

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE RECIRCULACIÓN CON  
SISTEMA SANITARIO Y BANCO DE PRUEBAS PARA  
CARACTERIZACIÓN DE UNA VÁLVULA DE RIEGO.**

**JUAN ESTEBAN MEJIA JAIMES**

**EDWING ALEXANDER CARVAJAL MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA**

**2025**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE RECIRCULACIÓN CON  
SISTEMA SANITARIO Y BANCO DE PRUEBAS PARA  
CARACTERIZACIÓN DE UNA VÁLVULA DE RIEGO.**

**EDWING ALEXANDER CARVAJAL MARTINEZ**

**JUAN ESTEBAN MEJIA JAIMES**

**Plan de trabajo de grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR**

**MIGUEL ARLENZO DURAN**

**Ingeniero Mecánico, M. Eng**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA**

**2025**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
2. JUSTIFICACIÓN .....	8
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....	9
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	9
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
4. MARCO TEORICO.....	10
5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....	16
5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO COMPLETO .....	16
5.2. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD .....	17
5.3. MATRIZ CALIDAD .....	17
5.4. TIPOS DE SUBSISTEMAS.....	18
5.5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	19
5.6. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	23
5.7. ESPECIFICACIÓN DE ALTERNATIVA GANADORA.....	24
6. IDENTIFICACIÓN DE TAREAS Y SUBTAREAS .....	27
6.1. PLAN DE ACCIÓN PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS. ....	27
6.2. PLAN DE ACCIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VÁLVULA ELIPTIX EN CONDICIONES CONTROLADAS. ....	28
7. IDENTIFICACIÓN DE RECURSOS .....	30
7.1. COSTOS.....	31
8. METODOLOGÍA.....	32
8.1. DISEÑO RED SANITARIA Y BANCO DE PRUEBAS.....	32
8.2. CONSTRUCCIÓN RED SANITARIA Y BANCO DE PRUEBAS .....	36
8.3. MANUAL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA.....	37
8.4. INSTRUMENTACIÓN .....	38
8.5. CARACTERIZACIÓN DE LA VÁLVULA HIDRÁULICA.....	39

9. RESULTADOS .....	43
9.1. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA .....	43
9.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	44
9.3. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN. ....	45
10. CONCLUSIONES .....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS .....	63

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Válvula de diafragma</i> .....	11
<i>Figura 2. Válvula de globo</i> .....	12
<i>Figura 3. Válvula PRV</i> .....	13
<i>Figura 4. Válvula Eliptix</i> .....	14
Figura 5. Ecuación coeficiente del flujo.....	16
Figura 6. Matriz QFD.....	18
Figura 7. Esquema banco de pruebas.....	19
Figura 8. Tubería PVC.....	21
Figura 9. Diagrama de Gantt red sanitaria.....	28
Figura 10. Diagrama de Gantt Caracterización.....	29
<i>Figura 11. Diseño Red Sanitaria</i> .....	33
<i>Figura 12. Catalogo motobombas Ignacio Gómez (IHM)</i> .....	35
Figura 13. Esquema banco de pruebas.....	38
Figura 14. Bomba hidráulica Pedrollo.....	39
Figura 15. Variador de velocidad.....	40
Figura 16. Rotámetro.....	40
Figura 17. Válvula eliptix con manómetros.....	41
Figura 18. Construcción red sanitaria.....	43
Figura 19. Construcción banco de pruebas.....	44
Figura 20. Bomba hidráulica.....	44
Figura 21. Gráfica Cv vs $\sqrt{\Delta P}$ :35psi.....	46
Figura 22. Gráfica Cv vs $\sqrt{\Delta P}$ :30psi.....	47
Figura 23. Gráfica Cv vs $\sqrt{\Delta P}$ :25psi.....	48
Figura 24. Gráfica Cv vs $\sqrt{\Delta P}$ :20psi.....	49
<i>Figura 25. Gráfica Cv vs <math>\sqrt{\Delta P}</math> :10psi</i> .....	51
Figura 26. Datos de cavitación para la válvula eliptix.....	52
Figura 27. Relación entre Cv y $\Delta P$ .....	55

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Comparación de alternativas Bombas</i> .....	25
<i>Tabla 2. Comparación de alternativas Materiales</i> .....	25
<i>Tabla 3. Comparación de alternativas de sistema</i> .....	25
Tabla 4. Tabla de costos. ....	31
<i>Tabla 5. Tabla accesorios antes</i> .....	34
<i>Tabla 6. Tabla accesorios después</i> .....	34
Tabla 7. Tabla media de resultados. ....	53
Tabla 8. Tabla coeficiente R <sup>2</sup> .....	54

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Imagen guía para la red sanitaria de la turbo.....	63
Anexo B. Tanque de almacenamiento.....	63
Anexo C. Mangueras de presión.....	64
Anexo D. Tuberías de acero.....	64
Anexo E. Soldadura PVC.....	65
Anexo F. Válvula antirretorno.....	65
Anexo G. Tablas datos Excel.....	66
Anexo H. Oscilaciones de presión presentes en 10 psi.....	72
Anexo I. Manual de mantenimiento.....	72

## Resumen

**TÍTULO:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE RECIRCULACIÓN CON SISTEMA SANITARIO Y BANCO DE PRUEBAS PARA CARACTERIZACIÓN DE UNA VÁLVULA DE RIEGO.

**AUTOR:** JUAN ESTEBAN MEJIA JAIMES, EDWING ALEXANDER CARVAJAL MARTINEZ.

**PALABRAS CLAVE:** RED DE RECIRCULACIÓN, COEFICIENTE DE FLUJO (CV), VÁLVULA DE CONTROL HIDRÁULICO, CARACTERIZACIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

**DESCRIPCIÓN:** En este proyecto se pretende diseñar y construir una red de recirculación con sistema sanitario y banco de pruebas experimental y de capacitación, se busca integrar en un Furgón modelo TX-4011 para su uso como aula móvil, también se tiene en cuenta un proceso de selección de materiales que sean resistentes a la corrosión y nos den una larga vida útil para el sistema; además se propone caracterizar el comportamiento de una válvula eliptix modelo R20 de 2" diseñada para regular la presión en distintos sistemas hidráulicos, en donde cualquier variación de presión puede afectar los componentes de la red y poner en riesgo el correcto funcionamiento de los accesorios.

Conocer el coeficiente de flujo de la válvula ( $C_v$ ) facilita la selección y permite predecir el comportamiento de la misma para diferentes valores de caudal y presión en cultivos agrícolas. Asimismo, se propone la elaboración de un manual de mantenimiento preventivo que garantice la durabilidad y el correcto funcionamiento del sistema hidráulico abordando diversos problemas que podrían presentarse y sus soluciones para mantener un estado óptimo. En este proyecto no solo se pretende construir una herramienta educativa o de capacitación, también se contribuye a optimizar procesos de riego de cultivos mediante la caracterización precisa de dispositivo de control hidráulico.

---

Trabajo de grado

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Miguel Arlenzo Duran, M. Eng.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A RECIRCULATION NETWORK WITH A SANITARY SYSTEM AND TEST BENCH FOR THE CHARACTERIZATION OF AN IRRIGATION VALVE.

**AUTHOR:** JUAN ESTEBAN MEJIA JAIMES, EDWING ALEXANDER CARVAJAL MARTINEZ.

**KEY WORDS:** RECIRCULATION NETWORK, FLOW COEFFICIENT (CV), HYDRAULIC CONTROL VALVE, CHARACTERIZATION, PREVENTIVE MAINTENANCE.

**DESCRIPTION:** This project aims to design and build a recirculation network with a sanitary system and an experimental and training test bench. It is intended to integrate it into a TX-4011 model van for use as a mobile classroom. A selection process for materials that are resistant to corrosion and give the system a long useful life is also taken into account. Additionally, the study aims to characterize the behavior of a 2" R20 model eliptix valve designed to regulate pressure in various hydraulic systems, where any pressure variation can affect network components and jeopardize the proper functioning of the accessories.

Knowing the valve's flow coefficient (Cv) facilitates selection and allows for predicting its behavior for different flow rates and pressures in agricultural crops. Furthermore, the study proposes the development of a preventive maintenance manual to ensure the durability and proper functioning of the hydraulic system, addressing various problems that may arise and providing solutions to maintain an optimal condition. This project not only aims to build an educational or training tool, but also contributes to optimizing crop irrigation processes through the precise characterization of the hydraulic control device.

---

Degree work

Faculty of Physical Mechanics. School of Mechanical Engineering. Director: Miguel Arlenzo Duran, M. Eng.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las empresas usualmente tienen el problema de no poder dar a conocer sus productos o su funcionamiento, en nuestro caso, cuando hablamos de empresas que se dedican a vender válvulas de control de presión para agro o instalaciones de redes hidráulicas. Para abordar este problema y dar a conocer estos tipos de productos, se planea remodelar un camión para convertirlo en un aula móvil e investigativa, equipado con un sistema de recirculación de agua y un banco de pruebas. Este banco permitirá evaluar el rendimiento de una válvula Eliptix, la cual se destaca por su capacidad de mantener una presión estable a pesar de las variaciones en la red. Además de servir como una herramienta educativa, el proyecto facilitará un análisis detallado del comportamiento de la válvula cuando hay cambios en la presión del sistema.

La construcción de un sistema de recirculación y banco de pruebas en un aula móvil incluye muchos componentes críticos como la tubería PVC, la bomba hidráulica, presostato y su conexión eléctrica y la válvula eliptix , los cuales trabajan a distintas condiciones de presión, humedad y temperatura, además de vibraciones y sedimentos en el sistema; en este escenario surge la necesidad de elaborar un manual de mantenimiento preventivo que incluya rutinas comunes de inspección, limpieza y ajustes periódicos para cada elemento, esto extiende los tiempos de inactividad y aumenta la vida útil de los componentes.

La válvula eliptix está diseñada para mantener una presión constante en cultivos agrícolas, por lo tanto, requiere de una caracterización experimental para conocer su coeficiente de flujo ( $C_v$ ), el cual permitirá cuantificar la capacidad de esta misma para dejar circular un caudal de agua bajo ciertas condiciones de presión; conocer esta información hará más fácil la selección y operación correcta de la válvula en cualquier sistema anticipando problemas de desempeño y de comportamiento.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Por un lado, el banco de pruebas permitirá un análisis detallado del funcionamiento de la válvula eliptix. Evaluar su rendimiento en un entorno controlado proporcionará datos valiosos sobre su eficiencia en la regulación de presión, contribuyendo al desarrollo de una solución más efectiva para garantizar un riego uniforme. Por otro lado, la transformación del camión en un aula móvil facilitará la enseñanza práctica sobre la instalación y el uso adecuado de redes sanitarias domésticas. Este espacio didáctico permitirá instruir sobre buenas prácticas en instalaciones hidráulicas, el funcionamiento de componentes clave (como lavamanos, duchas, inodoros, lavaplatos y calentadores de agua) y el mantenimiento preventivo de estos sistemas.

El desarrollo del proyecto presenta desafíos técnicos, como la optimización del espacio disponible en el camión y la integración de un diseño funcional y didáctico. Asimismo, se priorizará el uso de componentes adecuados para garantizar la durabilidad y fiabilidad del sistema.

### **3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema sanitario y un banco experimental para la caracterización de una válvula de riego adaptado en un furgón TX-4011, con el fin de crear un aula móvil para capacitaciones e investigación.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir una red de tuberías con cloruro de polivinilo (PVC) en un furgón TX-4011 cumpliendo con la norma ASTM D1785; permitiendo la visualización del banco de pruebas para capacitaciones y la caracterización funcional de la válvula Eliptix.
- Implementar un manual para el encendido y correcto funcionamiento del sistema de recirculación. El manual proporcionará información detallada de las condiciones de operación como presión y caudal, medidas de seguridad y las respectivas actividades de mantenimiento preventivo para garantizar la durabilidad.
- Obtener la curva característica de la válvula al relacionar el coeficiente de flujo ( $C_v$ ) con el recorrido del vástago (% abierto) en diferentes condiciones de presión.

## 4. MARCO TEORICO

### 4.1 Las válvulas reguladoras de riego.

Con la llegada de la agricultura y el riego en distintos cultivos agrícolas, las válvulas reguladoras dejaron de ser simples compuertas y se convirtieron en una parte importante de los cultivos, sus distintos usos y aplicaciones ganaron terreno en el sector y se convirtieron en parte importante del mismo.

Con el paso del tiempo su uso se fue expandiendo y hoy en día se usan en prácticamente cualquier zona agrícola, existen 3 tipos importantes usados ampliamente:

- **Válvulas de diafragma.**

Las válvulas de diafragma aparecieron en el siglo XX como una solución para controlar fluidos en aplicaciones industriales principalmente para evitar fugas en aplicaciones de química y alimentos. El diseño de la válvula consta de un diafragma flexible que se abre o cierra para permitir el paso de fluido, con el paso del tiempo se utilizaron elastómeros y plásticos lo que permitió su uso en distintos sectores.

“Una válvula de diafragma es una válvula con un diafragma resiliente que divide el cuerpo de la válvula en dos partes. Mediante aire comprimido o presión hidráulica, el diafragma se mueve hacia arriba y hacia abajo para controlar el flujo del medio. Puede utilizarse en medios de alta presión, alta viscosidad y corrosivos.” <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> *Chengdu Chuanli Co. Ltd, 2024*

Figura 1. Válvula de diafragma



Fuente: PVL Plastics. PVC Diaphragm Valve Flanged

- **Válvulas de globo hidráulicas.**

Las válvulas de globo aparecieron antes de las válvulas de diafragma a mediados del siglo XIX, fueron creadas para regular el flujo en redes de vapor o agua a diferencia de las válvulas de diafragma.

El mecanismo de su función trata de un disco u obturador que se mueve de forma perpendicular permitiendo el paso o restricción del flujo controlando principalmente el caudal, mas no la presión.

Sin embargo, en aplicaciones agrícolas este tipo de válvula presentan desventajas pues generan mayores pérdidas hidráulicas debido a su paso obstruido esto se traduce en mayores pérdidas de presión y fluido, además de ser más propensa a taparse por sedimentos.

Figura 2. Válvula de globo.



Fuente: Indiamart. Globe valve

- **Válvulas reductoras de presión PRV.**

Este tipo de válvulas también conocidas como PRV (Pressure Reducing Valves), se inventaron en el siglo XIX para mantener una presión constante a la salida de la línea en redes de vapor o fluidos industriales similar a las aplicaciones de la válvula de diafragma descrita anteriormente.

“Las válvulas de retención/alivio de presión accionadas por diafragma se utilizan para proteger los sistemas de una sobrepresión excesiva o para mantener una presión mínima aguas arriba. El sistema piloto de la válvula detecta la presión aguas arriba (entrada). Mientras la presión aguas arriba esté por debajo del ajuste del piloto de la válvula, la válvula principal estará herméticamente cerrada.”<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> BERMAD (water technologies), 2012

No obstante, para aplicaciones agrícolas este tipo de válvulas tienen demasiadas limitaciones frente a las demás válvulas comerciales, pues suelen ser más complejas para su construcción y mantenimiento, además, de ser más sensibles a los sedimentos causados por el sistema lo cual puede afectar su rendimiento y eficiencia a lo largo del tiempo.

Figura 3. Válvula PRV.



Fuente: BERMAD. catalogo válvulas de control

- **Válvula Eliptix**

“Esta válvula de control hidráulico está hecha de materiales compuestos, y se acciona mediante un novedoso diafragma que se integra con una gran variedad de pilotos, solenoides y diversos accesorios de control y su presión máxima de trabajo es de 10 bares.

Están destinadas a funcionar en sistemas de distribución y abastecimiento de agua, puede usarse en cultivos de riego, así como cultivos agrícolas y de jardinería” <sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> *Catalogo Aquestia, 2019*

Esta válvula será la utilizada para la construcción del banco de pruebas y la caracterización para cuantificar el coeficiente de flujo.

Figura 4. *Válvula Eliptix*.



Fuente: Aquestia. *válvula Eliptix*

#### **4.2 Antecedentes que caracterización.**

La caracterización del coeficiente de flujo  $C_v$  es un procedimiento importante en hidráulica pues permite comprender el comportamiento de las válvulas reguladoras de presión en distintas condiciones de operación y su determinación mediante experimentos es muy importante en aplicaciones industriales y agrícolas. Estos resultados permiten la construcción de curvas características que son esenciales en procedimientos de diseño y selección permitiendo un suministro constante y eficiente frente a sobrepresiones y desequilibrios hidráulicos del sistema.

Se han establecido distintas normas como ANSI/ISA y API las cuales estandarizan procedimientos de caracterización.

- **ISA-75.01.01:** anteriormente conocida como ISA S75.01, “esta normal estandariza una metodología y condiciones para determinar el coeficiente  $C_v$ , explica cómo se debe medir el caudal y la presión diferencial en condiciones controladas. Es muy aceptada en la industria hidráulica porque permite obtener valores de  $C_v$  que sean comparables y repetibles.” (ISA.org, 2025)
- **Norma API:** aunque esta norma no se centra específicamente en encontrar el coeficiente de flujo si habla sobre requisitos de prueba e inspección para

las válvulas de control de presión. Existen otras normas API como la API 520 y API 526 las cuales explican el diseño y dimensionamiento de válvulas de seguridad o alivio para las cuales también es importante conocer el coeficiente.

#### **4.3 Norma ASTM D1785.**

“Esta norma fue emitida por American Society for Testing and Materials (ASTM International), la cual especifica procedimientos para la instalación de tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) que serán destinadas al transporte de fluidos a presión. Esta norma se puede aplicar a diversas tuberías de distintas clasificaciones de presión y diámetro nominal (según las series Schedule 40, 80 y 120), además explica las tolerancias, métodos de prueba y criterios para la aceptación del sistema.” (ASTM international D1785, 2021)

Desde una perspectiva ingenieril esta norma permite garantizar la seguridad estructural y la compatibilidad de los sistemas de tuberías como es el caso de redes sanitarias, sistemas de riego o incluso bancos de pruebas, aunque no trata temas como la caracterización de válvulas, el cumplir esta norma asegura que los sistemas de PVC integrados a las válvulas de control hidráulico tengan la suficiente resistencia para soportar las presiones involucradas

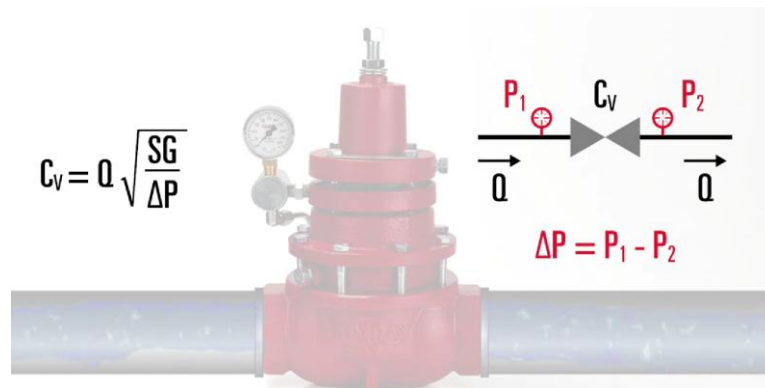
## 5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

### 5.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO COMPLETO

La bomba opera con succión negativa para distribuir agua a los diferentes componentes del sistema, lo que requiere la instalación de una válvula antirretorno y un punto de cebado para prevenir problemas como la cavitación y el desgaste prematuro debido a la presencia de aire. Uno de los principales desafíos es evitar fugas o sobrecargas cuando las válvulas están cerradas, ya que pueden afectar las tuberías o la operación de la bomba. Para mitigar este riesgo, se implementa el sistema Hydroflo, que detiene automáticamente la bomba al detectar un aumento crítico de presión, protegiendo los componentes.

En el banco de pruebas de la válvula Eliptix se cuantifican los valores del coeficiente de flujo ( $C_v$ ) en función del porcentaje de apertura de la válvula para la construcción de una gráfica con la información recopilada. El coeficiente de flujo ( $C_v$ ) lo podemos entender como la facilidad que tiene un líquido o gas para pasar a través de una válvula, su valor está en función del caudal (GPM), peso específico del fluido de trabajo (SG) y un diferencial de presión controlado por la válvula ( $\Delta P$ )

Figura 5. Ecuación coeficiente del flujo.



Fuente: Canal Kimray español, YouTube. ¿Qué es el coeficiente de flujo de la válvula ( $C_v$ )?

Conocer este coeficiente es fundamental en ingeniería y en el diseño de sistemas fluidos porque facilita el proceso de selección, también permite predecir el comportamiento de la válvula y diagnosticar anticipadamente problemas de rendimiento relacionados con la misma.

## **5.2. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD**

- **Requerimientos del Consumidor**

El proyecto debe cumplir con las normativas de seguridad, asegurando que todos los componentes estén certificados para redes de agua. Además, debe garantizar la funcionalidad del sistema de recirculación, capaz de simular una red doméstica con diversos elementos alimentados desde un tanque mediante una bomba. También incluirá un banco de pruebas con una tubería de 2 pulgadas para evaluar la válvula reguladora de presión, permitiendo observar variaciones de presión y flujo. El sistema debe ser intuitivo y de fácil mantenimiento para optimizar su uso como aula móvil, con materiales resistentes a la corrosión y desgaste para una mayor durabilidad. Asimismo, el camión debe ser un espacio educativo funcional que facilite la explicación del sistema, todo dentro del presupuesto de la empresa sin comprometer calidad ni operatividad.

- **Organización de Requerimientos**

Los requisitos para el diseño e instalación del sistema de recirculación de agua en el camión se estructuran considerando las necesidades del cliente, normativas, los aspectos técnicos del diseño, la funcionalidad del sistema y el banco de pruebas, así como los factores económicos y operativos.

## **5.3. MATRIZ CALIDAD**

La matriz QFD muestra que los aspectos más valorados en el diseño del sistema son la resistencia a la corrosión y desgaste y el diseño accesible, que obtuvieron

las puntuaciones más altas en comparación con otros requisitos del cliente. Esto resalta la importancia de garantizar la durabilidad de los materiales utilizados y la facilidad de uso del sistema, factores clave para asegurar un rendimiento confiable, un fácil mantenimiento y funcionamiento como aula móvil.

Figura 6. Matriz QFD

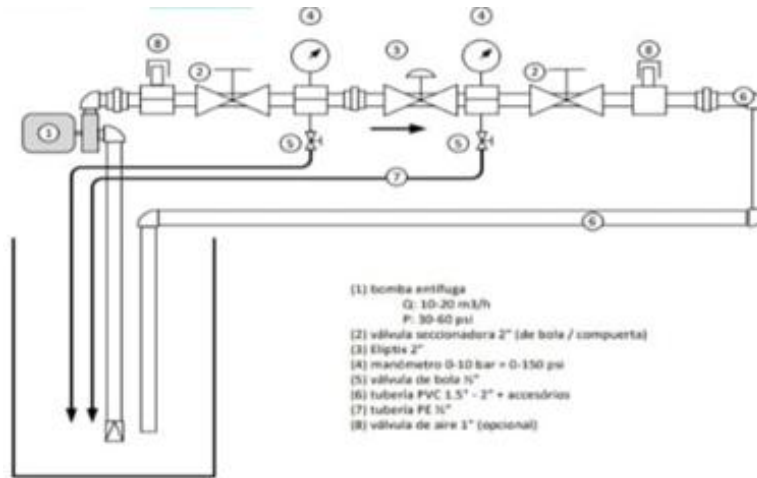
REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	IMPORTANCIA RELATIVA	Certificación de componentes	Capacidad de recirculación	Presión y flujo ajustables	Diseño accesible y educativo	Resistencia a corrosión y desgaste	Consumo energético de la bomba	Seguridad y confiabilidad del sistema	Costos de fabricación y mantenimiento
Cumplimiento de normativas y estándares de seguridad	9	9	0	0	3	6	0	3	0
Simulación de la red doméstica	8	2	9	3	6	6	3	3	0
Banco de pruebas funcional para válvula reguladora	7	2	6	9	3	3	0	0	0
Facilidad de uso y mantenimiento	7	0	3	0	9	3	0	6	3
Durabilidad y fiabilidad de los materiales	8	3	3	3	6	9	0	6	3
Autonomía	6	0	2	0	0	0	9	0	3
Compatibilidad con productos de la empresa	5	3	2	0	0	0	0	9	6
Costos competitivos	6	0	0	0	0	0	3	0	9
<b>Total</b>		<b>150</b>	<b>181</b>	<b>111</b>	<b>207</b>	<b>216</b>	<b>96</b>	<b>186</b>	<b>147</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4. TIPOS DE SUBSISTEMAS

- **Sistema de distribución del agua:** Está compuesto por una red de tuberías simulando una red doméstica, como lavamanos, inodoro, ducha, lavaplatos, lavadero y por el otro lado de la turbo un banco de pruebas (véase anexo 1).
- **Bomba de recirculación:** Esta bomba se alimenta del camión, debe operar manteniendo un flujo constante y ajustándose a las necesidades del sistema.
- **Banco de pruebas:** Está formado por una tubería de 2 pulgadas. Este subsistema permite observar y medir el comportamiento de la válvula bajo diferentes condiciones operativas de presión y flujo (ver figura 6).

Figura 7. Esquema banco de pruebas



Fuente: Elaboración propia

- **Tanque de almacenamiento:** Es el punto inicial del sistema y está ubicado en la parte inferior del camión (véase anexo 2).
- **Componentes de soporte:** Estos incluyen las conexiones, válvulas y demás accesorios que sirven como elementos educativos para mostrar.

## 5.5 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

El aula tiene como objetivo ser fácilmente transportable, esto puede someter al sistema a vibraciones y distintas condiciones ambientales que afectan la durabilidad de los componentes. Por ello, se evaluarán varias opciones de diseño para la bomba, tuberías y sistema de apagado, con el fin de seleccionar el más apto.

- **Sistema de bombeo**

Para cumplir con los requisitos de funcionamiento de la válvula Eliptix se requiere de un caudal entre 10 a 20 m<sup>3</sup>/h y un rango de presiones de 30 a 60 psi. No

obstante, se disponía de una bomba con 1 HP, cuya curva característica evidenciaba que el caudal máximo no era suficiente para el sistema.

- **Adquisición de una nueva bomba hidráulica.**

La primera alternativa consiste en adquirir una bomba hidráulica de mayor capacidad operativa, que pueda suministrar caudales superiores a 15 m<sup>3</sup>/h, con una potencia nominal de 2 HP.

- **Sistema de dos bombas en serie.**

Se propuso la conexión en serie de dos bombas centrífugas de 1 HP, la presión total del sistema corresponde a la suma de las presiones individuales de cada bomba. Esta configuración permite incrementar la altura manométrica facilitando la elevación del fluido a mayores alturas. La potencia total consumida equivale aproximadamente a la potencia nominal de cada unidad.

- **Sistema de dos bombas en paralelo.**

También se propuso la conexión en paralelo de dos bombas centrífugas de 1 HP. Según la conservación de la energía el caudal total suministrado al sistema es igual a la suma de los caudales individuales aportados por cada bomba, sin embargo, la altura manométrica permanece constante como si solo estuviese una bomba funcionando.

- **Sistemas de tuberías y conducciones.**

Para este proyecto se requiere garantizar una conexión entre el depósito ubicado en la parte inferior del vehículo y el sistema de bombeo, el cual se encarga de distribuir el flujo másico hacia dos destinos: el banco de pruebas experimental y la red sanitaria. Para abordar este problema, se plantean las siguientes alternativas:

- **Tubería PVC.**

También conocido como cloruro de polivinilo es un termoplástico sintético de fácil fabricación, es muy conocido por su versatilidad de instalación, ligereza y durabilidad. Los diámetros son estandarizados desde 1/2" hasta 24" y pueden conectarse entre sí mediante soldaduras por solvente, roscado o juntas elastoméricas.

*Figura 8. Tubería PVC.*



*Fuente: Catalogo Gerfor. Tuberías PVC*

- **Mangueras de alta presión.**

Son componentes industriales usados principalmente para transportar fluidos a altas presiones como agua, aceite u otros líquidos. Pueden soportar condiciones extremas debido a su construcción robusta constituida por un tubo de caucho sintético revestido con fibras de acero trenzado y con una capa extra de poliuretano o termoplástico en la parte exterior permitiendo soportar presiones de hasta 700 bares (véase anexo 3).

- **Tuberías de acero.**

Son elementos fundamentales en cualquier industria debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad, se pueden encontrar en sectores petroleros, de construcción, automovilismo, industria química y minera. La presión nominal máxima que resiste cada material varía según el Schedule (espesor de pared) y el diámetro, (véase anexo 4).

- **Sistema de seguridad y apagado.**

Una bomba hidráulica puede funcionar por horas sin ningún problema, sin embargo, cuando todas las llaves se encuentran cerradas provocan problemas graves en el sistema como sobrecalentamiento, aumento de presión, daños a la bomba y sellos mecánicos. Para mitigar los riesgos es recomendable implementar distintas medidas, por lo tanto, se analizarán y evaluarán las siguientes alternativas:

- **Sistema hidroflo.**

Es una solución diseñada para gestionar un sistema de bombeo de forma autónoma. Está conformado por una bomba hidráulica, motor eléctrico, tanque, tuberías o conexiones y presostato. La bomba al llenar el tanque hidroflo, aumenta la presión interna haciendo que el presostato mecánico apague la bomba al desenergizar el sistema.

- **Variador de frecuencia para bombas.**

Es un dispositivo electrónico que sirve para controlar la velocidad de giro en un motor modificando la frecuencia de la corriente que alimenta el sistema. Cuando se conecta a una bomba permite ajustar la presión o caudal del fluido de forma precisa. Para poder seleccionar el variador correcto es necesario considerar la potencia del motor, así como su tipo de carga.

## 5.6. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para seleccionar las alternativas para la red sanitaria y banco de pruebas tendremos en cuenta la matriz QFD proporcionada (ver figura 5). Según la matriz, los aspectos más valorados son la resistencia a la corrosión y desgaste, además de un diseño accesible, seguidos de cerca por la seguridad en la construcción y funcionamiento de sistema hidráulico.

### 5.6.1. Sistema de bombeo.

- **Adquisición de la nueva bomba hidráulica:** Es importante llevar un mantenimiento preventivo y garantizar su funcionamiento por más tiempo. Cuando se trata de un producto nuevo, la confiabilidad es muy buena porque el equipo está en óptimas condiciones.
- **Sistema de dos bombas en serie y paralelo:** Estos sistemas requieren un mantenimiento más riguroso, además esta configuración permite alcanzar altas presiones o caudales sin sobrecargar una bomba, pero puede afectar otras partes del sistema que no están diseñadas para estas condiciones.

### 5.6.2. Sistemas de tuberías y conducciones.

- **Tuberías de PVC:** A diferencia de los metales no se oxidan ni se degradan con la presencia de humedad, además son altamente resistentes a la corrosión química, haciéndola perfecta para transportar agua. El PVC es un material no conductor, lo cual lo hace seguro en aplicaciones que requieran contacto con cables eléctricos y agua, además no es inflamable.
- **Mangueras de alta presión:** Estas mangueras suelen estar fabricadas con caucho sintético, teflón o termoplásticos, ideales para evitar la corrosión química. Están diseñadas para trabajar en ambientes industriales donde las condiciones no son las mejores, no obstante, es importante realizar inspecciones regulares para detectar grietas, abultamientos o fugas.

- **Tuberías de acero:** Son muy resistentes al desgaste mecánico comparado con el PVC, es importante evitar vibraciones. Son muy susceptibles a la corrosión, por eso se recomienda usar aceros inoxidable. Son las más usadas en aplicaciones de alta presión y temperatura, es importante implementar un programa de limpieza interna y externa para evitar acumulación de sedimentos o incrustaciones.

### **5.6.3. Sistema de seguridad y apagado.**

- **Sistema Hidroflo:** Estos sistemas usan materiales como aceros inoxidable, aleaciones de níquel y plásticos, ideales para manejar diversos fluidos. Cuenta con válvulas de alivio o sensores mecánicos que ayudan a evitar sobrecargas en el sistema sin requerir intervención humana.
- **Variador de frecuencia para bombas:** Deben alojarse en carcasas de metal o plásticos, es crucial evitar cualquier exposición a la humedad o salinidad, se deben realizar limpiezas periódicas para eliminar polvo y suciedad. Los VFD generan calor durante su operación, por lo tanto, se deben instalar en lugares ventilados o con un sistema de enfriamiento adicional

## **5.7. ESPECIFICACIÓN DE ALTERNATIVA GANADORA**

Según la puntuación total obtenida en la matriz QFD, para el sistema de bombeo sobresale como la mejor opción, adquirir una bomba nueva. Para el sistema de tubería es recomendable usar PVC por sus propiedades anticorrosivas, por último, el sistema Hidroflo nos ofrece mayor seguridad y autonomía.

Tabla 1. Comparación de alternativas Bombas

Sistema de bombeo	Resistencia al desgaste y corrosión	Seguridad	Puntaje Total
Bomba nueva	9	8	17
Bombas en serie	7	6	13
Bombas en paralelo	7	6	13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Comparación de alternativas Materiales

Sistemas de tuberías y conducciones	Resistencia al desgaste y corrosión	Seguridad	Puntaje Total
Tuberías PVC	9	8	17
Mangueras de alta presión	8	8	16
Tuberías de acero	5	7	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Comparación de alternativas de sistema.

Sistemas de seguridad y apagado	Resistencia al desgaste y corrosión	Seguridad	Puntaje Total
Sistema hidroflo	8	9	17
Variador de frecuencia para bombas	6	7	13

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda de la ecuación general de la energía (1) se obtiene la potencia requerida de la bomba para mover el sistema:

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{(V1)^2}{2 * G} + Ha - Hl = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{(V2)^2}{2 * G} \quad (1)$$

Conociendo el diámetro de las tuberías PVC usadas en la succión y el desagüe que son de 2" y 1" respectivamente se puede aproximar la velocidad promedio, teniendo en cuenta el caudal mínimo requerido para el banco de pruebas que es de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q=V*A \quad \Rightarrow \quad V=\frac{Q}{A} \quad (2)$$

Conociendo el caudal requerido para el banco de pruebas se puede estimar un caudal apropiado para la red sanitaria en función de la siguiente ecuación:

$$\frac{Q2}{Q1} = \left(\frac{D2}{D1}\right)^2 \quad (3)$$

Deduciendo un caudal mínimo de  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  y unos diámetros de entrada y salida de 2" y 1" respectivamente, se obtienen las siguientes velocidades de caudal utilizando la ecuación 2:

$$V1 = \frac{Q1}{A1} = \frac{0,001388}{\pi * (0,0127)^2} = 2,74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V2 = \frac{Q2}{A2} = \frac{0,001388}{\pi * (0,00953)^2} = 4,87 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## 6. IDENTIFICACIÓN DE TAREAS Y SUBTAREAS

### 6.1. PLAN DE ACCIÓN PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.

- **Dimensionamiento del furgón:** Se analizaron las dimensiones del furgón TX-4011 para determinar los espacios requeridos para instalar el sistema de recirculación. **Plazo: 2 semanas.**
- **Diseño inicial de la red:** Se establece un boceto para una distribución preliminar de la red sanitaria y del banco de pruebas. **Plazo: 3 semanas.**
- **Cálculo de pérdidas y altura de la bomba:** Se realizan los cálculos para pérdidas de carga y se determina la altura requerida para el sistema. **Plazo: 3 semanas.**
- **Evaluación de alternativas:** Se identifican posibles soluciones y se comparan según los requisitos ganadores de la matriz QFD. **Plazo: 4 semanas.**
- **Análisis de costos y financiamiento:** Se realiza el listado con los materiales requeridos y una liquidación con el valor aproximado. **Plazo: 2 semanas.**
- **Ensamblaje del sistema:** Se instala la bomba seleccionada junto con los distintos componentes de la red. **Plazo: 5 semanas.**
- **Pruebas y monitoreos:** Se verifica la existencia de fugas, además de evaluar el correcto desempeño de bomba, la red y se procede a la caracterización de la válvula del banco de pruebas. **Plazo: 2 semanas.**
- **Ajuste del sistema:** Regulación del presostato y verificación del correcto funcionamiento del sistema Hidroflo para el encendido y apagado de la bomba evitando sobrepresiones o cavitación en la bomba. **Plazo: 2 semanas.**

### 6.1.1 Diagrama de Gantt red sanitaria y banco de pruebas

Figura 9. Diagrama de Gantt red sanitaria.

ACTIVIDADES	ACCIONES/TAREAS A EJECUTAR	TIEMPO DE DURACIÓN															
		FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Dimensionamiento	Estudio del furgón TX-4011	■	■														
Diseño inicial	Diseño de la red sanitaria y banco de pruebas		■	■	■												
Cálculos técnicos	Cálculos de pérdidas y altura requerida				■	■	■										
Evaluación de alternativas	Análisis y comparación según matriz QFD						■	■	■	■							
Costos y financiamiento	Análisis de costos y aprobación							■	■								
Construcción	Ensamblaje del sistema y redes, instalación de presostato									■	■	■	■	■			
Pruebas de funcionamiento	Llenado, revisión de fugas y pruebas generales														■	■	
Ajuste del sistema	Regulación del presostato y verificación del sistema Hidroflo															■	■
Creación del Libro	Sustentación			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Elaboración propia

### 6.2. PLAN DE ACCIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VÁLVULA ELIPTIX EN CONDICIONES CONTROLADAS.

- **Construcción del banco de pruebas:** La válvula se debe adaptar correctamente a la bomba del laboratorio de hidráulica, por eso se deben realizar las adaptaciones necesarias con el fin de permitir la conexión de los manómetros, caudalímetro y variador de velocidad. **Plazo: 1 semana.**
- **Recolección de datos:** con ayuda del variador de velocidad y de los manómetros se toman muestras de las condiciones de operación con distintos porcentajes de apertura para la válvula. **Plazo: 3 semanas.**
- **Análisis de datos:** a partir de los datos obtenidos anteriormente se pretende construir una gráfica que recopile toda la información para tener una tendencia en función del caudal y la variación de presión, de tal forma se

puede deducir un coeficiente de flujo para cualquier apertura del tornillo.

**Plazo: 2 semanas.**

### 6.2.1 Diagrama de Gantt para la caracterización de la válvula eliptix.

Figura 10. Diagrama de Gantt Caracterización.

ACTIVIDADES	ACCIONES/TAREAS A EJECUTAR	Tiempo de duración							
		Junio				Julio			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Construcción	Banco de pruebas para toma de datos caracterización.								
Toma de datos	Recolección de datos de caudales a diferentes presiones.								
Análisis de datos	Creación de tablas y gráficos para determinar el valor del Cv y cómo se comporta al variar los set point.								
Creación del Libro	Sustentación								

Fuente: Elaboración propia

## 7. IDENTIFICACIÓN DE RECURSOS

- **Personal y mano de obra:** Se cuenta con el apoyo del director de grado e ingenieros para consultas como cálculos del sistema hidráulico, incluyendo las pérdidas de carga, altura requerida. Se considera para la red eléctrica el costo de un electricista que realice la conexión del alternador con la bomba.
- **Equipo de trabajo y materiales:** Cortadoras, sierras, pinzas y pegamentos, entre otras herramientas. También se deben contar con los materiales necesarios como tuberías de PVC, codos, térs, válvulas reguladoras de presión y válvulas antirretorno, además de equipos de medición para monitorear el sistema hidráulico. Adicionalmente, se deben tener en cuenta elementos de seguridad como guantes, gafas, mascarillas y ropa de trabajo.
- **Espacio de Trabajo:** Al tratarse de un aula móvil, el lugar de trabajo es muy versátil, permitiéndonos avanzar en el proyecto en cualquier lugar donde el vehículo pueda ser parqueado.
- **Sistema hidroflo y de bombeo:** Los costos requeridos para la compra de la nueva motobomba junto con el conjunto del sistema hidroflo (tanque, presostato, manómetro, válvula antirretorno).
- **Proveedores:** Los elementos de trabajo pueden ser adquiridos en ferreterías locales, contactos directos o a través de internet, permitiéndonos acceder a una gran variedad de alternativas durante el diseño de la red hidráulica.
- **Caracterización de la válvula:** En el laboratorio de hidráulica de la Universidad Tecnológica de Santander (UTS) se nos permitirá acceder a una bomba hidráulica con variador de velocidad para poder caracterizar la válvula bajo condiciones tangibles y controladas.

- **Otros:** Durante el proyecto se deben realizar bocetos y cálculos preliminares además de varias semanas de preparación y desarrollo del plan, por lo tanto, se tiene un gasto de papelería y transporte.

## 7.1. COSTOS

El costo aproximado para llevar a cabo la construcción del sistema de recirculación esta detallado en la gráfica de presupuesto.

Tabla 4. Tabla de costos.

Recurso	Descripción	Costos	Presupuesto
Electricista	Conexión del alternador con la bomba para alimentar el sistema desde el furgón.	\$ 300,000.00	Propio
Herramientas	Cortadoras, sierras, pinzas, pegamentos, entre otros.	\$ 420,000.00	Propio
Materiales hidráulicos	Tuberías de PVC, codos, tees, adaptadores, válvulas reguladoras de presión, válvulas antirretorno.	\$ 680,000.00	Propio
Equipos de medición	Manómetros y amperímetros.	\$ 140,000.00	Propio
Motobomba	Nueva motobomba seleccionada según criterios del proyecto.	\$ 1,793,000.00	Propio
Sistema hidroflo	Tanque, presostato, manómetro, válvula antirretorno.	\$ 340,000.00	Propio
Elementos de protección	Guantes, gafas, mascarilla, ropa de trabajo.	\$ 80,000.00	Propio
Alquiler furgón	Costo por alquilar la turbo el tiempo necesario para realizar el montaje.	\$ 480,000.00	Propio
Ingeniero	Consultas y supervisión de cálculos técnicos e instalación del sistema.	\$ 2,700,000.00	UIS
TOTAL (propio)	Total sumando solo gastos propios	\$ 4,233,000.00	
Imprevistos	10% por imprevistos	\$ 423,300.00	
TOTAL		\$ 4,656,300.00	

Fuente: elaboración propia

El trabajo de grado será financiado de la siguiente manera:

- El sistema de bombeo (bomba e hidroflo) y la turbo modelo TX – 4011 se alquilará por el tiempo necesario a un proveedor.
- El dinero necesario para la construcción de la red sanitaria será suministrado por los estudiantes a cargo del proyecto de grado.
- El profesor asignado para el acompañamiento será financiado por parte de la Universidad Industrial de Santander, además de permitirnos el acceso al laboratorio de hidráulica de la UTS para la caracterización de la válvula.

## **8. METODOLOGÍA**

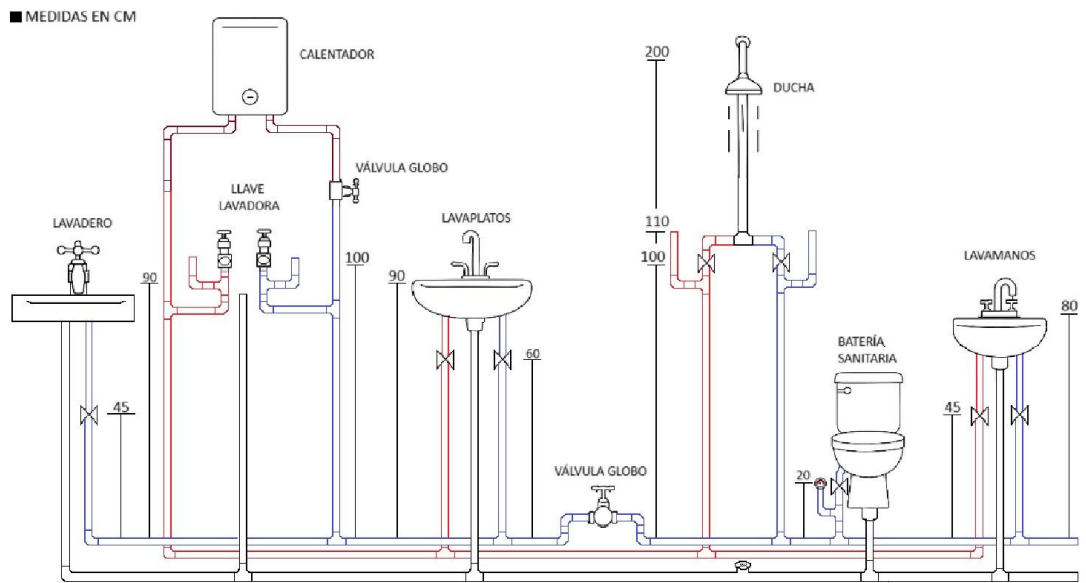
La metodología por seguir para abordar el desarrollo del proyecto se dividió en cinco fases principales: diseño y construcción del sistema, elaboración del manual técnico, instrumentación y caracterización de la válvula. Esta estructura permitió organizar de forma progresiva cada etapa cumpliendo con el orden de los objetivos específicos del proyecto.

### **8.1 DISEÑO RED SANITARIA Y BANCO DE PRUEBAS**

#### **8.1.1. Diseño red sanitaria.**

Antes de empezar con el diseño de la red sanitaria se hizo el estudio del dimensionamiento del espacio disponible en el furgón y de cuáles eran los componentes principales que hacen parte de cualquier red sanitaria en un hogar para así poder simular esa carga en un sistema, estos son: lavamanos, batería sanitaria, ducha, lavaplatos, llaves para lavadora, calentador de agua y lavadero, ambos sistemas divididos. A continuación, se presenta una representación gráfica del diseño a seguir en la construcción de la red sanitaria, donde teniendo las alturas y accesorios utilizados podemos hacer el cálculo de las pérdidas presentes en el sistema y cuál va a ser la altura y potencia necesaria a alcanzar por la bomba.

Figura 11. Diseño Red Sanitaria



Fuente: Elaboración propia

### 8.1.2 Cálculo de pérdidas hidráulicas.

Basándose en el boceto inicial de la red sanitaria se puede realizar el cálculo de pérdidas hidráulicas para estimar la potencia requerida de la bomba, a continuación, se presenta del coeficiente de pérdida para los accesorios.

Tabla 5. Tabla accesorios antes.

Antes de la bomba hidráulica.			
Accesorios	Cantidad	Pérdida unitaria	Pérdida total
Codos 90° grados	4	0,9	3,6
Válvula de globo	1	10	10
Válvula antirretorno	1	6	6
		Total	19,6

Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott, sexta edición en el capítulo 10.10

por tanto, para obtener las pérdidas por accesorios y por altura se cuantifican con la ecuación 1:

$$H_{l1} = \frac{19,6*(2,74)^2}{2*9,81} = 7,49 \text{ m.}$$

Tabla 6. Tabla accesorios después.

Después de la bomba hidráulica.			
Accesorios	Cantidad	Pérdida unitaria	Pérdida total
Codos 90° grados	3	0,9	2,7
Tee	2	0,1	0,2
Válvula de globo	1	10	10
		Total	12,9

Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott, sexta edición en el capítulo 10.10

$$H_{I2} = \frac{12,9 \cdot (4,87)^2}{2 \cdot 9,81} = 15,6 \text{ m.}$$

Al sumar ambas pérdidas se obtiene  $15,6\text{m} + 7,49\text{m} = 23,09 \text{ m} = H_I$ .

La altura requerida de la bomba para mover el sistema es el siguiente, teniendo en cuenta la altura mínima de la ducha y la pérdida de todos sus accesorios se deduce de la ecuación general de la energía (1):

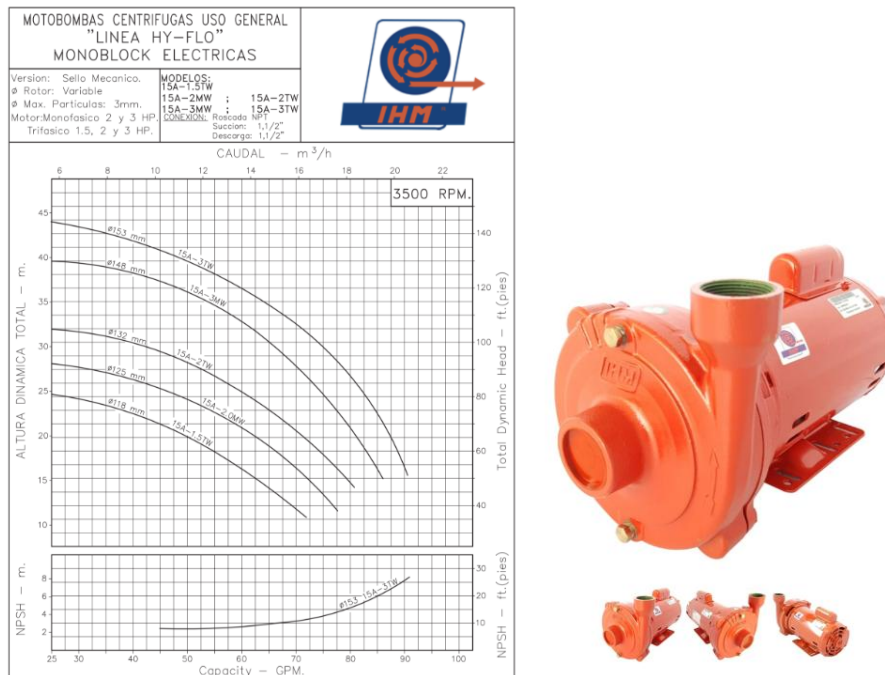
$$H_a = Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot G} + H_I - \frac{V_1^2}{2 \cdot G}$$

$$H_a = 2\text{m} + \frac{4,87^2}{2 \cdot 9,81} + 23,09 - \frac{2,74^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_a = 25,92 \text{ metros.}$$

Con la altura manométrica de la bomba se puede buscar catálogos de bombas hidráulicas que cumplan con los requerimientos de caudal y altura.

Figura 12. Catalogo motobombas Ignacio Gómez (IHM).



Fuente: Catalogo tomado del sitio web Ignacio Gómez (IHM).

Con ayuda de una curva característica proporcionada por la empresa Ignacio Gómez (IHM) se pudo seleccionar una motobomba modelo IHM 12A – 2MW, la cual es capaz de manejar caudales de hasta  $17 \frac{m^3}{h}$  y una altura de 27 metros, cumpliendo con los requerimientos.

## **8.2. CONSTRUCCIÓN RED SANITARIA Y BANCO DE PRUEBAS**

### **8.2.1. Recomendaciones**

Es importante utilizar los elementos de seguridad como guantes, gafas de seguridad, mascarilla y botas de seguridad, debido al riesgo que existe al momento de manipular las distintas herramientas de corte existentes para tubería PVC, además de los químicos a los que se pueden exponer con los que trabaja el PVC. Cuando se va a trabajar con tubería PVC es recomendable antes de aplicar soldadura limpiar la tubería con acondicionador o limpiador PVC, para eliminar posibles impurezas presentes que pudieran afectar en la soldadura, aplicar la soldadura y dejar secar 24 horas es lo recomendado antes de utilizarse, esto sirve para aumentar la eficacia de la soldadura.

### **8.2.2. Construcción red furgón**

Para la construcción de la red sanitaria en el interior del furgón implica la instalación de una red de tuberías PVC de acuerdo con la norma. Esta red con sus respectivas salidas sanitarias se pensó para poder dividir los espacios presentes en la red. Se utilizó adhesivo para PVC tipo soldadura en frío para garantizar uniones duraderas (véase anexo 5). Las conexiones fueron reforzadas mecánicamente mediante soportes metálicos atornillados a la estructura del furgón.

Posteriormente, se conectó la red sanitaria con el sistema de bombeo a través de una válvula antirretorno en la succión, asegurando la circulación unidireccional del flujo (véase anexo 6). El sistema se integró al banco de pruebas y al tanque de

almacenamiento de agua. Se implementaron llaves de paso independientes para dividir la operación y facilitar futuros mantenimientos.

Para el banco de pruebas se instaló como una sección independiente dentro del sistema hidráulico, empleando una tubería principal de 2 pulgadas, este subsistema incluye manómetros de entrada y salida, y se utilizaron conexiones reforzadas con soportes estructurales soldados al chasis del vehículo, asegurando rigidez y estabilidad durante el funcionamiento. Se habilitó una línea de bypass para recircular el flujo y evitar presurización excesiva durante las pruebas.

Finalmente, se instaló un presostato automático como parte del sistema Hydroflo, permitiendo el encendido y apagado automático de la bomba según la presión registrada en la red. Se realizaron pruebas hidrostáticas durante la instalación para detectar posibles fugas, puntos críticos en las conexiones, verificar valores de presión y caudal para asegurarnos de un funcionamiento esperado.

### **8.3. MANUAL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA**

Como parte del proyecto, se contempló la elaboración de un manual técnico de operación y mantenimiento para el sistema de recirculación de agua instalado en el banco de pruebas y red sanitaria del furgón. El manual está diseñado para asegurar la durabilidad del sistema, garantizar condiciones seguras de funcionamiento y fomentar buenas prácticas de operación, especialmente en contextos de formación y ensayos experimentales como los que se van a realizar.

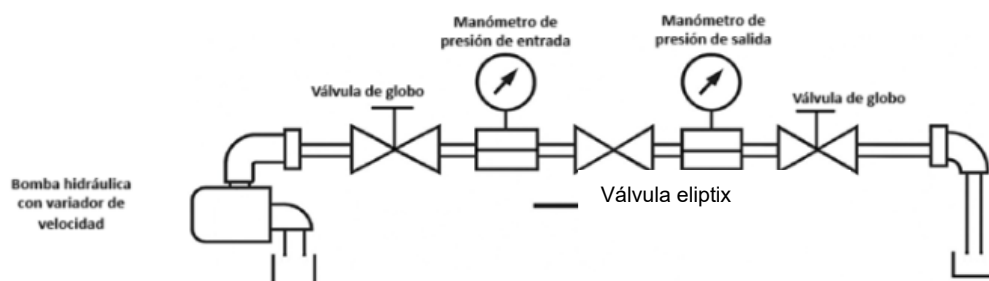
## 8.4. INSTRUMENTACIÓN

### 8.4.1. Construcción banco de pruebas.

Para la caracterización de la válvula debemos mantener unas condiciones controladas de caudal, presión y temperatura, estas condiciones son difíciles de mantener en el furgón debido a la ausencia de un variador de velocidad para la bomba, por tanto, en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Tecnológica de Santander se desarrollarán los ensayos necesarios para las pruebas de la válvula, con ayuda de una bomba hidráulica conectada a un variador de velocidad se pretende medir el coeficiente de flujo en función del caudal controlado por el variador.

Como se observa en la figura 11, la válvula tendrá manómetros en la entrada y salida para monitorear el cambio de presión, además de contar con unas válvulas de globo parcialmente abiertas que van a simular las pérdidas en el sistema como si se tratara de un cultivo de riego, con esta información se pretenden construir gráficas del coeficiente de flujo ( $C_v$ ) con distintas intensidades de caudal con el fin de brindar información importante sobre la válvula para mejorar la capacidad de selección y prevenir problemas de operación.

Figura 13. Esquema banco de pruebas.



Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Variador de velocidad.



Fuente: Elaboración propia

También se añadió un rotámetro a la salida de la válvula para poder medir con mayor precisión el caudal que pasa por el sistema (ver figura 14), el cual es un dato clave para conocer el coeficiente de flujo de la válvula.

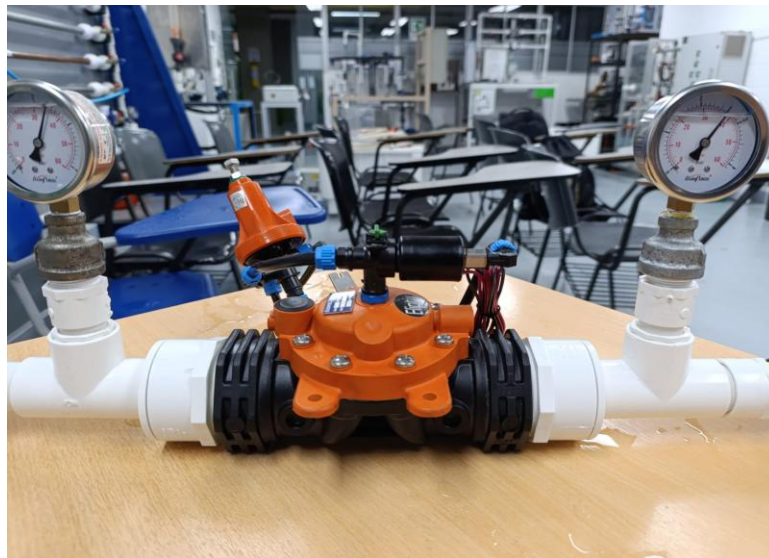
Figura 16. Rotámetro.



Fuente: Elaboración propia

Para la toma de datos se adecuó la válvula con un cambio de sección de 2 pulgadas a 1 con un manómetro a cada lado. Gracias a las uniones rápidas se conectaron mangueras que harán llegar el agua desde la bomba hasta la descarga, donde el agua se vuelve a tomar, a la derecha se puede apreciar el valor de la presión que alcanza el sistema y la izquierda el valor de la presión regulada por la válvula, de la diferencia de estas medidas nace el delta de presiones que es el otro dato que tomaremos para conocer el coeficiente de flujo de la válvula, ajustando el tornillo se varía la presión que se desea obtener a la salida de la válvula.

*Figura 17. Válvula eliptix con manómetros.*



*Fuente: Elaboración propia*

### **8.5.1. Ejecución del ensayo.**

Una vez realizada la conexión exitosamente se procede a la caracterización de la válvula, con ayuda de los manómetros en la entrada y salida de la línea hidráulica y del variador de velocidad, se obtienen diferentes datos del caudal en función del cambio de presión establecidos por la válvula, se pretenden tomar datos de 10, 15, 20, 25, 30 y 35 psi de presión regulada.

### **8.5.2. Registro y análisis de datos.**

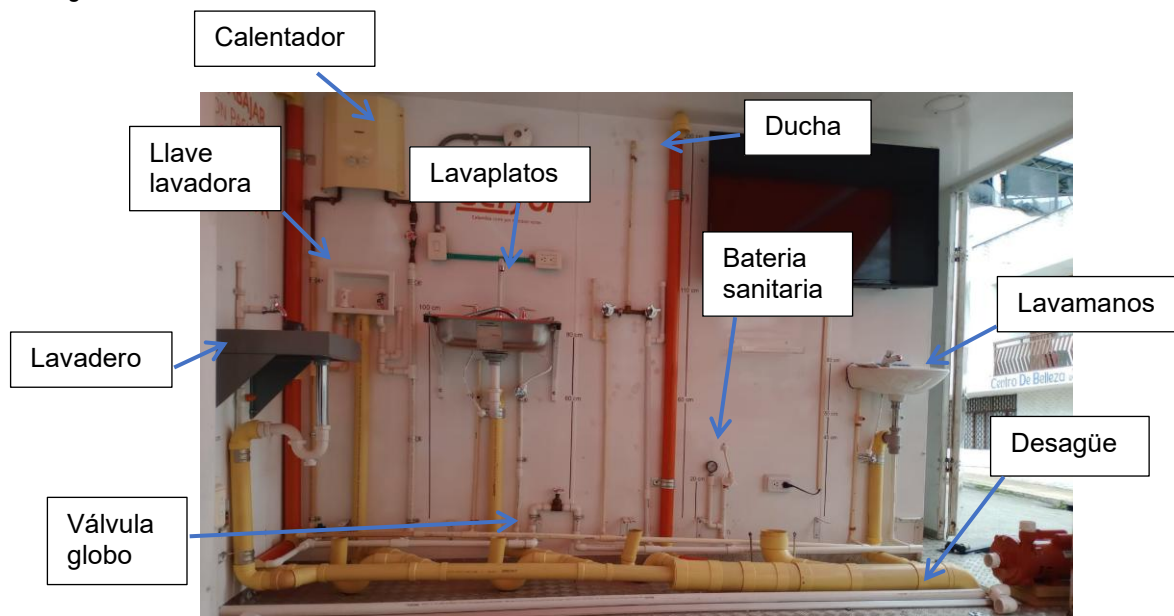
Con ayuda del programa Excel se pretende tabular todos los datos obtenidos de tal forma que se obtendrá una tendencia que permita predecir una constante del coeficiente de flujo en función de la apertura del tornillo; dato clave para conocer la caracterización de la válvula y de sus aplicaciones en ámbitos industriales o agrícolas.

## 9. RESULTADOS

### 9.1. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

#### 9.1.1. Red sanitaria

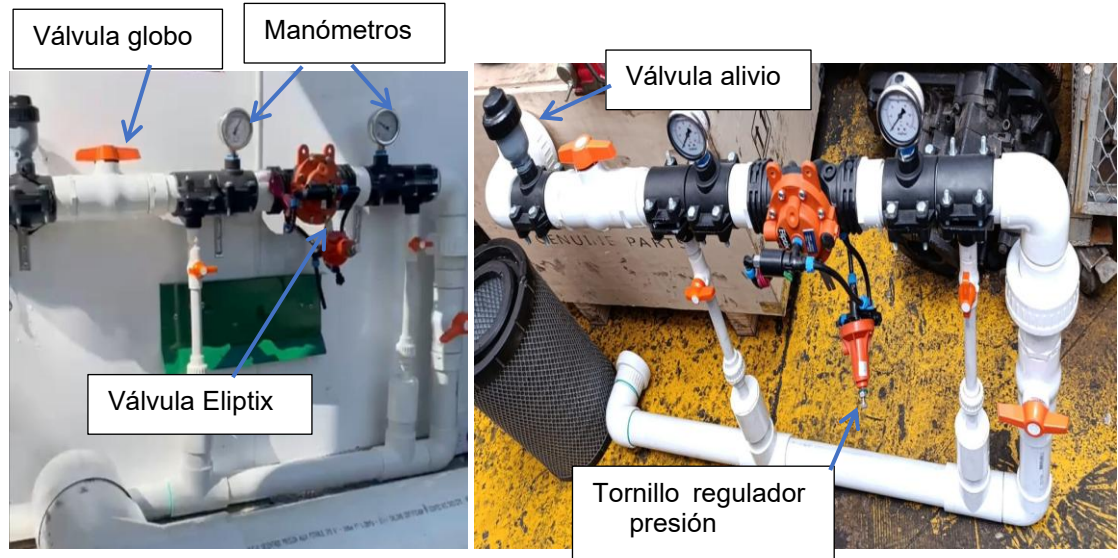
Figura 18. Construcción red sanitaria.



Fuente: Elaboración propia

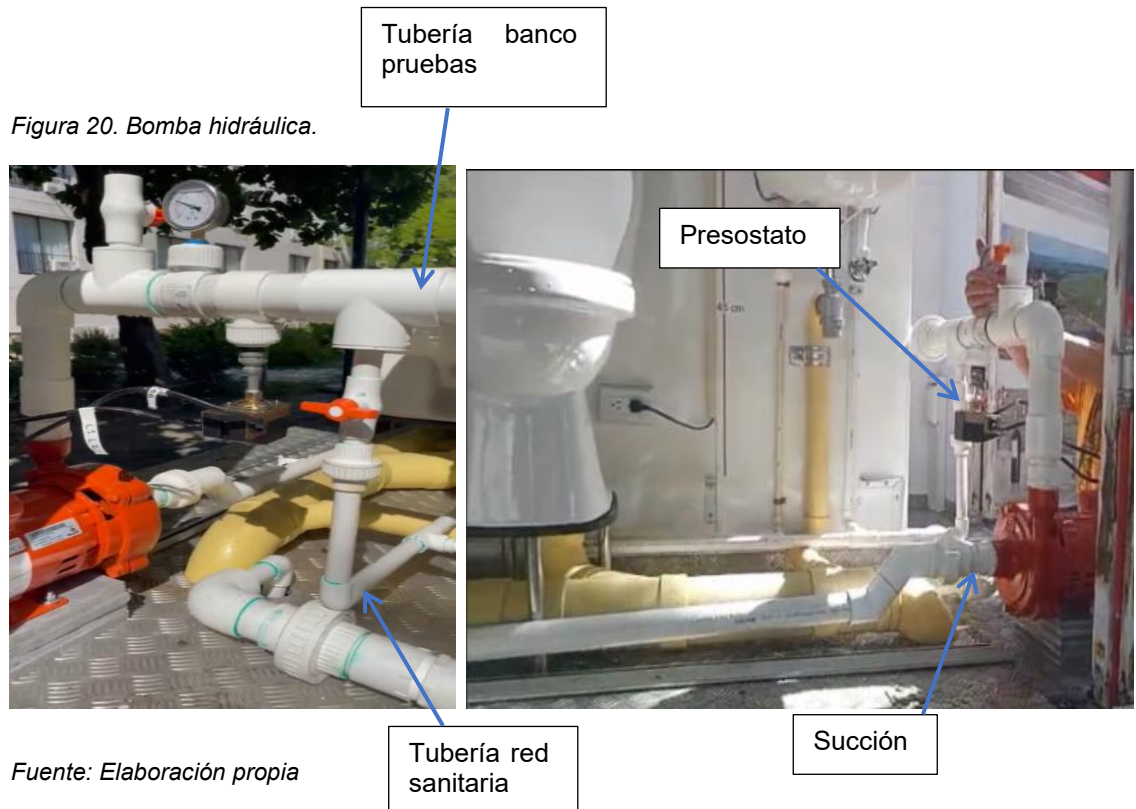
### 9.1.2. Banco de pruebas

Figura 19. Construcción banco de pruebas.



Fuente: Elaboración propia

### 9.1.3. Sistema de bombeo.



Fuente: Elaboración propia

## 9.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO.

Durante la construcción de la red sanitaria y banco de pruebas se recopiló información importante para poder realizar un mantenimiento preventivo al sistema, con el fin de alargar su vida útil y realizar cambios o modificaciones a la red de forma segura. Los requerimientos, observaciones y metodología están descritos brevemente en el manual de mantenimiento anexo al final de nuestra investigación (véase anexo 10).

## 9.3. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN.

En cada set-point, se permitió que el sistema alcanzara condiciones estables antes de iniciar el registro de datos. Se utilizó el rotámetro y manómetros instalados aguas arriba y aguas abajo de la válvula para calcular el valor del caudal el diferencial de presión ( $\Delta P$ ). Los datos de caudal fueron expresados en mililitros por segundo (mL/s) y las presiones en libras por pulgada cuadrada (psi).

$$Cv = Q * \frac{1}{\sqrt{\Delta P}} \quad (5)$$

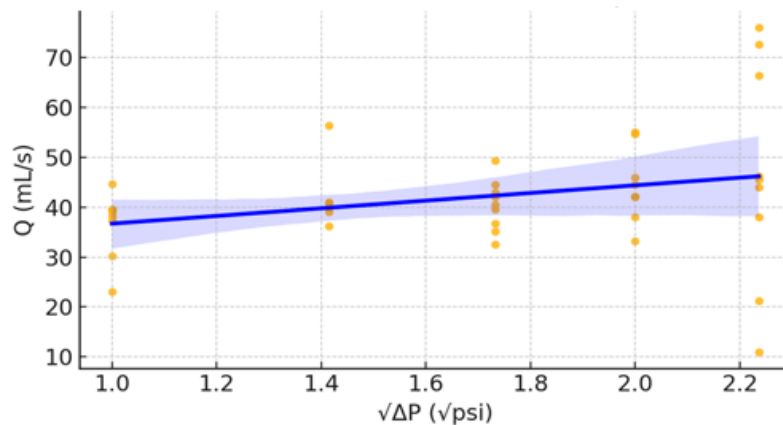
Para asegurar la representatividad de los datos, se tomaron entre 30 y 50 muestras por set-point, dependiendo de la estabilidad del sistema y el tiempo de respuesta de los instrumentos. En algunos casos, como el set-point de 10 psi, se presentaron oscilaciones en la presión de salida de la válvula y cavitación en la bomba debido a la poca presión, lo cual obligó a esperar períodos más prolongados entre mediciones para obtener lecturas confiables.

A partir de los ensayos realizados en el laboratorio de hidráulica de la uts, se obtuvieron valores de caudal y presión diferencial para distintos puntos de

regulación de la válvula Eliptix. Los datos fueron registrados y tabulados en Excel (véase anexo 8), permitiendo construir gráficas de caudal (Q) en función de la raíz cuadrada del diferencial de presión ( $\sqrt{\Delta P}$ ) con la ecuación 5.

### 9.3.1. Válvula ajustada a 35 psi.

Figura 21. Gráfica Cv vs  $\sqrt{\Delta P}$  :35psi

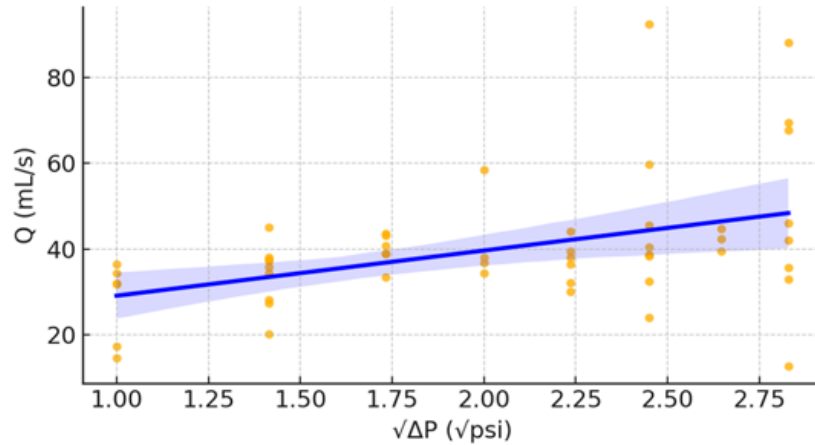


Fuente: Elaboración propia

En este punto es cuando la válvula alcanza el mayor CV promedio registrado entre todos los tomados durante el experimento, la tendencia de la curva es una forma lineal definida con un incremento del caudal con algunas fluctuaciones que generan una pendiente igual a  $7.67 \text{ (mL/s)} / \sqrt{\text{psi}}$ . Esta condición representa lo más cercano al máximo rendimiento de la válvula dentro del rango del muestreo, el delta de presiones con respecto al máximo de nuestro sistema es bajo por lo que solo se tomaron 40 datos para este muestreo, se recomienda llevar la válvula a presiones más altas para poder estudiar mejor su comportamiento en dichas presiones.

### 9.3.2. Válvula ajustada a 30 psi.

Figura 22. Gráfica Cv vs  $\sqrt{\Delta P}$  :30psi

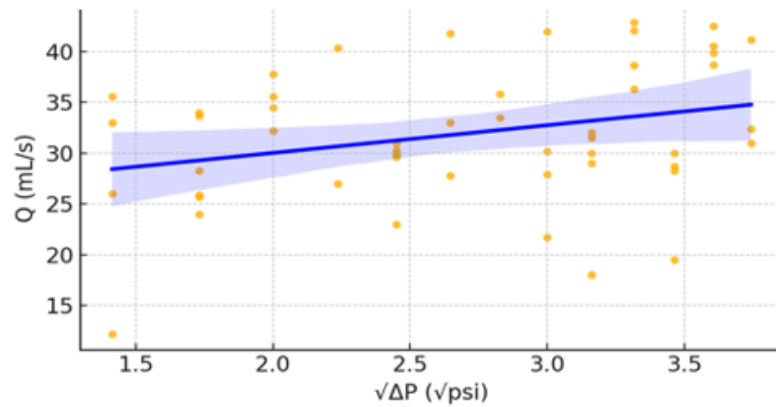


Fuente: Elaboración propia

Para 30 psi se tomaron 50 datos de los cuáles la válvula mostró una buena respuesta, con tendencia positiva y una pendiente lineal al alza, eleva los valores de Cv lo que indicaría un aumento en el caudal por unidad de presión, la linealidad de la gráfica sugiere que no hay perturbaciones o irregularidades que pudieran afectar significativamente la tendencia de la válvula, resultando en una regulación precisa de la presión por parte de la válvula, la pendiente para este punto fue de  $10.55 \text{ (mL/s)/}\sqrt{\text{psi}}$ , la más alta registrada.

### 9.3.3. Válvula ajustada a 25 psi.

Figura 23. Gráfica Cv vs  $\sqrt{\Delta P}$  :25psi

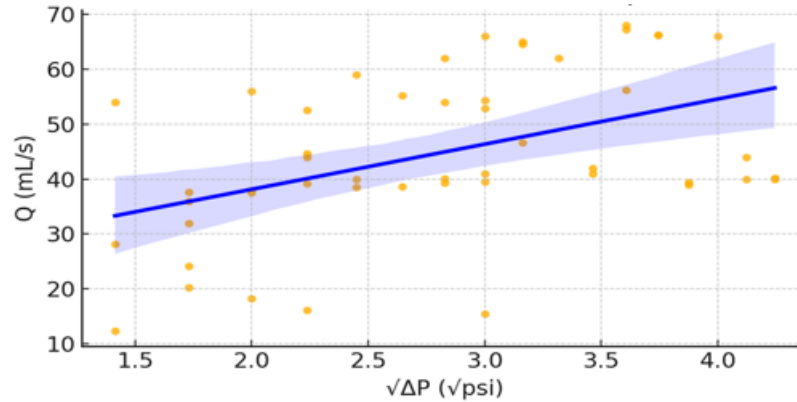


Fuente: Elaboración propia

Se presenta una disminución en la pendiente respecto a 20 y 30, lo que no debería ser normal en la tendencia general, esto puede ser causado por una menor linealidad en el comportamiento, ruido en las mediciones o una apertura que no es completamente uniforme, a pesar de esto, los valores de Cv se mantienen en un rango operativo válido, aunque con una menor eficiencia comparativa frente a presiones superiores, ya que para 25 tenemos un valor de pendiente de 2.73 (mL/s)/ $\sqrt{\text{psi}}$ , lo cual es bajo si lo comparamos con los resultados de los otros valores de pendiente entregados.

### 9.3.4. Válvula ajustada a 20 psi.

Figura 24. Gráfica Cv vs  $\sqrt{\Delta P}$  :20psi

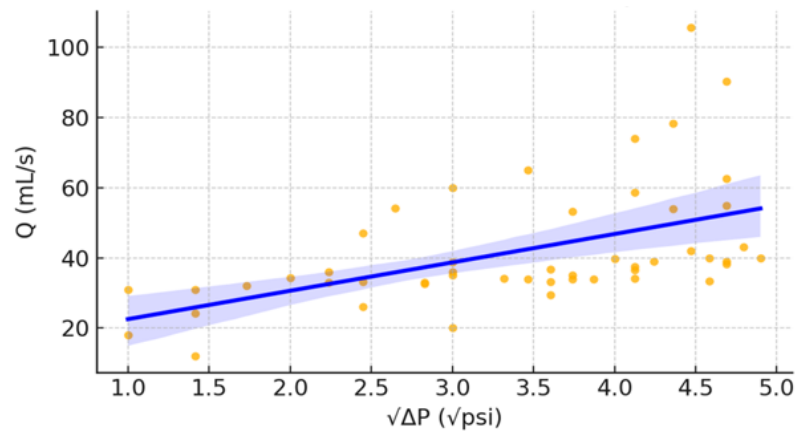


Fuente: Elaboración propia

En este punto se observa una distribución pronunciada de los puntos, sin embargo, se observa una tendencia positiva y mayor pendiente registrada respecto a la gráfica de 25 psi. Esta distribución poco uniforme puede deberse al ruido o variaciones generada por la válvula, porque al estar trabajando a presiones bajas afecta el rendimiento y capacidad de respuesta de esta misma, sin embargo, se logra apreciar una pendiente de  $8.22 \text{ (mL/s)} / \sqrt{\text{psi}}$  en este punto, una de las más altas y corresponde a la tendencia buscada.

### 9.3.5. Válvula ajustada a 15 psi.

Figura 25. Gráfica Cv vs  $\sqrt{\Delta P}$  :15psi

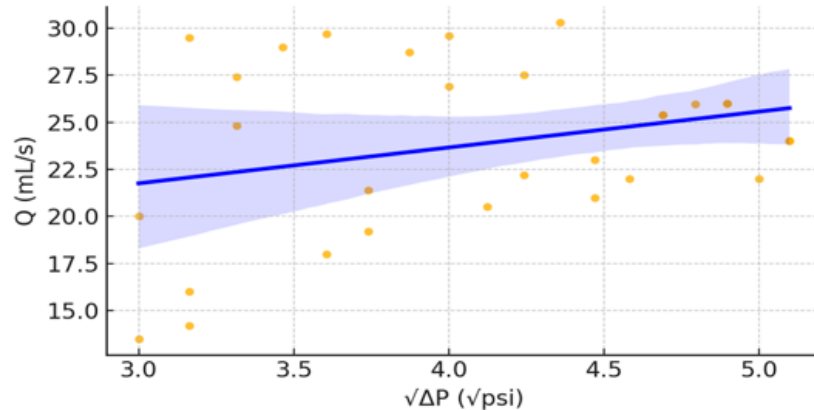


Fuente: Elaboración propia

Cuando la presión de salida de la válvula se ajusta a 15 psi, los datos vuelven a ser más constantes generando una pendiente de  $8.08(\text{mL/s}) / \sqrt{\text{psi}}$ , sin embargo, se puede detectar ruido o cavitación proveniente de la válvula, esto se puede explicar debido al rango de operación de la válvula. Cuando la presión de salida se reduce a menos de 2 bares = 29 psi de presión y la presión de entrada no excede aproximadamente el doble de ese valor (58 psi), la válvula comienza a presentar problemas de operación y por tanto puede afectar el rendimiento del sistema, como se puede apreciar con más detalle en la figura 20.

### 9.3.6. Válvula ajustada para 10 psi.

Figura 25. Gráfica Cv vs  $\sqrt{\Delta P}$  :10psi



Fuente: Elaboración propia

Cuando ubicamos el set-point de la válvula en 10 psi ocurre que a la válvula le cuesta estabilizarse, la presión en la salida presenta oscilaciones (véase el anexo 9), esto puede deberse a que la válvula ya no se encuentra en un punto de funcionamiento óptimo, hay que tener en cuenta que la válvula es capaz de trabajar con presiones de entre 0 a 10 bar, lo que es equivalente a 145 psi de presión máxima, al tomar un valor de presión menor al 10% del máximo del rango de la válvula (10 psi), esto y que la bomba a esos valores de presión y caudal estaba generando cavitación, generó que los datos tomados para 10 psi fueran pocos (30 datos), estos datos arrojaron una pendiente de  $1.90(\text{mL/s})/\sqrt{\text{psi}}$  y mucha dispersión

Figura 26. Datos de cavitación para la válvula eliptix.

### Datos de cavitación

Determinación de condiciones seguras de trabajo en casos de caída de presión



Fuente: Catalogo Aquestia. Válvula eliptix

Para cada set-point de presión regulada (10, 15, 20, 25, 30 y 35 psi), se aplicó una regresión lineal que permitió estimar la pendiente de la curva, la cual está directamente relacionada con el coeficiente de flujo ( $C_v$ ). Esta caracterización permitió evidenciar el funcionamiento de la válvula en condiciones reales de operación, y detectar variaciones en el comportamiento del control de presión a medida que se modifica el ajuste del tornillo.

En la siguiente tabla se presentan los resultados estadísticos obtenidos por cada set-point, incluyendo la media de  $C_v$ , desviación estándar, coeficiente de variación y rango de valores:

Tabla 7. Tabla media de resultados.

Setpoint	N_datos	Media_Cv	Desv_Std_Cv	Min_Cv	Max_Cv	Coef_Var_%
10	30	5.957	1.386	4.400	9.329	23.259
15	50	13.123	5.144	6.667	31.000	39.197
20	50	16.584	5.789	5.167	38.184	34.904
25	50	12.671	4.245	5.629	25.173	33.504
30	50	20.803	7.205	4.490	37.763	34.634
35	40	26.156	8.422	4.919	44.600	32.197

Fuente: Elaboración propia

Los valores fueron calculados punto por punto y luego agrupados por set-point para analizar su distribución estadística, la distribución estándar se halló a partir de la siguiente fórmula.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

- Donde: s es la desviación estándar muestral, n es el número total de observaciones,  $x_i$  es cada valor individual del Cv,  $\bar{x}$  es el valor promedio del Cv.

Este valor nos permite conocer qué tan concentrados o dispersos están los datos y, por tanto, qué tan estable es el comportamiento de la válvula bajo cada condición de prueba.

El coeficiente de variación se obtuvo como el cociente entre la desviación estándar y la media de Cv, expresado en porcentaje:

$$\text{Coef. Var. \%} = \left( \frac{\text{Desv. estándar}}{\text{media de Cv}} \right) * 100 \quad (7)$$

Este último se calcula para comparar qué variación existe entre los diferentes set-points, independientemente del valor de Cv. Valores altos en este coeficiente podría indicar un comportamiento menos predecible en la válvula.

Tabla 8. Tabla coeficiente R<sup>2</sup>

Set-point (psi)	Media_Cv	R <sup>2</sup>
10	5.88	0.82
15	11.84	0.85
20	16.47	0.91
25	12.7	0.77
30	20.59	0.93
35	26.13	0.94

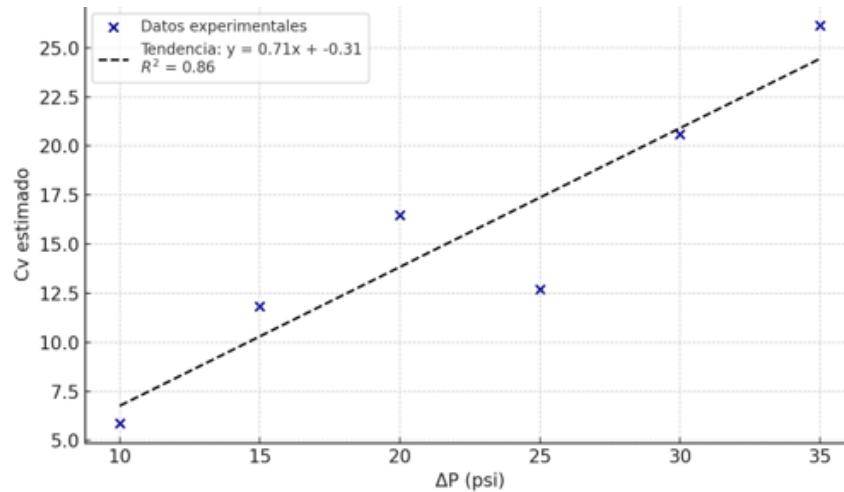
Fuente: Elaboración propia

El coeficiente R<sup>2</sup> expresa el grado de correlación entre el caudal y la raíz de la presión diferencial. Se obtuvo con las gráficas de regresión lineal en Excel para cada set-point, utilizando el caudal (Q) y la raíz cuadrada de la presión diferencial ( $\sqrt{\Delta P}$ ) con la ecuación 5. A cada conjunto de datos se le ajustó una línea de tendencia lineal y se extrajo el valor de R<sup>2</sup> como medida del ajuste. Valores superiores a 0.90 validan la linealidad del modelo y respaldan la aplicación de la ecuación de Cv en condiciones experimentales controladas.

Se identificó que a medida que la presión aumenta (10 a 35 psi), se evidencia una mejora progresiva en el desempeño hidráulico. El Cv medio se incrementa y los valores de R<sup>2</sup> indican una alta confiabilidad del modelo lineal. En particular, a 30 y

35 psi se alcanza el mejor rendimiento de la válvula, con caudales elevados, linealidad marcada y una escasa dispersión según el valor alcanzado de  $R^2$ .

Figura 27. Relación entre  $C_v$  y  $\Delta P$



Fuente: Elaboración propia

La gráfica representa la evolución del coeficiente de flujo  $C_v$  en función de la raíz de la presión diferencial ( $\sqrt{\Delta P}$ ). Se observa una tendencia general creciente; a mayor presión diferencial, la válvula permite un mayor caudal, resultando en un incremento del coeficiente  $C_v$ . El coeficiente de determinación  $R^2 = 0.86$ , lo que indica que aproximadamente el 86% de la variabilidad en  $C_v$  se explica por los cambios en  $\sqrt{\Delta P}$ . La recta de tendencia ajustada sigue la ecuación:

$$C_v = 0.71 \times (\Delta P) - 0.31 \quad (8)$$

- Entre 10 psi y 20 psi, el  $C_v$  crece consistentemente desde 5.88 hasta 16.47, reflejando una ganancia hidráulica sostenida.

- En 25 psi, el Cv desciende a 12.70, indicando un posible punto de inflexión donde la eficiencia del paso de fluido disminuye, posiblemente por interferencias en el perfil de flujo o comportamiento interno de la válvula.
- A partir de ese punto, el Cv vuelve a incrementarse, alcanzando su máximo en 35 psi con un valor de 26.13, lo que sugiere que la válvula opera de forma más estable y eficiente en rangos de presión más altos.

## 10. CONCLUSIONES

- La construcción de la red sanitaria en el furgón TX-4011 fue exitosa, se lograron integrar componentes como lavamanos, duchas, inodoro, calentador de agua, entre otros mediante la tubería PVC y CPVC, la cual es resistente a la corrosión y es versátil en su instalación. Los cálculos basados en el modelo de la red permitieron la selección de una bomba hidráulica de 2HP la cual garantiza un caudal y presión necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.
- La construcción de este sistema enriquece el valor educativo, porque permitirá la formación práctica sobre instalaciones hidráulicas y el análisis del comportamiento de válvulas de riego, además su diseño sencillo facilitará futuros mantenimientos y modificaciones.
- El desarrollo del manual de mantenimiento preventivo para la red sanitaria es importante para preservar la integridad de todos los componentes hidráulicos, facilitando la detección de fallas, reparaciones y una mayor durabilidad, además de servir como recurso práctico y didáctico para la formación técnica de usuarios y operadores.
- La caracterización de la válvula Eliptix demostró que su coeficiente de flujo (Cv) varía con el ajuste del tornillo regulador, lo que refleja una relación no lineal entre la apertura y el rendimiento hidráulico. Se evidenció que la válvula opera con mayor estabilidad en presiones medias y altas (30 y 35 psi), mientras que a bajas presiones (10 y 15 psi) se presentaron fenómenos de cavitación y oscilaciones en la presión de salida, afectando su desempeño

- La gráfica del  $C_v$  vs  $\sqrt{\Delta P}$  permite concluir que la válvula presenta un comportamiento hidráulico globalmente progresivo, con una tendencia creciente del  $C_v$  conforme aumenta la raíz de la presión diferencial. Sin embargo, particularmente en puntos intermedios como 25 psi, se identificó una disminución en el valor del  $C_v$  provocando una disminución en la linealidad, lo cual refuerza que su operación más eficiente ocurre a partir de 30 psi, donde el comportamiento se vuelve más estable.

Esto resalta la importancia de seleccionar el rango de operación más adecuado en función del sistema donde se implemente. Se recomienda aumentar el rango de trabajo para una mejor obtención de datos en la zona de trabajo óptimo de la válvula, ya que 40 psi (el máximo valor de presión alcanzado por nuestro banco) no es ni la mitad del valor máximo de presión con el que puede trabajar la válvula, recordar que la válvula puede soportar presiones de hasta 10bar o 145 psi.

- Se concluye que el diseño, implementación y evaluación de un sistema sanitario y banco de pruebas para caracterización de válvulas en un furgón adaptado permite cumplir con los propósitos formativos, investigativos y técnicos del proyecto. Este sistema no solo facilita el aprendizaje práctico, sino que también proporciona una herramienta funcional para el análisis de dispositivos hidráulicos bajo condiciones reales de operación.

## BIBLIOGRAFÍA.

- ALBURQUERQUE, H. S. et al.\* A systematic review of the applications of RSE in the field of computer science. *Scientific Programming*, v. 2018, p. 1-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1213638>.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.\* Diseño e instalación de tuberías de PVC. 2. ed. Denver: AWWA, 2002.
- ANSI/ISA.\* ANSI/ISA-75.01.01-2012 (60534-2-1 MOD) Industrial-Process Control Valves - Part 2-1: Flow capacity - Sizing equations for fluid flow under installed conditions. [En línea]. Disponible en: <https://www.isa.org/products/ansi-isa-75-01-01-2012-60534-2-1-mod-industrial-pr>. [Consulta: 1 de septiembre de 2025].
- AQUESTIA.\* Válvula Eliptix R20. Air valves and check valves by A.R.I.-Advanced Air Valves and Check. [En línea]. Disponible en: <https://www.arivalves.com/es/products/agriculture/item/r-20-valvulas-de-control-hidraulicas-valvulas-de-diafragma>. [Consulta: 3 de julio de 2019].
- ASTM INTERNATIONAL.\* Standard Specification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe, Schedules 40, 80, and 120. [En línea]. Disponible en: <https://store.astm.org/d1785-21a.html>. [Consulta: 8 de octubre de 2021].
- ASTM INTERNATIONAL.\* ASTM D1785 - Especificación estándar para tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) para sistemas de presión de agua. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.
- ATHAWALE, V. M.; CHAKRABORTY, S.\* Selección de materiales utilizando métodos de toma de decisiones multicriterio: un estudio comparativo. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, v. 226, p. 266-285, 2012.
- BERMAD.\* The Valve Agency - Control Valves. The Valve Agency, Inc. [En línea]. Disponible en: <https://www.thevalveagency.com/control-valves.html#:~:text=The%20Pressure%20Reducing%20Valve%20functions%20to%20reduce,operation,%20and%20maximum%20performance%20in%20water%20control>. [Consulta: 2012].

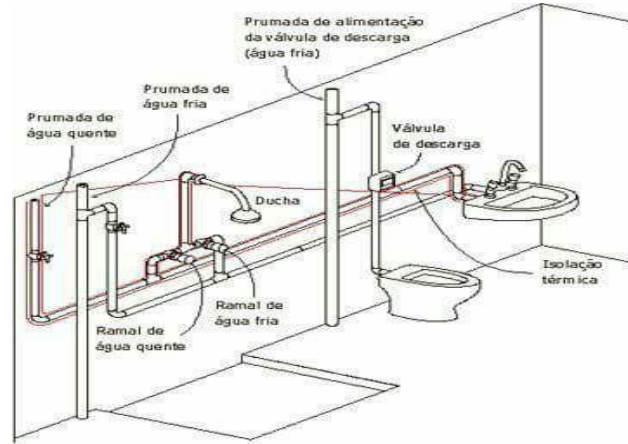
- CHENGDU CHUANLI CO LTD.\* Factory Direct 20-110mm Flange Diaphragm Valve. [En línea]. Disponible en: <https://www.valvepipesystem.com/es/factory-direct-20-110mm-flange-diaphragm-valve-product/>. [Consulta: 2024].
- CRUZ, M.\* Manual de seguridad para sistemas hidráulicos. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2021.
- ESCALÉ I GARCIA, R.\* Caracterización de válvulas hidráulicas de diafragma. 2019. Tesis de grado - Universitat de Lleida, Lleida. Disponible en: <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/5db3e289-c475-4fbd-b985-105734c0040b/content>.
- GARCÍA, J.\* Manual de tuberías de PVC. 2. ed. Bogotá: Alfaomega, 2020.
- HIDROFLO S.A.\* Manual de instalación del sistema Hidroflo. [S.I.]: Hidroflo S.A., 2022.
- HOUGHTALEN, R. J.; AKAN, A. O.; HWANG, N. H. C.\* Fundamentos de los sistemas de ingeniería hidráulica. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.
- HUCKS, R. T.\* Diseño de tuberías de PVC para sistemas de distribución de agua. Journal of AWWA, v. 64, n. 7, p. 443, 1972.
- ISO.\* ISO 5208: Industrial valves - Pressure testing of metallic valves. Geneva: International Organization for Standardization, 2008.
- KHAN, Z. A.; KAMARUDDIN, S.; SIDDIQUEE, A. N.\* Estudio de viabilidad del uso de polietileno reciclado de alta densidad y optimización de parámetros de moldeo por inyección mediante análisis combinados de componentes principales y relacionales de Grey. Materials & Design, v. 31, p. 2925-2931, 2010.
- LIMA, S. C. R. V. et al.\* Curvas de desempeño de válvulas reguladoras de presión nuevas y con diferentes tiempos de utilización. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, p. 201-209, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200003>.

- LIOU, C. P.\* Limitaciones y uso adecuado de la ecuación de Hazen-Williams. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 124, n. 9, p. 951-954, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:9\(951\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:9(951)).
- MARTÍNEZ GARCÍA, F. J.\* Caracterización de una válvula hidráulica de DN50 (2") según norma UNE-EN 1074-5. 2020. Tesis de grado - Universitat Politècnica de València, Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/ba368d3c-d9c6-4d07-b4bb-792eaf37a279/content>.
- MOTT, R. L.\* *Mecánica de fluidos*. 7. ed. México: Pearson Educación, 2015.
- NORUM, E. M.\* Determinación de la pérdida por fricción en tuberías de polietileno utilizadas para laterales de riego por goteo. *Irrigation Age*, v. 26, p. 17-18, 1984.
- PVC GERFOR.\* Catálogo de productos. [En línea]. Disponible en: <https://www.gerfor.com/>. [Consulta: 2023].
- REINHART, F. W.\* Características de resistencia hidrostática a largo plazo de las tuberías termoplásticas. *Polymer Engineering & Science*, v. 6, n. 10, p. 285, 1966.
- SOTELO ÁVILA, G.\* *Manual de diseño de sistemas hidráulicos*. 3. ed. México: Limusa, 2018.
- SPIRAX SARCO LIMITED.\* Control valve characteristics. [En línea]. Disponible en: [https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/control-hardware-electric-pneumatic-actuation/control-valve-characteristics?sc\\_lang=en-GB](https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/control-hardware-electric-pneumatic-actuation/control-valve-characteristics?sc_lang=en-GB). [Consulta: 2025].
- TUBERÍA DE PLÁSTICO DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC) (SDR-PR Y CLASE T)\* Norma comercial del Departamento de Comercio de EE. UU., CS256-63. Washington, D.C.: Imprenta del Gobierno de Estados Unidos, 1963.
- VALVTECHNOLOGIES.\* Understanding control valve Cv values. [S.l.]: ValvTechnologies, 2020. (Technical White Paper).
- WILGING, R. C.\* Pruebas de rotura por tensión de tuberías de PVC. *Modern Plastics*, v. 51, n. 10, p. 90, 1974.

- XINYAO, J.; ZHU, B.; ZHU, M.\* Una descripción general del reciclaje de residuos de poli(cloruro de vinilo). *Green Chemistry*, v. 25, n. 18, p. 6971-7025, 2023.

## ANEXOS

### Anexo A. Imagen guía para la red sanitaria de la turbo.



Fuente: elaboración propia

### Anexo B. Tanque de almacenamiento.



Fuente: elaboración propia

### Anexo C. Mangueras de presión.



*Fuente: Catalogo mangueras Suministros hidraulicos S.A.S*

### Anexo D. Tuberías de acero.



*Fuente: Pagina web JM Proyectos en ingenieria*

**Anexo E. Soldadura PVC.**



*Fuente: elaboración propia*

**Anexo F. Válvula antirretorno.**



*Fuente: elaboración propia*

## Anexo G. Tablas datos Excel

setpoint	Q_mL_s	DP_psi	sqrt_DP	Cv
35	42	3	1.732	24.249
35	38.2	1	1.000	38.200
35	38	4	2.000	19.000
35	36.7	3	1.732	21.189
35	39	2	1.414	27.577
35	46	4	2.000	23.000
35	39.5	3	1.732	22.805
35	37.3	1	1.000	37.300
35	39.8	2	1.414	28.143
35	36.2	2	1.414	25.597
35	42.2	4	2.000	21.100
35	46.2	5	2.236	20.661
35	44.6	1	1.000	44.600
35	39.5	1	1.000	39.500
35	43	3	1.732	24.826
35	41	2	1.414	28.991
35	45.5	5	2.236	20.348
35	44.5	4	2.000	22.250
35	39	1	1.000	39.000
35	44	5	2.236	19.677
35	44.5	3	1.732	25.692
35	38	5	2.236	16.994
35	35.2	3	1.732	20.323
35	39.6	1	1.000	39.600
35	40.8	2	1.414	28.850
35	42	4	2.000	21.000
35	54.7	4	2.000	27.350
35	32.5	3	1.732	18.764
35	21.2	5	2.236	9.481
35	49.3	3	1.732	28.463
35	33.2	4	2.000	16.600
35	56.3	2	1.414	39.810
35	66.4	5	2.236	29.695
35	30.2	1	1.000	30.200
35	76	5	2.236	33.988
35	11	5	2.236	4.919
35	72.6	5	2.236	32.468
35	23.1	1	1.000	23.100
35	40.5	3	1.732	23.383
35	55.1	4	2.000	27.550

Fuente: elaboración propia

setpoint	Q_mL_s	DP_psi	sqrt_DP	Cv
30	42.4	7	2.646	16.026
30	38	4	2.000	19.000
30	37.5	2	1.414	26.517
30	35.6	8	2.828	12.587
30	34.4	4	2.000	17.200
30	32.5	6	2.449	13.268
30	32.2	5	2.236	14.400
30	31.8	1	1.000	31.800
30	46	8	2.828	16.263
30	44.8	7	2.646	16.933
30	44.1	5	2.236	19.722
30	43.6	3	1.732	25.172
30	45	2	1.414	31.820
30	43.2	3	1.732	24.942
30	45.5	6	2.449	18.575
30	39.5	5	2.236	17.665
30	33.4	3	1.732	19.283
30	38.3	6	2.449	15.636
30	36.7	4	2.000	18.350
30	34.3	1	1.000	34.300
30	38.8	3	1.732	22.401
30	39.5	7	2.646	14.930
30	36.4	5	2.236	16.279
30	38	5	2.236	16.994
30	35.8	2	1.414	25.314
30	38	2	1.414	26.870
30	42	8	2.828	14.849
30	32	1	1.000	32.000
30	36.5	1	1.000	36.500
30	39	3	1.732	22.517
30	40.5	6	2.449	16.534
30	24	6	2.449	9.798
30	32.9	8	2.828	11.632
30	69.5	8	2.828	24.572
30	17.2	1	1.000	17.200
30	28.1	2	1.414	19.870
30	14.5	1	1.000	14.500
30	67.7	8	2.828	23.936
30	38.7	6	2.449	15.799
30	34.3	2	1.414	24.254
30	58.4	4	2.000	29.200
30	40.7	3	1.732	23.498
30	20.1	2	1.414	14.213
30	92.5	6	2.449	37.763
30	12.7	8	2.828	4.490
30	27.4	2	1.414	19.375
30	37.3	2	1.414	26.375
30	59.8	6	2.449	24.413
30	30.1	5	2.236	13.461
30	88.1	8	2.828	31.148

Fuente: elaboración propia

setpoint	Q_mL_s	DP_psi	sqrt_DP	Cv
25	36.3	11	3.317	10.945
25	35.8	8	2.828	12.657
25	37.8	4	2.000	18.900
25	31	14	3.742	8.285
25	30	12	3.464	8.660
25	29	10	3.162	9.171
25	27.8	7	2.646	10.507
25	27	5	2.236	12.075
25	25.9	3	1.732	14.953
25	42.5	13	3.606	11.787
25	42.9	11	3.317	12.935
25	41.8	7	2.646	15.799
25	40.4	5	2.236	18.067
25	34	3	1.732	19.630
25	42	9	3.000	14.000
25	35.6	2	1.414	25.173
25	33	2	1.414	23.335
25	32.4	14	3.742	8.659
25	28.7	12	3.464	8.285
25	35.6	4	2.000	17.800
25	38.7	13	3.606	10.733
25	39.9	13	3.606	11.066
25	31.5	10	3.162	9.961
25	32	10	3.162	10.119
25	24	3	1.732	13.856
25	25.7	3	1.732	14.838
25	29.6	6	2.449	12.084
25	31	6	2.449	12.656
25	30.3	6	2.449	12.370
25	33.5	8	2.828	11.844
25	32.98	7	2.646	12.466
25	42.1	11	3.317	12.697
25	32.2	4	2.000	16.100
25	12.2	2	1.414	8.627
25	27.9	9	3.000	9.300
25	33.7	3	1.732	19.457
25	34.5	4	2.000	17.250
25	26	2	1.414	18.385
25	18	10	3.162	5.692
25	28.3	12	3.464	8.170
25	29.9	6	2.449	12.218
25	30	10	3.162	9.483
25	19.5	12	3.464	5.629
25	38.7	11	3.317	11.656
25	23	6	2.449	9.390
25	21.7	9	3.000	7.233
25	40.5	13	3.606	11.240
25	41.2	14	3.742	11.011
25	28.3	3	1.732	16.339
25	30.2	9	3.000	10.067

Fuente: elaboración propia

setpoint	Q_mL_s	DP_psi	sqrt_DP	Cv
20	68	13	3.606	18.860
20	65	10	3.162	20.555
20	59	6	2.449	24.087
20	54	2	1.414	38.184
20	40	18	4.243	9.428
20	39.4	15	3.873	10.173
20	41	12	3.464	11.836
20	39.5	9	3.000	13.167
20	39.2	5	2.236	17.531
20	40.2	18	4.243	9.475
20	39	15	3.873	10.070
20	39.3	8	2.828	13.895
20	38	4	2.000	19.000
20	37.6	3	1.732	21.708
20	38.5	6	2.449	15.718
20	40	17	4.123	9.701
20	66.2	14	3.742	17.693
20	56.2	13	3.606	15.587
20	54.3	9	3.000	18.100
20	55.2	7	2.646	20.864
20	66	16	4.000	16.500
20	62	8	2.828	21.920
20	64.5	10	3.162	20.397
20	56	4	2.000	28.000
20	42	12	3.464	12.124
20	44	17	4.123	10.672
20	41	9	3.000	13.667
20	40	6	2.449	16.330
20	62	11	3.317	18.694
20	54	8	2.828	19.092
20	40.1	8	2.828	14.177
20	66	9	3.000	22.000
20	52.8	9	3.000	17.600
20	67.2	13	3.606	18.638
20	20.3	3	1.732	11.720
20	43.9	5	2.236	19.633
20	15.5	9	3.000	5.167
20	35.9	3	1.732	20.727
20	18.2	4	2.000	9.100
20	28.2	2	1.414	19.940
20	44.6	5	2.236	19.946
20	66.2	14	3.742	17.693
20	52.5	5	2.236	23.479
20	24.1	3	1.732	13.914
20	38.6	7	2.646	14.589
20	16.1	5	2.236	7.200
20	31.9	3	1.732	18.417
20	12.4	2	1.414	8.768
20	46.6	10	3.162	14.736
20	37.5	4	2.000	18.750

Fuente: elaboración propia

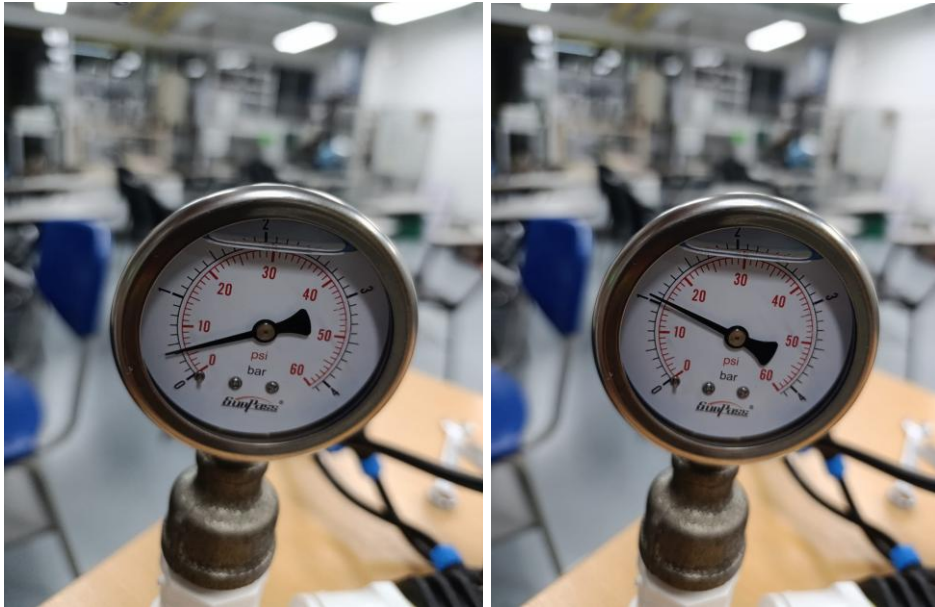
setpoint	Q_mL_s	DP_psi	sqrt_DP	Cv
15	43	23	4.796	8.966
15	42	20	4.472	9.391
15	39.8	16	4.000	9.950
15	34.2	11	3.317	10.312
15	32.7	8	2.828	11.561
15	32	3	1.732	18.475
15	31	1	1.000	31.000
15	39	18	4.243	9.192
15	36.7	13	3.606	10.179
15	36	5	2.236	16.100
15	40	24	4.899	8.165
15	34.2	17	4.123	8.295
15	33.9	14	3.742	9.060
15	35	9	3.000	11.667
15	34.3	4	2.000	17.150
15	33.4	21	4.583	7.288
15	34	12	3.464	9.815
15	33.2	6	2.449	13.554
15	38.2	22	4.690	8.144
15	36.6	17	4.123	8.877
15	38.8	9	3.000	12.933
15	40	21	4.583	8.729
15	34	15	3.873	8.779
15	33.2	13	3.606	9.208
15	33	5	2.236	14.758
15	31	2	1.414	21.920
15	33	8	2.828	11.667
15	36	9	3.000	12.000
15	37.5	17	4.123	9.095
15	39	22	4.690	8.315
15	35	14	3.742	9.354
15	65	12	3.464	18.764
15	53.2	14	3.742	14.218
15	24.1	2	1.414	17.041
15	105.6	20	4.472	23.613
15	54.2	7	2.646	20.486
15	20	9	3.000	6.667
15	78.3	19	4.359	17.963
15	26.1	6	2.449	10.655
15	12.1	2	1.414	8.556
15	62.6	22	4.690	13.346
15	58.6	17	4.123	14.213
15	60	9	3.000	20.000
15	90.2	22	4.690	19.231
15	47	6	2.449	19.188
15	53.9	19	4.359	12.366
15	74	17	4.123	17.948
15	29.5	13	3.606	8.182
15	54.9	22	4.690	11.705
15	18.1	1	1.000	18.100

Fuente: elaboración propia

setpoint	Q_mL_s	DP_psi	sqrt_DP	Cv
10	26	24	4.899	5.307
10	23	20	4.472	5.143
10	29.6	16	4.000	7.400
10	25.4	22	4.690	5.415
10	28.7	15	3.873	7.410
10	29.5	10	3.162	9.329
10	29	12	3.464	8.372
10	24	26	5.099	4.707
10	27.5	18	4.243	6.482
10	27.4	11	3.317	8.261
10	30.3	19	4.359	6.951
10	29.7	13	3.606	8.237
10	22	25	5.000	4.400
10	20.5	17	4.123	4.972
10	22	21	4.583	4.801
10	21.4	14	3.742	5.719
10	20	9	3.000	6.667
10	26	23	4.796	5.416
10	16	10	3.162	5.060
10	24	26	5.099	4.707
10	26	24	4.899	5.307
10	21	20	4.472	4.696
10	18	13	3.606	4.992
10	22.2	18	4.243	5.233
10	24.8	11	3.317	7.477
10	13.5	9	3.000	4.500
10	19.2	14	3.742	5.131
10	26.9	16	4.000	6.725
10	25.4	22	4.690	5.415
10	14.2	10	3.162	4.490

*Fuente: elaboración propia*

## Anexo H. Oscilaciones de presión presentes en 10 psi



*Fuente: elaboración propia*

## Anexo I. Manual de mantenimiento.

### **Manual de mantenimiento para la red sanitaria y banco de prueba de la válvula Eliptix.**

El siguiente reúne la información necesaria para proporcionar una guía completa y detallada sobre el mantenimiento preventivo de los distintos sistemas que componen la red sanitaria y el banco de pruebas. Es importante llevar un seguimiento adecuado de todos los componentes para garantizar la eficiencia, seguridad y durabilidad del sistema completo.

Este manual compartirá información sobre los procedimientos necesarios para el mantenimiento de una red de tuberías PVC, un sistema hidroneumático, una bomba hidráulica y su conexión eléctrica, una válvula Eliptix, y recomendaciones sobre el correcto encendido y apagado.

## **Tabla de Contenido**

### **A. Red de Tuberías de PVC**

- 1.1 Inspección y limpieza
- 1.2 Detección y reparación de fugas
- 1.3 Reemplazo de secciones dañadas

### **B. Sistema Hidroneumático**

- 2.1 Verificación del tanque de almacenamiento
- 2.2 Revisión de las conexiones y componentes
- 2.3 Mantenimiento del tanque hidroneumático

### **C. Bomba Hidráulica de 2HP**

- 3.1 Mantenimiento del motor
- 3.2 Revisión de sellos y empaquetaduras
- 3.3 Revisión del cableado y aislamiento de la conexión eléctrica.

### **D. Válvula Eliptix**

- 4.1 Inspección y limpieza de la válvula
- 4.2 Revisión de sellos y diafragmas
- 4.3 Ajustes y calibración

## **E. Recomendaciones sobre el Correcto Encendido y Apagado del Sistema Completo**

6.1 Procedimiento de encendido

6.2 Procedimiento de apagado

6.3 Precauciones y medidas de seguridad

Seguir correctamente las medidas ayudará a minimizar el tiempo de inactividad y reducir considerablemente los costos de reparación, además de prolongar la vida útil de los componentes.

### **A. Red de Tuberías de PVC**

Una red de tuberías bien mantenidas minimiza la acumulación de suciedad y proporciona un ambiente más seguro para el sistema completo, en especial para la bomba hidráulica. A través de inspecciones periódicas y el uso de métodos de limpieza se pueden detectar a tiempo problemas como fugas, daños en la red y obstrucciones no deseadas.

#### **1.1 Inspección y limpieza**

##### **A. Métodos de inspección**

###### **A.1 Inspección visual**

Es la forma más básica, económica y a menudo el punto de partida de un mantenimiento. Consiste simplemente en la observación directa de las partes de la red (tuberías, uniones, té y conexiones) en busca de identificar signos de fugas, grietas, deformaciones e incluso de cristalización superficial o de cualquier otro daño visible.



*Figura 1. Inspección visual de la red..*

## **A.2 Pruebas de presión**

Se trata de una inspección indirecta del estado físico del material PVC; se somete la tubería a una presión de agua controlada para verificar la existencia de fugas o pérdidas a lo largo de la red, es un método simple pero confiable para corroborar la integridad del sistema.



*Figura 2. Fugas causadas por presión.*

## **B. Métodos de limpieza**

### **B.1 Limpieza con agua a presión**

Es una forma efectiva y económica de limpiar obstrucciones, se utiliza agua a alta presión que se inyecta a través de boquillas especiales que se introducen en la tubería. La fuerza del agua desintegra y arrasa cualquier suciedad a su paso sin la necesidad de usar químicos adicionales.

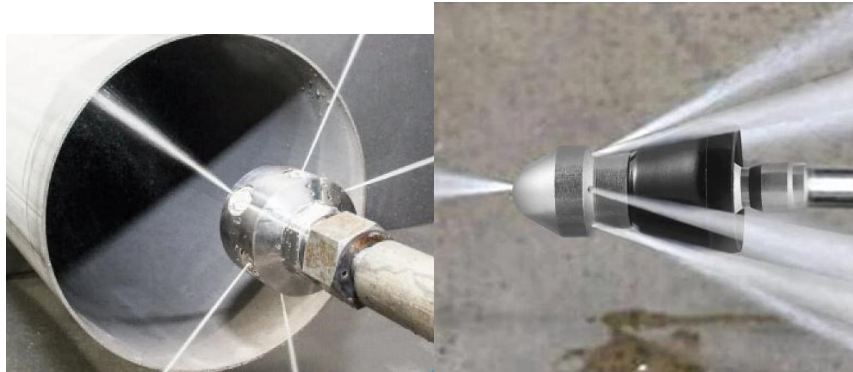


Figura 3. Boquilla de alta presión.

## B.2 Limpieza con productos químicos (con precaución)

Aunque el PVC resiste a una gran variedad de químicos es importante ser cuidadosos y selectivos con el tipo de químico a usar, pues puede afectar otros componentes del sistema como la bomba, válvulas y demás componentes de la red, por eso se recomienda consultar con un técnico para evitar dañar otras partes; también se recomienda usar soluciones más suaves con el material, por ejemplo, la combinación de agua caliente con bicarbonato de sodio o vinagre para limpiezas menos agresivas.



Figura 4. Limpiadores de tubería PVC y CPVC.

## 1.2 Reparación de fugas

Cuando se detecta una fuga es necesario repararla lo antes posible para evitar pérdidas de presión que puedan alterar el correcto funcionamiento del sistema o prevenir que el problema se siga expandiendo, para esto se pueden aplicar distintos métodos dependiendo del tamaño y la ubicación de la fuga, a continuación, se explicaran las formas de reparación más comunes y eficaces usadas en la industria:

### A.1 Abrazaderas de reparación

Estos dispositivos consisten en una banda o abrazadera de metal o PVC con un recubrimiento de goma en el interior, funciona colocándose alrededor de la tubería y se ajustan firmemente con ayuda de tornillos o pernos, creando así un sello hermético.

(Se usan en fugas o fisuras pequeñas donde solamente está comprometida una mínima parte de la tubería)



Figura 5. Abrazadera para fugas en tuberías.

## A.2 Masilla epoxi o selladores

Son compuestos para usar específicamente en tubería PVC, vienen en presentación de masilla moldeable similar a una pasta blanda; su uso es sencillo, generalmente son dos compuestos separados que deben mezclarse correctamente hasta obtener una masa uniforme y se aplican directamente sobre la fuga o el área afectada, se debe dejar secar durante aproximadamente 24 horas y al endurecerse forman un parche solido resistente a cualquier fuga.

**Consideraciones:** se pueden usar en grietas, agujeros e incluso fugas en uniones o juntas.

Se debe limpiar correctamente la superficie y estar libre de humedad durante el secado para una buena adhesión.



Figura 6. Masilla epoxi.

## 1.3 Reemplazo de secciones dañadas

Primero se debe verificar cual es la sección dañada y si es posible arreglar el problema con las antiguas soluciones descritas (masilla epoxi o abrazadera) o si de lo contrario existen roscas o uniones universales cerca que puedan facilitar el cambio

Una vez descartado los métodos anteriores se procede al cambio de sección siguiendo los siguientes pasos:

- Corta la sección dañada con una segueta o cortatubo de PVC.
- Lijar y limpiar correctamente los bordes de los tubos que quedan para evitar que impurezas entren al sistema de agua.
- Coloca dos acoples deslizables y un nuevo tramo de tubería del mismo diámetro, pegados con cemento solvente (pegamento PVC).



*Figura 7. Cortatubo PVC.*



*Figura 8. Soldamax PVC.*

## **B. Sistema Hidroneumático**

Un mantenimiento regular al sistema hidroneumático es indispensable para garantizar un buen funcionamiento, seguro y duradero además de evitar la acumulación de sedimentos dañinos para el sistema; en esta sección nos centraremos en el tanque de almacenamiento y las conexiones.

### **2.1 Verificación del tanque de almacenamiento**

#### **A.1 Inspección visual externa**

- Revisar la pintura, abolladuras o fisuras visibles.
- Revisar los soportes, bases y conexiones que mantienen al tanque unido al vehículo.

**Consideraciones:** en caso de no evidenciar fisuras en las bases, conexiones o soldaduras se pueden realizar pruebas con líquidos penetrantes para una mayor seguridad.

#### **A.2 Pruebas de hermeticidad**

- Llenar el tanque con agua o líquido de prueba y verificar si hay pérdida
- Se puede colocar la bomba en marcha y comprobar la resistencia y estanqueidad bajo presión.

### **2.2 Revisión de las conexiones y componentes**

#### **A.1 Inspección visual general**

- Revisión de uniones, codos y uniones universales.
- Búsqueda de fugas visibles, humedad o acumulación de sarro en los alrededores.

#### **A.2 Prueba de fugas bajo presión**

- Se presuriza el sistema y se observa si existen pérdida por la presión.

- También se pueden usar soluciones jabonosas para detectar fugas en uniones que no son visibles a simple vista.

**Consideraciones:** en caso de encontrar daño, fuga o corrosión en una de las conexiones se recomienda cambiar inmediatamente.

### **2.3 Mantenimiento del tanque hidroneumático**

Una vez realizada la inspección visual, el chequeo de las conexiones cercanas y haber corroborado el perfecto estado del mismo, también es importante realizar una limpieza periódica al tanque hidroneumático ubicado en la parte inferior del vehículo.

En la parte inferior del tanque se encuentra una válvula de globo la cual se usa para vaciar completamente o parcialmente el tanque para eliminar impurezas que puedan estar presentes; para esto es importante dejar reposar el agua durante unas horas para que los sedimentos se encuentren al fondo del tanque.

Una vez eliminada la suciedad, en la parte superior del tanque se encuentra otra válvula la cual con ayuda de una manguera convencional sirve para llenar nuevamente el tanque.

**Recomendaciones:** se recomienda purgar el tanque cada 3 meses para eliminar sedimentos y renovar el agua cada 6-12 meses para evitar la proliferación de bacterias.

El tanque tiene una capacidad máxima de 15 galones, sin embargo, se recomienda que el nivel de agua no baje de 12 galones para garantizar un flujo constante a todo el sistema.

### **C. Bomba Hidráulica de 2HP**

El sistema funciona con una bomba industrial de alto flujo y baja presión con una conexión trifásica y está unida a un presostato mecánico que apaga la bomba al momento en que se cierran todas las llaves para evitar daños a los componentes, por lo tanto, garantizar un buen mantenimiento preventivo ayudara a evitar daños y costos imprevistos.



*Figura 9. Conexión eléctrica bomba – presostato.*

### **3.1 Mantenimiento del motor**

- Primeramente, se puede realizar una inspección visual frecuente para detectar corrosiones, humedad o suciedad que pueda afectar el correcto funcionamiento de la bomba, además de estar atentos al ruido para identificar vibraciones o sonidos anormales como cavitación.
- Se recomienda que cada 3-6 meses se limpien las rejillas de ventilación y embobinado para retirar polvo o grasa que pudo haberse acumulado, esta limpieza evita sobrecalentamientos y alarga la vida del motor.
- Cada año se deberá realizar un mantenimiento completo, verificar que el consumo de energía este en valores normales, revisar rodamientos, el rotor y paletas; lubricándolos o si presentan desgaste cambiar las partes inmediatamente, estas acciones solo debe realizarlas un personal capacitado.

### **3.2 Revisión de sellos y empaquetaduras.**

El mantenimiento a tiempo de sello o empaquetaduras ayuda a evitar fugas o presión en el sistema, para revisarlos correctamente primero se debe apagar y

despresurizar el sistema, seguidamente se deben buscar goteos o rastros de agua sobre la bomba; si es un goteo leve probablemente se necesite un ajuste de prensa y de tornillos, pero si es constante o abundante se debe reemplazar, limpiar y lubricar inmediatamente para evitar el avance del daño.



Figura 10. Sellos bomba hidráulica.

### 3.3 Revisión del cableado y aislamiento de la conexión eléctrica.

El presostato mecánico debe garantizar condiciones seguras de trabajo para el sistema mediante el bloqueo y etiquetado del suministro eléctrico. Se deben inspeccionar regularmente los empalmes y terminales del presostato y la bomba de forma que los puntos de conexión trifásica estén ajustados y libres de corrosión o suciedad pues estos defectos causan pérdidas de tensión o sobrecalentamientos en las conexiones.

Respecto al aislamiento, cada año se deben realizar pruebas de resistencia de aislamiento utilizando un megóhmetro aplicando tensiones de prueba apropiadas (entre 500 V y 1000 V, midiendo los valores entre cada fase y tierra, así como entre fases. Valores por debajo de los límites establecidos (usualmente 1 M $\Omega$  como mínimo), esto pueden indicar humedad, envejecimiento del aislamiento o contaminación interna.

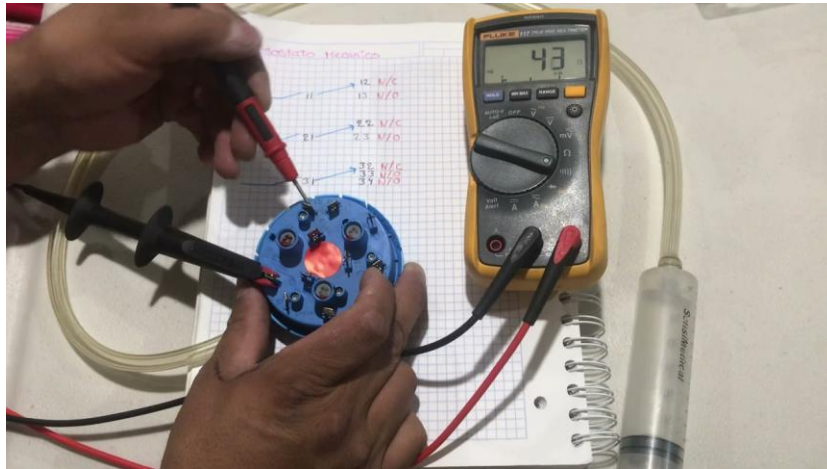


Figura 11. Megóhmetro o megger.

## D. Válvula Eliptix

El mantenimiento de la válvula eliptix es clave para mantener un buen desempeño y obtener su máximo rendimiento, esta revisión consiste en inspeccionar de forma periódica el diagrama elíptico en busca de cortes, desgaste o deformación en su interior, además se deben evitar incrustaciones, sedimentos corrosivos que podrían afectar el rendimiento de la misma.

Además, es fundamental limpiar los conductos de control y las cámaras hidráulicas, comprobando que no estén obstruidos por partículas o suciedad que podrían retrasar la respuesta de la válvula. Realizar un mantenimiento oportuno asegura un control estable del caudal permitiendo una respuesta rápida y silenciosa a los cambios de presión reduciendo los riesgos de cavitación y maximizando su eficiencia.

### 4.1 Inspección y limpieza de la válvula

La mejor forma de inspeccionar y limpiar la válvula eliptix se describen en los siguientes pasos:

- Se debe despresurizar el suministro de agua y aislar la válvula, desmontándola del sistema.
- Se quitan los tornillos ubicados en la parte superior de la válvula y se procede a retirar con cuidado el diafragma elíptico, revisando el mismo y verificando que no presenten grietas, desgaste o corrosión.
- En caso de no presentar algunos de los problemas anteriores, se limpian las superficies del diafragma con un cepillo suave o un paño limpio, en caso contrario se debe reemplazar el diafragma inmediatamente.
- Verificar que los conductos cercanos tampoco contengan suciedad de lo contrario se deben limpiar con agua limpia a presión o usar aire comprimido.
- Reinstalar el diafragma en buen estado asegurando un cierre hermético y ajustando todos los tornillos correctamente.



*Figura 12. Diafragma válvula elíptica.*

## **4.2 Ajustes y calibración**

Primeramente, es importante revisar las especificaciones técnicas del fabricante, se busca el modelo R20, diferenciándola de la versión R30, pues las presiones de ajuste varían según la aplicación y el tamaño de la válvula.

- Es recomendable instalar manómetros antes y después de la válvula para monitorear en tiempo real las presiones durante la calibración.

- Ajustar el tornillo piloto de regulación
- Girarlo en sentido horario → aumenta presión de salida en la línea.
- Girarlo en sentido antihorario → disminuye presión de apertura en la línea o permite un mayor alivio.
- Por último, se debe presurizar nuevamente la línea de forma gradual para evitar cavitaciones u oscilaciones en la válvula, de esta forma se evitan golpes hidráulicos y vibraciones.

## **E. Recomendaciones sobre el Correcto Encendido y Apagado del Sistema Completo**

Es importante resalta que contrariamente a un sistema convencional donde la bomba estará conectada a una fuente de energía externa, al ser un aula móvil la energía necesaria para mover el sistema se debe extraer del vehículo donde se encuentra, por lo tanto, se deben seguir una serie de recomendaciones para su correcto encendido.

### **6.1 Procedimiento de encendido**

- El vehículo debe estar encendido para evitar que la batería se descargue y afecte el rendimiento del mismo.
- La turbo tiene incorporado un inversor de corriente encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna de 220v para alimentar el sistema hidráulico, por lo tanto, se debe verificar que el inversor y la batería estén funcionando en correctas condiciones.
- Antes del encendido se debe revisar la conexión eléctrica del presostato y la bomba hidráulica en busca de cables sueltos, corrosión, desgaste o humedad que pueda comprometer el funcionamiento optimo del sistema.
- Se debe cebar la bomba con ayuda de la válvula de globo ubicada en la parte superior para evitar la cavitación de la bomba.
- Si todos estos pasos anteriores se cumplen, se procede al encendido del sistema, además se examinar la bomba en busca de ruidos extraños, en caso de emergencia se debe apagar inmediatamente y revisar de nuevo.

## **6.2 Procedimiento de apagado**

- Se debe apagar primeramente la bomba hidráulica, seguido del alternador de corriente para evitar daños en el vehículo.
- Seguidamente se debe limpiar la bomba o la red eléctrica en caso de presentar presencia de agua para evitar daños.
- Por último, se deben eliminar el agua del banco de pruebas y la red sanitaria para evitar fugas durante el transporte del camión, si es necesario se puede vaciar el tanque con ayuda del desagüe ubicado en la parte inferior del mismo.