



**Automatización de filtro en la etapa de prefiltración en una planta de ultrafiltración.**

Ivan Andres Atis Tacan

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Carlos Andrés Trujillo Suarez, Doctor (PhD) en Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Mecánica  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2024

---

Cita

(Atis Tacan, 2024)

---

Referencia

(Atis Tacan, 2024). *Automatización de filtro en la etapa de prefiltración en una planta de ultrafiltración*. [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)

---



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Gloria Esperanza Tacan y Luis Arturo Atis, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido la fuerza impulsora detrás de cada paso que he dado hacia la obtención de mi título de pregrado.

A ustedes, quienes han sido mis guías, mi inspiración y mi mayor apoyo, les dedico este logro con todo mi corazón; sus palabras de aliento, su apoyo inquebrantable y su constante presencia en momentos difíciles.

Este informe es más que un documento académico; es un testimonio de su amor, su dedicación y su infinita fe en mí. Espero que este loro llene de orgullo tanto como a mí me llena de gratitud tenerlos como mis padres.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental de mi trayectoria durante la realización de mis prácticas y la elaboración de este informe final. A mis amigos, quienes han sido un sostén invaluable durante los momentos desafiantes y un motivo de alegría en los éxitos compartidos. Su constante apoyo y comprensión han sido un regalo preciado. A mis profesores, cuya dedicación y orientación han enriquecido mi aprendizaje y contribuido significativamente a mi desarrollo profesional. Su guía experta ha sido fundamental en mi formación. Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Don Jaime, dueño de la empresa Grupo HOH S.A.S, por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas en su empresa. Su compromiso con mi aprendizaje y su constante preocupación por mi formación integral han dejado una huella imborrable en mi experiencia. A todas las personas que de alguna manera han contribuido a mi crecimiento personal y profesional, les estoy sinceramente agradecido. Cada interacción, cada consejo y cada experiencia compartida ha sido invaluable para mi desarrollo. Finalmente, quiero agradecer a la institución educativa por su respaldo y por proporcionarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas académicas. Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la confianza de todas estas personas y entidades. A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento.

## Tabla de contenido

Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
1 Planteamiento del problema .....	13
2 Justificación.....	14
3 Objetivos .....	15
3.1 Objetivo general .....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4 Marco teórico .....	16
4.1 Ultrafiltración .....	17
4.2 Prefiltración.....	18
4.2.1 Tipos de filtros .....	19
5 Metodología .....	23
5.1 Etapa 1: Identificación de funcionamiento del filtro.....	24
5.2 Etapa 2: Diseño y modelado del sistema.....	24
5.3 Etapa 3: Fabricación, selección de motor y pruebas del sistema mecánico .....	33
5.4 Electrónica y control .....	38
5.4.1 Microcontrolador .....	38
5.4.2 Sensor de diferencial de presión .....	38
5.4.3 Válvula de drenaje .....	40
6 Resultados .....	46
6.1 Prueba de funcionamiento inicial.....	46

6.2	Activación del sistema de control .....	47
6.3	Precisión del sensor de diferencial de presión .....	48
6.4	Inspección visual de los componentes impresos en 3D .....	49
6.5	Prueba de funcionamiento final.....	49
7	Discusión.....	53
8	Conclusiones .....	54
	Referencias .....	57
	Anexos.....	58

## Lista de tablas

Tabla 1: Lista de partes. ....	27
Tabla 2: Propiedades mecánicas de PLA y CCFR-PLA. ....	34
Tabla 3: Características del motor. ....	36
Tabla 4: Características de la caja reductora. ....	36
Tabla 5: Datos de voltaje y presión. ....	39
Tabla 6: Lista de partes. ....	44
Tabla 7: comparación de presiones entre el compresor y sensor. ....	48
Tabla 8: Material de obra. ....	51

## Lista de figuras

Figura 1: Planta de ultrafiltración UF-LL. ....	17
Figura 2: Funcionamiento de las membranas.....	18
Figura 3: Filtros de malla para sistemas de riego.....	19
Figura 4: Filtro de cartucho.....	20
Figura 5: Estructura de un filtro de arena.....	21
Figura 6: Etapas de prefiltración. ....	22
Figura 7: Proceso de ingeniería inversa. ....	23
Figura 8: Filtro para automatizar.....	23
Figura 9: Despiece del filtro.....	24
Figura 10: Filtro modelado en formato CAD.....	25
Figura 11: Despiece del filtro.....	26
Figura 12: Movimientos al girar la manivela. ....	28
Figura 13: Mecanismo de tornillo autorreversible. ....	28
Figura 14: Base.....	29
Figura 15: Tornillo autorreversible. ....	30
Figura 16: Seguidor.....	31
Figura 17: Seguro del seguidor. ....	31
Figura 18: Eje sin rosca.....	31
Figura 19: Base del motor. ....	32
Figura 20: Acople.....	32
Figura 21: Sistema mecánico ensamblado. ....	33
Figura 22: Esfuerzo Vs Deformación.....	34
Figura 23: Carga Vs Desplazamiento.....	34

Figura 24: Componentes del sistema mecánico fabricados en CCFR-PLA.....	35
Figura 25: Soporte de motor.....	35
Figura 26: Motor seleccionado.....	36
Figura 27: Ensamble de los componentes con el filtro. ....	37
Figura 28: Placa de desarrollo basada en el ESP32. ....	38
Figura 29: Sensor de diferencial de presión MPX5700DP. ....	39
Figura 30: Curva de calibración. ....	40
Figura 31: Válvula de drenaje. ....	40
Figura 32: Ensamble de pantalla. ....	41
Figura 33: Ensamble de los componentes electrónicos.....	41
Figura 34: sistema de control. ....	42
Figura 35: Despiece final. ....	43
Figura 36: Montaje final de los sistemas.....	45
Figura 37: Compresor con el que se realizó la prueba inicial. ....	46
Figura 38: Presión máxima durante la prueba.....	47
Figura 39: Curvas de presión para compresor y sensor. ....	49
Figura 40: Montaje global del sistema. ....	50
Figura 41: Filtro automatizado.....	50

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>UF</b>	Ultrafiltración
<b>IoT</b>	Internet of things (Internet de las cosas)
<b>MF</b>	Microfiltración
<b>NF</b>	Nanofiltración
<b>MP</b>	Magistrado Ponente
<b>PTM</b>	Presión transmembrana
<b>PLA</b>	Ácido poliláctico
<b>3D</b>	3 dimensiones
<b>CAD</b>	Computer-aided desing and drafting
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

### Resumen

Este proyecto se centra en el desarrollo y la implementación de un sistema automatizado de filtración, diseñado para operar sin intervención manual el cual será implementado como complemento a las plantas de potabilización de agua por medio de la ultrafiltración que fabrica la empresa Grupo HOH S.A.S.

Con el desarrollo de este sistema se busca reducir los tiempos de mantenimiento, logrando así una mayor eficiencia en las plantas de ultrafiltración y a su vez reduciendo los costos operativos de las mismas.

Por otra parte, también se busca que los elementos y procesos empleados sean de bajo costo y alta durabilidad para aplicaciones industriales, por esta razón se utilizó impresión 3D para realizar las piezas del sistema mecánico lo que permitió una construcción rápida y económica, además de una personalización precisa de los componentes mecánicos, también, se destaca la integración de tecnología IoT por medio de un microcontrolador el cual se encarga de gestionar todo el sistema.

Finalmente, los resultados indicaron que el sistema automatizado funciona de manera eficiente, activando y desactivando los componentes críticos en respuesta a las condiciones del sistema, lo que garantiza una operación continua y efectiva sin necesidad de intervención humana. Este éxito demuestra el potencial de la automatización y la integración de microcontroladores en la industria, especialmente en aplicaciones IoT, donde la conectividad y la operación autónoma son esenciales para mejorar la eficiencia y reducir costos operativos.

*Palabras clave:* Diseño, ultrafiltración, prefiltración, automatización, fabricación.

### Abstract

This project focuses on the development and implementation of an automated filtration system designed to operate without manual intervention. This system will be integrated as a complement to the water purification plants using ultrafiltration manufactured by Grupo HOH S.A.S. The aim of this system is to reduce maintenance times, thereby increasing the efficiency of the ultrafiltration plants and, at the same time, lowering their operational costs.

Furthermore, the project seeks to ensure that the materials and processes used are both cost-effective and highly durable for industrial applications. For this reason, 3D printing was employed to produce the mechanical components of the system, allowing for rapid and economical construction, as well as precise customization of the mechanical parts. Additionally, the integration of IoT technology is highlighted through the use of a microcontroller that manages the entire system.

Finally, the results indicated that the automated system operates efficiently, activating and deactivating critical components in response to system conditions, ensuring continuous and effective operation without the need for human intervention. This success demonstrates the potential of automation and microcontroller integration in the industry, particularly in IoT applications, where connectivity and autonomous operation are essential for improving efficiency and reducing operational costs.

*Keywords:* Desing, ultrafiltration, pre-filtration, automation, manufacturing.

## Introducción

En el ámbito industrial, la eficiencia y la reducción de costos operativos son factores críticos para la competitividad un caso específico es mantenimiento filtración, como aquellos utilizados en plantas de tratamiento de agua, no solo es costoso sino también propenso a errores humanos que pueden afectar la calidad y continuidad del proceso. Este documento presenta el desarrollo de un sistema de filtración automatizado que busca eliminar la necesidad de intervención manual, mejorando la precisión y consistencia en la operación mediante el uso de tecnologías avanzadas como la impresión 3D y la integración de microcontroladores con capacidades IoT.

El proyecto fue motivado por la necesidad de crear un sistema confiable y eficiente que pudiera operar de manera autónoma, realizando procesos de retro lavado en respuesta a condiciones específicas de presión diferencial. Se utilizó un microcontrolador para controlar el sistema, tomando señales de un sensor de diferencial de presión para activar la válvula y el motor que hacen parte del sistema.

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar y validar un sistema automatizado de filtración que garantice un funcionamiento continuo y efectivo. La metodología incluyó el diseño y fabricación del sistema mecánico, la implementación del sistema de control, y la realización de pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas, dichas pruebas indicaron que el sistema cumple con los objetivos planteados, demostrando una operación confiable.

## 1 Planteamiento del problema

En Grupo HOH S.A.S. la eficiencia operativa y la calidad son de suma importancia para garantizar el suministro de agua potable, segura y limpia a los clientes. En este contexto la etapa de prefiltración en las plantas de ultrafiltración (UF) desempeña un papel crucial en la eliminación de partículas y materiales suspendidos presentes en el agua, preparándola para su posterior tratamiento en el proceso de ultrafiltración.

Sin embargo, uno de los principales problemas que se encuentra en la empresa radica en el proceso de los filtros de malla utilizados en la etapa de prefiltración. Actualmente este proceso se realiza de manera manual, lo que conlleva a tiempos de inactividad y reducción en la producción de agua. Además, dado que muchas de las plantas son instaladas en áreas remotas o de difícil acceso, la movilización de operarios para el mantenimiento de los filtros resulta logísticamente complicada. En el momento el problema se centra en la necesidad de optimizar la operación y mantenimiento de las plantas UF, especialmente en lo que respecta a la etapa de prefiltración. La falta de una solución eficiente para la limpieza de los filtros afecta negativamente la eficiencia operativa de las plantas dificultando el cumplimiento de producción de agua garantizada por la empresa.

## 2 Justificación

El presente proyecto surge de la necesidad de mejorar una de las etapas en el proceso de potabilización de agua mediante UF haciendo uso de tecnología y la integración de diferentes disciplinas de la ingeniería. La etapa de prefiltración en las plantas de potabilización por UF fabricadas por Grupo HOH S.A.S. representa un punto crítico en el proceso, donde la eficiencia operativa y la producción de agua potable se ven afectados significativamente por los métodos tradicionales de limpieza manual utilizados actualmente en los filtros de malla.

Es por esto que se hace necesario la búsqueda de soluciones innovadoras que permitan optimizar los procesos de limpieza de los filtros utilizados en las plantas. Por lo que se propone la automatización de la limpieza de los filtros mediante el diseño y desarrollo de un sistema mecánico y electrónico, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y de esta manera reducir los costos asociados al mantenimiento y operación.

Por otro lado, teniendo en cuenta la creciente tendencia del uso de la tecnología en la industria, este proyecto es un claro ejemplo de cómo la aplicación de la tecnología puede generar impactos significativos en la mejora de sistemas y procesos industriales al aprovechar la conectividad a internet y la monitorización remota con lo cual se puede tener un control más preciso y eficiente del estado de funcionamiento de los filtros, lo que contribuye a una gestión más inteligente y eficaz de los recursos hídricos.

Finalmente es importante mencionar que este proyecto no solo busca resolver un problema específico en el tratamiento de aguas, sino que también destaca el potencial de la tecnología y la interdisciplinariedad en la ingeniería para impulsar la innovación y mejorar la eficiencia en sistemas y procesos industriales claves para el bienestar humano y desarrollo sostenible.

### 3 Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema automatizado para la limpieza de filtros de malla utilizados en plantas de potabilización de agua mediante ultrafiltración, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y garantizar la calidad del agua producida.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis detallado de los requisitos del sistema de mantenimiento del filtro, considerando las necesidades específicas de la planta y los procesos de ultrafiltración.
- Diseñar un sistema de monitoreo y control automático que sea compatible con la infraestructura existente de la planta de potabilización.
- Implementar el sistema automatizado, integrando componentes mecánicos, sensores, actuadores y sistemas de control para el monitoreo continuo del estado del filtro.

#### 4 Marco teórico

El tratamiento del agua es un proceso esencial para garantizar que el agua sea segura para el consumo humano, para su uso en procesos industriales y para la protección del medio ambiente. La creciente demanda de agua potable y la presión sobre los recursos hídricos debido al crecimiento poblacional, la urbanización y la industrialización subrayan la importancia de contar con sistemas de tratamiento de agua eficientes y sostenibles, es por esto que la búsqueda de nuevas tecnologías y métodos innovadores han permitido avances significativos en este campo, mejorando la eficiencia de los procesos de tratamiento y asegurando la disponibilidad de agua de calidad.

El principal objetivo del tratamiento de agua es eliminar o reducir los contaminantes presentes en el agua cruda para que cumpla con los estándares de calidad necesarios para su uso, estos contaminantes incluyen microorganismos, sólidos suspendidos, sustancias químicas tóxicas y nutrientes en exceso. Según Tchobanoglous [1], el tratamiento de agua implica una serie de procesos físicos, químicos y biológicos diseñados para remover estas impurezas y garantizar que el agua sea segura para su uso final, teniendo en cuenta esto, a través del tiempo se ha venido implementado nuevas tecnologías para el tratamiento de agua, algunas de las innovaciones más destacadas incluyen tecnologías de membrana como lo son las membranas de ultrafiltración, microfiltración y osmosis inversa, que han revolucionado el tratamiento de agua permitiendo la eliminación eficiente de contaminantes que antes eran difíciles de remover. Estas tecnologías no solo mejoran la calidad del agua tratada, sino que también aumentan la eficiencia energética y reducen los costos operativos [2].

Por otra parte, el desarrollo de sensores avanzados y sistemas de control basados en internet de las cosas (IoT) ha permitido el monitoreo en tiempo real de los parámetros de calidad del agua y la automatización de los procesos de tratamiento. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite una respuesta rápida a cualquier problema que pueda surgir, garantizando así una calidad constante del agua tratada [3].

Estas innovaciones tecnológicas han transformado el tratamiento de agua, haciéndolo más eficiente, sostenible y capaz de enfrentar los desafíos actuales y futuros relacionados con la escasez del agua y la contaminación.

Teniendo en cuenta las nuevas tecnologías de tratamiento de agua, Grupo HOH S.A.S. se dedica más específicamente a la fabricación de plantas para tratamiento de agua por medio de la ultrafiltración (Figura 1).



*Figura 1: Planta de ultrafiltración UF-LL.*

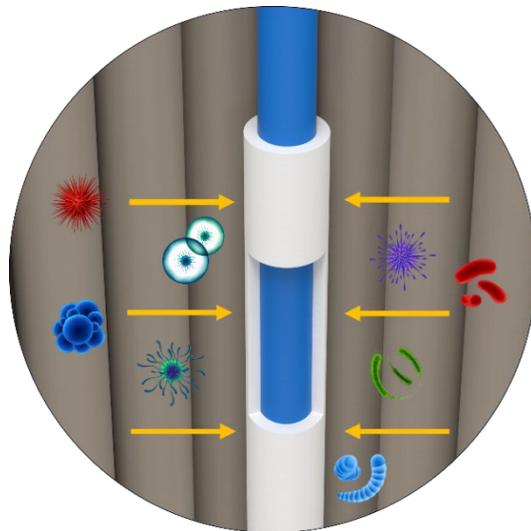
#### 4.1 Ultrafiltración

La ultrafiltración (UF) es un proceso de separación por membranas ampliamente utilizado en el tratamiento de agua y aguas residuales. Este proceso emplea membranas porosas semipermeables para eliminar partículas de tamaño coloidal del agua, incluyendo bacterias, virus, proteínas y macromoléculas orgánicas. La ultrafiltración se encuentra entre la microfiltración (MF) y la nanofiltración (NF) en términos de tamaño de poro y capacidad de eliminación, típicamente eliminando partículas en el rango de 0,01 a 0,1 micrómetros. La importancia de la UF radica en su capacidad para proporcionar agua de calidad sin la necesidad de productos químicos adicionales, lo que la hace fundamental en aplicaciones municipales como industriales.

Más técnicamente la ultrafiltración funciona mediante la aplicación de presión a través de las membranas, permitiendo que el agua pase a través de la membrana, mientras que las partículas

más grandes quedan retenidas en su exterior. La presión transmembrana (PTM), generalmente entre 3 y 22 psi, es esencial para forzar el paso del agua a través de la membrana mientras se retienen los contaminantes, es importante mencionar que la calidad del agua de alimentación influye significativamente en la eficiencia de separación y la capacidad de filtración de la membrana [4].

Durante la operación, el agua se introduce en el módulo de membranas donde la presión aplicada impulsa el agua a través de las membranas, dejando atrás los contaminantes en la superficie de las membranas o dentro de sus estructuras porosas (Figura 2), es por esto que la limpieza de las membranas es necesaria para mantener su rendimiento y prevenir el fouling, un fenómeno en el cual los poros de las membranas se obstruyen, reduciendo su permeabilidad las técnicas de lavado incluyen el lavado con agua, el uso de soluciones químicas para disolver o descomponer los contaminantes acumulados, y el uso de técnicas físicas como enjuagues, retro lavado y flujo de aire dentro de los módulos [5]. En Grupo HOH S.A.S. además de estas técnicas de limpieza se utiliza una etapa de prefiltración que tiene como objetivo reducir el fouling mediante la eliminación de partículas de mayor tamaño y sedimentos presentes en el agua cruda, asegurando así el funcionamiento óptimo de las membranas a lo largo del tiempo.



*Figura 2: Funcionamiento de las membranas.*

## 4.2 Prefiltración

La prefiltración es una forma de filtración diseñada específicamente para retener y eliminar sedimentos, partículas sólidas y materia orgánica de mayor tamaño, preparando así el agua cruda para procesos de purificación más avanzados como los de ultrafiltración, nanofiltración y otros métodos de membrana.

### 4.2.1 Tipos de filtros

Existen varios tipos de filtros utilizados comúnmente en etapas de prefiltración de sistemas de tratamiento de agua, cada tipo de filtro tiene características específicas que lo hacen adecuado para diferentes aplicaciones y condiciones del agua de alimentación.

#### 4.2.1.1 Filtros de malla

Los filtros de malla (Figura 3) funcionan mediante un medio filtrante compuesto por una red de hilos entrelazados que forman una estructura porosa, esta red permite el paso del agua mientras retiene partículas de mayor tamaño. La eficacia de los filtros de malla depende del tamaño de los poros en la malla que pueden variar desde micrones a milímetros lo que permite la retención de una amplia gama de partículas, la selección del tamaño de poros puede variar según las necesidades del proceso de tratamiento y del caudal requerido.

Estos filtros se fabrican en una variedad de materiales, incluyendo acero inoxidable, nylon y polipropileno, estos materiales ofrecen diferentes niveles de resistencia y flexibilidad lo que permite su utilización en diversas aplicaciones, desde el tratamiento de agua potable hasta la protección de equipos sensibles en procesos industriales y sistemas de riego agrícola. Por otra parte, la limpieza de estos filtros es importante para su eficiencia, esta limpieza puede ser realizada de manera manual, por medio de sistemas de autolimpieza o en el caso de desgaste o daño es necesario el remplazo de mallas.



Figura 3: Filtros de malla para sistemas de riego.

#### 4.2.1.2 Filtros de cartucho

Estos filtros de cartucho (Figura 4) consisten en un medio filtrante contenido dentro de un cartucho cilíndrico el cual se instala dentro de una carcasa por la cual fluye el agua, estos cartuchos pueden contener diferentes materiales como poliéster, polipropileno, celulosa, fibra de vidrio o carbón activado, cada uno adecuado para diferentes aplicaciones y necesidades del proceso. El poliéster es conocido por su resistencia y durabilidad, adecuado para aplicaciones que requieran una alta capacidad de retención de partículas [6], el polipropileno ofrece resistencia química y térmica, lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales [], la celulosa, aunque es una opción de bajo costo, no es adecuada para resistencias químicas extremas. Las fibras de vidrio son valoradas por su alta capacidad de retención y resistencia térmica, finalmente los cartuchos que contienen carbón activado son particularmente eficaces en la eliminación de cloro y compuestos orgánicos que afectan el sabor y el olor del agua [7].



*Figura 4: Filtro de cartucho.*

En la mayoría de los casos, los cartuchos no se pueden limpiar puesto que estos son sellados y la limpieza de este tipo de filtros implica el remplazo del cartucho, lo cual implica un incremento en los costes asociados al mantenimiento de este tipo de filtros.

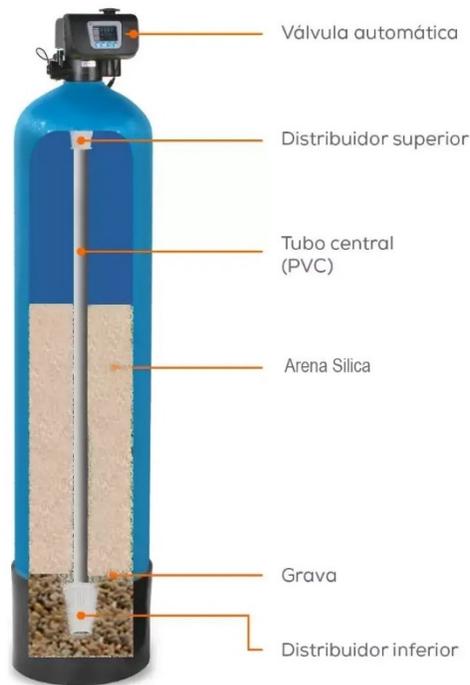
#### 4.2.1.3 Filtros de arena

En estos sistemas, el agua entra por la parte superior del filtro y atraviesa una capa de arena, donde las partículas y sedimentos son retenidos en los espacios entre los granos de arena, esta

retención de contaminantes abarca desde partículas visibles hasta microorganismos, dependiendo del tamaño de los granos de la arena y la configuración específica del filtro.

La estructura típica de estos filtros incluye capas de diferentes materiales dentro de un tanque de presión (Figura 5), por lo general en la parte inferior del tanque se usa grava, la cual actúa como soporte para la arena y previene la compactación de la capa de filtración. Esta configuración optimiza la eficiencia del proceso, especialmente en aplicaciones industriales y plantas de tratamiento de agua donde es crucial eliminar turbidez y microorganismos antes del tratamiento final.

El mantenimiento regular de estos filtros incluye el retro lavado periódico, donde se invierte el flujo del agua para eliminar las partículas acumuladas en las capas de arena y así restaurar su capacidad de filtración. Además, la reposición periódica de la arena es necesaria debido al desgaste natural y la compactación que ocurre con el tiempo, asegurando así un rendimiento óptimo del filtro [8].



*Figura 5: Estructura de un filtro de arena.*

En grupo HOH S.A.S. se ha optado por el uso de los filtros de malla en la etapa de prefiltración (Figura 6), esto basado en razones clave que hacen que los filtros de malla sean más adecuados que los demás tipos de filtros.

Al igual que los demás tipos de filtros, los filtros de malla son eficientes en la eliminación de partículas grandes y sedimentos antes de que el agua ingrese a los módulos de ultrafiltración protegiendo las membranas, prolongando su vida útil y manteniendo su eficiencia, además su diseño permite un flujo continuo de agua, lo cual asegura que el proceso de tratamiento de agua no tenga interrupciones.

Además, estos filtros son más compactos y ocupan menos espacio en comparación con otros tipos de filtros, esta característica es especialmente beneficiosa ya que cada día se busca que el tamaño de las plantas optimice el uso del espacio disponible sin comprometer la eficiencia de filtración.

Finalmente, el mantenimiento de los filtros es relativamente sencillo y menos costoso ya que pueden ser limpiados mediante retro lavado por medio del accionamiento de válvulas o de forma manual cuando el retro lavado no es suficiente, además, su durabilidad y resistencia aseguran una larga vida útil, minimizando la necesidad de remplazos frecuentes y reduciendo así los costos a largo plazo.

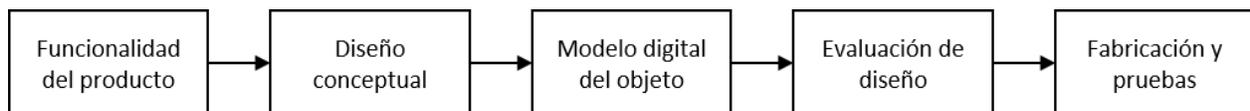


*Figura 6: Etapas de prefiltración.*

## 5 Metodología

En el desarrollo de este proyecto, se empleó la metodología de ingeniería inversa. Este enfoque permite identificar y analizar funcionamiento de un objeto existente.

Teniendo en cuenta esto se toman medidas de la geometría, con las cuales se crea una representación digital en formato CAD y a partir de esto se realizan las modificaciones necesarias para mejorar su funcionalidad [9] (Figura 7).



*Figura 7: Proceso de ingeniería inversa.*

Para cumplir con los objetivos del proyecto el proceso de la ingeniería inversa se sintetizó en 3 etapas, etapa 1 identificación de funcionamiento del filtro (Figura 8), etapa 2 diseño y modelado del sistema, finalmente etapa 3 fabricación y pruebas del sistema mecánico, adicionalmente una cuarta etapa de electrónica y control para que el filtro funcione de manera automática.



*Figura 8: Filtro para automatizar.*

### 5.1 Etapa 1: Identificación de funcionamiento del filtro

Para identificar el funcionamiento se usó un filtro existente en la empresa, dicho filtro cuenta con un manómetro en la entrada y otro en la salida para obtener un diferencial de presión, si el operario observa un incremento en el diferencial de presión se debe realizar una limpieza manual la cual consiste en los siguientes pasos:

1. La limpieza se realiza si el diferencial de presión es de 10 psi.
2. La limpieza debe realizarse mientras el filtro está bajo presión.
3. Abrir gradualmente la válvula de drenaje.
4. Girar la manivela en sentido horario unas cuantas veces.
5. Girar la manivela en sentido antihorario unas cuantas veces
6. Cerrar gradualmente la válvula de drenaje.

### 5.2 Etapa 2: Diseño y modelado del sistema

Con el fin de diseñar y estudiar la forma de acoplar el sistema mecánico para automatizar el filtro fue necesario realizar un modelo CAD del filtro, por lo cual se procedió al despiece (Figura 9) y toma de medias de cada una de los componentes para su posterior modelado con ayuda del software Autodesk Inventor; el modelado CAD del filtro y su despiece se muestran en las figuras 10 y 11 respectivamente.



Figura 9: Despiece del filtro.



*Figura 10: Filtro modelado en formato CAD.*

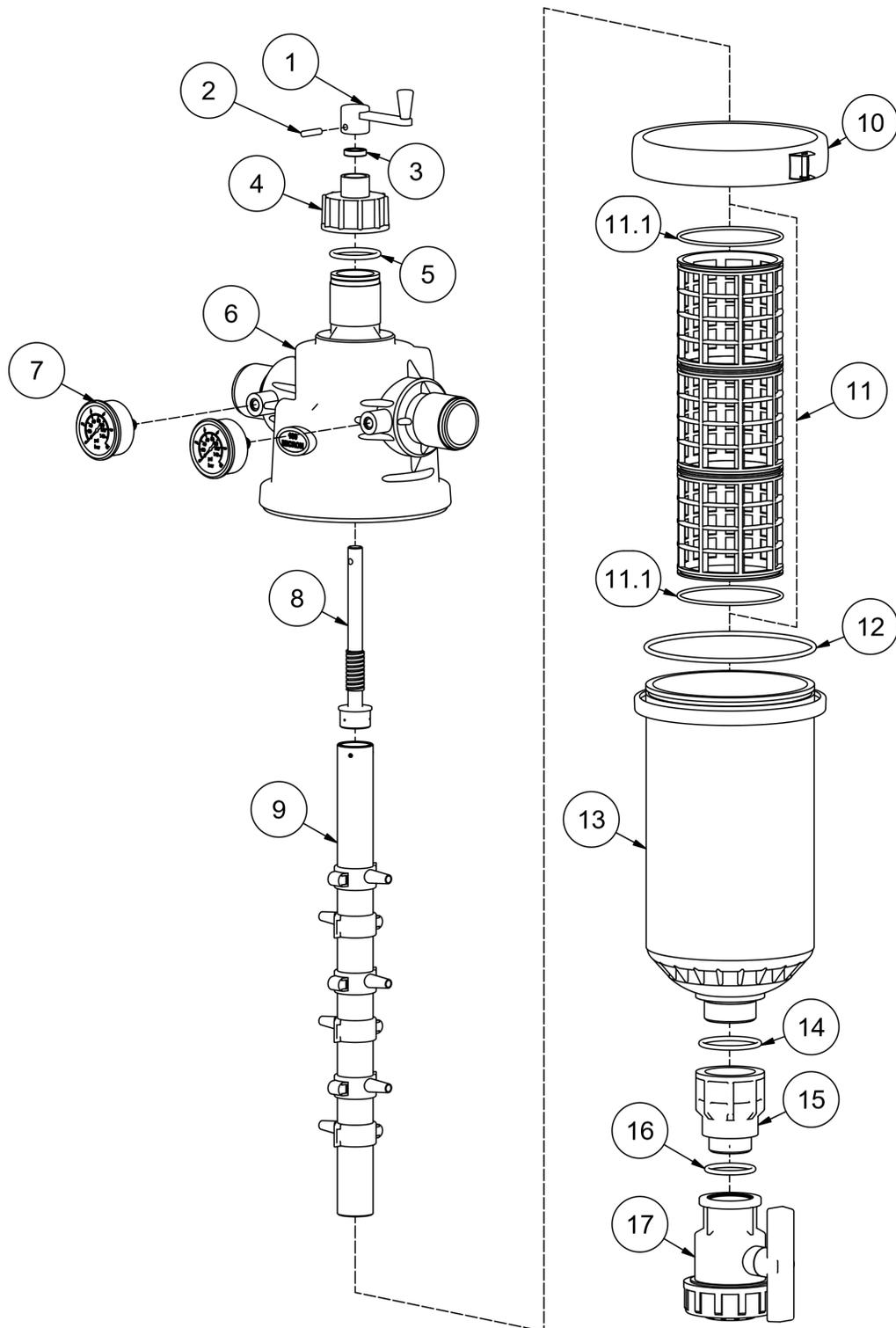


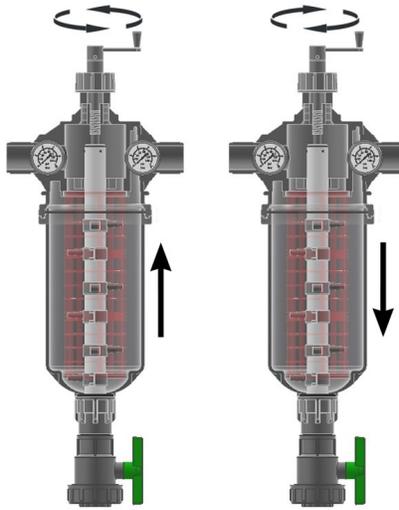
Figura 11: Despiece del filtro.

Con el modelo CAD del filtro se realizó una lista de partes (Tabla 1) con el fin de tener documentado las partes a modificar o reemplazar.

*Tabla 1: Lista de partes.*

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
1	Manivela	1
2	Pin manivela	1
3	Retenedor	1
4	Tapa filtro	1
5	Sello O-ring eje para tubo de succión	1
6	Cuerpo superior filtro	1
7	Manómetro horizontal	2
8	Eje para tubo de succión	1
9	tubo de succión 2"	1
10	Abrazadera metálica	1
11	Malla de alambre tejido XXX micras	1
11,1	Sello O-ring malla	2
12	Sello O-ring cuerpo superior - cuerpo inferior	1
13	Cuerpo inferior filtro	1
14	Sello O-ring reductor	2
15	Reductor 2"X1-1/2"1	1
16	Sello O-ring válvula de drenaje	1
17	Válvula de drenaje	1

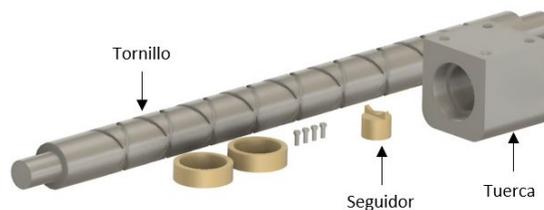
Una vez realizado esto se comenzó a estudiar el diseño del sistema mecánico para la automatización, una de las consideraciones más importantes fue evitar grandes modificaciones en el filtro original, teniendo en cuenta esto se pensó en que el sistema mecánico tuviera el mismo movimiento que se realiza con la manivela, este movimiento se muestra de manera más clara en la figura 12.



*Figura 12: Movimientos al girar la manivela.*

Para mantener el movimiento fue necesario buscar un mecanismo que permitiera dos movimientos simultáneos sobre el mismo elemento: un movimiento de giro y un movimiento de desplazamiento vertical (hacia arriba y hacia abajo), además este mecanismo se iba a acoplar un motor que girara en un solo sentido, simplificando así el control del motor.

Después de estudiar varios mecanismos existentes (tornillo de avance, leva cilíndrica de tambor, engranajes, tornillo autorreversible, etc.) se decidió que el más adecuado para este proyecto era el mecanismo de tornillo autorreversible (Figura 13) el cual no requiere ningún cambio en la dirección de giro para cambiar la dirección del movimiento de la tuerca la cual tiene un seguidor en su interior, este coincide con las ranuras del tornillo, lo que permite realizar un movimiento alternativo.



*Figura 13: Mecanismo de tornillo autorreversible.*

Si bien el mecanismo cumple con los movimientos requeridos, se realizaron ciertas modificaciones y adecuaciones para hacerlo compatible con el filtro, en este caso la tuerca será el componente fijo y el tornillo el componente móvil, la tuerca se diseñó de tal manera que funcionará como base para el tornillo, guía para el soporte del motor y al mismo tiempo como un acople entre el filtro y el

mecanismo, luego de revisar diferentes diseños se obtuvo el diseño final que se muestra en la figura 14.



Figura 14: Base.

Para diseñar el tornillo se tuvo en cuenta la distancia máxima recorrida del eje original la cual consiste en 7 vueltas de la manivela equivalentes a 10 cm de recorrido vertical, este tornillo tendrá una carga axial de 5 Kg aproximadamente y con el fin de mantener la proporción del filtro se diseñó con un diámetro exterior de 30 mm y diámetro interno de rosca de 22 mm, con estos datos se realizaron los siguientes cálculos con el fin de obtener la geometría final del tornillo.

- Fuerza axial ( $F_a$ ):

$$F_a = W \cdot g \rightarrow F_a = 5 \text{ Kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 39,24 \text{ N}$$

- Paso (P):

$$P = \frac{\text{Desplazamiento}}{N \text{ de vueltas}} \rightarrow P = \frac{0,1 \text{ m}}{7} \rightarrow P \approx 0,01429$$

- Diámetro medio ( $d_m$ ):

$$d_m = \frac{d_{\text{exterior}} + d_{\text{interior}}}{2} \rightarrow d_m = \frac{0,03 \text{ m} + 0,022 \text{ m}}{2} \rightarrow d_m = 0,026 \text{ m}$$

- Angulo de hélice ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{P}{\pi \cdot d_m} \right) \rightarrow \lambda = \tan^{-1} \left( \frac{0,01429}{\pi \cdot 0,026} \right) \rightarrow \lambda = 9,95^\circ$$

- Torque (T):

Para calcular el torque necesario se usó la ecuación para tornillos de potencia [10] con un coeficiente de fricción de 0,4 ya que la idea es fabricarlo en PLA con fibra de carbono como se explicará en el apartado de fabricación.

$$T = \frac{F_a \cdot d_m}{2} \left( \frac{1 + \pi \cdot \mu \cdot \frac{d_m}{P}}{\pi - \mu \cdot \frac{d_m}{P}} \right) \rightarrow T = \frac{39,24 \cdot 0,026}{2} \left( \frac{1 + \pi \cdot 0,4 \cdot \frac{0,026}{0,01429}}{\pi - 0,4 \cdot \frac{0,026}{0,01429}} \right)$$

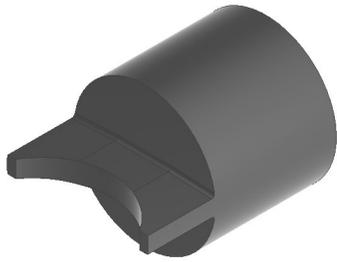
$$T = 0,873 \text{ N} \rightarrow T = 8,90 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

El tornillo se diseñó de tal manera que al girar y desplazarse no supere los 10 cm de recorrido ya que de otra forma el sistema tendría una interferencia en su recorrido, teniendo en cuenta los cálculos anteriores y después de verificar que no existiera interferencia con otros elementos durante su movimiento, se obtuvo el diseño final que se muestra en la figura 15.



*Figura 15: Tornillo autorreversible.*

Otros elementos como el seguidor y seguro del seguidor se diseñaron a partir de las dimensiones de la base y del tornillo, estas piezas se muestran en las figuras 16 y 17.



*Figura 16: Seguidor.*



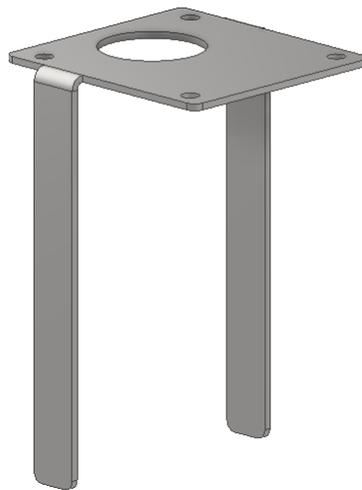
*Figura 17: Seguro del seguidor.*

El único remplazo necesario realizar fue el del eje (Item 8) ya que al tener una rosca no permitía el libre desplazamiento del sistema, además restringía el giro en una sola dirección por lo cual fue necesario diseñar la misma pieza con la diferencia de que el nuevo eje no llevaría rosca (Figura 18).



*Figura 18: Eje sin rosca.*

Teniendo las dimensiones finales de la base y medidas aproximadas del motor a usar, se diseñó la base para el motor la cual se desliza por las guías en la base, además la base y el motor serán soportados por el tornillo autorreversible, el diseño final se muestra en la figura 19.



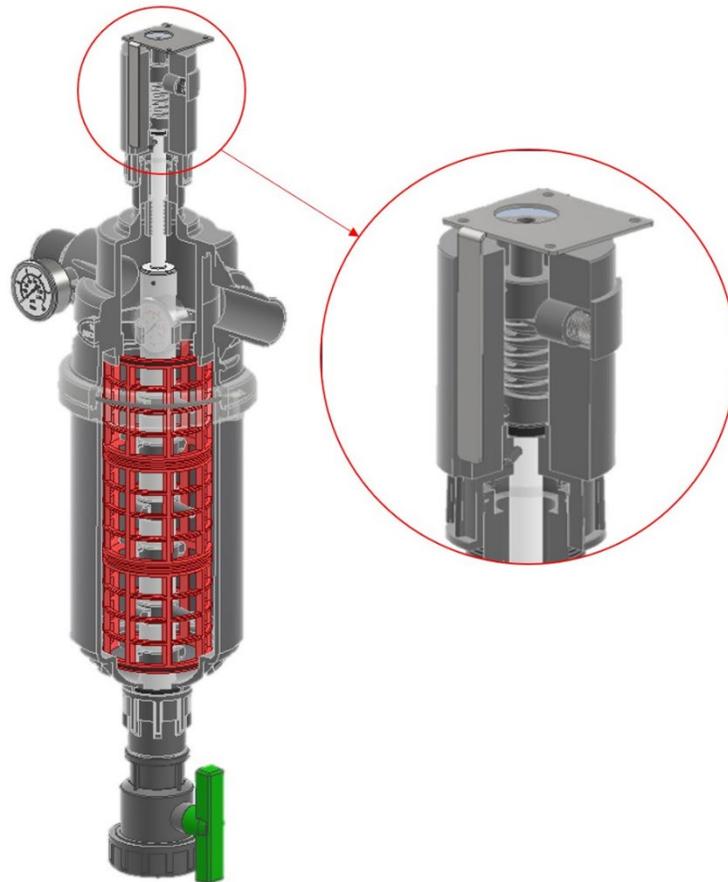
*Figura 19: Base del motor.*

Finalmente, para facilitar el ensamble entre el tornillo autorreversible y el eje del motor se decidió diseñar un acople, el cual se muestra en la figura 20.



*Figura 20: Acople.*

Una vez diseñados todos los componentes se realizó el ensamble de todo el sistema mecánico con el filtro para comprobar que no hubiera interferencias entre sus componentes al momento de accionar el motor, el ensamble final se muestra en la figura 21.



*Figura 21: Sistema mecánico ensamblado.*

### **5.3 Etapa 3: Fabricación, selección de motor y pruebas del sistema mecánico**

Para la fabricación de los componentes del sistema mecánico se decidió utilizar impresión 3D ya que permite crear prototipos rápidamente a un bajo costo lo cual es esencial para probar y validar diseños reduciendo significativamente el tiempo desde el concepto hasta el producto final y permitiendo ajustes y mejoras en las etapas iniciales de desarrollo, además permite manejar geometrías complejas como es el caso del tornillo el cual por otros medios de fabricación sería difícil y costoso de obtener.

Para la impresión de los componentes se utilizó PLA reforzado con fibra de carbono (CCFR-PLA), se seleccionó este material debido a que se requiere una alta resistencia ya que tanto el tornillo como el pin estarán sometidos a esfuerzos axiales.

En un estudio realizado por M. Heidari en el año 2018 [11], se observó la superioridad de las propiedades mecánicas (Tabla 2) del PLA reforzado con fibra de carbono en comparación con el PLA sin refuerzo (Figuras 22 y 23).

Tabla 2: Propiedades mecánicas de PLA y CCFR-PLA.

Propiedades Mecánicas	PLA	CCFR-PLA	Diferencia, %
Módulo de tracción (GPa)	2,69±0,18	8,28±0,56	207,8
Resistencia a la tracción (MPa)	44,86±1,8	61,4±2,1	36,8
Tensión de falla (%)	2,13±0,12	0,81±0,06	-61,9
Módulo de flexión (GPa)	2,87±0,07	13,42±0,31	367,6
Resistencia Max. a la flexión (MPa)	72,76±1,6	152,1±2,29	109

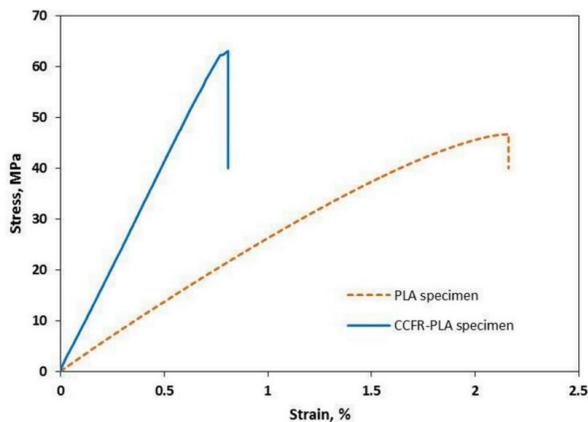


Figura 22: Esfuerzo Vs Deformación.

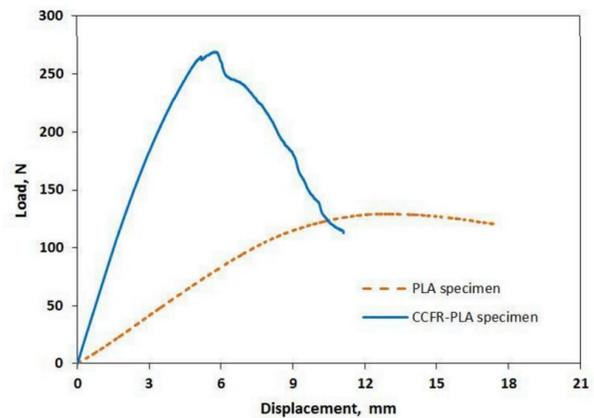


Figura 23: Carga Vs Desplazamiento.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio, se puede observar que es mucho más viable el uso de PLA reforzado con fibra de carbono con el fin de garantizar una mayor resistencia al momento de someter los componentes a esfuerzos; finalmente en la figura 24 se puede observar cada uno de los componentes ya fabricados.



*Figura 24: Componentes del sistema mecánico fabricados en CCFR-PLA.*

Por otra parte, el soporte para el motor se fabricó por medio de corte laser y doblado en lámina de acero HR de 3 mm de espesor, esto para mantener una buena rigidez sobre las guías de la base ya que el soporte estará en constante movimiento, el soporte se muestra en la figura 25.



*Figura 25: Soporte de motor.*

Para la selección del motor se utilizó el cálculo de torque necesario para mover el sistema ( $8,90 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$ ), para la cual se seleccionó un motor AC con caja reductora (Figura 26), en las tablas 3 y 4 se muestran las características del motor y caja reductora respectivamente.



Figura 26: Motor seleccionado.

Tabla 3: Características del motor.

Modelo	Voltaje		Freq.	Carga nominal				Torque de arranque		Capacitor
	Fases	(V)		Corriente (A)	Velocidad (r/min)	Torque		(kgf.cm)	(mN.m)	
	(Hz)	(mN.m)	(kgf.cm)			(μF)				
3IK15GN-E	1	120	60	0,32	1450	1,05	105	0,65	65	5

Tabla 4: Características de la caja reductora.

Modelo	Caja reductora		
	(r/min)	(kgf.cm)	(N.m)
3GN30K	60	23,4	2,3

Finalmente se ensamblaron todos componentes para realizar pruebas, el ensamble para pruebas se muestra en la figura 27.



*Figura 27: Ensamble de los componentes con el filtro.*

Para realizar las pruebas del sistema mecánico se tuvo en cuenta que no estará en funcionamiento continuo (solo funcionará cuando se incremente el diferencial de presión), por lo cual se realizó una prueba de fatiga para evaluar la durabilidad del sistema y predecir su comportamiento a lo largo del tiempo, para esta prueba se utilizó un módulo temporizador programable con relé, programado para realizar ciclos de limpieza de 1 minuto, cada 10 minutos durante 8 horas, tiempo en donde no se presentó ningún signo de deterioro en los componentes, por lo cual se determinó que el sistema es confiable.





*Figura 29: Sensor de diferencial de presión MPX5700DP.*

Como este sensor tiene un voltaje de alimentación de 4,75 V a 5,25 V y entrega una señal analógica de 0,2 V a 4,7 V, estos voltajes pueden quemar el microcontrolador ya que este soporta hasta 3,3 V por lo cual fue necesario escalar la señal, esto se logró realizando un divisor de voltaje con una resistencia de 1k ohm y 2k ohm, por otra parte con el fin de proteger la entrada del microcontrolador de posibles sobre corrientes se usó un amplificador operacional, una vez realizado esto y con la ayuda de un compresor se tabularon los datos de voltaje y presión (Tabla 5) y finalmente se obtuvo la curva de calibración voltaje vs presión junto con su ecuación, esta curva se muestra en la figura 30.

*Tabla 5: Datos de voltaje y presión.*

Presión [PSI]	Voltaje			Promedio
	1	2	3	
20	0.51	0.53	0.54	0.53
25	0.62	0.63	0.64	0.63
30	0.77	0.76	0.78	0.77
35	0.9	0.91	0.91	0.91
40	1.02	1.01	1.01	1.01
45	1.17	1.18	1.19	1.18
50	1.28	1.29	1.29	1.29
55	1.46	1.46	1.46	1.46
60	1.62	1.62	1.62	1.62

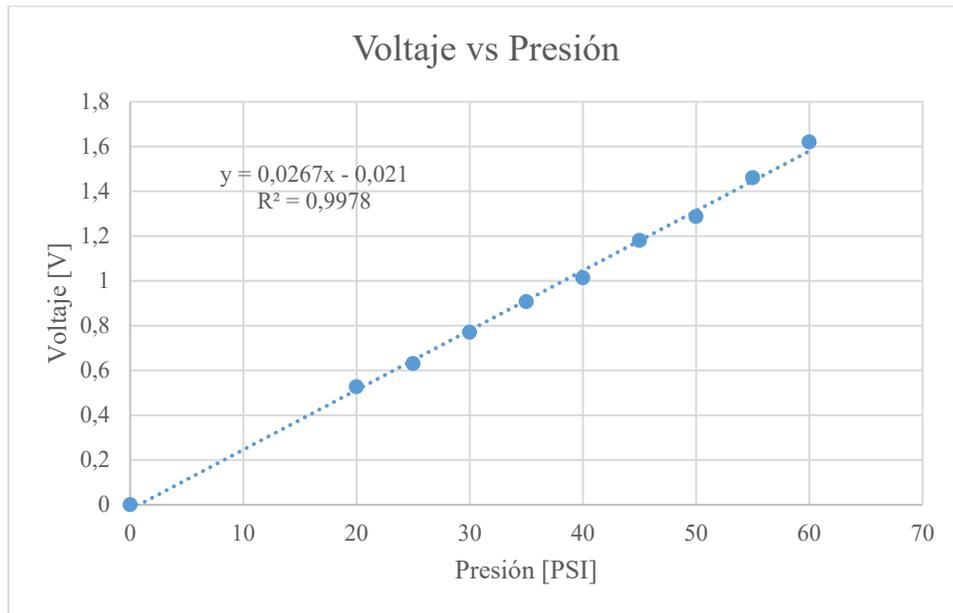


Figura 30: Curva de calibración.

#### 5.4.3 Válvula de drenaje

Se utilizó una válvula de membrana de 24 V (Figura 31), esta válvula se acciona por medio de un relay el cual es accionado a su vez por el microcontrolador dependiendo los niveles de diferencial de presión medidos, en este caso ya que el relay necesita 12 V para ser accionado, fue necesario separar la parte de potencia y de control con el fin de proteger el microcontrolador, esto se logró por medio de transistores.



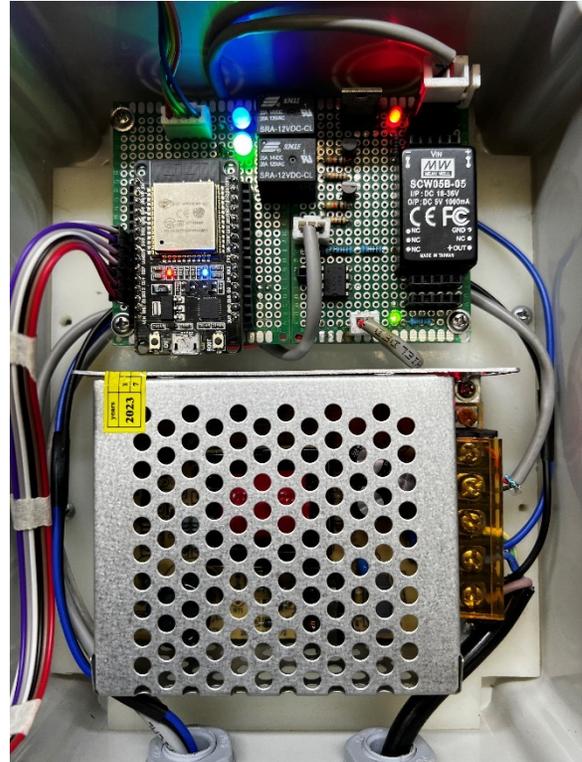
Figura 31: Válvula de drenaje.

Con objeto de hacer el sistema configurable, también se utilizó un teclado y una pantalla para que el operario pueda interactuar con el sistema y así pueda modificar parámetros como tiempos de retro lavado, niveles de diferencial de presión, encendido - apagado de válvula y motor, tiempos de funcionamiento, entre otros que dependen de la calidad del agua en el sitio donde se instalaran las plantas.

Finalmente, el ensamble del sistema de control se muestra en las figuras 32 a 34.



*Figura 32: Ensamble de pantalla.*



*Figura 33: Ensamble de los componentes electrónicos.*



*Figura 34: sistema de control.*

Después de realizar pruebas en el sistema mecánico como en el sistema de control se realizó el acople de los sistemas al filtro, en la figura 35 se muestra el despiece final, en la tabla 6 la nueva lista de partes y en la figura 36 el montaje final.

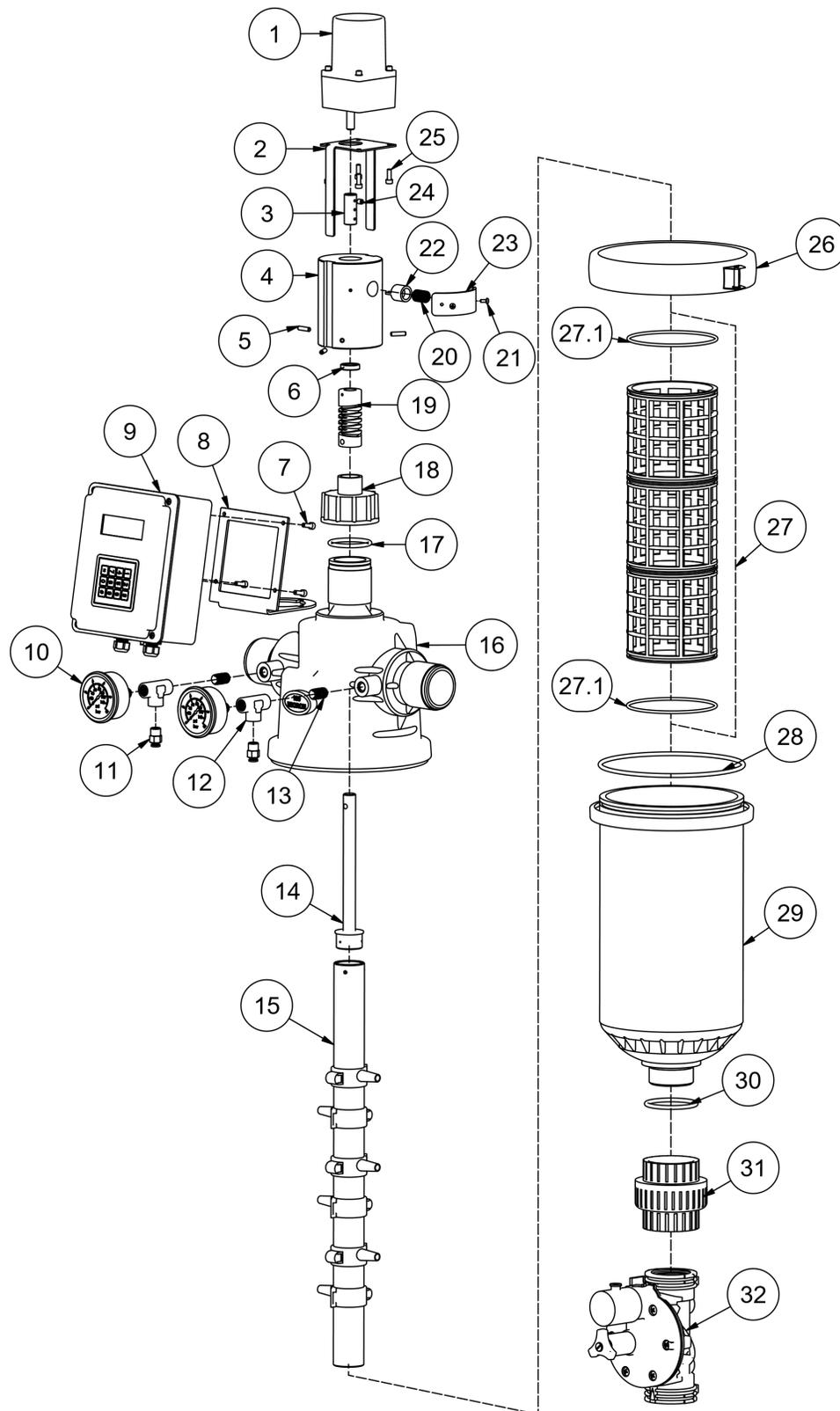


Figura 35: Despiece final.

Tabla 6: Lista de partes.

Item	Descripción	Cantidad
1	Motor 3IK15GN-E 120V 0,32A	1
2	Base motor 3 mm	1
3	Acople motor	1
4	Carcasa eje tornillo autorreversible	1
5	Tornillos socket M5X20 ac.inox.304 DIN916	3
6	Retenedor	1
7	Tornillo bristol M5X14	4
8	Base caja de control	1
9	Caja de control	1
10	Manometro horizontal 120 PSI	1
11	Acople rápido 1/4 NPT 8 mm	2
12	Tee aluminio 1/4 NPT	2
13	Niple RXR 1/4 NPT	1
14	Eje para tubo de succión	1
15	tubo de succión 2"	2
16	Cuerpo superior filtro	1
17	Sello O-ring eje para tubo de succión	1
18	Tapa filtro	1
19	Tornillo autorreversible	1
20	Diente resorte	1
21	Perno Hex Rosc Comp. M6X15 ac.inox.304 DIN933	2
22	Diente eje tornillo autorreversible	1
23	Tapa diente PV20	1
24	Tornillos socket M6X6 ac.inox.304 DIN916	2
25	Perno Hex Ros. Comp.M6X60 ac.inox.316 DIN933	4
26	Abrazadera metalica	1
27	Malla de alambre tejido XXX micras	1
27.1	Sello O-ring malla	2
28	Sello O-ring cuerpo superior - cuerpo inferior	1
29	Cuerpo inferior filtro	1
30	Sello O-ring reductor	1
31	Universal 2" SXS PVC	1
32	Válvula 24 V 2"	1

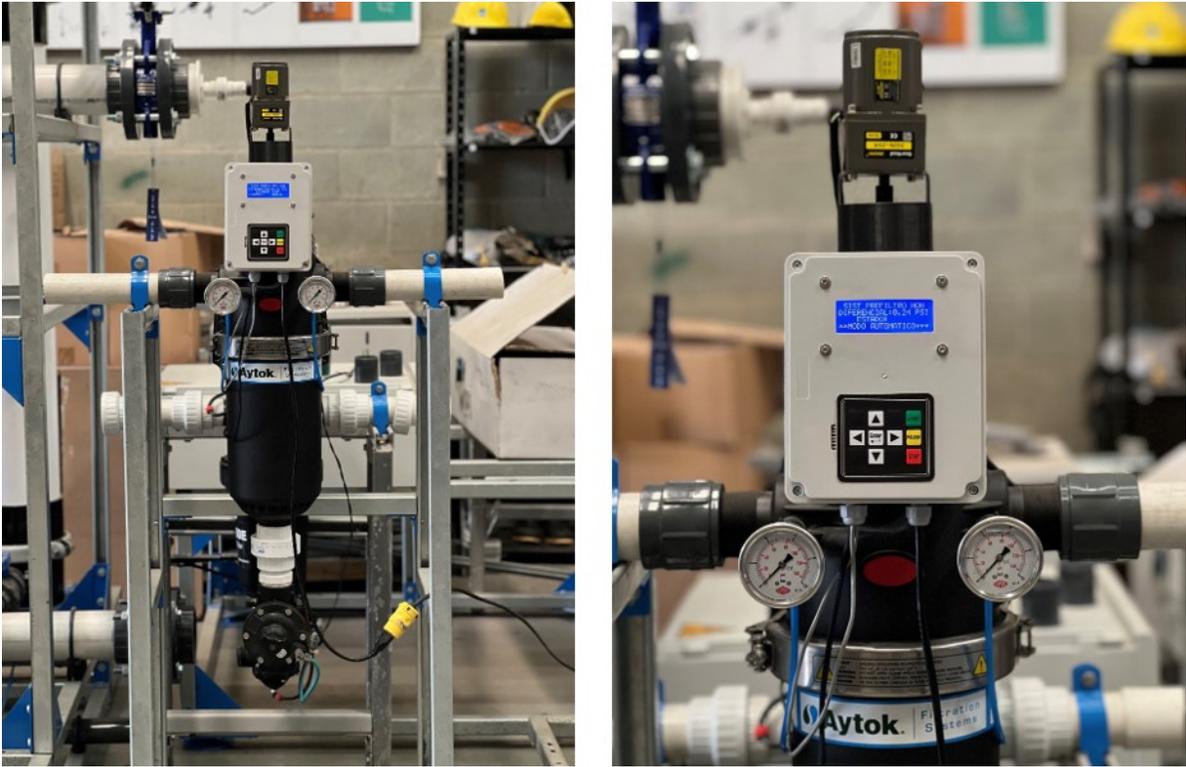


Figura 36: Montaje final de los sistemas.

## 6 Resultados

Para garantizar que el sistema desarrollado funcione de manera óptima, se realizaron una serie de pruebas y verificaciones específicas que permitieron evaluar su rendimiento en condiciones controladas. Estas pruebas se enfocaron en aspectos clave como el funcionamiento del sistema mecánico, la respuesta del sistema de control que incluye el motor y las válvulas, la precisión del sensor de diferencial de presión, y el estado de los componentes impresos en 3D después de su operación. Cada uno de estos elementos fue sometido a pruebas diseñadas para confirmar su correcto funcionamiento y durabilidad en el contexto del sistema automatizado. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de estas verificaciones, que permiten concluir que el sistema cumple con los requisitos de operación esperados, demostrando tanto su eficacia en la ejecución de tareas automatizadas como la integridad de sus componentes después de las pruebas iniciales.

### 6.1 Prueba de funcionamiento inicial

La prueba inicial del sistema se realizó sin suministro de agua, simulando el aumento del diferencial de presión con un compresor (Figura 37) para asegurar que cada componente operara conforme a los parámetros de diseño y cumpliera con las expectativas del proyecto. Durante esta prueba, se verificó el correcto funcionamiento del tornillo autorreversible, garantizando que no presentara deformaciones o fallos mecánicos bajo condiciones simuladas de carga.



*Figura 37: Compresor con el que se realizó la prueba inicial.*

Se realizaron un total de 10 ciclos de prueba para diferentes diferenciales de presión, específicamente a 10, 20, 30 y 45 psi, con el objetivo de evaluar la respuesta del sistema bajo diversas condiciones de operación. A lo largo de estos ciclos, no se encontraron interferencias en los límites de movimiento del tornillo, confirmando que su diseño permite un funcionamiento libre de obstrucciones en todo su rango de operación.

Además, se evaluó la precisión del sistema de control, asegurando que tanto el motor como las válvulas respondieran adecuadamente a las señales del sensor de diferencial de presión. También se ajustaron los tiempos de retro lavado y el diferencial de presión configurables, para garantizar que el sistema de control operara eficientemente bajo diferentes condiciones de trabajo. El máximo diferencial de presión simulado fue de 45 psi (Figura 38), un valor extremo que confirmó la capacidad del sistema, considerando que normalmente se realizan retro lavados cuando el diferencial de presión supera los 30 psi, lo que indica una saturación del filtro.



*Figura 38: Presión máxima durante la prueba.*

Como resultado, se obtuvo un funcionamiento correcto en todos los componentes, demostrando que el sistema estaba en condiciones óptimas para su operación y era capaz de manejar variaciones en las condiciones de trabajo sin comprometer su rendimiento.

## **6.2 Activación del sistema de control**

Durante la prueba de activación del sistema de control, se evaluó el encendido y apagado tanto de la válvula como del motor para garantizar que el sistema no sufriera sobrecalentamientos en sus

componentes electrónicos, especialmente considerando que la caja de control está sellada y un sobrecalentamiento dentro de ella puede generar un funcionamiento incorrecto. Durante la prueba, se observó que, al apagar la válvula de drenaje, el sistema se reiniciaba, lo cual era un signo de que había un problema en el circuito, al investigar, se descubrió que el problema estaba relacionado con picos de voltaje generados por la bobina de la válvula, lo que provocaba que el sistema se reiniciara. Para solucionar esto, se instaló un filtro RC con un capacitor de  $4.7 \mu\text{F}$  lo cual ayuda a suavizar los picos de voltaje y reducir el ruido eléctrico que estaba causando la inestabilidad del sistema.

Finalmente, después de instalar el filtro, el sistema mostró una mejora significativa y los reinicios al apagar la válvula de drenaje se eliminaron, y tanto el motor como la válvula funcionaron de manera estable.

### 6.3 Precisión del sensor de diferencial de presión

Para comprobar la precisión del sensor de diferencial de presión, se realizó una prueba utilizando un compresor para esta prueba se conectó el sensor al compresor y se compararon los valores de presión proporcionados por el compresor con las lecturas del sensor, dado que el sensor es de diferencial de presión y no de presión manométrica fue necesario desconectar la salida de baja presión del sensor para obtener valores comparables. Con los datos obtenidos (Tabla 7), se generaron curvas para visualizar la desviación entre los valores medidos por el sensor y los valores mostrados en el compresor (Figura 39).

*Tabla 7: comparación de presiones entre el compresor y sensor.*

<b>Medición</b>	<b>Presión compresor [PSI]</b>	<b>Presión sensor [PSI]</b>
1	20	20.64
2	25	26.38
3	30	30.96
4	35	36.25
5	40	41.65
6	45	46.42
7	50	51.15
8	55	56.59
9	60	62.95

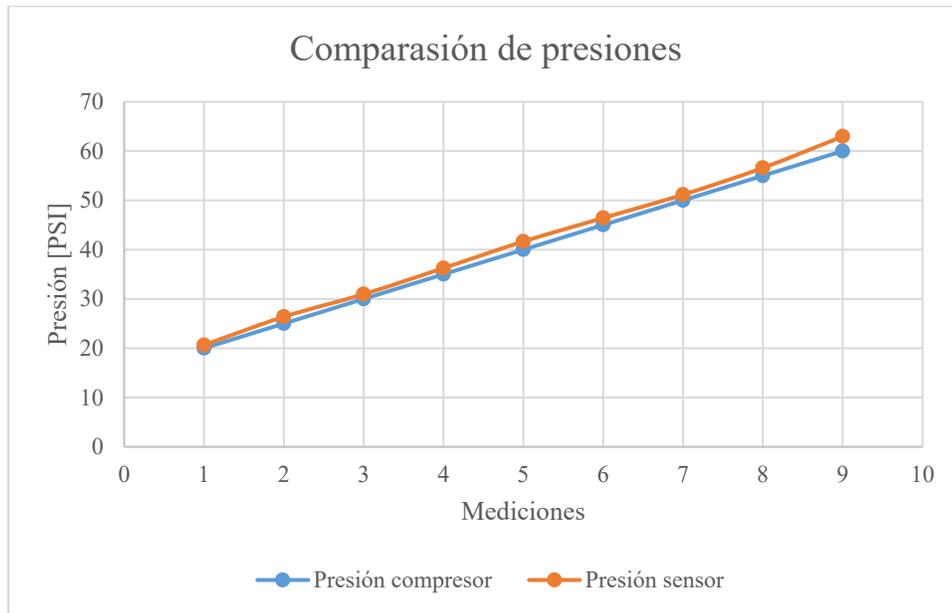


Figura 39: Curvas de presión para compresor y sensor.

Aunque se observa cierta variación en los valores, estas diferencias son mínimas y se consideraron dentro de un rango aceptable para la aplicación específica.

En resumen, el sensor demostró una precisión adecuada para las necesidades del sistema, ya que las diferencias detectadas no afectan significativamente su rendimiento en la aplicación prevista.

#### 6.4 Inspección visual de los componentes impresos en 3D

Durante la inspección visual de los componentes impresos en 3D, se verificó el funcionamiento de las piezas después de las pruebas iniciales, aunque se confirmó que los componentes operaban correctamente, se identificó que la falta de lubricación en ciertos puntos críticos del movimiento, como el tornillo autorreversible y el pin, estaba causando una resistencia adicional la cual incrementaba la demanda de potencia en el motor para realizar el movimiento, lo que afectaba la eficiencia del sistema. Para mitigar este problema, se aplicó lubricación a las áreas afectadas lo cual resultó en una mejora significativa en el movimiento de los componentes, reduciendo la fricción y facilitando un funcionamiento más suave y eficiente. En cuanto a los demás componentes impresos en 3D, la inspección reveló que no presentaron problemas y estas piezas funcionaron de manera efectiva, sin mostrar signos de desgaste, deformación o mal funcionamiento.

#### 6.5 Prueba de funcionamiento final

A diferencia de la prueba de funcionamiento inicial, la prueba de funcionamiento final se llevó a cabo con el suministro de agua con el fin de verificar que no hubiera fugas en los componentes

adaptados, además se conectó a una planta de ultrafiltración con el fin de verificar el funcionamiento conjunto y de esta manera asegurar la integridad del sistema en condiciones operativas reales, el montaje para la prueba de funcionamiento final se muestra en las figuras 40 y 41.



*Figura 40: Montaje global del sistema.*



*Figura 41: Filtro automatizado.*

Finalmente se realizó una lista de material de obra junto con sus precios (Tabla 8).

Tabla 8: Material de obra.

Item	Componente	Descripción	Qty	Valor Unitario	Total
1	Motor	3IK15GN-E 120V 0,32A	1	\$381,967	\$381,967
2	Base motor 3 mm	Base en lámina de 3 mm HR	1	\$15,589	\$15,589
3	Acople motor	Acople impresión 3D PLA+FC	1	\$15,000	\$15,000
4	Carcasa eje	Carcasa impresión 3D PLA+FC	1	\$40,000	\$40,000
5	Tornillos M5X20	Ac.inox.304 DIN916	3	\$1,500	\$4,500
6	Tornillo bristol M5X14	Ac.inox.304 DIN916	4	\$800	\$3,200
7	Base caja de control	Base en lámina de 3 mm HR	1	\$19,397	\$19,397
8	Acople rapido 1/4 NPT X 8	1/4 NPT manguera 8 mm	2	\$3,000	\$6,000
9	Tee aluminio 1/4 NPT	Tee aluminio 1/4 NPT	2	\$14,500	\$29,000
10	Niple RXR 1/4 NPT	Niple RXR 1/4 NPT	2	\$5,000	\$10,000
11	Eje para tubo de succión	Eje acetal 34mm	1	\$56,890	\$56,890
12	Tornillo autorreversible	Tornillo autorreversible	1	\$45,000	\$45,000
13	Diente resorte	Resorte 15 mm	1	\$800	\$800
14	Perno Hex	M6X15 ac.inox.304 DIN933	2	\$120	\$240
15	Diente tornillo	Diente eje PLA+FC	1	\$11,000	\$11,000
16	Tapa diente PV20	Tapa diente PV20 PLA	1	\$7,000	\$7,000
17	Tornillos socket M6X6	Ac.inox.304 DIN916	2	\$300	\$600
18	Perno Hex	M6X60 Ac.inox.316 DIN933	4	\$1,100	\$4,400
19	Universal 2" SXS PVC	Universal 2" SXS PVC	1	\$37,989	\$37,989
20	Válvula 24 V 2"	Bermad válvula 24 VAC 2"	1	\$447,154	\$447,154
21	Caja para control	Adalpano 190 x 150 x 80 ABS	1	\$24,500	\$24,500
22	Tarjeta desarrollo ESP32	ESP32 Wroom DevKit V1	1	\$26,400	\$26,400
23	Fuente suicheada	24V 3A 72W	1	\$42,602	\$42,602
24	Conversor DC-DC	Mean Well SCW05B-05	1	\$34,438	\$34,438
25	Sensor de presión	MPX5700DP	1	\$146,500	\$146,500
26	Pantalla LCD	LCD 20X4	1	\$32,300	\$32,300
27	Modulo I2C	Conversor I2C para LCDs	1	\$3,999	\$3,999
28	Amplificador operacional	Amp op LM358	1	\$449	\$449
29	Relay mecanico 12 VDC	Relay SRA-12VDC-CL	2	\$2,500	\$5,000
30	Teclado matricial 4x3	Teclado matricial 4x3	1	\$3,213	\$3,213
31	Regulado de voltaje 5 VDC	LM2596T-12	1	\$3,599	\$3,599
32	Transistor NPN	NPN 2N5551 160V 600mA	2	\$360	\$720
33	resistencias 1k, 2k, 550	Resistencias	1	\$2,400	\$2,400
34	Cableado	Cable para componentes	1	\$15,000	\$15,000
35	Prensa estopa	PG 13.5 PVC, IP68	2	\$1,309	\$2,618
36	Diodo Led	LED 5mm Red, Green, Blue	5	\$90	\$450
<b>Total</b>					<b>\$1,479,914</b>

Como se puede observar el costo del sistema es de aproximadamente 1,5 millones de pesos, si a este coste se le suma el valor del filtro se obtiene un costo total de \$2'330,414, si este valor se compara con los costos de filtros automáticos que se puede encontrar en la industria cuyos precios oscilan entre los 8 y 12 millones de pesos, se puede decir que se logró un desarrollo de bajo costo con mejores capacidades.

## 7 Discusión

La evaluación del sistema desarrollado muestra que cumple con los objetivos propuestos, destacando tanto su funcionalidad técnica como su viabilidad económica. Las pruebas realizadas confirmaron el correcto funcionamiento del sistema mecánico, la precisión del sensor de presión y la eficacia del control automatizado, sin evidenciar problemas críticos, la utilización de impresión 3D fue clave para la fabricación de componentes personalizados y de bajo costo, demostrando su efectividad en aplicaciones industriales.

Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de un mantenimiento adecuado en puntos críticos, si bien no se pudieron realizar pruebas a largo plazo, los resultados iniciales son prometedores y sugieren que el sistema puede competir con opciones comerciales más costosas, ofreciendo una alternativa viable y económica. Este proyecto subraya el potencial de las tecnologías modernas para desarrollar soluciones industriales eficientes y asequibles.

## 8 Conclusiones

- El éxito de este proyecto se evidenció en la implementación efectiva del sistema mecánico y de control los cuales son de bajo costo que operan de forma autónoma. Las pruebas realizadas demostraron que el sistema es robusto, sin mostrar signos de deterioros que comprometan el funcionamiento del sistema, lo que subraya la viabilidad de la solución diseñada. Estos logros reflejan la capacidad de aplicar tecnologías avanzadas de manera económica en la creación de soluciones industriales efectivas.
- La aplicación de la ingeniería inversa como metodología demostró ser un enfoque esencial para replicar y mejorar componentes existentes. Esta metodología permitió no solo la reproducción precisa de piezas, sino también la optimización del diseño original para adaptarse a las necesidades específicas del sistema automatizado. La ingeniería inversa facilitó la identificación de posibles mejoras, permitiendo la innovación y la personalización de los componentes para mejorar su rendimiento y durabilidad. Además, al analizar y comprender los mecanismos originales, se logró una integración más eficiente con los sistemas de control y automatización, lo que contribuyó al éxito global del proyecto.
- En este proyecto se puede destacar cómo la impresión 3D es una herramienta valiosa en la industria, ya que ofrece ventajas clave como la creación rápida y económica de prototipos y piezas complejas, lo que acelera el desarrollo y reduce costos al evitar moldes y herramientas tradicionales. Además, facilita la personalización y precisión en el diseño, y minimiza residuos al usar solo el material necesario, promoviendo una fabricación más sostenible. Sin embargo, es importante considerar en qué casos es más apropiado utilizar otros tipos de procesos y materiales, especialmente cuando se requieren propiedades mecánicas específicas, resistencia a la fricción, o son necesarios materiales con mayor resistencia mecánica, donde métodos convencionales pueden ofrecer mejores resultados. Esto asegura que se elija el método de fabricación más adecuado para las necesidades particulares del proyecto.
- Aunque en este proyecto no se realizó la toma de datos en tiempo real, la implementación de microcontroladores como el ESP32 demuestra el potencial significativo que tienen en la automatización y control dentro de entornos industriales. A través de su conectividad y capacidad de procesamiento, estos microcontroladores permiten integrar sistemas de manera eficiente y facilitar su monitoreo y control en tiempo real, alineándose con las tendencias del

Internet de las Cosas (IoT). Esto abre la puerta a mejoras en la eficiencia operativa y en la reducción de la necesidad de intervención manual, aunque se recomienda realizar pruebas exhaustivas y recopilación de datos para optimizar el rendimiento del sistema implementado.

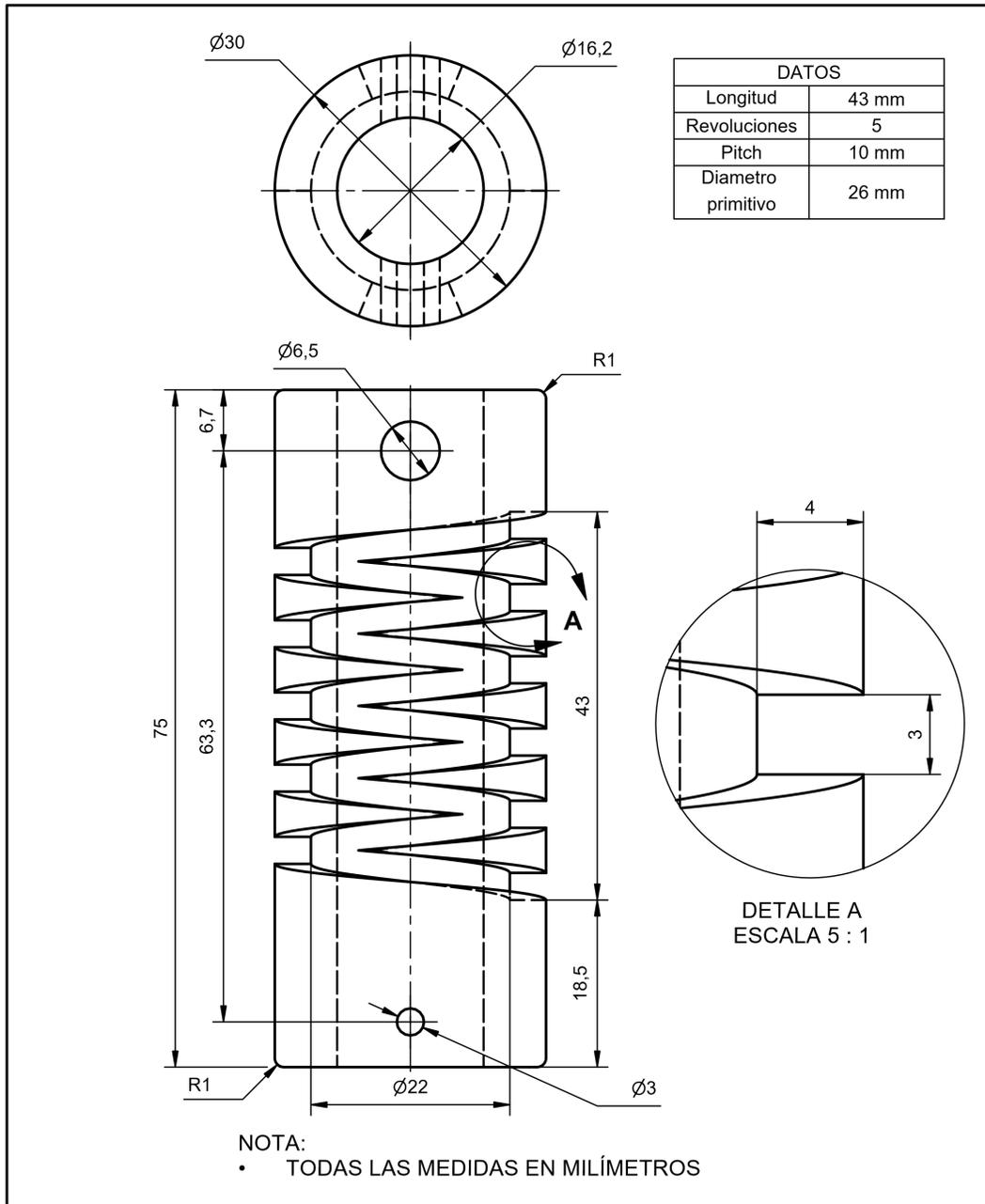
### **9 Recomendaciones**

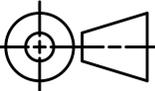
Para que este desarrollo se siga utilizando como complemento en las diversas plantas de ultrafiltración que fabrica el Grupo HOH S.A.S, se recomienda diseñar una placa PCB para disminuir tiempos de ensamble en el sistema de control además de incluir en el diseño el circuito RC para mitigar el problema de reinicio del sistema de control al apagar la válvula de drenaje, por otra parte, se recomienda estudiar la posibilidad de que los componentes sometidos a mayores esfuerzos como lo son el tornillo autorreversible y el diente se fabriquen en un material con mayor resistencia y un menor desgaste como lo puede ser el acetal, finalmente debido al gran potencial que tiene la placa de desarrollo ESP32, se recomienda seguir avanzando en el código con el fin de agregarle nuevas funcionalidades al filtro para obtención de datos usando telemetría, lo cual supone una gran herramienta para medir el comportamiento de las plantas a lo largo del tiempo.

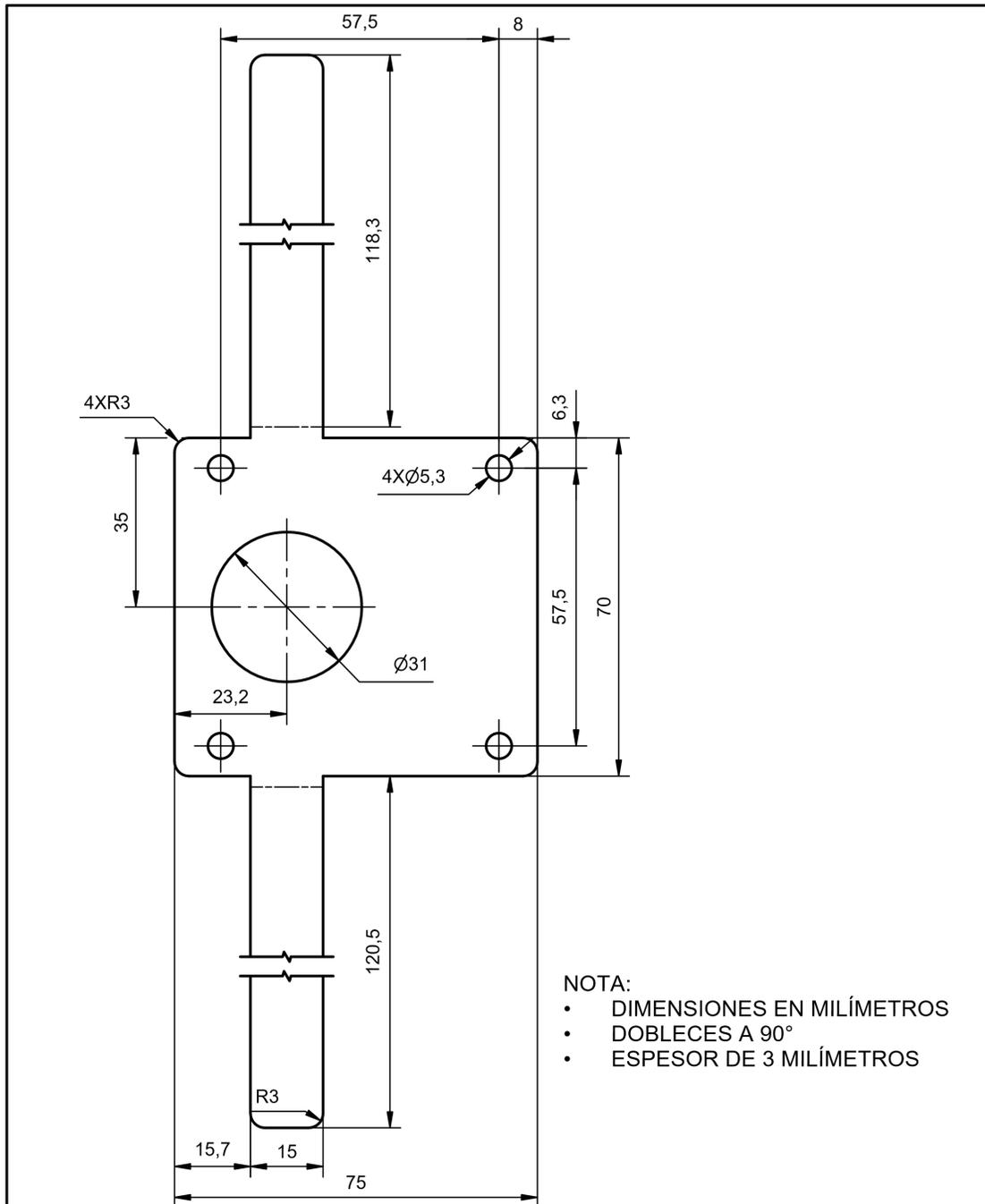
### Referencias

- [1] Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*. McGraw-Hill Education.
- [2] Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marinas, B. J., & Mayes, A. M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452(7185), 301-310.
- [3] Parra, L., Rocher, J., Escrivá, J., & Lloret, J. (2018). Design and development of low-cost smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms. *Aquacultural Engineering*, 81, 10-18.
- [4] Van der Bruggen, B., Vandecasteele, C., Van Gestel, T., Doyen, W., & Leysen, R. (2003). A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 22(1), 46-56.
- [5] Fane, A. G., Wang, R., & Hu, M. X. (2005). Synthetic membranes for water purification: Status and future. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(29), 3668-3685.
- [6] Zhang, Y., Li, W., & Chen, X. (2019). Evaluation of polyester and polypropylene cartridge filters for sediment removal in industrial water treatment. *Journal of Environmental Management*, 232, 100-108.
- [7] Siong, Y., Atabaki, M., & Idris, J. (2013). Performance of activated carbon in water filters. *Water Resources*, [This entry seems incomplete. If you provide more details, I can complete it.]
- [8] Maiyo, J. K., Dasika, S., & Jafvert, C. T. (2023). Slow sand filters for the 21st century: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1019.
- [9] Zhang, J., & Yu, Z. (2016). Overview of 3D printing technologies for reverse engineering product design. *Automatic Control and Computer Sciences*, 50(4), 91-97.
- [10] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2019). *Shigley's mechanical engineering design* (11th ed.). McGraw-Hill.
- [11] Heidari-Rarani, M., Rafiee-Afarani, M., & Zahedi, A. M. (2019). Mechanical characterization of FDM 3D printing of continuous carbon fiber reinforced PLA composites. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107090. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107090>

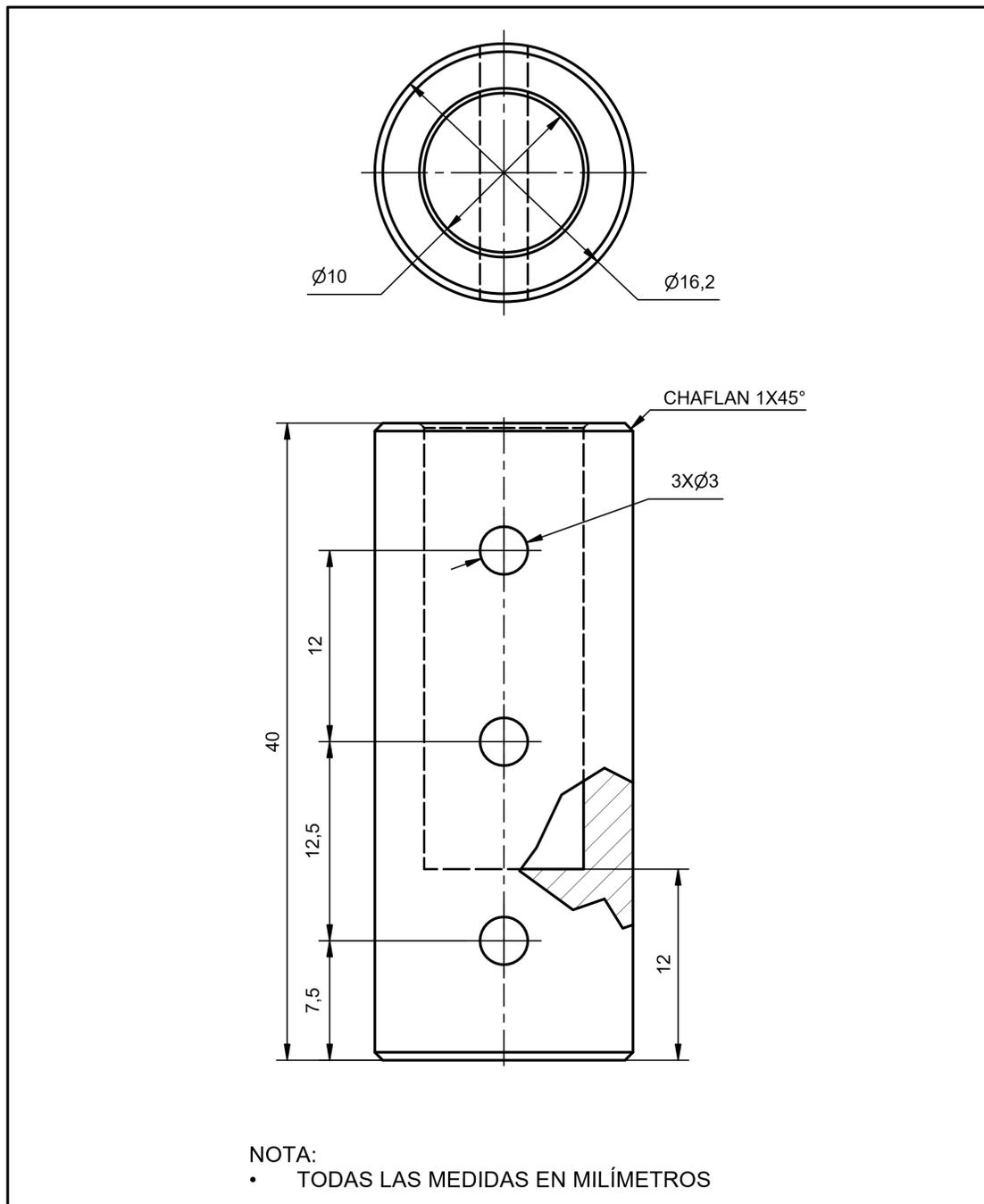
Anexos



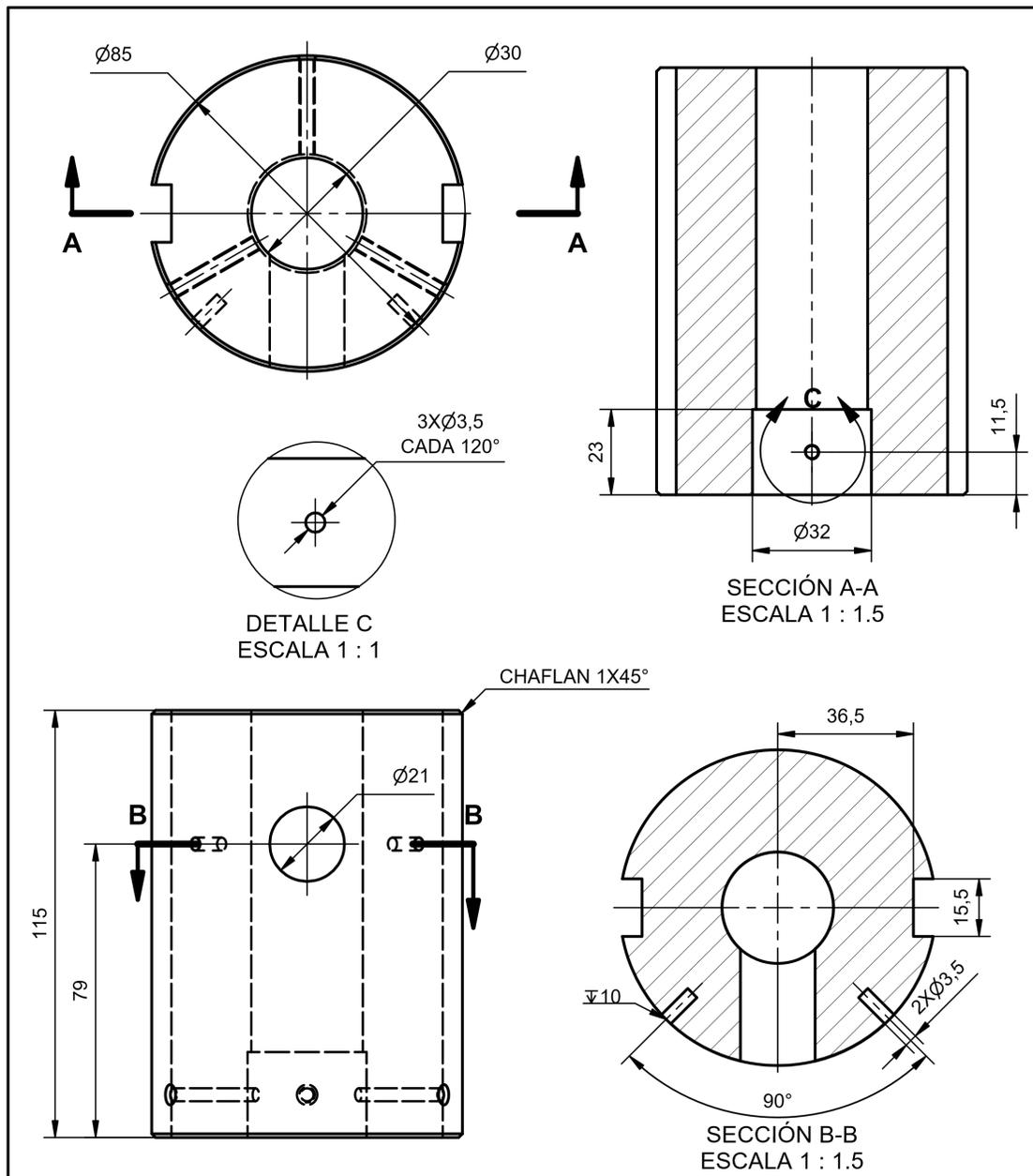
19	Tornillo autorreversible	1	N.A.	PLA + Fibra de carbono	Ø30 mm x 75 mm	Impresión 3D
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
<b>GRUPO HOH</b>						
INGENIERÍA						
DISEÑO						ESC: 1,7 : 1
	<b>TORNILLO AUTORREVERSIBLE</b>			ARCHIVO:	FCH: -	
				AYOTK AUTO	O.T.: N.A.	
	DIS: IVAN A. ATIS			DIB: IVAN A. ATIS		
APRB: JAIME A. ROLDAN			REV: N.A.			PL.No: -



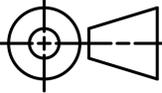
2	Base motor	1	N.A.	Acero HR	3 mm	Corte láser y doblado
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
<b>GRUPO HOH</b>						
INGENIERIA						
DISEÑO						ESC: 1,5 : 1
	<b>BASE MOTOR</b>			ARCHIVO:	FCH: -	
				AYTOK AUTO	O.T.: N.A.	
	DIS: IVAN A. ATIS		DIB: IVAN A. ATIS		MOD: V1	
APRB: JAIME A. ATIS		REV: N.A.		PL.No: N.A.		

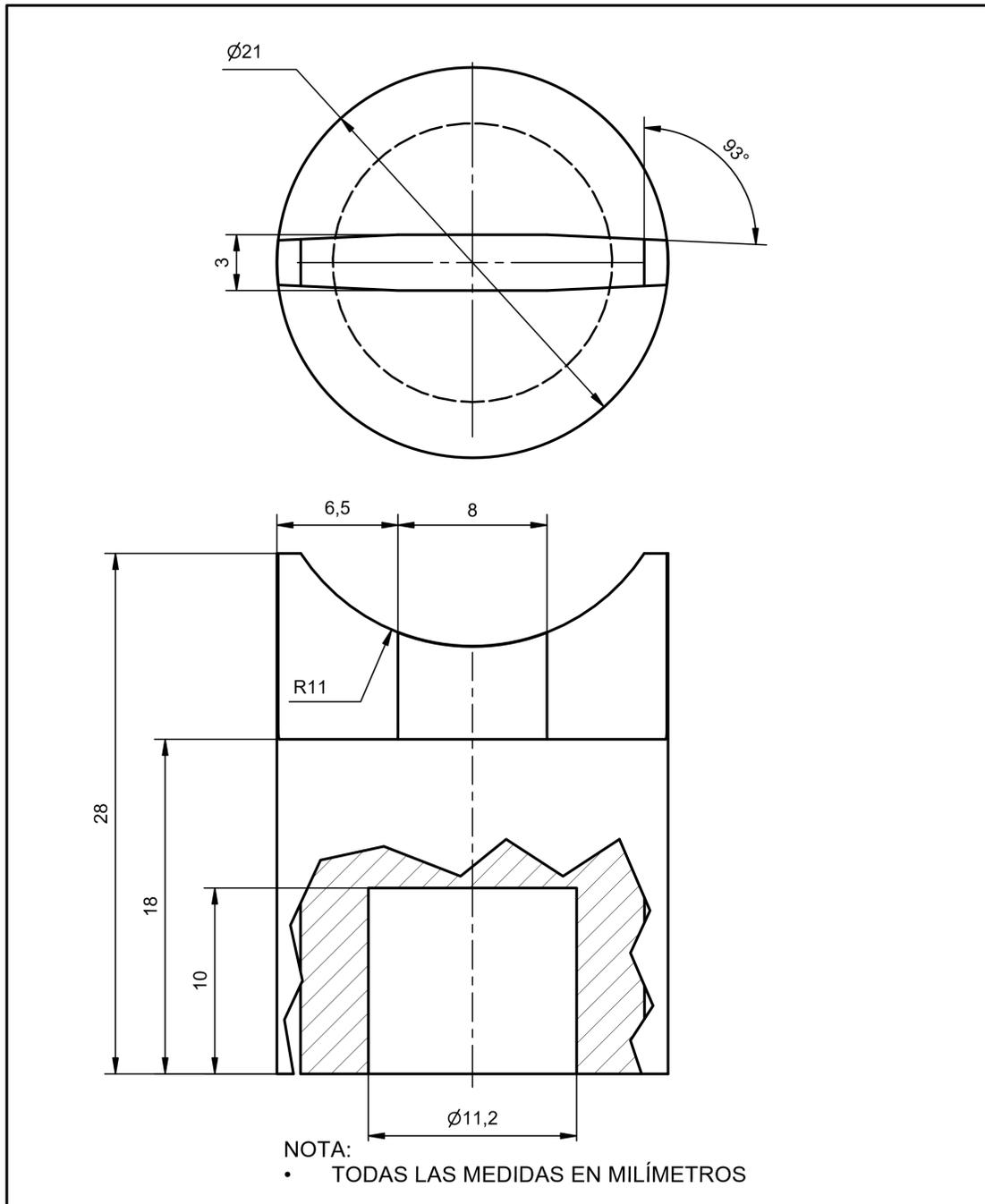


3	Acople motor	1	N.A.	PLA + Fibra de carbono	$\phi$ 16,2 mm x 40 mm	Impresión 3D
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
<b>GRUPO HOH</b>						
INGENIERÍA						
DISEÑO						ESC: 3 : 1
	<b>ACOPLE MOTOR</b>			ARCHIVO:	FCH: -	
				AYTOK AUTO	O.T.: N.A.	
	DIS: IVAN A. ATIS		DIB: IVAN A. ATIS		MOD: V1	
APRB: JAIME A. ROLDAN		REV: N.A.		PL.No: -		

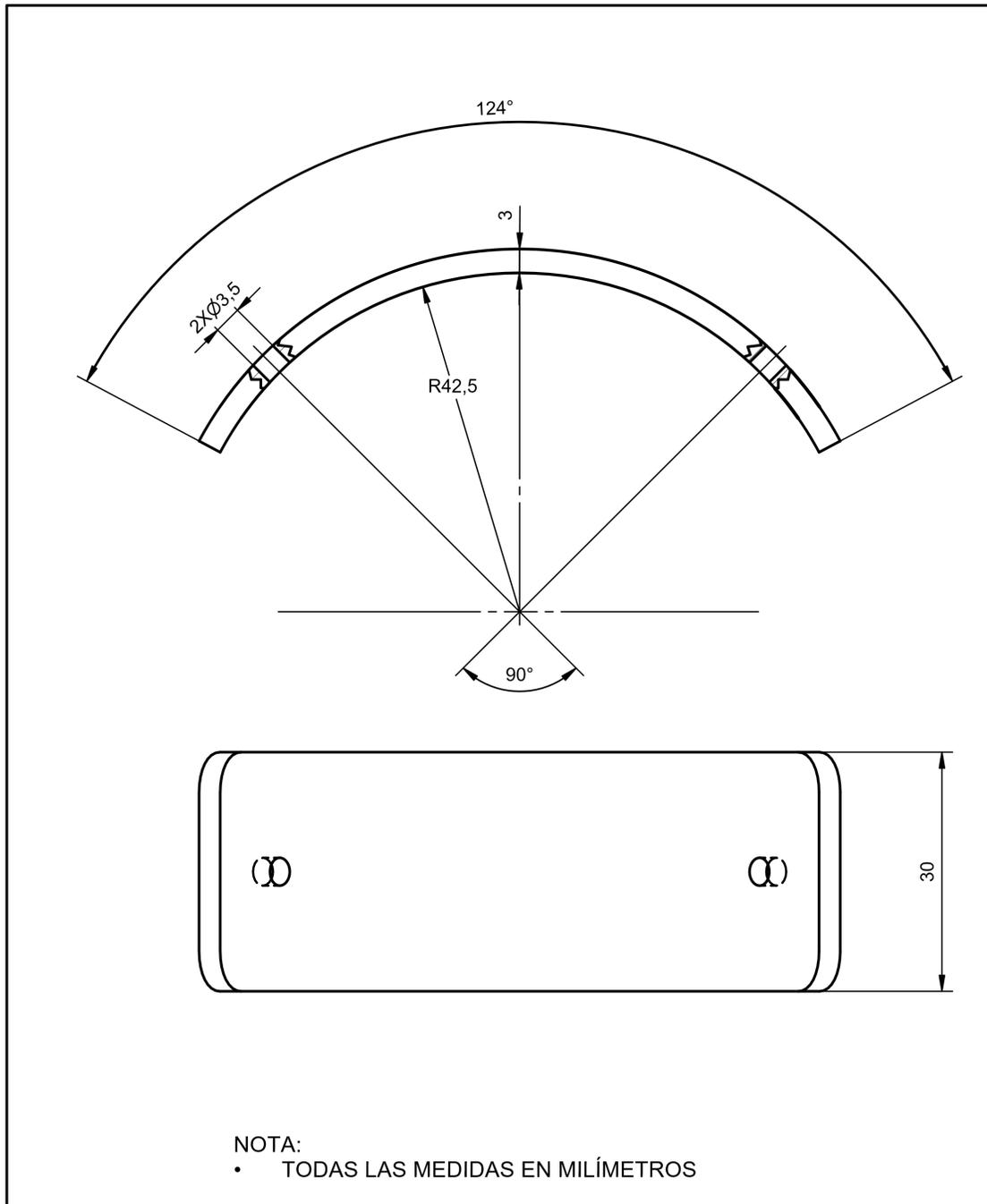


NOTA:  
 • TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS

4	Carcasa eje tornillo	1	N.A.	PLA + Fibra de carbono	$\varnothing 85$ mm x 115 mm	Impresión 3D
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
<b>GRUPO HOH</b>						
INGENIERÍA						
DISEÑO						
	<b>CARCASA EJE TORNILLO</b>			ARCHIVO: AYTOK AUTO	FCH: -	
	DIS: IVAN A. ATIS		DIB: IVAN A. ATIS		O.T.: N.A.	
	APRB: JAIME A. ROLDAN		REV: N.A.		MOD: V1	
					PL.No: -	



22	Diente eje tornillo	1	N.A.	PLA + Fibra de carbono	Ø21 mm x 28 mm	Impresión 3D
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
<b>GRUPO HOH</b>						
INGENIERÍA						
DISEÑO						ESC: 3,5 : 1
	<b>DIENTE EJE TRONILLO</b>			ARCHIVO:	FCH: -	
				ATOK AUTO	O.T.: N.A.	
	DIS: IVAN A. ATIS		DIB: IVAN A. ATIS		MOD: V1	
APRB: JAIME A. ROLDAN		REV: N.A.		PL.No: -		



23	Tapa diente PV20	1	N.A.	PLA + Fibra de carbono	-	Impresión 3D
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
<b>GRUPO HOH</b>						
INGENIERÍA						
DISEÑO						ESC: 1,5 : 1
	<b>TAPA DIENTE PV20</b>			ARCHIVO:	FCH: -	
				AYTOK AUTO	O.T.: N.A.	
	DIS: IVAN A. ATIS		DIB: IVAN A. ATIS		MOD: V1	
APRB: JAIME A. ROLDAN		REV: N.A.		PL.No: -		

