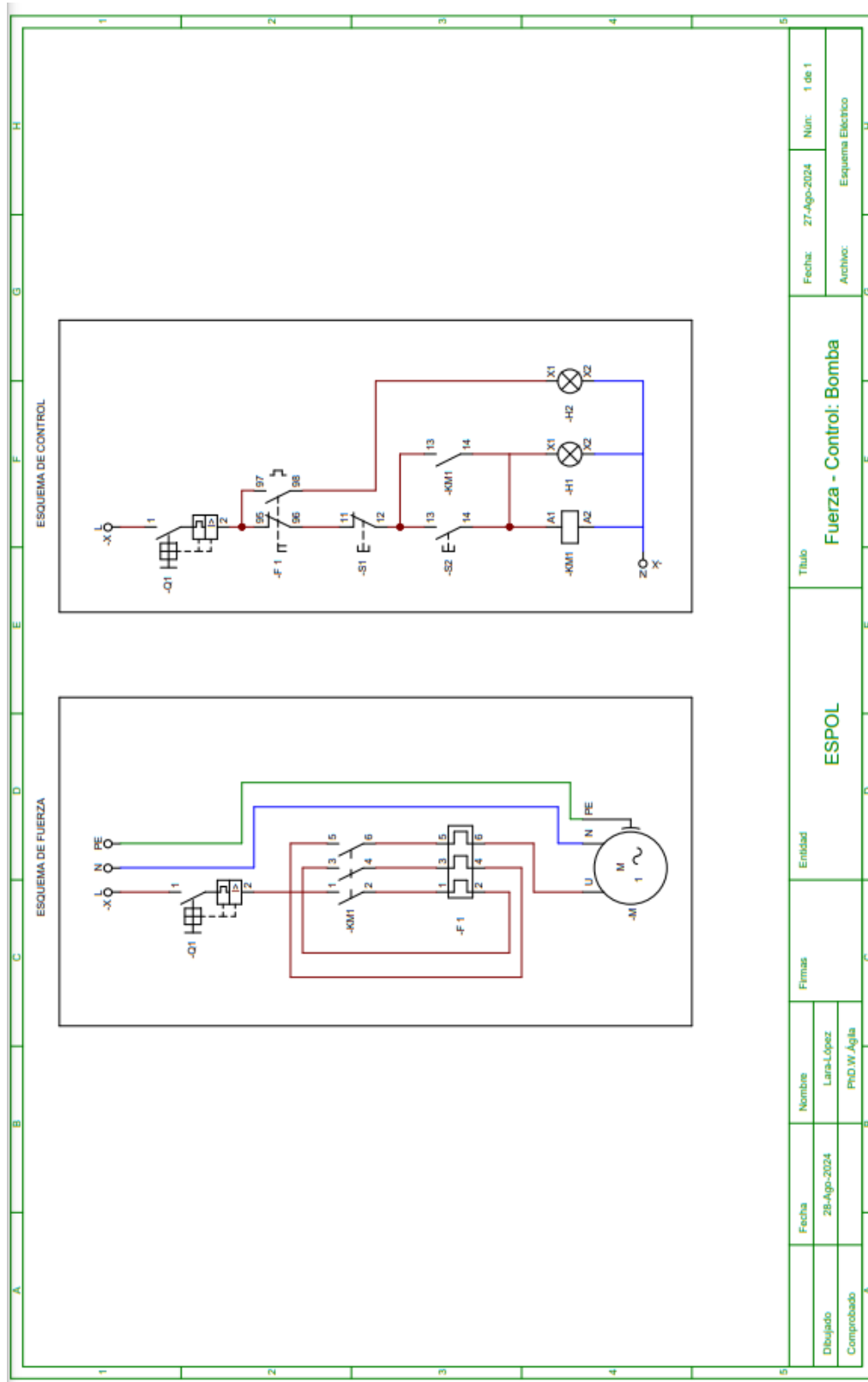
Figura A.1 Diagrama esquemático de conexiones para el sistema electrónico



TITLE: IoT Bomba Di t sel	REV: 1.0
Company: ESPOL	Sheet: 1/1
Date: 2024-07-22	Drawn By: LÓPEZ - LARA

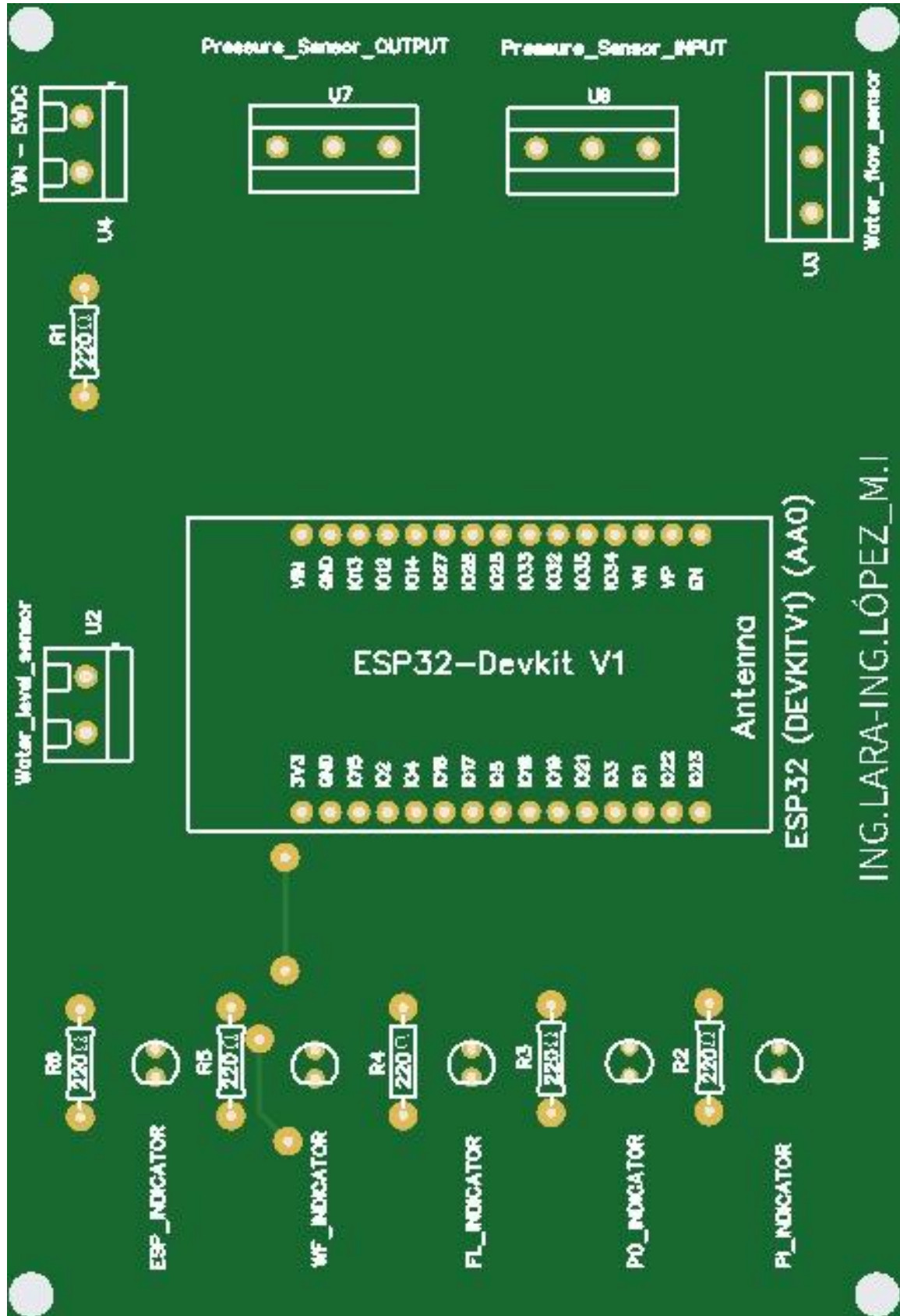
## Apéndice B

**Figura B.1** Diagrama de fuerza y control para la implementación de la bomba en el caso propuesto.



Apéndice C

Figura C.1 Vista superior renderizada de la PCB





**Figura C.2** Vista inferior renderizada de la PCB

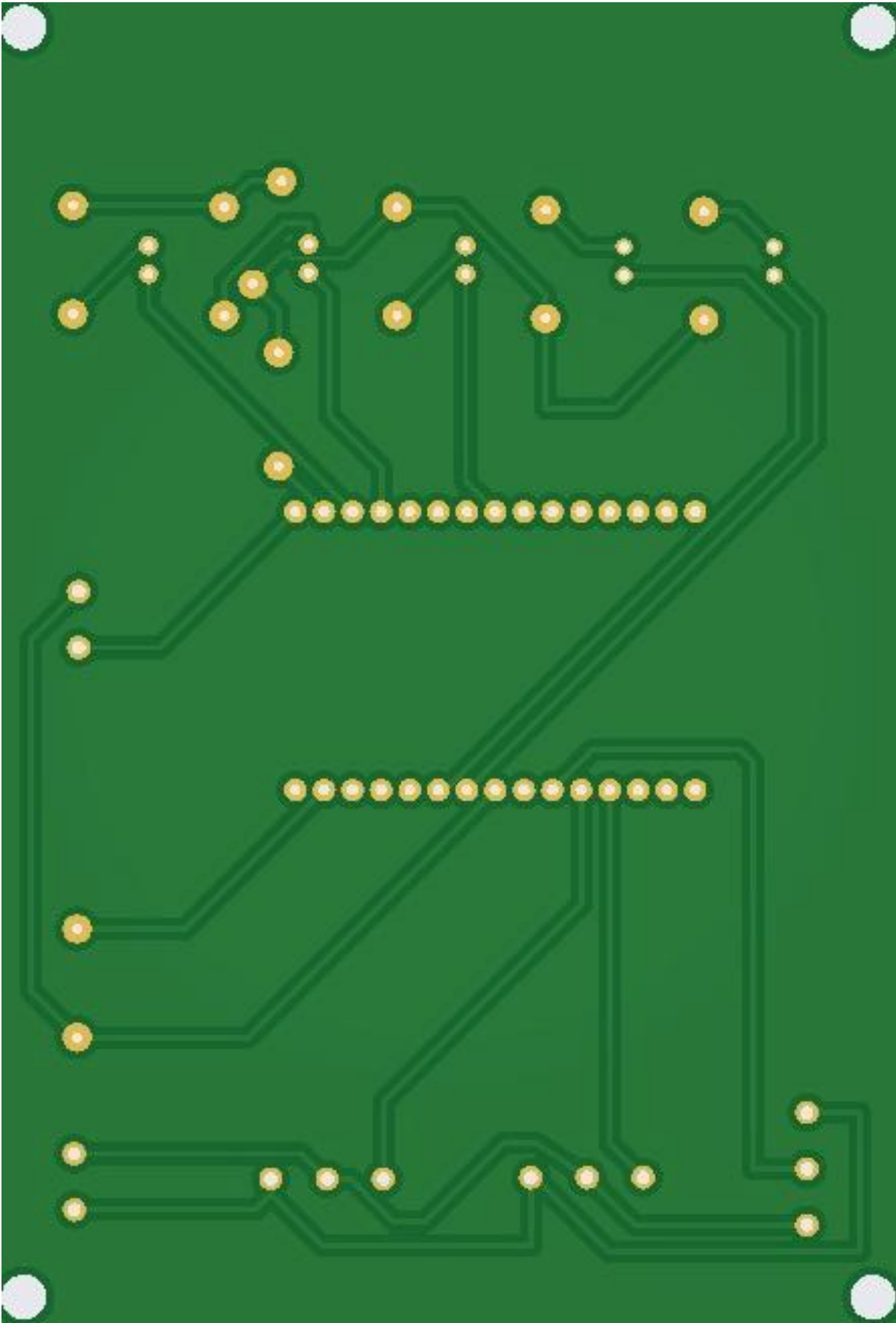
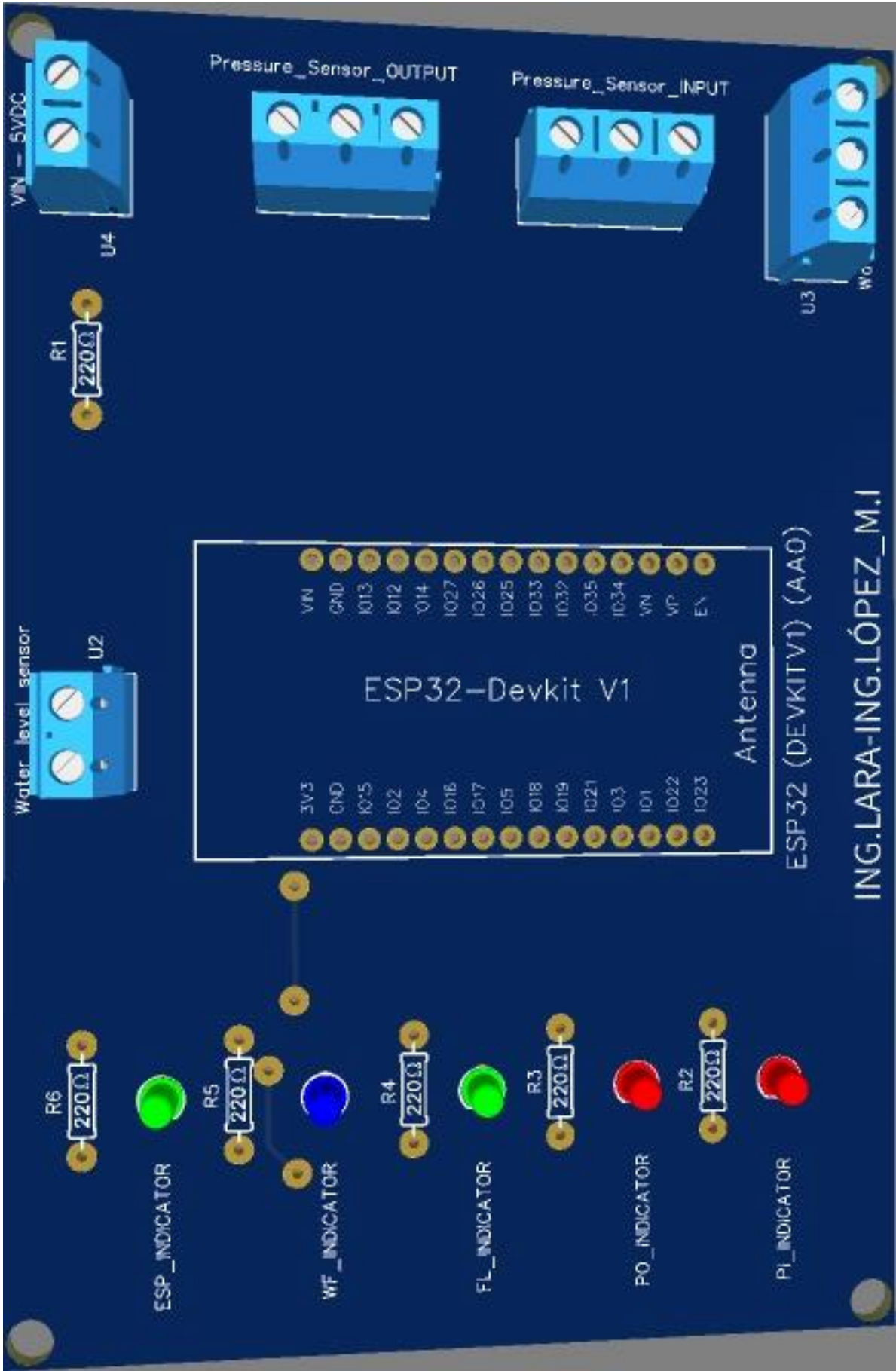


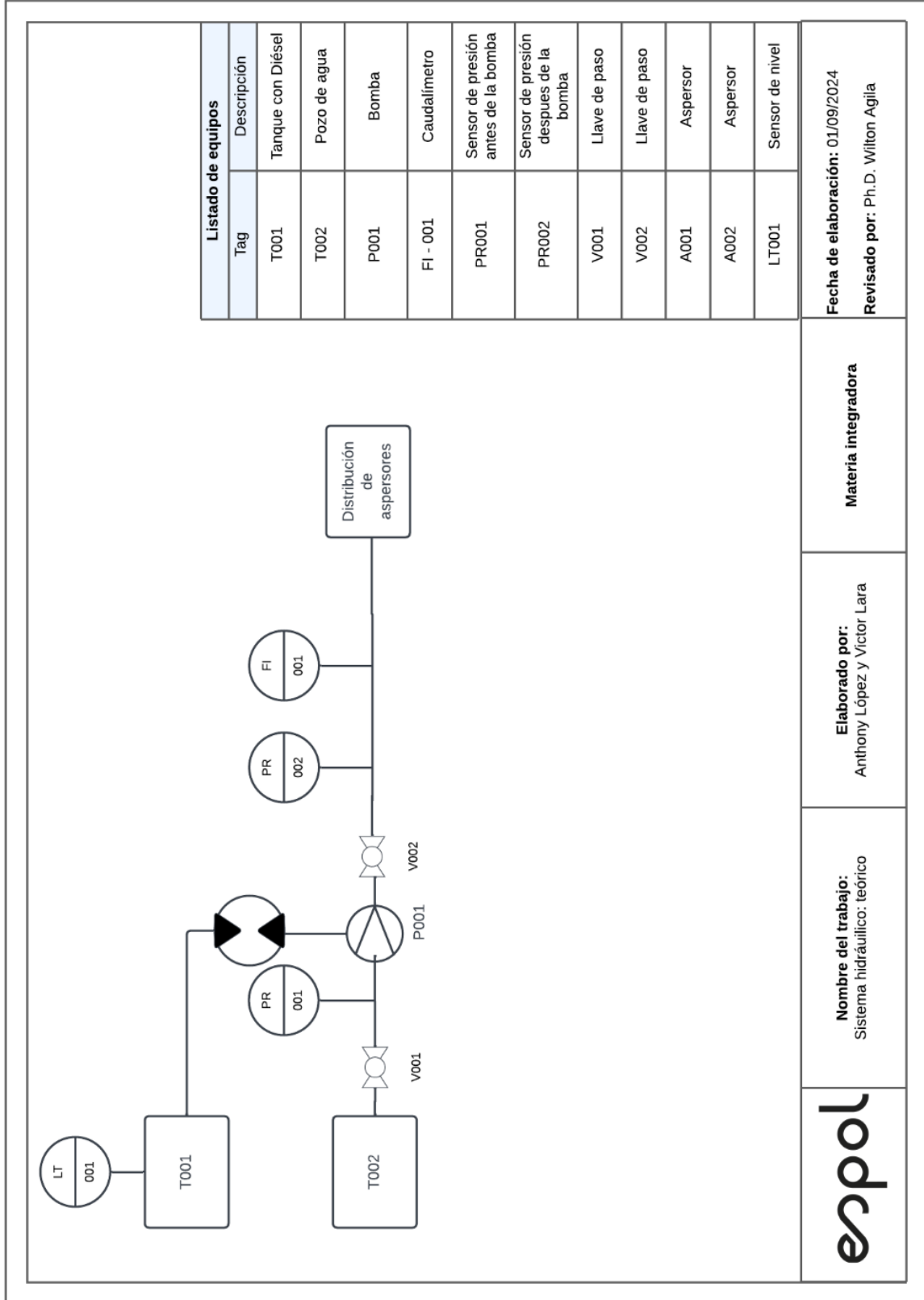
Figura C.3 Vista superior renderizada de la PCB con los componentes



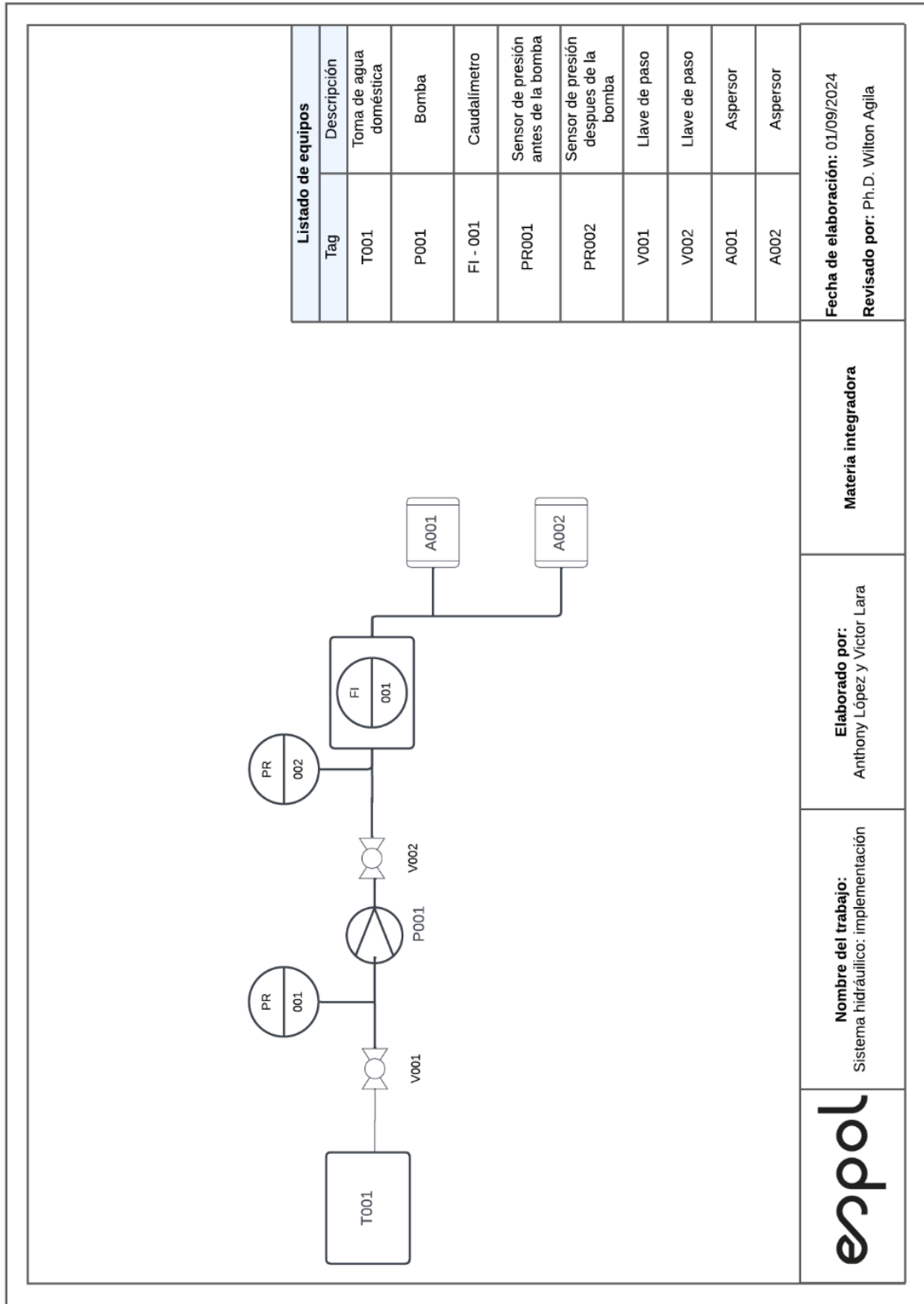
ING.LARA-ING.LÓPEZ\_M.I

## Apéndice D

**Figura D.1** Diagrama hidráulico caso teórico



**Figura D.2** Diagrama hidráulico implementación

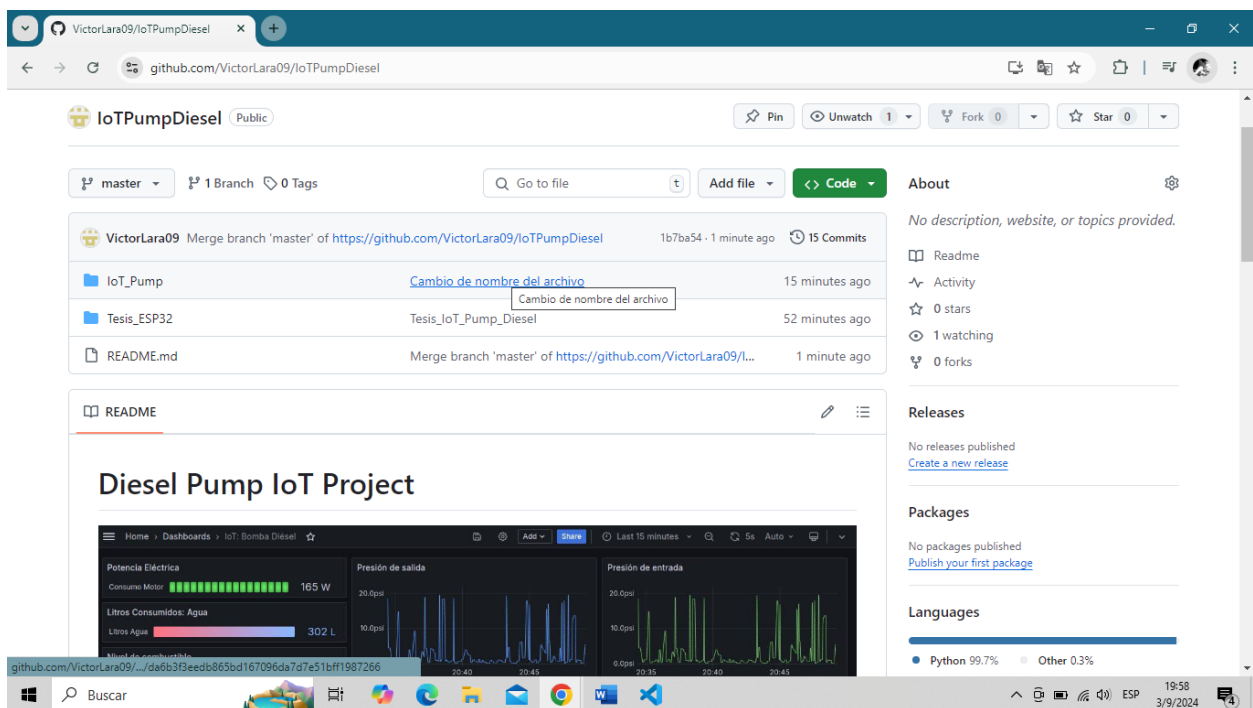


Listado de equipos	
Tag	Descripción
T001	Toma de agua doméstica
P001	Bomba
FI - 001	Caudalímetro
PR001	Sensor de presión antes de la bomba
PR002	Sensor de presión despues de la bomba
V001	Llave de paso
V002	Llave de paso
A001	Aspersor
A002	Aspersor

	<b>Nombre del trabajo:</b> Sistema hidráulico: implementación	<b>Elaborado por:</b> Anthony López y Víctor Lara	<b>Materia integradora</b>
<b>Fecha de elaboración:</b> 01/09/2024		<b>Revisado por:</b> Ph.D. Wilton Agüila	

## Apéndice E

En este apéndice se facilita el enlace al repositorio de GitHub con las carpetas respectivas tanto como la configuración de los servicios como la programación del microcontrolador ESP32. Dentro de la carpeta 'IoT\_Pump' se encuentran los archivos 'README.md' pertinentes a la configuración de los servicios empleados como Docker, la ejecución del script, MQTT y Grafana.



The screenshot shows the GitHub repository page for 'IoT Pump Diesel' by VictorLara09. The repository is public and has 1 branch (master) and 0 tags. The commit history shows three recent commits: a merge of the master branch (15 commits ago), a file name change in the IoT\_Pump folder (15 minutes ago), and another file name change in the Tesis\_ESP32 folder (52 minutes ago). The README section is titled 'Diesel Pump IoT Project' and features a dashboard preview with three panels: 'Potencia Eléctrica' (165 W), 'Litros Consumidos: Agua' (302 L), and two pressure graphs ('Presión de salida' and 'Presión de entrada'). The dashboard also shows a 'Share' button and a 'Last 15 minutes' filter. The right sidebar contains sections for 'About', 'Releases', 'Packages', and 'Languages' (Python 99.7%, Other 0.3%).

**Enlace:** <https://github.com/VictorLara09/IoTPumpDiesel.git>