

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDACTICO CON BOMBAS EN
SERIE Y EN PARALELO

CHRISTIAN DAVID LEONARDO ACEVEDO RIAÑO
EDWIN DANIEL VELANDIA GONZALEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
TUNJA – BOYACÁ
2024

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDACTICO CON BOMBAS EN SERIE Y
EN PARALELO

CHRISTIAN DAVID LEONARDO ACEVEDO RIAÑO
EDWIN DANIEL VELANDIA GONZALEZ

Informe de Trabajo para Optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

DIRECTORES:
ING. AGUIRRE RODRIGUEZ CARLOS ANDRES
ING. QUINTERO GAMBOA YINA FAIZULLY

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
TUNJA – BOYACÁ
2024

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCION	12
1 OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
2 MARCO REFERENCIAL Y TEORICO	14
2.1 ANTECEDENTES.....	14
2.2 MARCO TEORICO	16
2.3 BOMBAS.....	16
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS	17
2.3.2 BOMBAS EN PARALELO	18
2.3.3 BOMBAS EN SERIE	19
2.4 ERGONOMIA EN ESTRUCTURAS.....	19
2.5 ECUACIONES FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO.....	20
2.5.1 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA	20
2.5.2 CAUDAL	21
2.5.3 ÁREA INTERNA DE LA TUBERÍA.....	21
2.5.4 PERDIDAS DE CARGA TOTALES.....	22
2.5.5 PERDIDAS DE CARGA MAYORES.....	22
2.5.6 FACTOR DE FRICCIÓN.....	22
2.5.7 NÚMERO DE REYNOLDS	23
2.5.8 PERDIDAS DE CARGAS MENORES.....	24
2.5.9 POTENCIA DE LA BOMBA	24
2.5.10 ALTURA NETA POSITIVA DE ASPIRACIÓN (NPSH)	25
2.6 MARCO HISTORICO.....	25
3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	28
3.1 ALTERNATIVA A	28
3.2 ALTERNATIVA B	30

3.3 SELECCION DE LA ALTERNATIVA	32
4 MODELAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO	33
4.1 PLANIMETRIA DEL BANCO	33
4.1.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍA	33
4.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA	34
4.3 ESTUDIO HIDRÁULICO DE LOS SISTEMAS	41
4.4 SELECCION DE BOMBAS	41
4.4.1 BOMBA HUMBOLDT DE 1 HP	41
4.4.2 BOMBA PK 60 DE ½ HP	42
4.5 CONFIGURACION DEL SISTEMA EN SERIE.....	43
4.5.1 CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DEL SISTEMA EN SERIE.....	44
4.5.2 PERDIDAS DE CARGAS MAYORES.....	44
4.5.2.1 Tubería de succión.....	45
4.5.2.2 Tubería de descarga	46
4.5.3 PERDIDAS DE CARGA MENORES	47
4.5.3.1 Tubería de succión.....	47
4.5.3.2 Tubería de descarga	48
4.5.4 PÉRDIDAS TOTALES PARA EL SISTEMA EN SERIE	50
4.6 CONFIGURACION DEL SISTEMA EN PARALELO.....	51
4.6.1 CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DEL SISTEMA EN PARALELO	52
4.6.2 PERDIDAS DE CARGAS MAYORES.....	52
4.6.2.1 Tubería de succión.....	53
4.6.2.2 Tubería de descarga	54
4.6.3 PERDIDAS DE CARGA MENORES	55
4.6.3.1 Tubería de succión.....	56
4.6.3.2 Tubería de descarga	57
4.6.4 PÉRDIDAS TOTALES PARA EL SISTEMA EN PARALELO	58
4.7 NPSH PARA LOS SISTEMAS	59
4.7.1 NPSHA SISTEMA EN SERIE	60
4.7.2 NPSHA SISTEMA EN PARALELO.....	61
4.8 CURVA DE LOS SISTEMAS.....	62
4.8.1 CARGA ESTÁTICA DE LAS CURVAS	65
4.9 USO DE LA TUBERÍA DE 1”	65
4.10 DISEÑO DEL TANQUE	66

4.11 PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	67
4.11.1 PRUEBAS DEL SISTEMA EN SERIE	67
4.11.2 PRUEBAS DEL SISTEMA EN PARALELO	71
4.12 COMPARACION DE RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES DE LOS SISTEMAS.....	75
4.12.1 SISTEMAS DE BOMBEO EN SERIE	75
4.12.2 SISTEMA DE BOMBEO EN PARALELO.....	75
5 CONSTRUCCION DEL BANCO.....	77
5.1 CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA	77
5.2 ADAPTACION DEL TANQUE	79
5.3 ENSAMBLE DE LAS BOMBAS Y ACCESORIOS EN LA ESTRUCTURA Y EL TANQUE	80
6 DESARROLLO DE GUIAS.....	82
6.1 RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO PARA BOMBAS.....	89
7 CONCLUSIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	93

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Requisitos de alternativas	28
Tabla 2 Características de alternativas	28
Tabla 3 Calificación alternativa A	29
Tabla 4 Calificación alternativa B	31
Tabla 5 Accesorios para la tubería	34
Tabla 6 Características de tubería	42
Tabla 7 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y pérdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en serie	46
Tabla 8 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y pérdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en serie	47
Tabla 9 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en serie	48
Tabla 10 Pérdidas de carga menores en la tubería de succión en serie	48
Tabla 11 Coeficientes de fricción de los accesorios en tubería de descarga en serie ...	49
Tabla 12 Pérdidas menores en la tubería de descarga en serie	49
Tabla 13 Descargas menores total, Hbomba y Potencia de las bombas para sistema en serie	51
Tabla 14 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y pérdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en paralelo	54
Tabla 15 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y pérdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en paralelo	55
Tabla 16 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en paralelo	56
Tabla 17 Pérdidas de carga menores en la tubería de succión en paralelo	56
Tabla 18 Coeficientes de fricción de los accesorios en tubería de descarga en paralelo	57
Tabla 19 Pérdidas menores en la tubería de descarga en paralelo	57
Tabla 20 Descargas menores total, Hbomba y Potencia de las bombas para el sistema en paralelo.....	59
Tabla 21 Propiedades del agua.....	60
Tabla 22 NPSH en el sistema en serie.....	61
Tabla 23 NPSH en el sistema en paralelo.....	62
Tabla 24 Hbomba del sistema en serie	63
Tabla 25 Hbomba del sistema en paralelo	64

Tabla 26 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en serie experimental...	67
Tabla 27 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en serie experimental	68
Tabla 28 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en serie experimental.....	68
Tabla 29 Perdidas de carga menor en la tubería de succión en serie experimental	68
Tabla 30 Perdidas menores en la tubería de descarga en serie experimental	69
Tabla 31 Descargas menores total, Hbomba y Potencia de las bombas para sistema en serie experimental	69
Tabla 32 Datos experimentales tomados por el caudalímetro en el sistema en serie	70
Tabla 33 NPSH en el sistema en serie experimental	71
Tabla 34 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en paralelo experimental	72
Tabla 35 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en paralelo experimental	72
Tabla 36 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en paralelo experimental.....	72
Tabla 37 Perdidas de carga menores en la tubería de succión en paralelo experimental	73
Tabla 38 Perdidas menores en la tubería de descarga en paralelo experimental.....	73
Tabla 39 Descargas menores total, Hbomba de las bombas para sistema en paralelo experimental.....	73
Tabla 40 Datos para la curve de presión y caudal en la descarga del sistema en paralelo experimental.....	74
Tabla 41 NPSH en el sistema en paralelo experimental	75
Tabla 42 Comparación datos teóricos y experimentales del sistema en serie	75
Tabla 43 Comparación datos teóricos y experimentales en el sistema en paralelo	76
Tabla 44 Herramientas para construir la estructura	77
Tabla 45 Materiales para construir la estructura	77
Tabla 46 Elementos de Protección Personal.....	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Clasificación de las bombas	18
Figura 2 Sistema de bombas en paralelo.....	19
Figura 3 Sistema de bombas en serie.....	19
Figura 4 Sistema Persona - Maquina (P-M)	20
Figura 5 Línea de tiempo	26
Figura 6 Alternativa A.....	29
Figura 7 Alternativa B.....	30
Figura 8 Ensamble de tubería y accesorios	33
Figura 9 Dimensiones de la tubería.....	34
Figura 10 Estructura metálica.....	35
Figura 11 Dimensiones de la estructura.....	35
Figura 12 Desplazamiento de la estructura.....	36
Figura 13 Tensión de Von Mises de la estructura	37
Figura 14 Primera tensión principal.....	37
Figura 15 Tercera tensión principal	38
Figura 16 Coeficiente de seguridad.....	38
Figura 17 Acero galvanizado A525	39
Figura 18 Características de la soldadura E6013.....	39
Figura 19 Resina 100 - M10X.....	40
Figura 20 Características de la bomba PK60	43
Figura 21 Sistema en serie.....	44
Figura 22 Sistema en paralelo.....	52
Figura 23 Curva del sistema en serie	63
Figura 24 Curva del sistema en paralelo	64
Figura 25 Tabla de Mott	65
Figura 26 Dimensiones del tanque	66
Figura 27 Curva de la altura calculada en el sistema en serie experimental.....	70
Figura 28 Curva de la presión y caudal en la descarga del sistema en serie experimental	71
Figura 29 Curva del sistema en paralelo experimental	74
Figura 30 Curva de la presión y caudal en la descarga del sistema en paralelo experimental.....	74
Figura 31 Ensamble de vigas, instalación de ruedas y aplicación de la pintura, barniz ..	79

Figura 32 Tanque del banco didáctico	80
Figura 33 Ensamble del banco.....	81
Figura 34 Unidad de control	93

RESUMEN

El proyecto se planteó para abordar la necesidad de herramientas educativas prácticas en la formación de ingenieros mecánicos en la Universidad Santo Tomás, Tunja. El objetivo general del trabajo fue diseñar y fabricar un banco didáctico que permita el estudio y la experimentación con bombas en configuraciones tanto en serie como en paralelo. La metodología desarrollada incluyó el diseño detallado del sistema de tuberías y la estructura metálica, la selección y adquisición de componentes adecuados, y la construcción y ensamblaje del banco. Además, se elaboró una guía práctica para el uso del banco didáctico, facilitando así el aprendizaje de los principios de la mecánica de fluidos y sistemas hidráulicos.

Los principales resultados incluyeron la creación de un banco de pruebas funcional que permite a los estudiantes analizar el comportamiento de las bombas bajo diferentes configuraciones, observando variaciones en caudales y presiones. Este proyecto impacta positivamente en la calidad de la educación, proporcionando a los estudiantes una herramienta valiosa para complementar su formación teórica con experiencia práctica. En conclusión, el banco didáctico desarrollado no solo cumple con los objetivos educativos planteados, sino que también ofrece una plataforma versátil para futuras investigaciones y mejoras en el campo de la ingeniería mecánica y sistemas de fluidos.

ABSTRACT

The project was conceived to address the need for practical educational tools in the training of mechanical engineers at Universidad Santo Tomás, Tunja. The main objective of the work was to design and manufacture a didactic bench that allows for the study and experimentation with pumps in both series and parallel configurations. The developed methodology included the detailed design of the piping system and metal structure, the selection and acquisition of suitable components, and the construction and assembly of the bench. Additionally, a practical guide for the use of the didactic bench was prepared, thus facilitating the learning of the principles of fluid mechanics and hydraulic systems.

The main results included the creation of a functional test bench that allows students to analyze the behavior of pumps under different configurations, observing variations in flow rates and pressures. This project positively impacts the quality of education, providing students with a valuable tool to complement their theoretical training with practical experience. In conclusion, the developed didactic bench not only meets the educational objectives set but also offers a versatile platform for future research and improvements in the field of mechanical engineering and fluid systems.

INTRODUCCION

Las bombas son dispositivos utilizados para transportar líquidos de un lugar a otro a por el principio de conservación de la energía. Estas bombas son ampliamente utilizadas en una variedad de aplicaciones industriales y domésticas debido a su eficiencia y simplicidad de diseño. Cuando se requiera transferir grandes cantidades de líquido, se pueden conectar varias bombas en paralelo.

En la conexión en serie, las bombas se colocan una detrás de otra, de modo que el flujo de líquido que sale de la primera bomba ingrese a la segunda bomba y así sucesivamente. La conexión en serie aumenta la presión total en la cabeza de la bomba, lo que es ideal para aplicaciones en las que se necesita una mayor presión, como en sistemas de riego o en la distribución de agua en edificios altos. Por otro lado, en la conexión en paralelo, varias bombas se colocan una al lado de la otra, y cada bomba está conectada a la tubería de succión y descarga.

La conexión en paralelo aumenta la capacidad total del flujo, lo que es ideal para aplicaciones en las que se requiere una mayor cantidad de líquido, como en sistemas de enfriamiento de grandes motores o en la circulación de agua en piscinas. En general, la elección entre la conexión en serie o en paralelo tendrá las necesidades específicas de cada aplicación.

Ambos métodos tienen sus ventajas y desventajas, y es importante evaluar los requisitos de la aplicación antes de seleccionar una configuración de bombas específicas.

Un banco didáctico de bombas conectadas en serie y en paralelo es una herramienta educativa esencial en la formación de ingenieros. Este sistema experimental brinda a los estudiantes la oportunidad de comprender de manera práctica y visual cómo funcionan y se comportan las bombas en diferentes configuraciones. A través de este banco, los estudiantes pueden analizar cómo se combinan las curvas de rendimiento, cómo se distribuyen las cargas y cómo varían los caudales y las presiones en sistemas de bombeo. La práctica no solo fortalece la comprensión teórica, sino que también les permite desarrollar habilidades para el diseño y la optimización de sistemas de fluidos en la industria real.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y fabricar un banco didáctico de bombas en serie y en paralelo en la universidad Santo Tomas seccional Tunja.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar el banco didáctico de bombas en serie y en paralelo con componentes necesarios.
- Construir el banco didáctico de bombas en serie y en paralelo según el diseño planteado.
- Generar una guía que permita conocer el funcionamiento del banco didáctico relacionado con la ingeniería mecánica, hidráulica y sistemas de fluidos.

2 MARCO REFERENCIAL Y TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

En el desarrollo del diseño y construcción de bancos didácticos con bombas conectadas en serie y en paralelo, se realizó una exhaustiva revisión de antecedentes. Durante esta búsqueda, se identificaron diversos proyectos relacionados que han aportado valiosos conocimientos sobre el comportamiento de los sistemas de bombeo en diferentes configuraciones. Estos antecedentes permiten comprender mejor los principios y desafíos involucrados en la implementación de estos sistemas, sirviendo como base para el desarrollo del presente proyecto.

- En el 2008 el estudiante William Joseph Villareal López de la Universidad Autónoma de Occidente, desarrolló el trabajo de grado que fue enfocado en proporcionar la información esencial a los estudiantes de Ingeniería Mecánica para la selección adecuada de bombas centrífugas, el diseño de sistemas de bombeo y la determinación de la configuración óptima de conexión de las bombas para cumplir con los requisitos de capacidad y carga necesarios en procesos industriales. Se enfatiza la importancia de adquirir conocimientos técnicos y experiencia práctica para que los estudiantes puedan tomar decisiones informadas en su futura carrera. El trabajo se inicia con una sección que aborda los conceptos fundamentales, especialmente en lo relacionado con las bombas centrífugas, y explora diversas configuraciones, incluyendo series y paralelas, para operar sistemas de bombeo. Luego, se llevan a cabo cálculos precisos para la selección de bombas y sistemas de bombeo, utilizando métodos manuales y un software especializado, con el fin de verificar la coherencia entre la selección manual y la realizada por el programa¹.
- En el 2011 los estudiantes Ágil Díaz Freddy Miguel y Calahorrano Pérez Cesar Iván, desarrollaron el proyecto el cual se enfoca en la planificación, construcción y elaboración de guías de laboratorio para un banco de pruebas destinado a evaluar bombas centrífugas hidráulicas operando en tres configuraciones distintas: individual, en serie y en paralelo. El banco de pruebas se desarrolla específicamente para su uso en el laboratorio de fluidos de la Universidad Politécnica Salesiana. Para lograr este propósito, se lleva a cabo un minucioso análisis del comportamiento de las bombas y las condiciones operativas que influyen en su rendimiento. A través de este análisis teórico, se establecen los parámetros necesarios para definir las dimensiones del prototipo y sus componentes. Además, se aborda la problemática relacionada con la construcción del banco, asegurando un ensamblaje adecuado y estableciendo los procedimientos y ajustes correspondientes. Se incorporan sistemas de medición esenciales para evaluar el rendimiento real del banco de pruebas. En términos de presupuesto, se detalla el costo de los materiales utilizados para la construcción, el cual se mantiene dentro de los límites presupuestarios iniciales, y todos los

¹ UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE. (2008). *red.uao.edu.co*. Obtenido de *red.uao.edu.co*: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6191/T04198.pdf>

elementos requeridos se encuentran disponibles en el mercado nacional. Además, se proporcionan guías de laboratorio que detallan los procedimientos experimentales para que los estudiantes realicen diferentes configuraciones en el banco de pruebas y obtengan los datos necesarios para realizar cálculos teóricos y compararlos con los resultados prácticos. Esta metodología combina análisis experimental y teórico para validar la investigación.²

- En el 2019 los estudiantes Ángel Miguel Ardila Quintero, Carlos Alfredo Rodríguez Díaz y Ronal Andrés Gómez Marín, desarrollaron su proyecto de grado el cual se enfoca en el diseño, construcción y operación de un banco de pruebas destinado a bombas centrífugas que operarán tanto en configuración serie como en paralelo. Su objetivo principal es mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes del programa de Ingeniería Electromecánica en las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS) en la sede de Barrancabermeja, específicamente en el ámbito de la mecánica de fluidos. El desarrollo del proyecto abarca desde la selección de los componentes esenciales para el banco, como las propias bombas, accesorios (como válvulas y codos) y tramos de tubería, hasta la elección de instrumentos de medición, como medidores de caudal y presión, para llevar a cabo las pruebas. El banco de pruebas permite la medición de caudales y presiones, lo que a su vez facilitará la obtención de las curvas características de las bombas. Además, se puede realizar una variedad de pruebas para observar cómo se comportan las bombas centrífugas en diferentes condiciones. Como parte integral del proyecto, se desarrollaron guías prácticas de operación y mantenimiento del banco, con el fin de asegurar su correcto funcionamiento, utilización y aplicación en las prácticas de laboratorio con los estudiantes.³
- En el 2020 Los estudiantes Espejo Ramírez Juan Carlos y Garzón Manrique Esteban Leonardo, desarrollaron el proyecto cuyo propósito fundamental radica en la actualización del Banco de Pruebas destinado a evaluar bombas centrífugas en configuraciones tanto en serie como en paralelo, un recurso indispensable para el Laboratorio de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Esta iniciativa surge debido a la carencia de un banco en condiciones adecuadas que permitieran la realización de pruebas necesarias. El objetivo central es mejorar y revitalizar el banco de pruebas preexistente en la facultad, no obstante, después de realizar un diagnóstico exhaustivo, se pudo constatar un deterioro significativo en sus componentes debido al tiempo en desuso. Por lo tanto, se determinó que la solución más apropiada era emprender la construcción de un banco completamente nuevo con un enfoque diferente,

² UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA DE ECUADOR. (JULIO de 2011). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de *dspace.ups.edu.ec*: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16348>

³ REPOSITORIO INSTITUCIONAL RI-UTS. (10 de OCTUBRE de 2019). <http://repositorio.uts.edu.co/>. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co/>: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/4830#:~:text=%22El%20presente%20trabajo%20de%20grado%20comprende%20el%20dise%C3%B1o%2C,Barrancabermeja%2C%20en%20la%20materia%20de%20mec%C3%A1nica%20de%20fluidos.>

basándose en el proyecto titulado "Diseño de un banco de bombas centrífugas para operación en serie y paralelo".⁴

- En el 2021 el estudiante Manuel Alejandro Ortiz Lombana, desarrolló un proyecto el cual originó debido a la falta de un laboratorio adecuado para que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Antioquia puedan estudiar asignaturas relacionadas con el flujo de fluidos en sistemas cerrados. Como respuesta, se planteó el diseño de un banco de pruebas específico para bombas centrífugas hidráulicas operadas en diferentes configuraciones. Se utilizó un enfoque sistemático que incluyó la identificación de causas y variables clave, la consideración de recursos limitados, la selección de materiales livianos y la realización de simulaciones y análisis estructurales. El resultado es un banco de pruebas versátil con una guía de laboratorio que permite a los estudiantes adaptar el sistema según sus necesidades, facilitando así la comprensión y el aprendizaje de estas asignaturas.⁵

2.2 MARCO TEORICO

El marco teórico de esta investigación se ha construido en base a conceptos fundamentales que permiten una comprensión profunda de los principios involucrados en el diseño y construcción de bancos didácticos con bombas en serie y en paralelo. Los temas abordados incluyen la hidráulica de sistemas de bombeo, el análisis de caudales, pérdidas de carga y factores de fricción, entre otros.

2.3 BOMBAS

La necesidad de acceso al suministro de agua ha sido esencial para la humanidad desde los albores de la civilización. La habilidad de transportar agua de un lugar a otro ha hecho posible la habitabilidad de áreas que, de otro modo, serían inhóspitas, así como la agricultura en regiones áridas donde no existen fuentes naturales de agua. En la actualidad, aún existen muchas zonas inaccesibles para las redes eléctricas tradicionales debido a limitaciones geográficas. En estos lugares, los residentes se ven obligados a buscar otras fuentes de energía para alimentar sus dispositivos, como las bombas hidráulicas que se utilizan comúnmente para el riego de cultivos y la extracción de agua de reservorios, pozos, lagos, entre otros. Estas bombas requieren un motor que puede obtener energía de diversas fuentes, incluyendo los combustibles fósiles, la energía eólica, y la energía solar, entre otras opciones disponibles.

⁴ UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS. (6 de OCTUBRE de 2020). *repository.udistrital.edu.co*. Obtenido de *repository.udistrital.edu.co*: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/27733>

⁵ UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. (2021). *bibliotecadigital.udea.edu.co*. Obtenido de *bibliotecadigital.udea.edu.co*: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/19734/7/OrtizManuel_2021_PruebasBombasHidraulicas.pdf

Para la elaboración de diversos diseños de tuberías y elegir la bomba adecuada, es esencial identificar las variables de entrada esenciales que definen cada proyecto de manera específica. En la mayoría de los casos, estas variables iniciales comprenden:}

- Tipo de fluido
- La temperatura media del fluido
- El volumen del flujo (también conocido como caudal).
- Las elevaciones o alturas de las ubicaciones donde el flujo se descarga, lo cual refleja las características topográficas del terreno.

Las bombas son esenciales en una variedad de aplicaciones, desde el suministro de agua hasta la operación de maquinaria pesada, al proporcionar la energía necesaria para mover líquidos contra resistencias y alturas. Su versatilidad y eficiencia las convierten en componentes clave en numerosos sectores, contribuyendo al funcionamiento de una amplia gama de equipos y procesos industriales.⁶

En el ámbito de las bombas, se pueden identificar clasificaciones específicas diseñadas para adaptarse a diversas aplicaciones en una variedad de campos de trabajo:

2.3.1 Clasificación de las bombas

En el ámbito de las bombas, se pueden identificar clasificaciones específicas diseñadas para adaptarse a diversas aplicaciones en una variedad de campos de trabajo. Claudio Mataix, en su libro titulado *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*, propone una clasificación para las máquinas de flujo, en las cuales son incluidas las bombas hidráulicas, ver Figura 1.

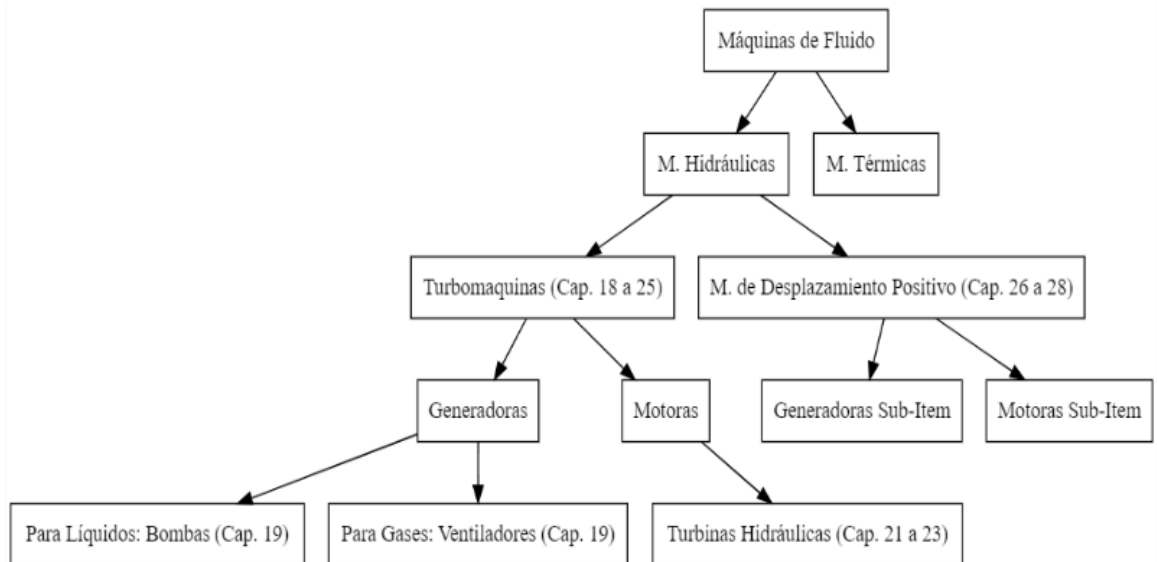
Las turbomáquinas también conocidas como máquinas de flujo, las alteraciones en la dirección y magnitud de la velocidad del fluido desempeñan un papel fundamental. Las bombas de desplazamiento positivo, que también se llaman máquinas volumétricas, el elemento responsable de transferir energía entrega o recibe energía al fluido en forma de energía de presión, que se genera debido a cambios en el volumen. En este contexto, las modificaciones en la dirección o en la magnitud de la velocidad del fluido no tienen un papel fundamental.

Se puede incluir un tercer conjunto de máquinas hidráulicas que intercambian energía en forma de energía potencial, como elevadores de cangilones, tornillos de Arquímedes y ruedas hidráulicas. Estas máquinas se conocen como máquinas gravimétricas. Las turbomáquinas y las máquinas de desplazamiento positivo se dividen en dos categorías:

⁶ RUA RAMIREZ, E., HERNANDEZ MORENO, S., CELY, L., GONZALEZ AMARILLO, A. M., RAMIREZ ALVARADO, R., MANCIPE, J., . . . GRANADOS COMBA, A. (2020). BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO: Sistema portatil para irrigacion de cultivos de arboles frutales. En E. RUA RAMIREZ, S. HERNANDEZ MORENO, L. CELY, A. M. GONZALEZ AMARILLO, R. RAMIREZ ALVARADO, J. MANCIPE, . . . A. GRANADOS COMBA, *BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO: Sistema portatil para irrigacion de cultivos de arboles frutales* (pág. 205). Tunja: Ediciones USTA - UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

motores y generadoras. Los motores absorben energía mecánica y redistribuyen energía al fluido.⁷

Figura 1 Clasificación de las bombas



Fuente: Mataix, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas

En el contexto de las bombas, se encuentra una configuración particularmente diseñada para su aplicación en sistemas en serie y en paralelo.

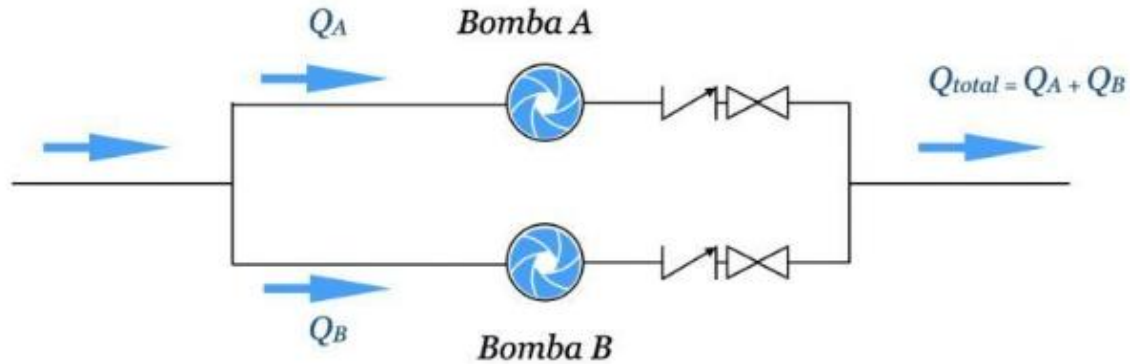
2.3.2 Bombas en paralelo

Las bombas en funcionamiento simultáneo en paralelo incrementarán el flujo (Q), pero no la elevación (H), ver Figura 2. Este arreglo se da cuando dos o más bombas se conectan a una línea de descarga compartida y comparten las mismas condiciones de succión.⁸

⁷ MATAIX, C. (1986). MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS SEGUNDA EDICION. En C. MATAIX, MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS SEGUNDA EDICION (pág. 660). Madrid: EDICIONES DEL CASTILLO S.A

⁸ GRUNDFOS. (2021). *grundfos.com*. Obtenido de *grundfos.com*: <https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/pumps-in-parallel#:~:text=Las%20bombas%20que%20funcionen%20en,las%20mismas%20condiciones%20de%20aspiraci%C3%B3n>

Figura 2 Sistema de bombas en paralelo.



Fuente: Grundfos, Bombas en paralelo

2.3.3 Bombas en serie

Cuando las bombas operan en serie, se producirá un aumento en la elevación (H), pero no en el flujo (Q), ver Figura 3. Este escenario se presenta cuando una bomba actúa como fuente de presión para suministrar a otra bomba. Por ejemplo, en las estaciones de bombeo de una red de suministro de agua que utilizan dos o más bombas centrífugas en disposición en serie, se generará elevación de manera similar a como lo haría una bomba de múltiples etapas.⁹

Figura 3 Sistema de bombas en serie.



Fuente: Grundfos, Bombas en serie

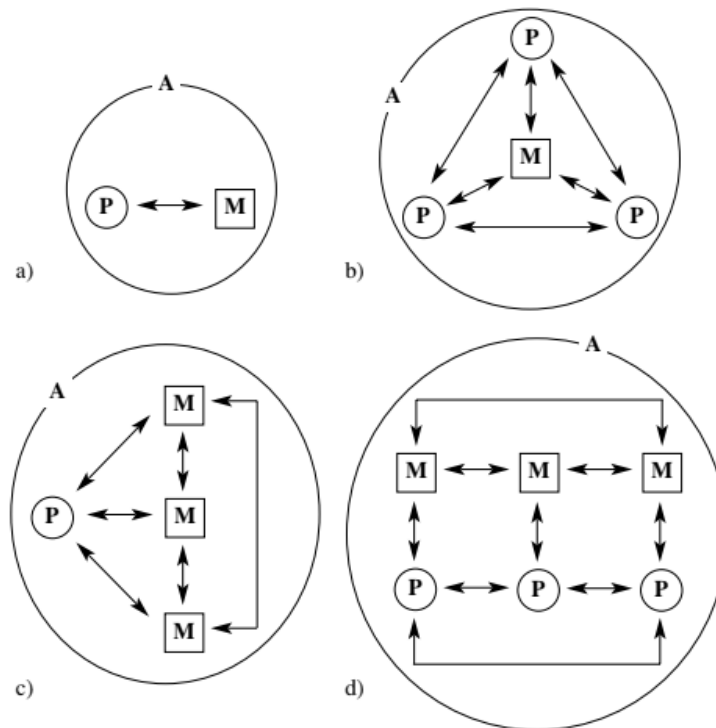
2.4 ERGONOMIA EN ESTRUCTURAS

La Ergonomía es una disciplina que se centra en el estudio y análisis de la interacción entre el ser humano y su entorno laboral, con el objetivo de diseñar herramientas, máquinas y sistemas que promuevan la eficacia, seguridad y confort en el trabajo.¹⁰ El sistema persona - máquina de la Figura 4 presenta las posibles relaciones en un ambiente las cuales se constituyen por una o más personas y una o más máquinas:

⁹ GRUNDFOS. (2021). *grundfos.com*. Obtenido de *grundfos.com*: <https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/pumps-in-series>

¹⁰ Barrau, P. R.-E.-P. (s.f.). *Ergonomía 1, Fundamentos*. Barcelona: EDICIONES UPC

Figura 4 Sistema Persona - Maquina (P-M)



Fuente: *Ergonomía 1, Fundamentos*

La figura muestra cuatro diferentes configuraciones de relaciones ergonómicas, etiquetadas de a) a d). El sistema ergonómico propuesto para la tesis corresponde al punto b), donde:

- A representa el Área
- P representa el Personal
- M representa la Máquina

Esta configuración sugiere que el sistema ergonómico integra múltiples operadores con la máquina central, también interactúan entre sí y el trabajo ocurre en el área del banco didáctico.

2.5 ECUACIONES FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO

Para el análisis y diseño adecuado del sistema de tuberías, es esencial emplear una serie de ecuaciones fundamentales. Estas fórmulas permiten evaluar parámetros clave como el caudal, la pérdida de carga, la presión y la eficiencia del flujo dentro del sistema.

2.5.1 Ecuación de la energía

La ecuación representa el principio de conservación de la energía, particularmente en la mecánica de fluidos, donde se distingue entre la energía mecánica y térmica. Se enfoca en la transformación de la energía mecánica en térmica debido a efectos como la fricción,

considerándola como pérdida de energía mecánica. En consecuencia, la ecuación de energía se convierte en un balance de la energía mecánica.¹¹

$$\frac{P1}{\rho g} + \frac{V1^2}{2g} + Z1 + h_{bomba} = \frac{P2}{\rho g} + \frac{V2^2}{2g} + Z2 + hL \quad \text{Ec. 1}$$

- P1 = Presión de succión (Pa)
- V1 = Velocidad de succión (m/s)
- Z1 = Altura estática de succión (m)
- Hbomba = Carga de la bomba útil entregada al fluido (m)
- P2 = Presión de descarga (Pa)
- V2 = Velocidad de descarga (m/s)
- Z2 = Altura estática de descarga (m)
- hL = Pérdida de carga total en tubería (m)
- g = Gravedad (m/s²)
- ρ = Densidad del fluido (Kg/m³)

2.5.2 Caudal

En el campo de la dinámica de fluidos, el caudal se refiere a la cantidad de fluido que fluye a través de una sección determinada en un intervalo de tiempo específico. Comúnmente se asocia con el flujo volumétrico, representando el volumen de fluido que atraviesa una región particular en una unidad de tiempo determinada.¹²

$$Q = V * A \quad \text{Ec. 2}$$

- Q = Caudal del fluido (m³/s)
- V = Velocidad media (m/s)
- A = Área de la tubería (m²)

2.5.3 Área interna de la tubería

La expresión siguiente se utiliza para determinar el área (A) de la sección transversal de una tubería interna.

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \quad \text{Ec. 3}$$

- D = Diámetro interno de la tubería (m)
- π = Pi

¹¹ YONUS A. CENEGEL, J. M. (2012). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones. En J. M. YONUS A. CENEGEL, *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones* (pág. 978). Mexico: Mc Graw Hill

¹² Ingeniería Montajes Soluciones. (25 de septiembre de 2018). ms-ingenieria.com. Obtenido de ms-ingenieria.com: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/sistemas-hvac/calculo-y-aplicaciones-de-caudales-en-la-industria/>

2.5.4 Pérdidas de carga totales

La disminución de la presión se refiere a la disminución o pérdida de la presión de un fluido a medida que se mueve a través de un sistema. Este fenómeno es común en varias situaciones, como el flujo del fluido a través de una tubería, al pasar por un orificio o una válvula. Por lo general, se origina debido a:¹³

- La fricción entre el fluido y la superficie interna de la tubería.
- Obstrucciones en las tuberías.
- Cambios en la dirección del flujo de la tubería.
- Accesorios en la tubería

$$hL_{\text{totales}} = hL_{\text{mayores}} + hL_{\text{menores}} \quad \text{Ec. 4}$$

- hL_{mayores} = Pérdidas cargas mayores (m)
- hL_{menores} = Pérdidas cargas menores (m)

2.5.5 Pérdidas de carga mayores

Las pérdidas de presión causadas por la fricción en el flujo de líquidos a través de tuberías se dividen en las pérdidas ocurridas en las secciones de flujo completamente desarrollado de una red de tuberías, que son conocidas como las pérdidas mayores.¹⁴

$$hL_{\text{mayores}} = \frac{\Delta PL}{\rho g} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} \quad \text{Ec. 5}$$

- f = Factor de fricción
- L = Longitud de la tubería (m)
- V = Velocidad del fluido (m/s)
- D = Diametro de la tubería (m)
- g = Gravedad (m/s^2)

2.5.6 Factor de fricción

La resistencia del fluido al pasar por una tubería genera una pérdida de carga, originada por la fricción entre el fluido y las superficies internas de la conducción. Esta fricción conlleva a una reducción de la energía del fluido durante su trayecto por el conducto. Es crucial considerar esta pérdida de carga, ya que puede impactar tanto en el desempeño del sistema como en la eficacia del transporte del fluido.¹⁵

¹³ TAMESON. (21 de septiembre de 2023). tameson.es. Obtenido de tameson.es: <https://tameson.es/pages/perdida-de-carga>

¹⁴ YONUS A. CENEGEL, J. M. (2012). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones. En J. M. YONUS A. CENEGEL, Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones (pág. 978). México: Mc Graw Hill

¹⁵ POLARIDAD. (1 de Febrero de 2024). polaridad.es. Obtenido de polaridad.es: <https://polaridad.es/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-factor-de-friccion-darcy-weisbach/>

Según la ecuación de Darcy Weisbach, es régimen laminar cuando $Re \leq 2300$. Si su resultado es $Re \geq 4000$ se considera que el flujo de agua es turbulento dentro de la tubería circular.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64\mu}{\rho DV} \quad \text{Ec. 6}$$

- ρ = Densidad del fluido
- D = Diametro interno de la tubería (m)
- V = Velocidad del fluido (m/s)

Para calcular el factor de fricción según el régimen laminar, se plantean dos ecuaciones: Ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad \text{Ec. 7}$$

Ecuación de Swamme y Jaine:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{\varepsilon}}\right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)^2} \quad \text{Ec. 8}$$

La simbología para ambas ecuaciones son las mismas:

- f = Factor de fricción
- D = Diametro de la tubería (m)
- ε = Rugosidad de la tubería (m)
- Re = Número de Reynolds

2.5.7 Número de Reynolds

La transición de flujo laminar a turbulento está influenciada por varios factores como la forma geométrica, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y la naturaleza del fluido. El régimen de flujo está principalmente determinado por la relación entre las fuerzas inerciales y viscosas en el fluido, conocida como número de Reynolds. Este número se calcula especialmente para el flujo interno en tuberías circulares.¹⁶

$$Re = \frac{VD}{\mu} = \frac{\rho VD}{\mu} \quad \text{Ec. 9}$$

¹⁶ YONUS A. CENEGEL, J. M. (2012). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones. En J. M. YONUS A. CENEGEL, *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones* (pág. 978). Mexico: Mc Graw Hill.

- V = Velocidad promedio del fluido (m/s)
- D = Diámetro de la tubería (m)
- μ = Viscosidad dinámica del fluido
- θ = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)
- ρ = Densidad del fluido (Kg/m^3)

2.5.8 Pérdidas de cargas menores

En un sistema de tuberías estándar, el fluido atraviesa diversos componentes como uniones, válvulas, codos, ramificaciones en forma de T, ensanchamientos y contracciones, además de los tramos rectos de tubos. Estos accesorios interrumpen el flujo suave del fluido, causando pérdidas adicionales debido a la separación y mezcla del flujo. En sistemas con tuberías largas, estas pérdidas, denominadas pérdidas menores, son menores en comparación con la pérdida principal por fricción en los tubos.¹⁷

$$hL \text{ menores} = K_L * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 10}$$

- K_L = Coeficiente de pérdida o de resistencia
- V = Velocidad promedio del fluido (m/s)
- g = Gravedad (m/s^2)

2.5.9 Potencia de la bomba

Para calcular la potencia de la bomba se debe usar la siguiente formula:

$$P = \frac{Q * H_{\text{bomba}} * \rho}{\eta * 746} \quad \text{Ec. 11}$$

- P = Potencia de la bomba
- H_{bomba} = Altura de la bomba (m)
- ρ = Densidad del agua (Kg/m^3)
- η = Eficiencia estimada
- 746 vatios = 1 HP

¹⁷ YONUS A. CENEGEL, J. M. (2012). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones. En J. M. YONUS A. CENEGEL, *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones* (pág. 978). Mexico: Mc Graw Hill.

2.5.10 Altura neta positiva de aspiración (NPSH)

Para calcular el NPSH (Net Positive Suction Head) o “Altura Neta Positiva de Aspiración”, el cual es un parámetro importante en el diseño y operación de bombas, se debe tener en cuenta la siguiente formula:¹⁸

$$NPSH = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad \text{Ec. 12}$$

- h_{sp} = Carga de presión atmosférica absoluta
- h_s = Distancia vertical de la bomba respecto al tanque con el fluido
- h_f = Perdida de carga debidas a la fricción por accesorios
- h_{vp} = Presión de vapor absoluto del agua a temperatura del tanque

2.6 MARCO HISTORICO

Las bombas hidráulicas han venido evolucionando (Ver Figura 5) desde el comienzo del tiempo de nuestros antepasados:¹⁹

- Alrededor del año 3000 A.C. La invención de la primera bomba se atribuye a los mesopotámicos, su diseño implicaba el uso de una palanca de madera colocada junto a una fuente de agua, con un peso en un extremo y un recipiente en el otro. Al presionar la palanca hacia abajo, el peso elevaba el recipiente, permitiendo que su contenido se vertiera en un recipiente más grande.
- En el año aproximado de 500 A.C. Se crearon tres tipos diferentes de bombas. Estos incluyeron una noria con ollas sujetas, otra noria con compartimentos para contener el agua y una cadena de recipientes, que se componía de una línea que pasaba sobre una polea con recipientes unidos a ella.
- La bomba de fuerza Diseñada con un cilindro que empleaba un pistón en su parte superior para crear un efecto de succión y extraer el agua a través de válvulas, fue concebida por Ctesibio de Alejandría, Egipto. Este tipo de bombas también engloba las bombas de mano.
- Bomba centrífuga y bomba de Savery La bomba de tipo centrífuga es accionada por un motor y su mecanismo interno genera succión para la extracción de agua.

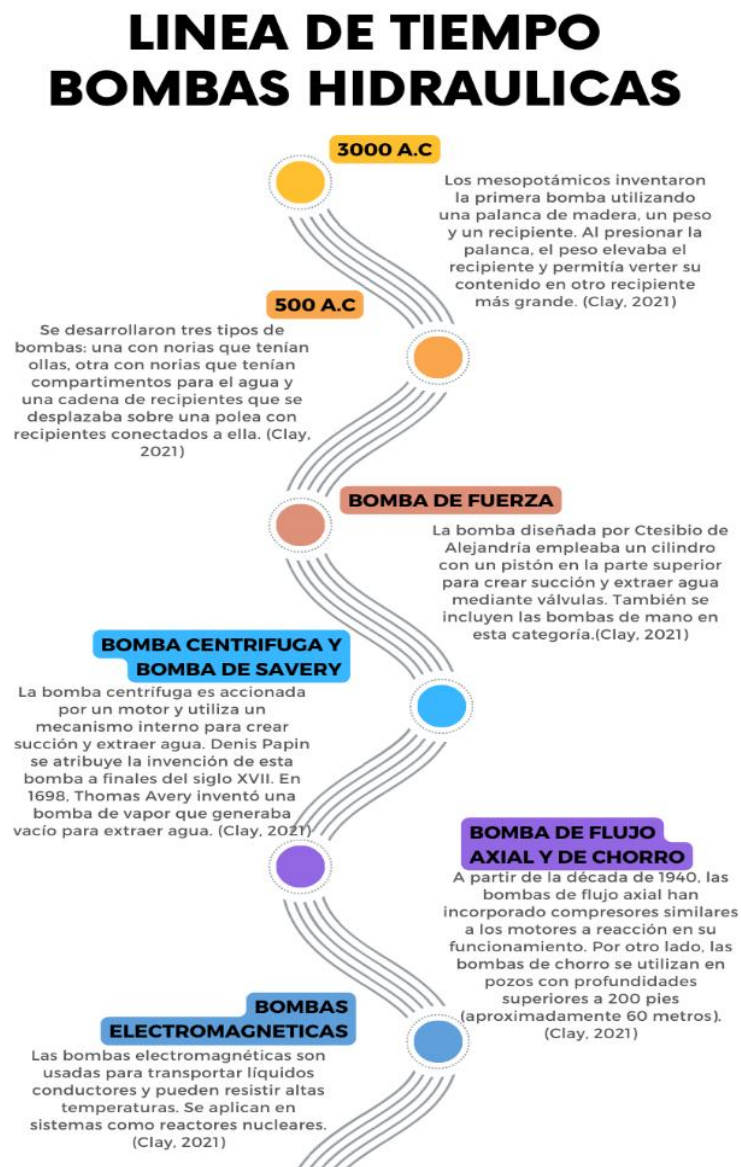
¹⁸ RUA RAMIREZ, E., HERNANDEZ MORENO, S., CELY, L., GONZALEZ AMARILLO, A. M., RAMIREZ ALVARADO, R., MANCIPE, J., . . . GRANADOS COMBA, A. (2020). BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO: Sistema portatil para irrigacion de cultivos de arboles frutales. En E. RUA RAMIREZ, S. HERNANDEZ MORENO, L. CELY, A. M. GONZALEZ AMARILLO, R. RAMIREZ ALVARADO, J. MANCIPE, . . . A. GRANADOS COMBA, *BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO: Sistema portatil para irrigacion de cultivos de arboles frutales* (pág. 205). Tunja: Ediciones USTA

¹⁹ Clay, C. (20 de Noviembre de 2021). *ehowenespanol.com*. Obtenido de *ehowenespanol.com*: https://www.ehowenespanol.com/tipos-captacion-agua-pluvial-info_211424/

Su invención se atribuye a Denis Papin, quien la desarrolló a finales del siglo XVII. En 1698, Thomas Avery inventó una bomba que operaba con vapor para generar un vacío que permitía la extracción de agua.

- Bombas de flujo axial y de chorro A partir de los años 1940, las bombas de flujo axial han venido incorporando compresores similares a los motores a reacción en su funcionamiento. Las bombas de chorro, por otro lado, encuentran aplicación en pozos con profundidades superiores a los 200 pies (aproximadamente 60 metros).
- Bombas electromagnéticas Las bombas electromagnéticas son empleadas para transportar líquidos conductores y son capaces de resistir temperaturas excepcionalmente elevadas. Este tipo de bomba encuentra aplicación en sistemas como los reactores nucleares.

Figura 5 Línea de tiempo



Fuente: Autores

Las bombas de agua tienen una historia que se remonta al año 3000 A.C. Las primeras versiones se construyeron utilizando ruedas de agua y rampas, y su funcionamiento requería la fuerza proporcionada por animales para mover estas ruedas. A medida que avanzó la tecnología, las bombas modernas han evolucionado y ahora incluyen una variedad de tipos, como las bombas centrífugas, las de flujo axial, las de chorro y las electromagnéticas.²⁰

²⁰ Clay, C. (20 de noviembre de 2021). ehowenespanol.com. Obtenido de ehowenespanol.com: https://www.ehowenespanol.com/tipos-captacion-agua-pluvial-info_211424/

3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Los bancos didácticos son herramientas valiosas que permiten a los estudiantes poner en práctica sus conocimientos teóricos y adquirir experiencia en el manejo de equipos y sistemas reales.

Los requisitos de la Tabla 1, incluyen la demostración del funcionamiento de las bombas en serie y en paralelo, la facilidad de uso, la seguridad, la economía y la compactidad, se han considerado como puntos clave para el diseño del equipo, los cuales fueron requisitos planteados en el semillero de Fluidodinámica.

Tabla 1 Requisitos de alternativas

REQUISITOS	
R1	El banco didáctico debe permitir demostrar el funcionamiento de las bombas en serie y en paralelo.
R2	El banco didáctico debe ser fácil de usar y comprender.
R3	El banco didáctico debe ser seguro para su uso.
R4	El banco didáctico debe ser económico.
R5	El banco didáctico debe ser compacto.

Fuente: Autores

Las características de calidad son los atributos que definen el nivel de satisfacción del producto a sus usuarios. En el caso del banco didáctico de bombas, las características de la Tabla 2 demuestra una lista con los índices de calidad que son importantes para tener en cuenta la calificación de las alternativas:

Tabla 2 Características de alternativas

CARACTERISTICAS	
C1	El banco didáctico debe tener una bomba en serie y una bomba en paralelo.
C2	El banco didáctico debe tener un tanque de agua
C3	El banco didáctico debe tener un sistema de medición de caudal.
C4	El banco didáctico debe tener un sistema de medición de presión.
C5	El banco didáctico debe tener un manual de instrucciones.
C6	El banco didáctico debe tener tuberías de un tamaño adecuado.
C7	El banco didáctico debe tener un diseño compacto.

Fuente: Autores

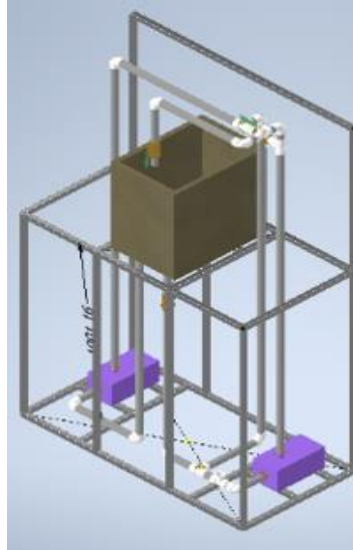
3.1 ALTERNATIVA A

En este caso, se presenta el diseño de un banco didáctico (ver Figura 6)para el estudio de bombas en serie y en paralelo. Este banco didáctico permitirá a los estudiantes:

- Comprender el funcionamiento de las bombas en serie y en paralelo.
- Analizar el comportamiento de las bombas en diferentes configuraciones.
- Medir el caudal y la presión del agua en diferentes puntos del sistema.

- Comparar el rendimiento de las bombas en serie y en paralelo.

Figura 6 Alternativa A.



Fuente: Autores

La alternativa A de diseño propuesta para el banco didáctico se sometió a un análisis utilizando la matriz QFD como se observa en la Tabla 3. Los requisitos del sistema y las características de calidad se han evaluado para garantizar que el diseño cumpla con las expectativas y necesidades específicas.

Se procede a establecer la relación entre los requisitos propuestos y las características de calidad:

Tabla 3 Calificación alternativa A

Requisitos propuestos	Características de calidad	Relación	Importancia	Ponderación
R1	C1	Fuerte	5	5
	C2	Fuerte	5	5
	C3	Media	3	3
	C4	Media	3	4,5
	C5	Media	3	3
R2	C1	Media	3	3
	C2	Media	3	3
	C3	Fuerte	5	5
	C4	Fuerte	5	5
	C5	Fuerte	5	5
R3	C1	Fuerte	5	5
	C2	Media	3	3
	C3	Media	3	3
	C4	Media	3	3
	C5	Fuerte	5	5
R4	C1	Media	3	3

	C2	Media	3	3
	C3	Media	3	3,5
	C4	Media	3	3
	C5	Media	3	3
	C6	Fuerte	5	5
	C7	Fuerte	5	5
R5	C1	Media	3	3
	C2	Media	3	3
	C3	Media	3	3
	C4	Media	3	3
	C5	Media	3	3
	C6	Fuerte	5	5
	C7	Fuerte	5	5
TOTAL =				111

Fuente: Autores

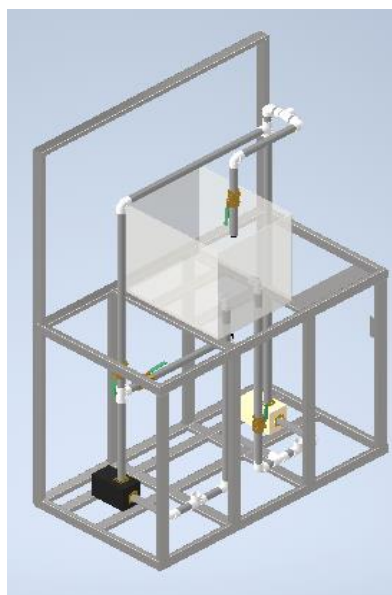
3.2 ALTERNATIVA B

El banco didáctico de la

Figura 7 puede funcionar en dos configuraciones:

- Serie: Las dos bombas están conectadas en serie, lo que significa que el agua fluye de una bomba a la siguiente. Esta configuración aumenta la presión del agua, pero no el caudal.
- Paralelo: Las dos bombas están conectadas en paralelo, lo que significa que el agua fluye por las dos bombas al mismo tiempo. Esta configuración aumenta el caudal del agua, pero no la presión.

Figura 7 Alternativa B.



Fuente: Autores

Según lo establecido en el inicio de la selección de alternativas, se procede a realizar la respectiva calificación entre los requisitos y las características propuestos en el semillero:

Tabla 4 Calificación alternativa B

Requisitos propuestos	Características de calidad	Relación	Importancia	Ponderación
R1	C1	Fuerte	5	5
	C2	Fuerte	5	5
	C3	Media	3	5
	C4	Media	3	4,5
	C5	Media	3	3
R2	C1	Media	3	3
	C2	Media	3	3
	C3	Fuerte	5	5
	C4	Fuerte	5	5
	C5	Fuerte	5	5
R3	C1	Fuerte	5	5
	C2	Media	3	3
	C3	Media	3	4,5
	C4	Media	3	5
	C5	Fuerte	5	5
R4	C1	Media	3	3
	C2	Media	3	3
	C3	Media	3	5
	C4	Media	3	5
	C5	Media	3	3
	C6	Fuerte	5	5
	C7	Fuerte	5	5
R5	C1	Media	3	3
	C2	Media	3	3
	C3	Media	3	5
	C4	Media	3	5
	C5	Media	3	3
	C6	Fuerte	5	5
	C7	Fuerte	5	5
TOTAL =				124

Fuente: Autores

Las características de calidad más importantes son C2, "El banco didáctico debe tener un tanque de agua", C3, "El banco didáctico debe tener un sistema de medición de caudal", C4, "El banco didáctico debe tener un sistema de medición de presión", C6, "El banco didáctico debe tener tuberías de un tamaño adecuado" y C7, "El banco didáctico debe tener un diseño compacto".

3.3 SELECCION DE LA ALTERNATIVA

Después de evaluar las calificaciones asignadas a las alternativas previas, se decidió descartar la alternativa A y optar por la alternativa B. Esta elección se fundamentó en la puntuación total obtenida, donde la alternativa B se destacó como la opción más favorable. La decisión se tomó mediante un proceso de selección basado en la matriz QFD.

La selección de la alternativa B también fue la más indicada, ya que optimizaba el espacio disponible debajo del tanque al utilizar una configuración de tuberías en serie. Esta disposición reducía las pérdidas de carga y la cantidad de tubería necesaria, lo que contribuyó a una disminución de costos.

4 MODELAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO

4.1 PLANIMETRIA DEL BANCO

El modelado y dimensionamiento del banco didáctico de bombas en serie y en paralelo se llevó a cabo utilizando el programa Autodesk Inventor Professional 2023. Esta aplicación permitió obtener medidas precisas del espacio del banco, así como identificar sus características y las modificaciones necesarias en función del trabajo realizado.

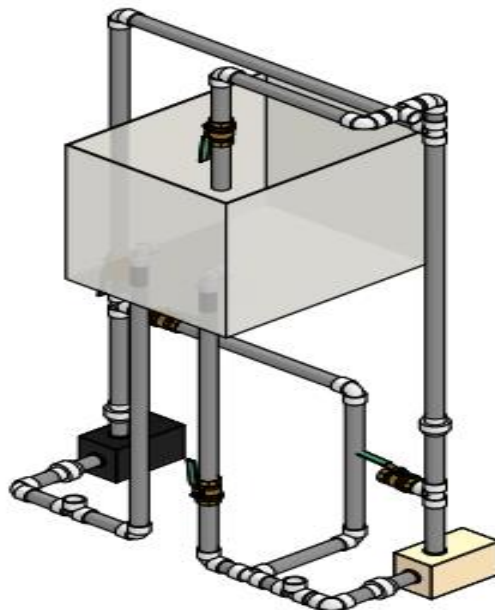
En una etapa previa, se efectuó la selección de la alternativa mediante una matriz QFD, siendo elegida la opción B (ver Figura 7), que cumple con los requisitos propuestos y las características mencionadas. Posteriormente, se procedió a la creación del diseño asistido por computadora (CAD) de la estructura, dando forma visual y técnica a la configuración del banco didáctico

4.1.1 Diseño del sistema de tubería

El sistema de tuberías de la Figura 8 está compuesto por los siguientes componentes:

- Tuberías: Las tuberías son el componente principal del sistema. Son de 1 pulgada de diámetro y están hechas de PVC.
- Codos: Los codos se utilizan para cambiar la dirección del flujo de agua.
- Tees: Las tees se utilizan para dividir el flujo de agua en dos direcciones.
- Válvulas de cierre: Las válvulas de cierre se utilizan para controlar el flujo de agua.
- Manómetros: Los manómetros se utilizan medir la presión del agua.

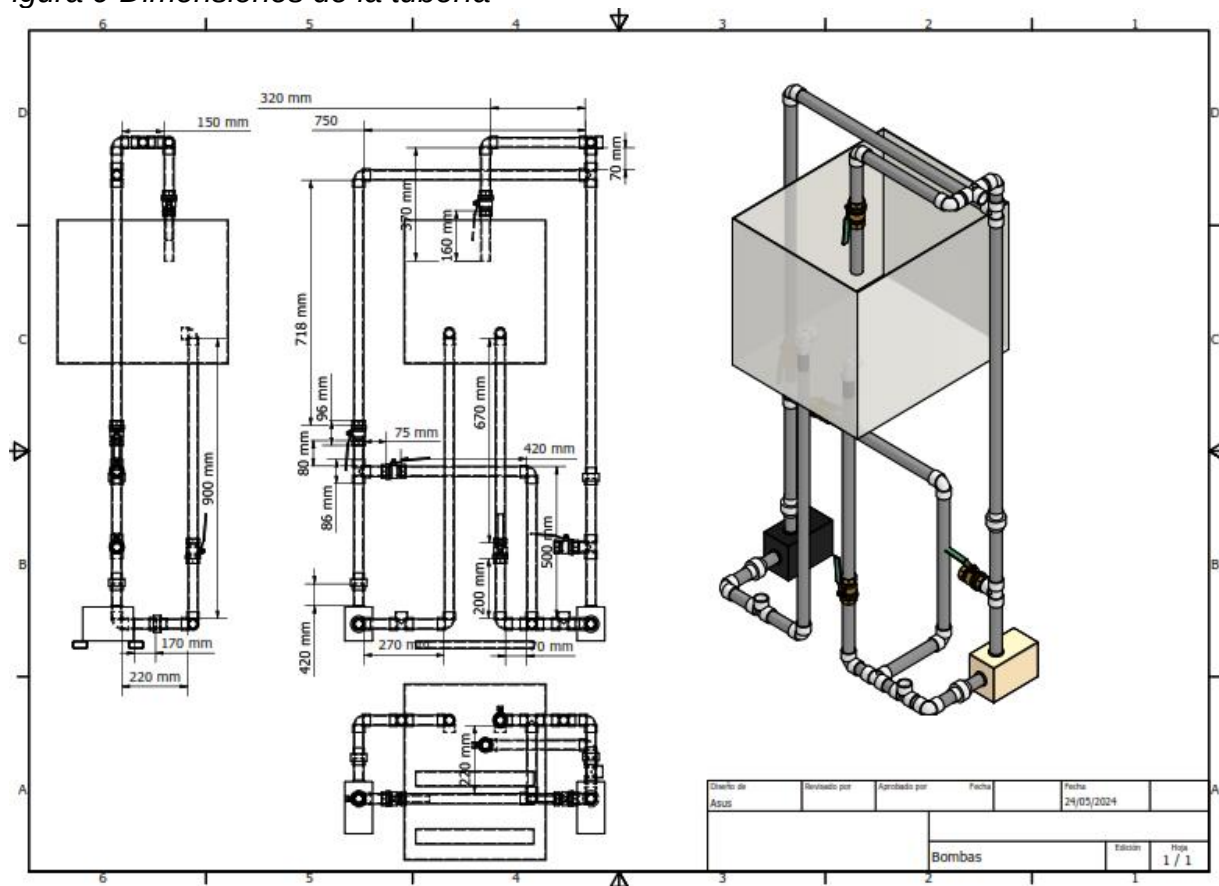
Figura 8 Ensamble de tubería y accesorios



Fuente: Autores

Para la tubería también se realizaron los respectivos planos con medidas, los cuales se pueden observar en la Figura 9 :

Figura 9 Dimensiones de la tubería



Fuente: Autores

La tubería a usar es de 1" y los accesorios a usar son los siguientes:

Tabla 5 Accesorios para la tubería

ACCESORIOS SUCCION	CANTIDAD	ACCESORIOS DESCARGA	CANTIDAD
Codos	6	Codos	6
Válvulas	1	Válvulas	3
Tee	2	Tees	4
Manómetros	2	Manómetros	1

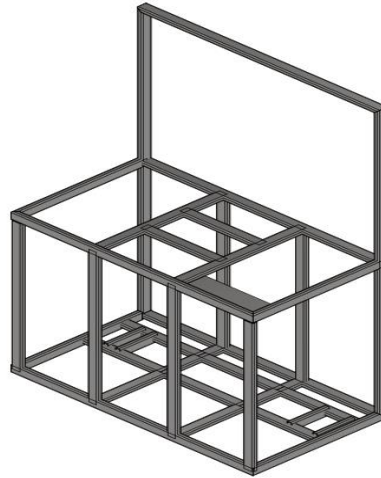
Fuente: Autores

4.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

Se ha realizado una minuciosa planificación del diseño de la estructura metálica, y el producto de este es visible en la figura que acompaña esta descripción. La representación gráfica contenida en la Figura 10 ofrece una visión precisa de la configuración de la estructura, destacando de manera clara las dimensiones exactas, la disposición de

componentes clave y todas las modificaciones implementadas para mejorar y optimizar su rendimiento.

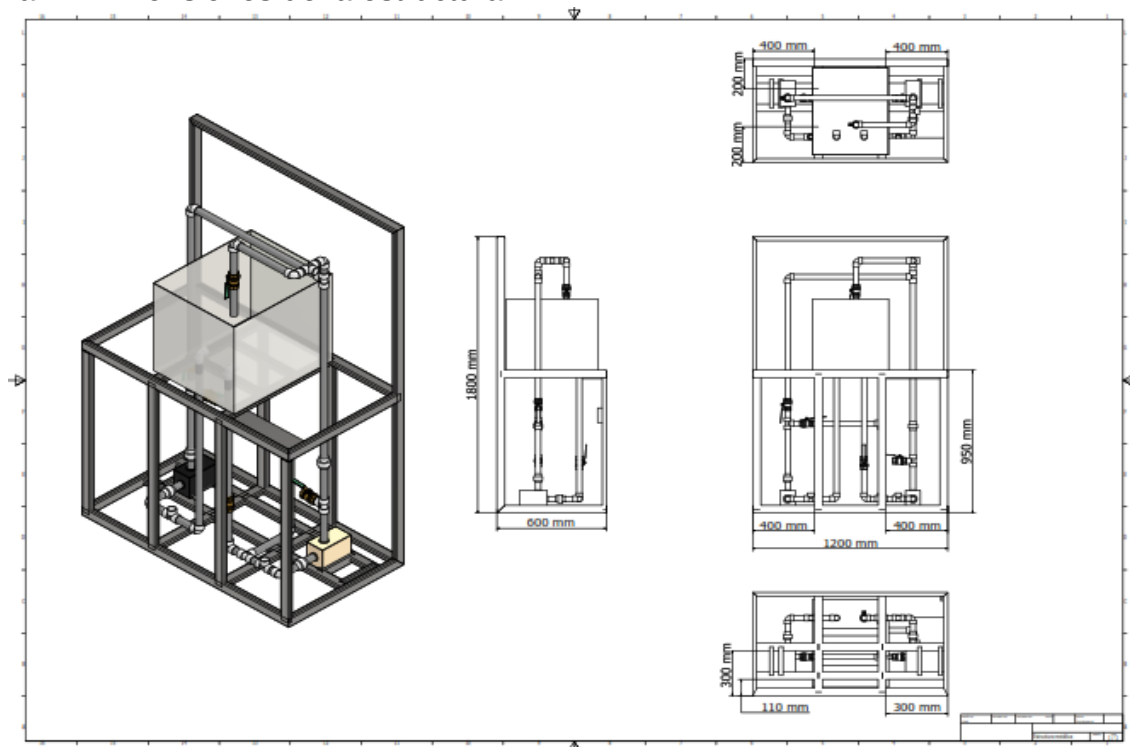
Figura 10 Estructura metálica



Fuente: Autores

Tras completar la visualización detallada de la estructura, se lleva a cabo el proceso de acotamiento en la Figura 11. Esta fase es fundamental, ya que los datos resultantes permiten obtener un diseño con medidas precisas, facilitando así la tarea durante la fase construcción.

Figura 11 Dimensiones de la estructura



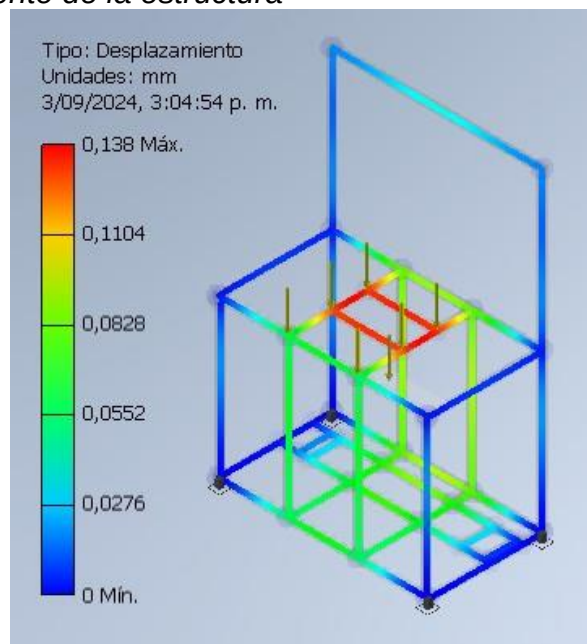
Fuente: Autores

La estructura, concebida con perfiles rectangulares galvanizados de 30x50 mm y calibre 16, se elige con un propósito: sostener las bombas y el tanque de agua. En reposo, cuando los estudiantes no realizan experimentos, el tanque permanece vacío. Sin embargo, durante las prácticas, se llena de agua, alterando significativamente el peso que la estructura debe soportar. Esta dinámica de carga variable subraya que la selección del material se realizó considerando que el banco completo es una estructura más dinámica que estática. La elección del acero galvanizado responde a varios factores clave: Accesibilidad en el mercado, facilidad de manejo y manipulación Su perfil rectangular, que proporciona una mejor capacidad para soportar cargas muy altas como también bajas.

Antes a su construcción, la estructura diseñada fue sometida a simulaciones computarizadas en inventor 2023. Estas pruebas permitieron analizar y visualizar la distribución de esfuerzos a lo largo de toda la estructura, validando así su capacidad para resistir las cargas previstas en condiciones tanto estáticas como dinámicas, las cuales se pueden observar en las siguientes figuras.

El análisis de la Figura 12 muestra el desplazamiento de la estructura para el banco didáctico de bombas. La escala de colores indica desplazamientos desde 0 mm (azul) hasta un máximo de 0,138 mm (rojo). Los desplazamientos menores se observan en la base y partes verticales inferiores. Los desplazamientos intermedios se distribuyen en el centro de la estructura. Los máximos desplazamientos se concentran en los elementos horizontales superiores que es donde estará el tanque. El desplazamiento máximo de 0,138 mm indica que la estructura es considerablemente rígida y estable.

Figura 12 Desplazamiento de la estructura



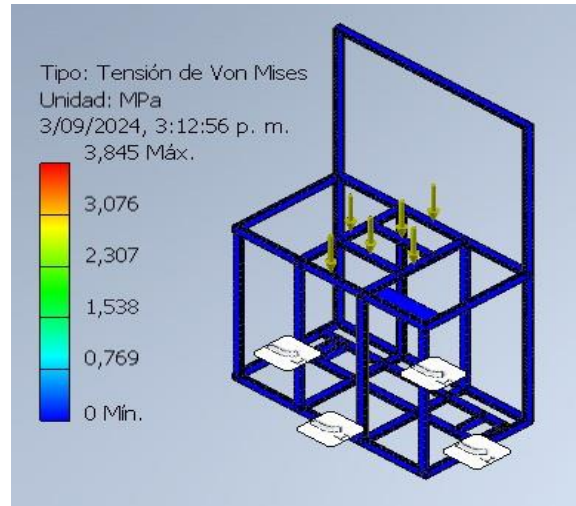
Fuente: Autores

El análisis de tensión de Von Mises de la Figura 13 indica una escala de colores donde la tensión va desde 0 MPa (azul) hasta un máximo de 3.845 MPa (rojo). Las tensiones

más bajas se concentran en la mayor parte de la estructura, predominando el color azul lo que indica que gran parte del soporte experimenta tensiones mínimas bajo las cargas aplicadas.

Con una tensión máxima de 3.845 MPa, la estructura parece estar bien dentro de los límites de resistencia para el acero galvanizado lo que indica que el diseño es adecuado para su propósito como soporte del banco didáctico de bombas.

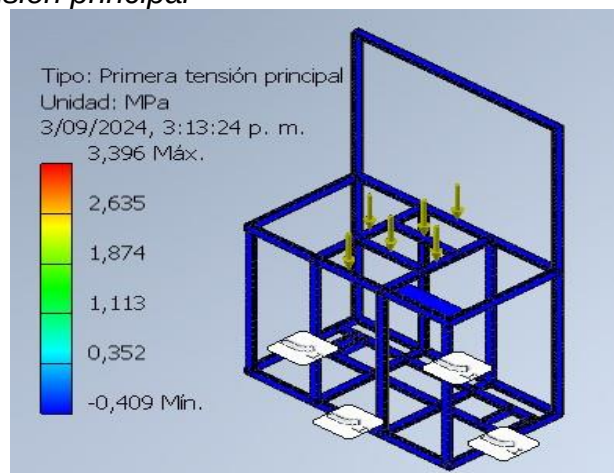
Figura 13 Tensión de Von Mises de la estructura



Fuente: Autores

La Figura 14 muestra un análisis de la primera tensión principal para la estructura con una escala de tensiones va desde -0,409 MPa (azul) hasta 3,396 MPa (rojo). La mayor parte de la estructura presenta tonos azules, indicando tensiones bajas o incluso niveles de compresión en algunas vigas verticales.

Figura 14 Primera tensión principal

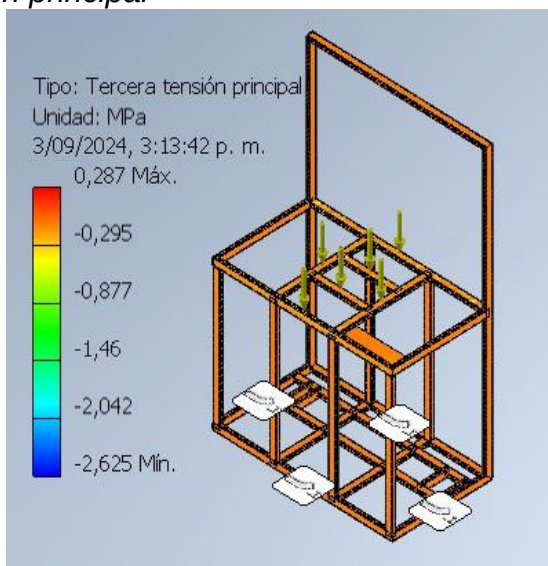


Fuente: Autores

La tercera tensión principal para la estructura de la Figura 15 tiene una escala de tensiones que va desde -2,625 MPa (azul) hasta 0,287 MPa (rojo). La mayoría de la estructura presenta tonos naranjas y rojizos, indicando tensiones cercanas al máximo de

0,287 Mpa, lo cual indica que gran parte de la estructura está sometida a esfuerzos de compresión relativamente uniformes en el momento que se agrega agua en el tanque.

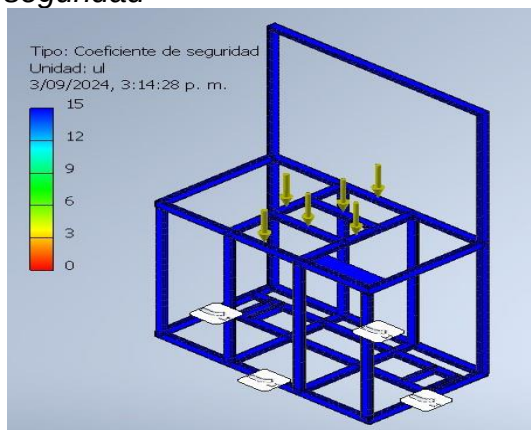
Figura 15 Tercera tensión principal



Fuente: Autores

La Figura 16 muestra un análisis del coeficiente de seguridad para la estructura del banco didáctico de bombas. La escala va de 0 (rojo) a 15 (azul oscuro), siendo 15 el valor máximo mostrado. Prácticamente toda la estructura se muestra en azul oscuro, lo que indica un coeficiente de seguridad es de 15 o superior en la mayor parte de los elementos, lo cual indica que la estructura logra estar sobredimensionada para las cargas que va a soportar, sin embargo, se considera que el sobredimensionamiento es un factor importante en el momento del diseño, esto reduce posibles fallos estructurales que pueden interferir la salud de los operarios o incluso otros bancos de la universidad.

Figura 16 Coeficiente de seguridad



Fuente: Autores

Para corroborar la selección del material se hace uso de la aplicación online MatWeb, la cual permite observar las propiedades mecánicas del material en la Figura 17, las cuales

permite identificar que los resultados realizados anteriormente, están dentro de los parámetros del acero galvanizado ASTM A525:

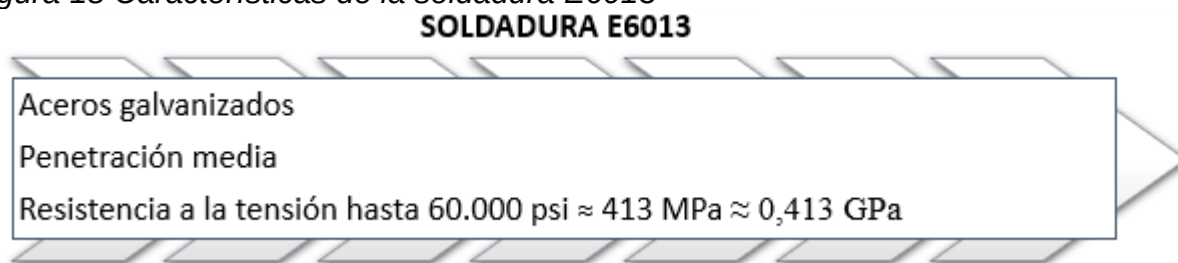
Figura 17 Acero galvanizado A525

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Modulus of Elasticity	<u>200</u> GPa	<u>29000</u> ksi	Typical Carbon Steel
Bulk Modulus	<u>160</u> GPa	<u>23200</u> ksi	Typical for Steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical Carbon Steel
Shear Modulus	<u>80.0</u> GPa	<u>11600</u> ksi	Typical for Steel

Fuente: (MatWeb, 2024)

Considerando las tensiones a las que estará sometida la estructura, se ha seleccionado el tipo de soldadura WestArco E6013 como lo muestra la Figura 18. Esta soldadura tiene una resistencia a la tensión de 413 MPa, y dado que la estructura estará expuesta a valores mínimos de carga, resulta adecuada para el propósito. Además de ser un producto comercial, la WestArco E6013 es funcional para aceros galvanizados, ofreciendo una penetración media

Figura 18 Características de la soldadura E6013



Fuente: (Sidoc, 2018)

El recubrimiento seleccionado para la aplicación es una pintura azul metalizada, específicamente el modelo 100 - M10X. Esta elección se basa en su disponibilidad en el mercado y sus características adecuadas para el proyecto. En la Figura 19 se muestra el método de aplicación de este recubrimiento, así como ejemplos de pinturas similares. Aunque existen alternativas comparables, se optó por el 100 - M10X debido a su accesibilidad y facilidad de adquisición en el mercado local.

Figura 19 Resina 100 - M10X

Aplicación:	Resina de mezcla para Serie 100. 100-M 10 se usa para mezclar colores de efecto. 100-M 20 se usa para mezclar colores sólidos y colores de efecto con bajo contenido de efecto. 100-M 10X se usa para mezclar colores de efecto a altas temperaturas, baja humedad o sobre grandes superficies. 100-M 20X se usa para mezclar colores sólidos y colores de efecto con bajo contenido de efecto a altas temperaturas, baja humedad o sobre grandes superficies. La Serie 100 es diluible en agua y es aplicada bajo las lacas de Glasurit.
Propiedades:	Diluible en agua, menos del 6% en disolventes orgánicos (listo al uso).
Observaciones:	• Las fórmulas de mezcla con 100-M 10 / 100-M 20 / 100-M 10X / 100-M 20X y los básicos de mezcla cubren por completo el rango de colores necesarios para el repintado del automóvil. • Para altas temperaturas, baja humedad o grandes superficies a pintar, se pueden sustituir las lacas de mezcla 100-M 10, 100-M 20 y el diluyente 100-E 5 por los productos 100-M 10X, 100-M 20X y 100-E 5X respectivamente. • Usar 100-M 10 / 100-M 20 sólo mezclado con básicos Serie 100 y 100-E 5. • Usar 100-M 10X / 100-M 20X sólo mezclado con básicos Serie 100 y 100-E 5X. • Las mezclas duran hasta 3 meses si se almacenan en recipientes cerrados resistentes a la corrosión (plástico o lacados). • Las mezclas puestas a viscosidad de aplicación duran hasta 3 semanas si se almacenan en recipientes cerrados resistentes a la corrosión (plástico o lacados). • Los tiempos de evaporación pueden reducirse significativamente empleando los equipos de soplado adecuados. • Por favor remitirse al módulo "Serie 100" en Glasurit Know How para más detalles e información sobre los procesos de aplicación.

Fuente: (Glasurit, s.f.)

Para el diseño de la estructura también se considera el espacio disponible en la universidad, el tamaño compacto del banco didáctico de bombas en serie y en paralelo se justifica por varios factores que garantizan una operación eficiente y cómoda para los usuarios, incluyendo laboratoristas, ingenieros y estudiantes:

- **Eficiencia del espacio:** Dada la limitación de espacio en los laboratorios de la universidad, es esencial maximizar la eficiencia del espacio. El diseño compacto del banco permite su integración sin comprometer el acceso a otras herramientas y equipos en el laboratorio. Esto facilita la organización del espacio y asegura un ambiente de trabajo ordenado y seguro.
- **Comodidad operativa:** El tamaño adecuado del banco de bombas se selecciona considerando la comodidad de operación para los usuarios. Las dimensiones compactas facilitan la accesibilidad a los controles, válvulas y conexiones, permitiendo un manejo más sencillo y eficiente de las operaciones. Esto es crucial para asegurar la precisión y seguridad en la manipulación de las bombas.
- **Facilita la interacción:** La disposición compacta del banco de bombas fomenta la colaboración y la interacción entre laboratoristas, ingenieros y estudiantes. Al tener una disposición que no obstaculiza la comunicación visual y física, se promueve un entorno colaborativo que mejora la eficiencia en el trabajo en equipo y el intercambio de conocimientos.
- **Ergonomía:** El diseño ergonómico del banco de bombas se adapta a las necesidades físicas y posturales de los usuarios. La disposición de controles y elementos operativos se ajusta para minimizar la fatiga y reducir la posibilidad de lesiones relacionadas con la postura. La ergonomía contribuye a un ambiente de trabajo cómodo y seguro, mejorando la productividad y el bienestar de los usuarios.

4.3 ESTUDIO HIDRÁULICO DE LOS SISTEMAS

El estudio hidráulico para un banco didáctico de bombas en serie y en paralelo se centra en analizar el comportamiento de estas configuraciones en sistemas de bombeo. En el caso de bombas en serie, se investiga cómo la combinación de múltiples bombas afecta la altura total de elevación, la presión y el caudal en un sistema.

Por otro lado, en el caso de bombas en paralelo, se examina cómo la disposición simultánea de varias bombas afecta la capacidad total de bombeo, la presión y el rendimiento del sistema.

4.4 SELECCION DE BOMBAS

Para llevar a cabo el proyecto, se realizó una investigación centrada en el análisis de diseños y construcciones de bancos con bombas dispuestas en serie y en paralelo. Se utilizaron referencias de proyectos similares para obtener información sobre los caudales con los que dichos proyectos trabajaron.

Posteriormente, se calculó un promedio con los datos recopilados, resultando en un sistema con un caudal de 36 l/min, una altura mínima (H_{min}) de 15,6 m y una altura máxima (H_{max}) de 36 m.

Con estos parámetros establecidos, se procedió a la selección de bombas disponibles en el mercado que fueran adecuadas para implementar en el proyecto. Basándose en estas referencias, se determinó que las bombas seleccionadas deberían ser capaces de cumplir con los diámetros requeridos tanto en la succión como en la descarga de la tubería del sistema.

4.4.1 Bomba Humboldt de 1 HP

Considerando los requisitos mencionados, lo cual conduce a la elección de la bomba Humboldt de 1 hp.

Características de la bomba



Fuente: (Falabella, 2024)

Disponibilidad de la bomba:

- La bomba Humboldt de 1 hp está disponible en el mercado, lo que facilita su adquisición.
- En el contexto actual, donde otras bombas son difíciles de conseguir, la disponibilidad de la Humboldt de 1 hp se convierte en una gran ventaja

Adaptabilidad de la bomba:

- La bomba Humboldt de 1 hp puede ser adaptada a las necesidades del proyecto mediante la instalación de una válvula de control de caudal.
- Esta válvula permitirá reducir el caudal de la bomba a 36 l/min, lo que la hace más eficiente.

Diámetros de succión y descarga

- La bomba Humboldt de 1 hp tiene diámetros de succión y descarga de 1", lo que la hace compatible con la tubería del proyecto.

Para el proyecto se usará tubería de PVC de 1", es la recomendada a usar para las bombas la cual contiene las siguientes características:

Tabla 6 Características de tubería

LINEA DE SUCCION Y DESCARGA SCHEDULE 40	
Diámetro nominal	1 "
Diámetro interior	0,02664 m
Área	0,000558 m ²
Rugosidad del PVC	0,0000015 m

Fuente: (EMMSA, 2024)

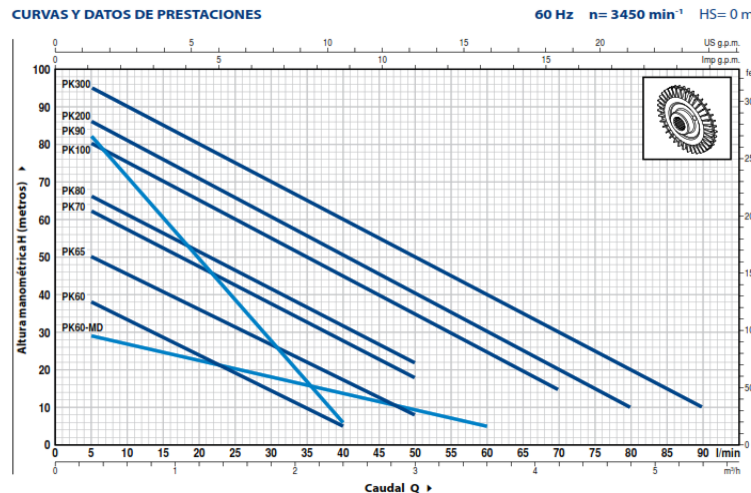
Para los cálculos es necesario usar las características de la tubería de la Tabla 6, teniendo en cuenta también otros factores a calcular.

- Se ha establecido un sistema de operación con un caudal inicialmente definido de 10 L/min a 36 L/min. No obstante, se amplía este rango para abarcar desde 10 L/min hasta 120 L/min. Esta extensión se realiza con el propósito de considerar un margen superior al necesario, proporcionando así un factor de seguridad. Además, esta ampliación permite una comprensión más detallada de las capacidades del sistema en conjunto con las bombas actuales.
- Se debe calcular el número de Reynolds en cada configuración
- Calcular el factor de fricción en cada configuración
- Calcular las pérdidas mayores del sistema en cada configuración

4.4.2 Bomba pk 60 de ½ HP

Como segunda bomba a usar en las configuraciones, se opta por usar una bomba de ½ hp, con tubería de 1", las cuales cumplen las mismas características de la Tabla 6:

Figura 20 Características de la bomba PK60



Fuente: (Pedrollo PK, 2024)

- Caudal: La bomba PK 60 ofrece un caudal de 40 l/min, superando el caudal requerido de 36 l/min. Esto garantiza un flujo de agua adecuado para el sistema.
- Altura mínima: La bomba PK 60 alcanza una altura mínima de 30 m, superando la altura mínima requerida de 15,6 m. Esto asegura que la bomba tenga la potencia suficiente para impulsar el agua a la altura necesaria.
- Altura máxima: La bomba PK 60 alcanza una altura máxima de 40 m, cumpliendo con la altura máxima requerida de 36 m. Esto permite que la bomba funcione sin sobrecarga en el punto de mayor altura del sistema.

Además de cumplir con los requerimientos hidráulicos, la bomba PK 60 de 1/2 Hp ofrece las siguientes ventajas:

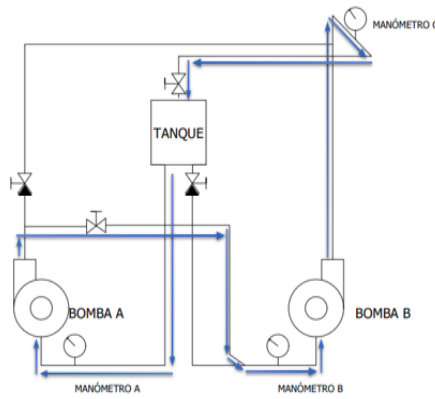
- Eficiencia energética: Esta bomba presenta un alto índice de eficiencia energética, lo que se traduce en un menor consumo de energía y un menor costo operativo.
- Confiabilidad: La bomba PK 60 está fabricada con materiales de alta calidad y cuenta con un diseño robusto, lo que garantiza una larga vida útil y un funcionamiento confiable.
- Bajo mantenimiento: Esta bomba requiere un mantenimiento mínimo, lo que reduce los costos operativos y aumenta la disponibilidad del sistema.

4.5 CONFIGURACION DEL SISTEMA EN SERIE

La conexión en serie de dos bombas en un sistema hidráulico es una estrategia ingeniosa para mejorar la eficiencia y la capacidad de transporte de fluidos. En este sistema específico, dos bombas trabajan en conjunto, conectadas en serie mediante una tubería de 1 pulgada. Esta disposición permite aprovechar de manera sinérgica las capacidades de cada bomba, generando un aumento progresivo en la presión del fluido a medida que fluye a través del sistema.

Los triángulos que se encuentran con negrilla, indica que son válvulas totalmente cerradas.

Figura 21 Sistema en serie



Fuente: Autores

4.5.1 Cálculos de pérdidas del sistema en serie

Inicialmente, se introduce la ecuación de la energía mencionada en el punto 5.2.1 con el propósito de evaluar las pérdidas de fluido a lo largo del circuito en serie del banco didáctico de bombas:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_{bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_l \quad \text{Ec. 1}$$

Del circuito, se determina lo siguiente:

- El circuito hidráulico en serie no hay variación de altura, por ende, Z_1 y Z_2 es igual a 0.
- La presión en la superficie del recipiente es la atmosférica, por lo tanto, P_1 y P_2 es igual a 0.
- La tubería carece de variaciones en el diámetro, tanto en los puntos de succión como en el de descarga, lo que implica que la velocidad a lo largo de la tubería permanecerá constante. En consecuencia, las velocidades en los puntos de succión y descarga se anulan entre sí.

$$h_{bomba} = h_L \quad \text{Ec. 13}$$

- h_L , representa pérdidas de carga total en las tuberías.

4.5.2 Pérdidas de cargas mayores

Para calcular las pérdidas de carga mayores en la tubería, se basan en función del factor de fricción, la longitud, el diámetro de la misma y la velocidad del fluido, aplicando la ecuación 5, se tiene lo siguiente:

$$h_{L \text{ mayores}} = \frac{\Delta PL}{\rho g} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} \quad \text{Ec. 5}$$

Para el sistema en serie, se usarán los siguientes datos:

- Viscosidad dinámica del agua es de $0,00081 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$
- D. Interior = 0.02664 m
- Densidad es de 997 kg/m^3 a una temperatura de 20°
- La longitud de tubería de 1" para succión es de 3,24 m
- La longitud de tubería de 1" para la descarga es de 2,25 m
- Viscosidad dinámica del agua $\mu=0.000891 \text{ Kg/m}^3$
- Rugosidad $\varepsilon = 0,0000015 \text{ m}$
- $1 \text{ L/min} > 0.0000167 \text{ m}^3/\text{s}$

4.5.2.1 Tubería de succión

- Caudal: Se conoce el caudal en L/min, por lo que se realiza la conversión a m^3/s para el sistema en serie.

$$Q = 36 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 0,0000167 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.0006012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Área: Se utiliza la ecuación del apartado 2.5.3 para calcular el área de la tubería.

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} = \pi * \frac{(0.02664 \text{ m})^2}{4} = 0.000558 \text{ m}^2$$

- Velocidad: Usando la ecuación del caudal y conociendo el área, la velocidad se calcula mediante la fórmula $V = Q / A$ para el sistema en serie

$$Q = A * V$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0006012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.000558 \text{ m}^2} = 1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Re (Número de Reynolds): Se obtiene mediante la ecuación 2.5.7, calculando el número de Reynolds para el caudal de 36 L/min en el sistema en serie.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.02664 \text{ m}}{0.000891 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 32117$$

- F (Factor de fricción): Se determina utilizando la ecuación del apartado 2.5.6 para el sistema en serie con un caudal de 36 L/min.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{\varepsilon}} \right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2} = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 \frac{0.02664 \text{ m}}{0,0000015 \text{ m}}} \right) + \frac{5.74}{32117^{0.9}} \right)^2} = 0.010773615$$

- hL mayores: Las pérdidas mayores se calculan aplicando la ecuación del apartado 2.5.5.

$$hL \text{ mayores succion} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0.010773615 * \frac{3,24 \text{ m} \left(1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.02664 \text{ m} * 2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$= 0,077525177 \text{ m}$$

Después de realizar los procedimientos de los cálculos para el caudal de 36 L/min, se procede a realizar los cálculos mediante Microsoft Excel de la Tabla 7 para los caudales de 10 l/min a 120 L/min:

Tabla 7 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en serie

TUBERÍA DE SUCCION 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
10	0,000167	0,000558	0,299283154	8921	0,010778507	0,005984597
20	0,000334	0,000558	0,598566308	17843	0,010775188	0,023931019
30	0,000501	0,000558	0,897849462	26764	0,010774017	0,05383894
36	0,0006012	0,000558	1,077419355	32117	0,010773615	0,077525177
40	0,000668	0,000558	1,197132616	35686	0,01077341	0,095708282
50	0,000835	0,000558	1,496415771	44607	0,010773037	0,149539007
60	0,001002	0,000558	1,795698925	53529	0,010772783	0,215331092
70	0,001169	0,000558	2,094982079	62450	0,010772598	0,293084521
80	0,001336	0,000558	2,394265233	71371	0,010772458	0,382799282
90	0,001503	0,000558	2,693548387	80293	0,010772347	0,484475367
100	0,00167	0,000558	2,992831541	89214	0,010772258	0,598112768
110	0,001837	0,000558	3,292114695	98136	0,010772184	0,723711482
120	0,002004	0,000558	3,591397849	107057	0,010772122	0,861271502

Fuente: Autores

4.5.2.2 Tubería de descarga

Para calcular las pérdidas mayores en el sistema de descarga en serie, se utilizan los mismos valores de caudal, velocidad, número de Reynolds y factor de fricción que, en la sección de succión, ya que no varían y permanecen constantes. Sin embargo, al calcular las pérdidas mayores con un caudal de 36 L/min, la longitud de la tubería cambia, lo que afecta el resultado.

- hL mayores

$$hL \text{ mayores descarga} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0.010773615 * \frac{2,25 \text{ m} \left(1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.02664 \text{ m} * 2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$= 0,053836929 \text{ m}$$

Después de realizar los procedimientos de los cálculos para el caudal de 36 L/min, se procede a realizar los cálculos mediante Microsoft Excel de la Tabla 8 para los caudales de 10 l/min a 120 L/min:

Tabla 8 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en serie

TUBERÍA DE DESCARGA DE 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
10	0,000167	0,000558	0,299283154	8921	0,010778507	0,00415597
20	0,000334	0,000558	0,598566308	17843	0,010775188	0,016618763
30	0,000501	0,000558	0,897849462	26764	0,010774017	0,037388152
36	0,0006012	0,000558	1,077419355	32117	0,010773615	0,053836929
40	0,000668	0,000558	1,197132616	35686	0,01077341	0,066464085
50	0,000835	0,000558	1,496415771	44607	0,010773037	0,103846533
60	0,001002	0,000558	1,795698925	53529	0,010772783	0,149535481
70	0,001169	0,000558	2,094982079	62450	0,010772598	0,203530917
80	0,001336	0,000558	2,394265233	71371	0,010772458	0,265832835
90	0,001503	0,000558	2,693548387	80293	0,010772347	0,336441227
100	0,00167	0,000558	2,992831541	89214	0,010772258	0,415356089
110	0,001837	0,000558	3,292114695	98136	0,010772184	0,502577418
120	0,002004	0,000558	3,591397849	107057	0,010772122	0,59810521

Fuente: Autores

4.5.3 Perdidas de carga menores

Las pérdidas menores se refieren a los términos del coeficiente de pérdida asociados con los accesorios utilizados en cada configuración de un sistema de tuberías. Estos accesorios, presentes en las tuberías de succión y descarga, contribuyen a la disminución de la eficiencia del sistema. Para calcular estas pérdidas menores, se emplea la ecuación 10, la cual proporciona una herramienta matemática para cuantificar la magnitud de estas pérdidas y optimizar así el rendimiento global del sistema de tuberías.

$$hL \text{ menores} = KL * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 10}$$

4.5.3.1 Tubería de succión

Para el cálculo se debe tener en cuenta los coeficientes de fricción de la Tabla 9 para los accesorios dando como resultado para los caudales de 10 L/min a 120 L/min en la Tabla 10:

Tabla 9 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en serie

TUBERIA DE SUCCION			
ACCESORIOS	CANTIDAD	K	ΣK
Codos	6	0,66	3,96
Válvula de cierre	1	3,3	3,3
Tee	4	1,32	5,28
SUMATORIA TOTAL			12,54 m

Fuente: Autores

Para calcular las pérdidas menores, se utiliza la velocidad indicada en el punto 4.5.2, ya que es la misma. Sin embargo, para determinar las pérdidas menores en el sistema de succión, es necesario emplear el coeficiente de fricción de los accesorios:

- hL menores

$$hL \text{ menores succion} = KL * \frac{V^2}{2g} = 12,54 \text{ m} * \frac{\left(1,07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0,741938793 \text{ m}$$

Tabla 10 Perdidas de carga menores en la tubería de succión en serie

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hL Menores de succión (m)
10	0,000167	0,057248364
20	0,000334	0,228993455
30	0,000501	0,515235273
36	0,0006012	0,741938793
40	0,000668	0,915973819
50	0,000835	1,431209092
60	0,001002	2,060941093
70	0,001169	2,805169821
80	0,001336	3,663895276
90	0,001503	4,637117459
100	0,00167	5,724836369
110	0,001837	6,927052006
120	0,002004	8,243764371

Fuente: Autores

4.5.3.2 Tubería de descarga

Para el cálculo se debe tener en cuenta los coeficientes de fricción de la Tabla 11 para los accesorios, dando como resultado para los caudales de 10 L/min a 120 L/min en la Tabla 12:

Tabla 11 Coeficientes de fricción de los accesorios en tubería de descarga en serie

TUBERIA DE DESCARGA			
ACCESORIOS	CANTIDAD	K	ΣK
Codos	3	0,66	1,98
Válvula de cierre	1	3,3	3,3
Tee	2	1,32	2,64
SUMATORIA TOTAL			7,92 m

Fuente: Autores

Para calcular las pérdidas menores, se utiliza la velocidad indicada en el punto 4.5.2, ya que es la misma. Sin embargo, para determinar las pérdidas menores en el sistema de descarga, es necesario emplear el coeficiente de fricción de los accesorios:

- hL menores

$$hL \text{ menores descarga} = KL * \frac{V^2}{2g} = 7,92 \text{ m} * \frac{\left(1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0,468592922 \text{ m}$$

Tabla 12 Perdidas menores en la tubería de descarga en serie

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hL Menores de descarga (m)
10	0,000167	0,036156861
20	0,000334	0,144627445
30	0,000501	0,325411751
36	0,0006012	0,468592922
40	0,000668	0,57850978
50	0,000835	0,903921532
60	0,001002	1,301647006
70	0,001169	1,771686202
80	0,001336	2,314039122
90	0,001503	2,928705763
100	0,00167	3,615686128
110	0,001837	4,374980214
120	0,002004	5,206588024

Fuente: Autores

4.5.4 Pérdidas Totales para el sistema en serie

Después de llevar a cabo los cálculos necesarios para determinar los caudales en el sistema, el siguiente paso es evaluar las pérdidas totales (ver Tabla 13) en la configuración en serie y la carga de la bomba útil que entrega al fluido. Este análisis es esencial para comprender la eficiencia global del sistema y garantizar un funcionamiento óptimo. Las pérdidas totales incluyen las resistencias encontradas en tuberías, accesorios y cualquier componente que afecte el flujo del fluido a lo largo del sistema, para el caudal de 36 L/min, se debe sumar las pérdidas menores de succión y las pérdidas menores en la descarga:

- hL menores totales

$$hL_{\text{totales}} = hL_{\text{menores succion}} + hL_{\text{menores descarga}}$$

$$hL_{\text{totales}} = 0,741938793 \text{ m} + 0,468592922 \text{ m} = 1,210531715 \text{ m}$$

- Carga de la bomba útil que entrega al fluido (H_{bomba}): La ausencia de variaciones en el diámetro de la tubería, tanto en los puntos de succión como en el de descarga, conlleva a una constancia en la velocidad a lo largo de la misma. Esta uniformidad implica que las velocidades en los puntos de succión y descarga se anulan mutuamente. Al despejar la ecuación de la energía, se obtiene la ecuación 13, que establece de manera precisa las relaciones entre las variables involucradas en el sistema. Este hallazgo es esencial para comprender y controlar las condiciones de flujo en la tubería, proporcionando una base sólida para el diseño y análisis detallado del sistema hidráulico

$$h_{\text{bomba}} = hL$$

$$h_{\text{bomba}} = 1,210531715 \text{ m}$$

- Potencia de la bomba: Para calcular la potencia requerida de la bomba se usa la ecuación 11, anteriormente mencionada en el marco teórico, suponiendo que la eficiencia de la bomba es de 80%:

$$P = \frac{Q * H_{\text{bomba}} * \rho}{\eta * 746} = \frac{0.0006012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,210531715 \text{ m} * 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.8 * 746} = 0,001215798 \text{ hp}$$

Tabla 13 Descargas menores total, Hbomba y Potencia de las bombas para sistema en serie

TUBERÍA DE SUCCION Y DESCARGA DE 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hl Menores de succión (m)	hl Menores de descarga (m)	hl menores total (m)	Hbomba (m)	Potencia (hp)
10	0,000167	0,057248364	0,036156861	0,093405225	0,093405225	0,000026059
20	0,000334	0,228993455	0,144627445	0,3736209	0,3736209	0,000208470
30	0,000501	0,515235273	0,325411751	0,840647025	0,840647025	0,000703587
36	0,0006012	0,741938793	0,468592922	1,210531715	1,210531715	0,001215798
40	0,000668	0,915973819	0,57850978	1,494483599	1,494483599	0,001667762
50	0,000835	1,431209092	0,903921532	2,335130624	2,335130624	0,003257347
60	0,001002	2,060941093	1,301647006	3,362588099	3,362588099	0,005628695
70	0,001169	2,805169821	1,771686202	4,576856023	4,576856023	0,008938160
80	0,001336	3,663895276	2,314039122	5,977934398	5,977934398	0,013342092
90	0,001503	4,637117459	2,928705763	7,565823222	7,565823222	0,018996847
100	0,00167	5,724836369	3,615686128	9,340522496	9,340522496	0,026058774
110	0,001837	6,927052006	4,374980214	11,30203222	11,30203222	0,034684229
120	0,002004	8,243764371	5,206588024	13,45035239	13,45035239	0,045029562

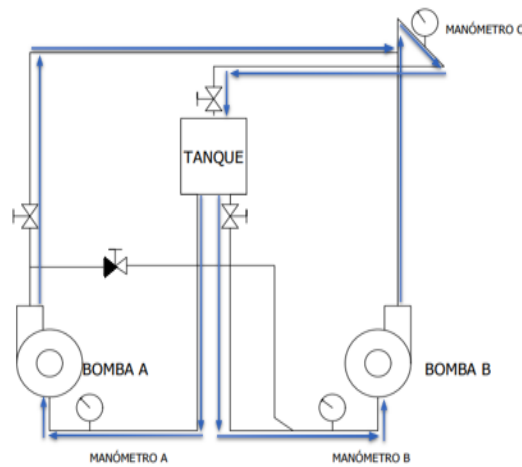
Fuente: Autores

La determinación de la potencia requerida para los caudales permite conocer la potencia necesaria para cada uno, la cual varía en una bomba de ½ hp. No obstante, es crucial tener en consideración las características previamente mencionadas al seleccionar la bomba. En este sentido, se recomienda utilizar la bomba Humboldt de 1 hp, la cual cuenta con un diámetro de succión de 1" y descarga de 1".

4.6 CONFIGURACION DEL SISTEMA EN PARALELO

La conexión en paralelo de dos bombas en un sistema hidráulico es una estrategia ingeniosa para mejorar la eficiencia y la capacidad de transporte de fluidos. En este sistema específico, dos bombas trabajan en conjunto, conectadas en paralelo mediante una tubería de 1 pulgada. Esta disposición permite aprovechar de manera sinérgica las capacidades de cada bomba, generando un aumento progresivo en la presión del fluido a medida que fluye a través del sistema.

Figura 22 Sistema en paralelo



Fuente: Autores

4.6.1 Cálculos de pérdidas del sistema en paralelo

Inicialmente, se introduce la ecuación de la energía mencionada en el punto 5.2.1 con el propósito de evaluar las pérdidas de fluido a lo largo del circuito en serie del banco didáctico de bombas:

$$\frac{P1}{\rho g} + \frac{V1^2}{2g} + Z1 + h_{bomba} = \frac{P2}{\rho g} + \frac{V2^2}{2g} + Z2 + hL \quad \text{Ec. 1}$$

Del circuito, se determina lo siguiente:

- El circuito hidráulico en serie no hay variación de altura, por ende, $Z1$ y $Z2$ es igual a 0.
- La presión en la superficie del recipiente es la atmosférica, por lo tanto, $P1$ y $P2$ es igual a 0.
- La tubería mantiene una constancia en el diámetro, tanto en los puntos de succión como en los de descarga, lo que garantiza una velocidad uniforme a lo largo de la misma. Sin embargo, cabe destacar que la velocidad final es el doble de la velocidad inicial. Este aumento se debe a la presencia de dos caudales en el sistema en paralelo, lo que provoca una modificación en sus valores.

$$h_{bomba} = \frac{2 * V2^2}{2g} - \frac{V1^2}{2g} + hL \quad \text{Ec. 14}$$

4.6.2 Pérdidas de cargas mayores

Para calcular las pérdidas de carga mayores en la tubería, se basan en función del factor de fricción, la longitud, el diámetro de la misma y la velocidad del fluido, aplicando la ecuación 5, se tiene lo siguiente:

$$hL \text{ mayores} = \frac{\Delta PL}{\rho g} = f \frac{L * V^2}{D * 2g}$$

Ec. 5

Para el sistema en serie, se usarán los siguientes datos:

- Viscosidad dinámica del agua es de $0,00081 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$
- D. Interior = 0.02664 m
- Densidad es de 997 kg/m³ a una temperatura de 20°
- La longitud de tubería de 1" para succión es de 2,61 m
- La longitud de tubería de 1" para la descarga es de 4,33 m
- Viscosidad dinámica del agua $\mu=0.000891 \text{ Kg/m}^3$
- Rugosidad $\varepsilon = 0,0000015 \text{ m}$
- 1 L/min > 0.0000167 m³/s
-

4.6.2.1 Tubería de succión

- Caudal: Se conoce el caudal en L/min, por lo que se realiza la conversión a m³/s para el sistema en paralelo:

$$Q = 36 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 0,0000167 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.0006012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Área: Se utiliza la ecuación del apartado 2.5.3 para calcular el área de la tubería en el sistema en paralelo.

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} = \pi * \frac{(0.02664 \text{ m})^2}{4} = 0.000558 \text{ m}^2$$

- Velocidad: Usando la ecuación del caudal y conociendo el área, la velocidad se calcula mediante la fórmula $V=Q/A$ para el sistema en paralelo:

$$Q = A * V$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0006012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.000558 \text{ m}^2} = 1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Re (Número de Reynolds): Se obtiene mediante la ecuación 2.5.7, calculando el número de Reynolds para el caudal de 36 L/min en el sistema en paralelo:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.02664 \text{ m}}{0.000891 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 32117$$

- F (Factor de fricción): Se determina utilizando la ecuación del apartado 2.5.6 para el sistema en serie con un caudal de 36 L/min.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{\varepsilon}}\right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)^2} = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7 \frac{0.02664 \text{ m}}{0.0000015 \text{ m}}}\right) + \frac{5.74}{32117^{0.9}}\right)^2} = 0.010773615$$

- hL mayores: Las pérdidas mayores se calculan aplicando la ecuación del apartado 2.5.5. para el sistema en paralelo:

$$hL \text{ mayores succion} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0.010773615 * \frac{2,61 \text{ m} \left(1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.02664 \text{ m} * 2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0,062450837 \text{ m}$$

Después de realizar los procedimientos de los cálculos para el caudal de 36 L/min, se procede a realizar los cálculos de la Tabla 14 mediante Microsoft Excel para los caudales de 10 l/min a 120L/min:

Tabla 14 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en paralelo

TUBERÍA DE SUCCION 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
10	0,000167	0,000558	0,299283154	8921	0,010778507	0,004820926
20	0,000334	0,000558	0,598566308	17843	0,010775188	0,019277765
30	0,000501	0,000558	0,897849462	26764	0,010774017	0,043370257
36	0,0006012	0,000558	1,077419355	32117	0,010773615	0,062450837
40	0,000668	0,000558	1,197132616	35686	0,01077341	0,077098338
50	0,000835	0,000558	1,496415771	44607	0,010773037	0,120461978
60	0,001002	0,000558	1,795698925	53529	0,010772783	0,173461158
70	0,001169	0,000558	2,094982079	62450	0,010772598	0,236095864
80	0,001336	0,000558	2,394265233	71371	0,010772458	0,308366088
90	0,001503	0,000558	2,693548387	80293	0,010772347	0,390271823
100	0,00167	0,000558	2,992831541	89214	0,010772258	0,481813063
110	0,001837	0,000558	3,292114695	98136	0,010772184	0,582989805
120	0,002004	0,000558	3,591397849	107057	0,010772122	0,693802043

Fuente: Autores

4.6.2.2 Tubería de descarga

Para calcular las pérdidas mayores en el sistema de descarga en paralelo, se utilizan los mismos valores de caudal, velocidad, número de Reynolds y factor de fricción que, en la sección de succión, ya que no varían y permanecen constantes. Sin embargo, al calcular las pérdidas mayores con un caudal de 36 L/min, la longitud de la tubería cambia, lo que afecta el resultado.

- hL mayores

$$hL \text{ mayores descarga} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0.010773615 * \frac{4,33 \text{ m} \left(1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.02664 \text{ m} * 2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$= 0,103606178 \text{ m}$$

Después de realizar los procedimientos de los cálculos para el caudal de 36 L/min, se procede a realizar los cálculos de la Tabla 15 mediante Microsoft Excel para los caudales de 10 l/min a 120 L/min:

Tabla 15 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en paralelo

TUBERÍA DE DESCARGA DE 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
10	0,000167	0,000558	0,299283154	8921	0,010778507	0,007997934
20	0,000334	0,000558	0,598566308	17843	0,010775188	0,031981886
30	0,000501	0,000558	0,897849462	26764	0,010774017	0,071951422
36	0,0006012	0,000558	1,077419355	32117	0,010773615	0,103606178
40	0,000668	0,000558	1,197132616	35686	0,01077341	0,127906439
50	0,000835	0,000558	1,496415771	44607	0,010773037	0,199846883
60	0,001002	0,000558	1,795698925	53529	0,010772783	0,287772725
70	0,001169	0,000558	2,094982079	62450	0,010772598	0,391683943
80	0,001336	0,000558	2,394265233	71371	0,010772458	0,511580522
90	0,001503	0,000558	2,693548387	80293	0,010772347	0,64746245
100	0,00167	0,000558	2,992831541	89214	0,010772258	0,799329718
110	0,001837	0,000558	3,292114695	98136	0,010772184	0,96718232
120	0,002004	0,000558	3,591397849	107057	0,010772122	1,151020248

Fuente: Autores

4.6.3 Perdidas de carga menores

Las pérdidas menores se refieren a los términos del coeficiente de pérdida asociados con los accesorios utilizados en cada configuración de un sistema de tuberías. Estos accesorios, presentes en las tuberías de succión y descarga, contribuyen a la disminución de la eficiencia del sistema. Para calcular estas pérdidas menores, se emplea la ecuación 10, la cual proporciona una herramienta matemática para cuantificar la magnitud de estas pérdidas y optimizar así el rendimiento global del sistema de tuberías.

$$hL \text{ menores} = KL * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 10}$$

4.6.3.1 Tubería de succión

Para el cálculo se debe tener en cuenta los coeficientes de fricción de la Tabla 16 para los accesorios, dando como resultado para los caudales de 10L/min a 120 L/min la Tabla 17:

Tabla 16 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en paralelo

TUBERIA DE SUCCION			
ACCESORIOS	CANTIDAD	K	ΣK
Codos	6	0,66	3,96
Válvula de cierre	1	3,3	3,3
Tee	3	1,32	3,96
SUMATORIA TOTAL			11,22 m

Fuente: Autores

Para calcular las pérdidas menores, se utiliza la velocidad indicada en el punto 4.6.2, ya que es la misma. Sin embargo, para determinar las pérdidas menores en el sistema de succión, es necesario emplear el coeficiente de fricción de los accesorios para la tubería de succión:

- hL menores

$$hL \text{ menores succion} = KL * \frac{V^2}{2g} = 11,22 \text{ m} * \frac{\left(1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0,663839973 \text{ m}$$

Tabla 17 Perdidas de carga menores en la tubería de succión en paralelo

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hL Menores de succión (m)
10	0,000167	0,05122222
20	0,000334	0,204888881
30	0,000501	0,460999981
36	0,0006012	0,663839973
40	0,000668	0,819555522
50	0,000835	1,280555504
60	0,001002	1,843999925
70	0,001169	2,509888787
80	0,001336	3,278222089
90	0,001503	4,148999831
100	0,00167	5,122222014
110	0,001837	6,197888637
120	0,002004	7,3759997

Fuente: Autores

4.6.3.2 Tubería de descarga

Para el cálculo se debe tener en cuenta los coeficientes de fricción de los accesorios en descarga de la Tabla 18 y en general para los caudales de 10 L/min a 120 L/min, observados en la Tabla 19 :

Tabla 18 Coeficientes de fricción de los accesorios en tubería de descarga en paralelo

TUBERIA DE DESCARGA			
ACCESORIOS	CANTIDAD	K	ΣK
Codos	4	0,66	2,64
Válvula de cierre	2	3,3	6,6
Tee	3	1,32	3,96
SUMATORIA TOTAL			13,2 m

Fuente: Autores

Para calcular las pérdidas menores, se utiliza la velocidad indicada en el punto 4.6.2, ya que es la misma al igual que el caudal. Sin embargo, para determinar las pérdidas menores en el sistema de descarga, es necesario emplear el coeficiente de fricción de los accesorios de la tubería de descarga en el sistema en paralelo:

- hL menores

$$hL \text{ menores descarga} = KL * \frac{V^2}{2g} = 13,22 \text{ m} * \frac{\left(1.07741935 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0,780988204 \text{ m}$$

Tabla 19 Perdidas menores en la tubería de descarga en paralelo

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hL Menores de descarga (m)
10	0,000167	0,060261435
20	0,000334	0,241045742
30	0,000501	0,542352919
36	0,0006012	0,780988204
40	0,000668	0,964182967
50	0,000835	1,506535886
60	0,001002	2,169411677
70	0,001169	2,952810337
80	0,001336	3,856731869
90	0,001503	4,881176272
100	0,00167	6,026143546
110	0,001837	7,291633691
120	0,002004	8,677646706

Fuente: Autores

4.6.4 Pérdidas totales para el sistema en paralelo

Después de llevar a cabo los cálculos necesarios para determinar los caudales en el sistema, el siguiente paso es evaluar las pérdidas totales en la configuración en serie y la carga de la bomba útil que entrega al fluido. Este análisis es esencial para comprender la eficiencia global del sistema y garantizar un funcionamiento óptimo. Las pérdidas totales incluyen las resistencias encontradas en tuberías, accesorios y cualquier componente que afecte el flujo del fluido a lo largo del sistema, para el caudal de 36 L/min, se debe sumar las pérdidas menores de succión y las pérdidas menores en la descarga del sistema en paralelo:

- hL menores totales

$$hL_{\text{totales}} = hL_{\text{menores succion}} + hL_{\text{menores descarga}}$$

$$hL_{\text{totales}} = 0,663839973 \text{ m} + 0,780988204 \text{ m} = 1,444828177 \text{ m}$$

- Carga de la bomba útil que entrega al fluido (H_{bomba}): La tubería mantiene una constancia en el diámetro, tanto en los puntos de succión como en los de descarga, asegurando una velocidad uniforme a lo largo de su extensión. Sin embargo, es importante resaltar que la velocidad final experimenta un incremento al ser el doble de la velocidad inicial. Este aumento se atribuye a la presencia de dos caudales en el sistema en paralelo, lo que induce una modificación en sus valores. A pesar de esta variación, las velocidades en los puntos de succión y descarga se compensan mutuamente. Al resolver la ecuación de la energía, se obtiene la ecuación 14:

$$\begin{aligned} h_{\text{bomba}} &= \frac{2 * V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + hL \\ &= \frac{2 \left(1.077419355 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} - \frac{\left(1.077419355 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 1,444828177 \text{ m} \\ &= 1,50399395 \text{ m} \end{aligned}$$

- Potencia de la bomba

Para calcular la potencia requerida de la bomba se usa la ecuación 11, anteriormente mencionada en el marco teórico, suponiendo que la eficiencia de la bomba es de 80%:

$$P = \frac{Q * H_{\text{bomba}} * \rho}{\eta * 746} = \frac{0.0006012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,50399395 \text{ m} * 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.8 * 746} = 0,001510537 \text{ hp}$$

Tabla 20 Descargas menores total, Hbomba y Potencia de las bombas para el sistema en paralelo

TUBERÍA DE SUCCION Y DESCARGA DE 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hl Menores de succión (m)	hl Menores de descarga (m)	hl menores total (m)	Hbomba (m)	Potencia (hp)
10	0,000167	0,05122222	0,060261435	0,111483656	0,116048916	0,000032376
20	0,000334	0,204888881	0,241045742	0,445934622	0,464195663	0,000259008
30	0,000501	0,460999981	0,542352919	1,0033529	1,044440243	0,000874153
36	0,0006012	0,663839973	0,780988204	1,444828177	1,50399395	0,001510537
40	0,000668	0,819555522	0,964182967	1,78373849	1,856782654	0,002072067
50	0,000835	1,280555504	1,506535886	2,78709139	2,901222897	0,004047007
60	0,001002	1,843999925	2,169411677	4,013411602	4,177760971	0,006993227
70	0,001169	2,509888787	2,952810337	5,462699124	5,686396877	0,011104986
80	0,001336	3,278222089	3,856731869	7,134953958	7,427130615	0,016576539
90	0,001503	4,148999831	4,881176272	9,030176104	9,399962185	0,023602143
100	0,00167	5,122222014	6,026143546	11,14836556	11,60489159	0,032376053
110	0,001837	6,197888637	7,291633691	13,48952233	14,04191882	0,043092527
120	0,002004	7,3759997	8,677646706	16,05364641	16,71104388	0,055945820

Fuente: Autores

La determinación de la potencia requerida para los caudales permite conocer la potencia necesaria para cada uno, la cual varía en una bomba de ½ hp. No obstante, es crucial tener en consideración las características previamente mencionadas al seleccionar la bomba. En este sentido, se recomienda utilizar la bomba Humboldt de 1 hp, la cual cuenta con un diámetro de succión de 1" y descarga de 1".

4.7 NPSH PARA LOS SISTEMAS

Se debe usar según la ecuación 12, Los datos de este apartado, serán usados para hallar NPSH de la configuración en serie y paralelo.:

$$NPSH = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad \text{Ec. 12}$$

- h_{sp} : Carga de presión absoluta

Para calcular la carga de presión absoluta es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$h_{sp} = \frac{P_{atm}}{\gamma}$$

- P_{atm} = se tiene que el banco va a estar ubicado en la ciudad de Tunja, Boyacá, por ende, la presión atmosférica absoluta de dicha ciudad es la siguiente

$$21,21 \text{ inHg} = 71,60496 \frac{\text{Kn}}{\text{m}^2}$$

- Para conocer el peso específico del agua, se hace uso de la siguiente Tabla 21:

Tabla 21 Propiedades del agua

Temperatura (°c)	Peso específico (γ) $\frac{Kn}{m^3}$	Densidad (ρ) $\frac{Kg}{m^3}$	Viscosidad dinámica (η) $Pa * s$	Viscosidad cinemática (ν) $\frac{m^2}{s}$
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}

Fuente (Studocu, 2023)

Despejando hsp se tiene lo siguiente:

$$h_{sp} = \frac{P_{atm}}{\gamma} = \frac{71.60496 \frac{Kn}{m^2}}{9.79 \frac{Kn}{m^3}} = 7.31409193 \text{ m}$$

- hs= diferencia de elevación

La diferencia de elevación parte de la entrada de succión de las bombas hasta el nivel del tanque es de 1,117 m, más el nivel del agua dentro del tanque es de 0,3 m

$$h_s = 0,96 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 1,26 \text{ m}$$

- Hvp =carga de presión a vapor

Suponiendo que la temperatura a trabajar el fluido este a 20°C, la carga de presión a vapor para el agua es de 0,24 m

4.7.1 NPSHA Sistema en serie

Para hallar NPSHA del sistema en serie se usan los datos del punto 4.7, sin embargo, para hallar pérdida de carga por accesorios en la tubería, ya se hace uso de los siguientes datos:

- hf= Pérdida de carga por accesorios:

Para calcular el hf, se deben sumar las pérdidas menores de succión + pérdidas mayores de succión, para el caudal de 36 L/min quedaría lo siguiente:

- Hl menores de succión = 0,741938793 m
- Hl mayores en succión = 0,077525177 m
- Hf= 0,741938793 + 0,077525177 =0,819463971 m

- NPSH para 36 L/min

$$NPSH = 7.31409193 \text{ m} + 1,26 \text{ m} - 0,819463971 \text{ m} - 0,24 \text{ m} = 7,51462796 \text{ m}$$

Para los caudales de 10 L/min a 120 L/min se realiza la siguiente Tabla 22:

Tabla 22 NPSH en el sistema en serie

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m ³ /s)	hl Menores de succión (m)	hl Mayores (m)	hf = hl men + hl may	NPSH
10	0,000167	0,057248364	0,005984597	0,063232961	8,27085897
20	0,000334	0,228993455	0,023931019	0,252924473	8,081167457
30	0,000501	0,515235273	0,05383894	0,569074213	7,765017718
36	0,0006012	0,741938793	0,077525177	0,819463971	7,51462796
40	0,000668	0,915973819	0,095708282	1,011682101	7,32240983
50	0,000835	1,431209092	0,149539007	1,580748099	6,753343831
60	0,001002	2,060941093	0,215331092	2,276272185	6,057819746
70	0,001169	2,805169821	0,293084521	3,098254341	5,235837589
80	0,001336	3,663895276	0,382799282	4,046694558	4,287397373
90	0,001503	4,637117459	0,484475367	5,121592825	3,212499105
100	0,00167	5,724836369	0,598112768	6,322949137	2,011142794
110	0,001837	6,927052006	0,723711482	7,650763488	0,683328443
120	0,002004	8,243764371	0,861271502	9,105035873	- 0,770943942

Fuente: Autores

4.7.2 NPSHA Sistema en paralelo

Para hallar NPSHA del sistema en serie se usan los datos del punto 4.7, sin embargo, para hallar pérdida de carga por accesorios en la tubería, ya se hace uso de los siguientes datos:

- hf= Pérdida de carga por accesorios en la tubería

Para calcular el hf, se deben sumar las pérdidas menores de succión + pérdidas mayores de succión, para el caudal de 36 L/min quedaría lo siguiente:

- Hl menores de succión = 0,663839973 m
- Hl mayores en succión = 0,062450837 m
- Hf= 0,663839973 + 0,062450837=0,72629081 m

- NPSH para 36 L/min

$$\text{NPSH} = 7.31409193 \text{ m} + 1,26 \text{ m} - 0,72629081 \text{ m} - 0,24 \text{ m} = 7,60780112 \text{ m}$$

Para los caudales de 10 L/min a 120 L/min se realizó la siguiente Tabla 23:

Tabla 23 NPSH en el sistema en paralelo

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m ³ /s)	hl Menores de succión (m)	hl Mayores (m)	hf = hl men + hl may	NPSH
10	0,000167	0,05122222	0,00482093	0,05604315	8,27804878
20	0,000334	0,20488888	0,01927777	0,22416665	8,10992528
30	0,000501	0,46099998	0,04337026	0,50437024	7,82972169
36	0,0006012	0,66383997	0,06245084	0,72629081	7,60780112
40	0,000668	0,81955552	0,07709834	0,89665386	7,43743807
50	0,000835	1,2805555	0,12046198	1,40101748	6,93307445
60	0,001002	1,84399993	0,17346116	2,01746108	6,31663085
70	0,001169	2,50988879	0,23609586	2,74598465	5,58810728
80	0,001336	3,27822209	0,30836609	3,58658818	4,74750375
90	0,001503	4,14899983	0,39027182	4,53927165	3,79482028
100	0,00167	5,12222201	0,48181306	5,60403508	2,73005685
110	0,001837	6,19788864	0,5829898	6,78087844	1,55321349
120	0,002004	7,3759997	0,69380204	8,06980174	0,26429019

Fuente: Autores

4.8 CURVA DE LOS SISTEMAS

La curva de los sistemas es una herramienta fundamental en la ingeniería y el diseño de sistemas de bombeo, ya que ofrece una visión detallada del comportamiento de las bombas bajo diversas condiciones operativas. Esta curva es esencial para determinar el punto de operación óptimo de la bomba, el cual se identifica en la intersección entre la curva de rendimiento de la bomba y la curva del sistema, indicando el caudal y la altura (presión) en los que la bomba funcionará de manera más eficiente.

Además, la curva del sistema permite evaluar el rendimiento de la bomba en relación con las necesidades específicas del sistema, facilitando la selección de la bomba más adecuada. Por último, esta herramienta también contribuye a la eficiencia energética, asegurando que la bomba opere en su punto de máxima eficiencia, lo que a su vez reduce el consumo de energía y los costos operativos.

Para el sistema en serie, se grafican los siguientes datos:

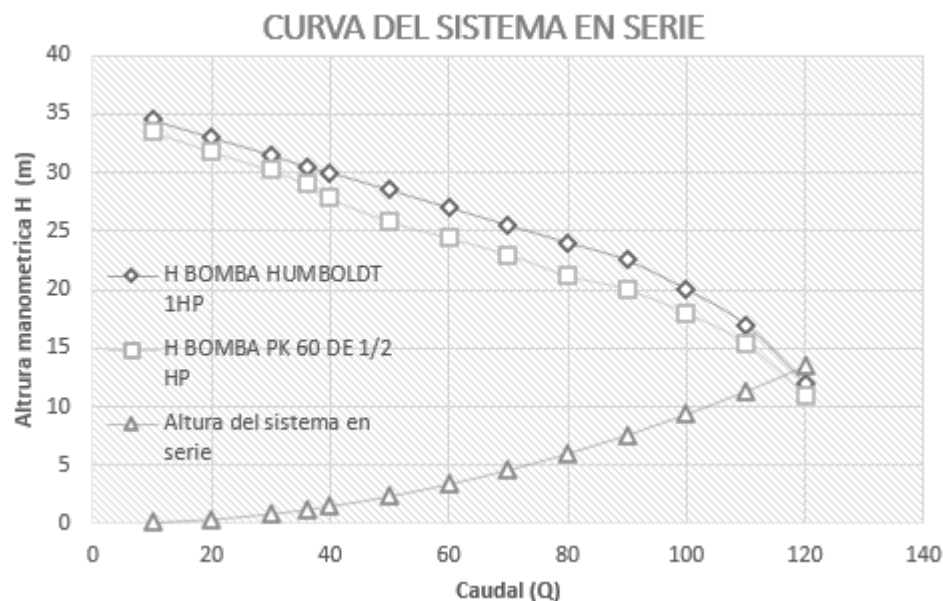
Tabla 24 Hbomba del sistema en serie

CAUDAL (L/min)	Humboldt de 1 hp	BOMBA PK 60 DE 1/2 HP	Hbomba (m)
0	40	40	0
10	34,5	33,5	0,093405225
20	33	31,8	0,3736209
30	31,5	30,2	0,840647025
36	30,5	29	1,210531715
40	30	27,8	1,494483599
50	28,5	25,8	2,335130624
60	27	24,4	3,362588099
70	25,5	23	4,576856023
80	24	21,2	5,977934398
90	22,5	20	7,565823222
100	20	18	9,340522496
110	17	15,4	11,30203222
120	12	11	13,45035239

Fuente: Autores

Se grafican los datos de los caudales que entrega la bomba en Hbomba calculado

Figura 23 Curva del sistema en serie



Fuente: Autores

- Para la Bomba Humboldt de 1 hp, el punto de intersección se encuentra a una altura de 13 m. Su rango de operación abarca alturas desde los 11,30 m hasta los 13,45 m, manteniendo un caudal constante de aproximadamente 110,9 L/min.
- Respecto a la Bomba PK 60, su punto de intersección se localiza a una altura de 12 m. El rango de operación abarca alturas desde los 11,30 m hasta los 13,45 m con el caudal de 110,6 L/min

Para el sistema en paralelo, se grafican los siguientes datos:

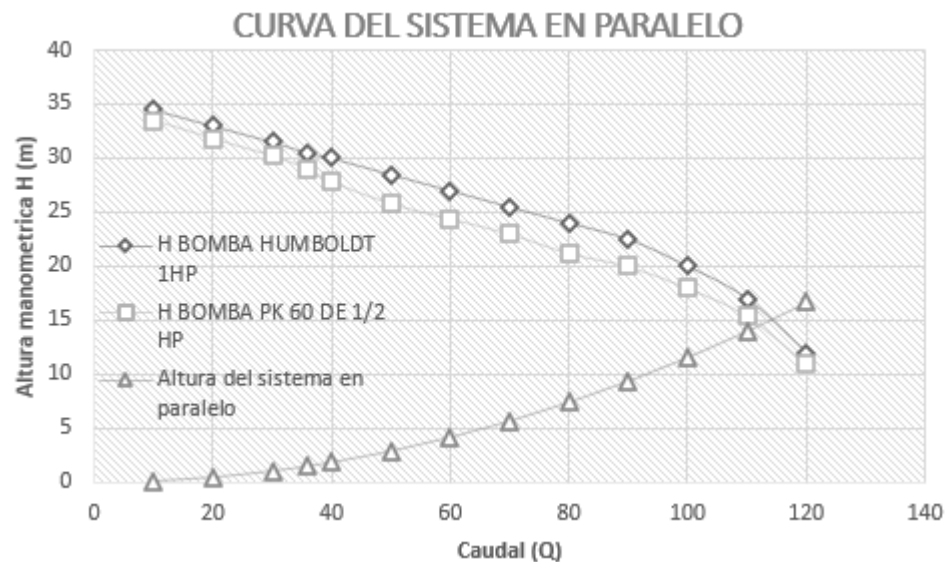
Tabla 25 Hbomba del sistema en paralelo

CAUDAL (L/min)	Humboldt de 1 hp	BOMBA PK 60 DE 1/2 HP	Hbomba (m)
0	40	40	0
10	34,5	33,5	0,116048916
20	33	31,8	0,464195663
30	31,5	30,2	1,044440243
36	30,5	29	1,50399395
40	30	27,8	1,856782654
50	28,5	25,8	2,901222897
60	27	24,4	4,177760971
70	25,5	23	5,686396877
80	24	21,2	7,427130615
90	22,5	20	9,399962185
100	20	18	11,60489159
110	17	15,4	14,04191882
120	12	11	16,71104388

Fuente: Autores

Se grafican los datos de los caudales que entrega la bomba en Hbomba calculado

Figura 24 Curva del sistema en paralelo



Fuente: Autores

- Bomba Humboldt de 1 hp: Punto de intersección en Altura de 15,2 m, Rango de operación de Altura entre 14,04 m y 16,7 m, Caudal constante en aproximadamente 110,5 L/min.

- Bomba PK 60: Punto de intersección en Altura de 14,8 m, Rango de operación de Altura entre 14,04 m y 16,7 m, Caudal variando entre aproximadamente 110,3 L/min.

4.8.1 CARGA ESTÁTICA DE LAS CURVAS

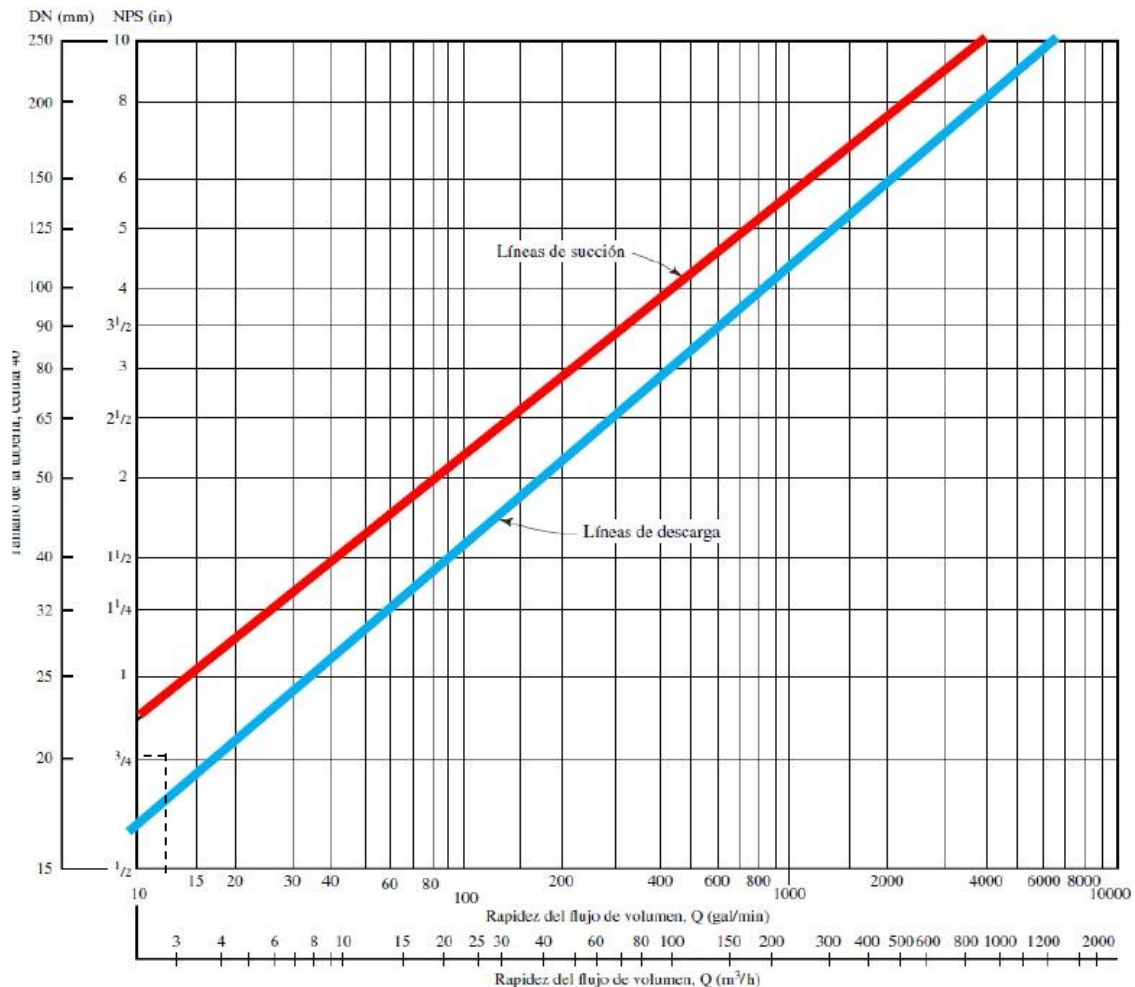
La carga estática en los sistemas es igual a cero, ya que en el banco didáctico de bombas en serie y en paralelo, las presiones P_1 Y P_2 son atmosféricas, lo que provoca que se cancelen entre sí. Las alturas Z_1 Y Z_2 corresponden a la altura de succión y descarga del sistema, pero también se cancelan, dado que ambas alturas son iguales.

$$h_0 = \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} + (z_2 - z_1) = 0$$

4.9 USO DE LA TUBERÍA DE 1"

Para corroborar que la tubería es la indicada, se realiza por medio de la tabla de Mott, donde el caudal a trabajar es de 36 L/min equivalente a 2,16 m³/h.

Figura 25 Tabla de Mott



Fuente: (Mecánica de fluidos, s.f.)

Según la tabla de Mott, la tubería de descarga es de 1". Aunque se sugiere usar una tubería de ¾" para la succión, se decidió mantener el diámetro de 1" tanto en la succión como en la descarga, aprovechando que las bombas tienen conexiones de 1". Esta decisión no solo simplifica la instalación, sino que también optimiza el funcionamiento de las bombas.

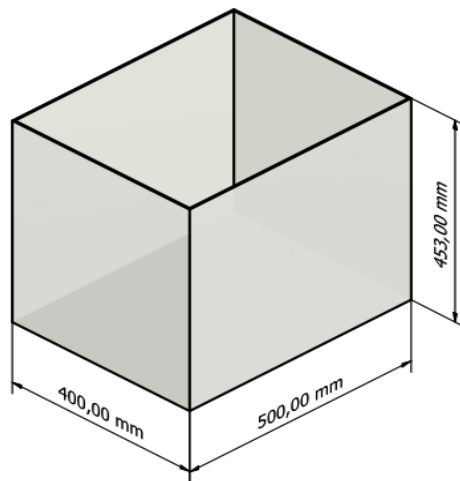
4.10 DISEÑO DEL TANQUE

Para calcular las dimensiones de un tanque de agua, considerando un caudal de 36 L/min, un factor de inmersión en la tubería es un número puro que no tiene unidades físicas asociadas. Se utiliza para ajustar o escalar cálculos sin afectar las unidades del resultado final, y el tiempo de 1 minuto, se deben multiplicar estos tres datos, dando como resultado la siguiente formula:

$$V = (Q * 2) * K * T = \left(36 \frac{L}{min} * 2\right) * 0,3 * 1min = 21,6 L = 0,216 m^3$$

- Caudal es de 36 L/min se multiplica por 2, debido a que son 2 bombas
- K = factor de inmersión, sugiriendo que la tubería de succión estará a 0,3 de profundidad de la succión de la bomba.
- T = Tiempo que en este caso es de 1 min

Figura 26 Dimensiones del tanque



Fuente: Autores

Inicialmente, se calculó el volumen del fluido y, a partir de esto, se determinó que el tanque debía tener una capacidad de 0,216 m³. Sin embargo, se decidió realizar un sobredimensionamiento del tanque, lo cual permite aumentar el espacio disponible para el fluido en caso de necesitar más capacidad, el tanque puede ser fabricado o comprado, siempre y cuando se encuentren las medidas especificadas en el dimensionamiento.

4.11 PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las siguientes Tabla 26 a Tabla 41 y de las Figura 27 a la Figura 30 presentan los resultados obtenidos directamente de las pruebas realizadas en el banco didáctico de bombas en funcionamiento. Los datos experimentales muestran una calificación estrecha con los valores teóricos esperados, y en algunos casos, demuestran que las bombas son capaces de alcanzar e incluso superar los caudales previstos inicialmente. Estos resultados validan la eficacia del sistema y proporcionan una base sólida para el análisis del rendimiento de las bombas en configuraciones en serie y paralelo. Cabe mencionar que las fórmulas usadas para los cálculos teóricos, son las mismas a usar en los cálculos con los datos experimentales.

4.11.1 Pruebas del sistema en serie

Las tablas muestran los resultados de las pruebas realizadas en el banco didáctico para las bombas conectadas en serie. Se analizaron caudales desde 45 L/min hasta 46.2 L/min, los cuales se tomaron del caudalímetro.

La Tabla 26 se observa que para un caudal de 45 L/min, la velocidad del fluido es de 1.35 m/s, con un número de Reynolds de 40146, indicando flujo turbulento. El factor de fricción es relativamente constante (alrededor de 0.0107), y las pérdidas de carga mayores aumentan ligeramente con el caudal, de 0.121 m a 0.128 m.

Tabla 26 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en serie experimental

TUBERÍA DE SUCCION 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
45	0,0007515	0,000558	1,346774194	40146	0,010773204	0,121128473
45,1	0,00075317	0,000558	1,349767025	40236	0,0107732	0,121667379
45,2	0,00075484	0,000558	1,352759857	40325	0,010773197	0,12220748
45,3	0,00075651	0,000558	1,355752688	40414	0,010773193	0,122748778
46,2	0,00077154	0,000558	1,382688172	41217	0,010773161	0,127674282

Fuente: Autores

La Tabla 27 demuestra que la tubería de descarga tiene como resultados similares a la tubería de succión, pero con pérdidas de carga mayores ligeramente menores, variando de 0.084 m a 0.089 m para los mismos caudales.

Tabla 27 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en serie experimental

TUBERÍA DE DESCARGA DE 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
45	0,0007515	0,000558	1,346774194	40146	0,010773204	0,084116995
45,1	0,00075317	0,000558	1,349767025	40236	0,0107732	0,084491235
45,2	0,00075484	0,000558	1,352759857	40325	0,010773197	0,084866306
45,3	0,00075651	0,000558	1,355752688	40414	0,010773193	0,085242207
46,2	0,00077154	0,000558	1,382688172	41217	0,010773161	0,088662696

Fuente: Autores

Para el cálculo de las perdidas menores se debe tener en cuenta los coeficientes de fricción de los accesorios:

Tabla 28 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en serie experimental

TUBERIA DE SUCCION			
ACCESORIOS	CANTIDAD	K	ΣK
Codos	6	0,66	3,96
Válvula de cierre	1	3,3	3,3
Tee	4	1,32	5,28
SUMATORIA TOTAL			12,54 m

Fuente: Autores

La Tabla 29 demuestra que las pérdidas menores en la tubería de succión son significativamente mayores que las pérdidas mayores, variando de 1.159 m a 1.222 m para los caudales probados

Tabla 29 Perdidas de carga menor en la tubería de succión en serie experimental

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hL Menores de succión (m)
45	0,0007515	1,159279365
45,1	0,00075317	1,164437442
45,2	0,00075484	1,169606969
45,3	0,00075651	1,174787946
45,5	0,00075985	1,221931974

Fuente: Autores

La Tabla 30 la tubería de descarga, a diferencia de la tubería de succión, las perdidas menores oscilan desde 0,7321 m y 0,7717 m, siendo menores perdidas en la tubería de descarga.

Tabla 30 Perdidas menores en la tubería de descarga en serie experimental

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hl Menores de descarga (m)
45	0,0007515	0,732176441
45,1	0,00075317	0,735434174
45,2	0,00075484	0,738699139
45,3	0,00075651	0,741971335
45,5	0,00075985	0,77174651

Fuente: Autores

La Tabla 31 son resultados calculados con los datos de prueba que se asimilan a los resultados teóricos esperados para un sistema de bombas en serie. El sistema logra alcanzar los caudales propuestos e incluso superarlos ligeramente (hasta 46.2 L/min), manteniendo un comportamiento hidráulico coherente en términos de pérdidas de carga, velocidades de flujo y presiones de operación.

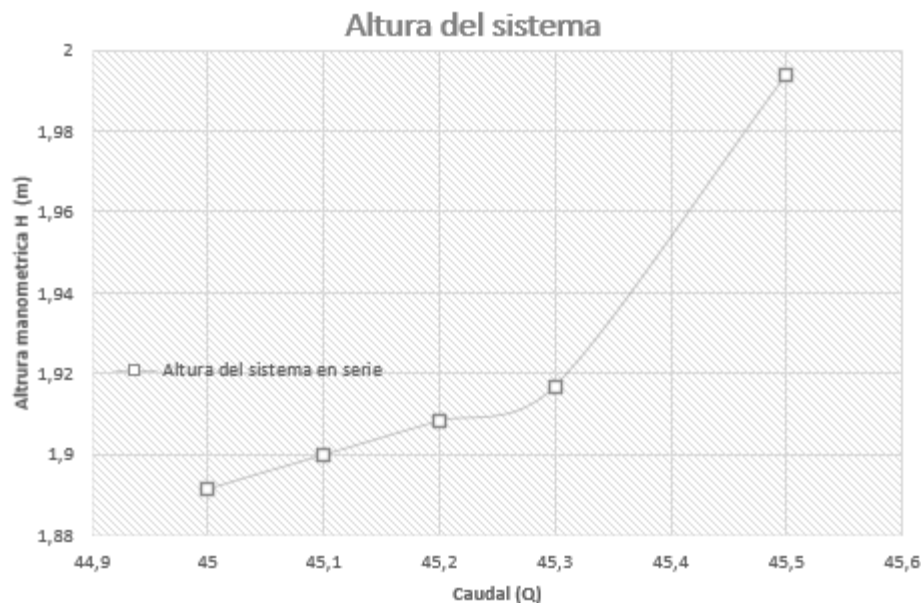
Tabla 31 Descargas menores total, Hbomba y Potencia de las bombas para sistema en serie experimental

TUBERÍA DE SUCCION Y DESCARGA DE 1"					
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	hl Menores de succión (m)	hl Menores de descarga (m)	hl menores total (m)	Hbomba (m)
45	0,0007515	1,159279365	0,732176441	1,891455805	1,891455805
45,1	0,00075317	1,164437442	0,735434174	1,899871616	1,899871616
45,2	0,00075484	1,169606969	0,738699139	1,908306108	1,908306108
45,3	0,00075651	1,174787946	0,741971335	1,916759281	1,916759281
45,5	0,00075985	1,221931974	0,77174651	1,993678484	1,993678484

Fuente: Autores

La curva del sistema muestra una relación no lineal entre el caudal y la altura de la bomba calculada, lo cual es típico en sistemas de bombeo

Figura 27 Curva de la altura calculada en el sistema en serie experimental



Fuente: Autores

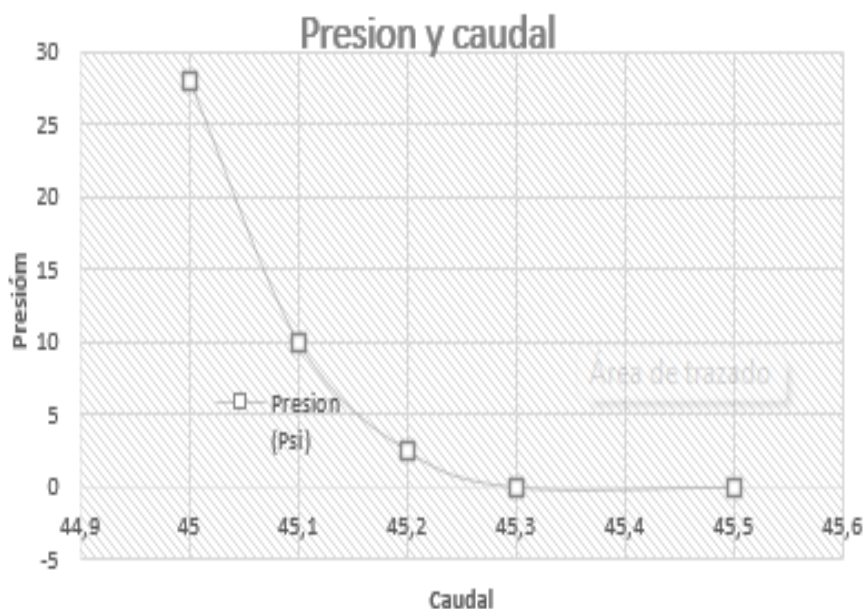
La presión en la descarga disminuye significativamente con el aumento del caudal, pasando de 28 psi a 0 psi, lo que indica que el sistema alcanza su punto de operación máximo dentro del rango probado, se grafican los caudales y presión medida por el caudalímetro y manómetro en la descarga.

Tabla 32 Datos experimentales tomados por el caudalímetro en el sistema en serie

CAUDAL (L/min)	Presión (Psi)
45	28
45,1	10
45,2	2,5
45,3	0
45,5	0

Fuente: Autores

Figura 28 Curva de la presión y caudal en la descarga del sistema en serie experimental



Fuente: Autores

El NPSH disponible disminuye ligeramente a medida que aumenta el caudal, pasando de 7.05 m a 6.98 m. Esto sugiere que el sistema mantiene condiciones adecuadas para evitar la cavitación en el rango de caudales probados

Tabla 33 NPSH en el sistema en serie experimental

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m³/s)	hl Menores de succión (m)	hl Mayores (m)	hf = hl men + hl may	NPSH
45	0,0007515	1,159279365	0,121128473	1,280407838	7,053684092
45,1	0,00075317	1,164437442	0,121667379	1,286104821	7,04798711
45,2	0,00075484	1,169606969	0,12220748	1,29181445	7,042277481
45,3	0,00075651	1,174787946	0,122748778	1,297536724	7,036555206
45,5	0,00075985	1,221931974	0,127674282	1,349606256	6,984485674

Fuente: Autores

4.11.2 Pruebas del sistema en paralelo

Las pruebas para el sistema en paralelo se realizaron con caudales significativamente mayores, desde 122.2 L/min hasta 148.6 L/min.

La Tabla 34 contiene las velocidades del fluido son mucho más altas, variando de 3.66 m/s a 4.45 m/s. Los números de Reynolds son considerablemente mayores (109,020 a 132,572), indicando un flujo altamente turbulento. Las pérdidas de carga mayores aumentan de 0.72 m a 1.06 m con el incremento del caudal.

Tabla 34 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de succión en sistema en paralelo experimental

TUBERÍA DE SUCCION 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
122,2	0,00204074	0,000558	3,657240143	109020	0,010772109	0,719473819
130,9	0,00218603	0,000558	3,917616487	116781	0,010772064	0,825562693
137,9	0,00230293	0,000558	4,127114695	123026	0,010772032	0,916216259
139,3	0,00232631	0,000558	4,169014337	124275	0,010772026	0,934913539
148,6	0,00248162	0,000558	4,44734767	132572	0,010771988	1,063911037

Fuente: Autores

La Tabla 35 contiene las pérdidas de carga mayores en la descarga son más significativas que en la succión, variando de 1.19 m a 1.77 m para los mismos caudales.

Tabla 35 Caudales, Área, Número de Reynolds (Re), Factor de fricción(f) y perdidas de carga en la tubería (hL) para la tubería de descarga en sistema en paralelo experimental

TUBERÍA DE DESCARGA DE 1"						
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD (m/s)	Re	f	hL Mayores (m)
122,2	0,00204074	0,000558	3,657240143	109020	0,010772109	1,193609822
130,9	0,00218603	0,000558	3,917616487	116781	0,010772064	1,36961167
137,9	0,00230293	0,000558	4,127114695	123026	0,010772032	1,520006284
139,3	0,00232631	0,000558	4,169014337	124275	0,010772026	1,551025144
148,6	0,00248162	0,000558	4,44734767	132572	0,010771988	1,765032487

Fuente: Autores

Para el cálculo se debe tener en cuenta los coeficientes de fricción de los accesorios:

Tabla 36 Coeficientes de fricción de los accesorios en la tubería de succión en paralelo experimental

TUBERIA DE SUCCION			
ACCESORIOS	CANTIDAD	K	ΣK
Codos	6	0,66	3,96
Válvula de cierre	1	3,3	3,3
Tee	3	1,32	3,96
SUMATORIA TOTAL			11,22 m

Fuente: Autores

Las pérdidas menores de la Tabla 37 son sustancialmente mayores en el sistema paralelo, variando de 7.65 m a 11.31 m en la succión del sistema.

Tabla 37 Perdidas de carga menores en la tubería de succión en paralelo experimental

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m ³ /s)	h _l Menores de succión (m)
122,2	0,00204074	7,648932178
130,9	0,00218603	8,776830099
137,9	0,00230293	9,740627393
139,3	0,00232631	9,939410585
148,6	0,00248162	11,31087016

Fuente: Autores

La Tabla 38 demuestra que las pérdidas dominan las pérdidas totales del sistema, lo que es típico en sistemas con altos caudales y múltiples accesorios, esto también se debe a que el funcionamiento de la bomba de 1 HP, supera la teoría con una mayor eficiencia, sin embargo, el sistema se puede adecuar para que los datos tomados del caudal, sean cercanos a los teóricos.

Tabla 38 Perdidas menores en la tubería de descarga en paralelo experimental

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m ³ /s)	h _l Menores de descarga (m)
122,2	0,00204074	8,998743739
130,9	0,00218603	10,32568247
137,9	0,00230293	11,45956164
139,3	0,00232631	11,69342422
148,6	0,00248162	13,30690607

Fuente: Autores

Los resultados de la Tabla 39 calculados con los datos de prueba para el sistema en paralelo también se asimilan a los resultados teóricos esperados. Esto demuestra la capacidad de las bombas en paralelo para aumentar el caudal total del sistema

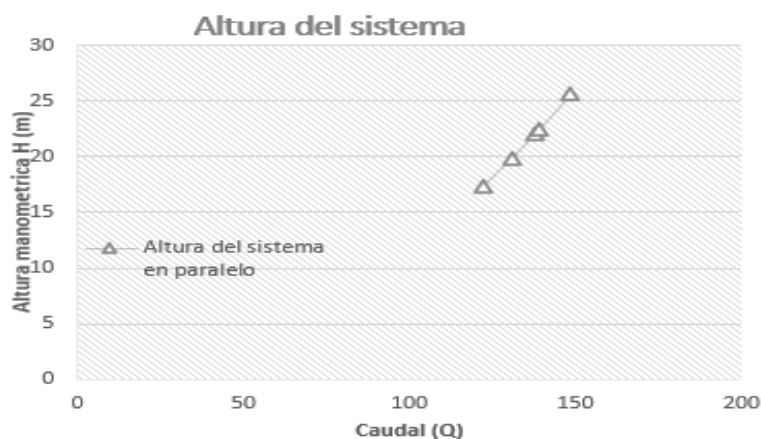
Tabla 39 Descargas menores total, Hbomba de las bombas para sistema en paralelo experimental

TUBERÍA DE SUCCION Y DESCARGA DE 1"					
CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m ³ /s)	h _l Menores de succión (m)	h _l Menores de descarga (m)	h _l menores total (m)	Hbomba (m)
122,2	0,00204074	7,648932178	8,998743739	16,64767592	17,32939893
130,9	0,00218603	8,776830099	10,32568247	19,10251257	19,88476124
137,9	0,00230293	9,740627393	11,45956164	21,20018903	22,06833764
139,3	0,00232631	9,939410585	11,69342422	21,6328348	22,51870027
148,6	0,00248162	11,31087016	13,30690607	24,61777624	25,62587518

Fuente: Autores

La curva del sistema en la Figura 29 muestra una relación más pronunciada entre el caudal y la altura de la bomba calculada en comparación con el sistema en serie.

Figura 29 Curva del sistema en paralelo experimental



Fuente: Autores

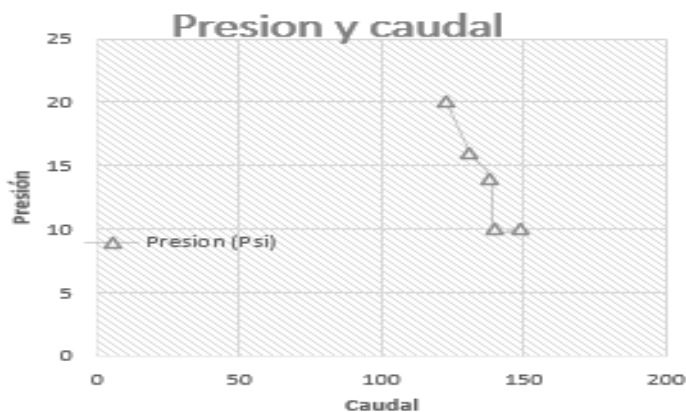
La Figura 30 demuestra que la presión en la descarga disminuye de 20 psi a 10 psi con el aumento del caudal, indicando que el sistema mantiene una presión de operación significativa incluso a caudales elevados.

Tabla 40 Datos para la curve de presión y caudal en la descarga del sistema en paralelo experimental

CAUDAL (L/min)	Presión (Psi)
122,2	20
130,9	16
137,9	14
139,3	10
148,6	10

Fuente: Autores

Figura 30 Curva de la presión y caudal en la descarga del sistema en paralelo experimental



Fuente: Autores

El NPSH disponible en el sistema paralelo muestra valores negativos y decrecientes a medida que aumenta el caudal, pasando de -0.03 m a -4.04 m.

Tabla 41 NPSH en el sistema en paralelo experimental

CAUDAL (L/min)	CAUDAL (m ³ /s)	hl Menores de succión (m)	hl Mayores (m)	hf = hl men + hl may	NPSH
122,2	0,00204074	7,64893218	0,71947382	8,368406	-0,03431407
130,9	0,00218603	8,7768301	0,82556269	9,60239279	-1,26830086
137,9	0,00230293	9,74062739	0,91621626	10,6568437	-2,32275172
139,3	0,00232631	9,93941058	0,93491354	10,8743241	-2,54023219
148,6	0,00248162	11,3108702	1,06391104	12,3747812	-4,04068927

Fuente: Autores

4.12 COMPARACION DE RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES DE LOS SISTEMAS

4.12.1 Sistemas de bombeo en serie

El sistema de bombeo en serie alcanzó experimentalmente un caudal de 46,2 L/min, lo cual se encuentra dentro de los rangos teóricos calculados para el diseño. Sin embargo, se observó que el caudal máximo obtenido es inferior al previsto como se observa en la Tabla 42, posiblemente debido a limitaciones físicas como las restricciones en la tubería. Las pérdidas de carga experimentales fueron considerablemente menores que las teóricas, reflejando un sistema más eficiente de lo esperado. Además, el factor de fricción experimental, con un valor cercano a 0.0107 m, mostró una buena correlación con los valores teóricos, confirmando la precisión en la predicción de las características de fricción del sistema.

Tabla 42 Comparación datos teóricos y experimentales del sistema en serie

Parámetro	Caudal Teórico	Caudal Experimental	Desviación (%)
Caudal máximo	120 L/min	46.2 L/min	61.5%
Perdidas mayores (succión)	0.861 m (a 120 L/min)	0.128 m (a 46.2 L/min)	85.1%
Perdidas mayores (descarga)	0.598 m (a 120 L/min)	0.089 m (a 46.2 L/min)	85.1%
Perdidas menores (succión)	8.244 m (a 120 L/min)	1.222 m (a 46.2 L/min)	85.2%
Perdidas menores (descarga)	5.207 m (a 120 L/min)	0,771 m (a 46.2 L/min)	76.5%

Fuente: Autores

4.12.2 Sistema de bombeo en paralelo

El sistema de bombeo en paralelo se observó que el caudal máximo obtenido supera significativamente el previsto como se observa en la Tabla 43, lo que demuestra una

mayor eficiencia en la configuración en paralelo en términos de aumento de caudal. Las pérdidas de carga experimentales resultaron ser mayores que las teóricas, lo cual es coherente con el mayor caudal alcanzado, sugiriendo que el modelo teórico predice adecuadamente el comportamiento del sistema a diferentes caudales. Además, el factor de fricción mostró valores experimentales muy cercanos a los teóricos, validando la precisión del modelo de fricción utilizado.

Tabla 43 Comparación datos teóricos y experimentales en el sistema en paralelo

Parámetro	Caudal Teórico	Caudal Experimental	Desviación (%)
Caudal máximo	120 L/min	148.6 L/min	+23.8%
Perdidas mayores (succión)	0.694 m (a 120 L/min)	1.064 m (a 148.6 L/min)	+53.3%
Perdidas mayores (descarga)	1.151 m (a 120 L/min)	1.765 m (a 148.6 L/min)	+53.3%
Perdidas menores (succión)	7.376 m (a 120 L/min)	11.311 m (a 148.6 L/min)	+53.3%
Perdidas menores (descarga)	8.678 m (a 120 L/min)	13.306 m (a 148.6 L/min)	+30.3%

Fuente: Autores

5 CONSTRUCCION DEL BANCO

5.1 CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA

Una vez definido el diseño, se procede a elaborar un listado de herramientas, materiales y equipos de protección personal (EPP) necesarios para la construcción de la estructura. Con los sistemas de tubería y los componentes estructurales ya diseñados, se avanza hacia la fase de construcción, considerando las herramientas y materiales especificados para garantizar la correcta ejecución del proyecto.

Tabla 44 Herramientas para construir la estructura

CANTIDAD	HERRAMIENTAS
1	Pulidora
1	Equipo de soldar
1	Escuadras
3	Ángulos imantados
1	Nivel
1	Flexómetro
1	Tronzadora

Fuente: Autores

Tabla 45 Materiales para construir la estructura

CANTIDAD	MATERIALES
1	Disco de pulir
1 kg	Soldadura 6013 West Arco
3 1/2	Tubería cuadrada de 30 mm x 50 mm de 6 m
1	Disco de lija

Fuente: Autores

Antes de comenzar a construir la estructura, es importante tener en cuenta los elementos de protección personal (EPP):

Tabla 46 Elementos de Protección Personal

EPP
Overol
Botas punta de acero
Par de guantes
Careta para pulir + careta para soldar

Fuente: Autores

- A. Inicialmente se realiza la compra de material para la debida construcción de la estructura.
- B. Una vez adquirido los materiales, se procede a realizar los cortes en las vigas con las medidas mencionadas en la Figura 11 para luego realizar ensamble de las mismas dando así la forma planeada de la estructura.

Contar con una estructura sólida y bien soldada es crucial para garantizar varios factores esenciales en el sistema, empezando por la seguridad. Una estructura robusta asegura que las bombas y tuberías se mantengan firmes durante la operación, evitando riesgos asociados con fluidos de alta presión, como fugas, explosiones o accidentes graves.

En cuanto a la estabilidad operacional, aunque las vibraciones no pueden eliminarse por completo, una estructura bien diseñada y soldada minimiza el movimiento indeseado, lo que contribuye a un funcionamiento más estable del sistema.

Además, la precisión en los ensayos de bombas en serie y en paralelo depende en gran medida de una estructura firme. Para obtener resultados precisos y coherentes, es necesario que las bombas se mantengan en una disposición constante, lo que se logra con una estructura bien construida.

La durabilidad y el mantenimiento también se ven beneficiados por una estructura bien soldada. Esta reduce el desgaste y la fatiga del material, prolongando la vida útil del sistema y facilitando las tareas de mantenimiento al reducir la necesidad de reparaciones frecuentes.

La integridad del sistema es otro aspecto clave. Los componentes estructurales deficientes pueden comprometer todo el sistema, incrementando el riesgo de fallas en cadena, interrupciones operativas y costos adicionales.

Por último, la eficiencia energética del sistema también se ve mejorada con una estructura estable. Minimizar las vibraciones y movimientos innecesarios no solo asegura la estabilidad, sino que también reduce las pérdidas de energía, permitiendo un funcionamiento más eficiente de las bombas.

- C. Es importante que la estructura tenga buena movilidad, esto en caso de que se necesite desplazar el banco para las practicas, a lo cual se realiza una instalación de ruedas en la parte inferior de la estructura.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a realizar la aplicación del recubrimiento la cual fuera de dar una estética buena, también funciona como protección a la corrosión.

- A. Inicialmente se lija toda la estructura para dar un acabado uniforme en todos sus lados para luego aplicar un recubrimiento negro, se aplica 24 h antes de aplicar la pintura, para que la misma permanezca más sólida y se adhiera mejor a la estructura.
- B. Posterior a las 24 horas de haber aplicado la base, se aplica la pintura color azul metalizado y seguido a ella el barniz, el cual permite reforzar el recubrimiento y dar el brillo a la pintura como se observa en la Figura 31 :

Figura 31 Ensamble de vigas, instalación de ruedas y aplicación de la pintura, barniz



Fuente: Autores

5.2 ADAPTACION DEL TANQUE

En el dimensionamiento del tanque mencionado en la Figura 26, se especifica las medidas que debe de tener que pueda agregársele la cantidad necesario de agua para todo el sistema. Fue posible encontrar un tanque cuyas medidas son las mismas para albergar el agua del banco como se observa en la Figura 32

Figura 32 Tanque del banco didáctico



Fuente: Autores

5.3 ENSAMBLE DE LAS BOMBAS Y ACCESORIOS EN LA ESTRUCTURA Y EL TANQUE

El proceso de ensamblaje descrito integra los aspectos técnicos detallados en la Figura 9, comenzando con la preparación de la estructura base, asegurando su nivelación y estabilidad. A continuación, se procede a la instalación de las bombas de 1/5 HP y 1 HP en la estructura metálica, garantizando su fijación y alineación adecuada.

El siguiente paso es el ensamblaje de la tubería de PVC, siguiendo el diseño especificado, asegurando un sellado correcto en las uniones y la instalación de las válvulas de control. Posteriormente, se prepara el tanque de succión, perforando la base para permitir la integración de los sistemas de succión de las bombas.

Se instalan los codos de succión en el tanque, orientados para optimizar el flujo de agua y reducir la entrada de aire en el sistema. Luego, se conectan las tuberías de succión y descarga, dirigiendo el flujo desde el tanque a las bombas y de regreso al tanque a través del caudalímetro.

Los instrumentos de medición, incluidos tres manómetros y un caudalímetro, se instalan para tener una lectura precisa y accesible. Los dos manómetros ubicados en la parte inferior del banco no logran tomar la presión de entrada debido a que su amplitud es muy grande, posterior al problema, se solicitaron 2 manómetros con una menor amplitud, los cuales permiten medir presiones mínimas.

Finalmente, se completan las conexiones para formar los circuitos en serie y en paralelo, seguido de una verificación y ajustes finales para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas, evitando así mismo fugas en el momento de realizar las pruebas.

Figura 33 Ensamble del banco



Fuente: Autores

6 DESARROLLO DE GUIAS

Las guías de laboratorio para el banco didáctico con bombas en serie y paralelo son esenciales en la formación de ingenieros hidráulicos. Estas curvas son fundamentales para determinar el punto de trabajo de las bombas al interceptarse con la curva del sistema. En el apartado de Anexos, encontraran el circuito eléctrico (Anexo A) para poder energizar las bombas según la orden de los laboratorios.

TÍTULO DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO

Autor /Autores	Fecha de realización de la practica

ÁREA Y ESPACIO ACADÉMICO	
--------------------------	--

OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS
• Identificar los sistemas empleados para el desarrollo de la practica en el banco de bombas centrifugas. • Analizar las variables que generen un cambio en los resultados de las pruebas generadas en la práctica.

PROCEDIMIENTO DE MANEJO DEL BANCO DE BOMBAS EN SERIE Y PARALELO
Pasos de seguridad al realizar los laboratorios planteados en la siguiente guía. 1. Verifique que las bombas estén apagadas, las válvulas deben estar completamente cerradas 2. El tanque debe tener la cantidad de agua especificada (30 cm). 3. Importante, antes de iniciar el laboratorio la válvula N°5 nunca tiene que llegar a estar totalmente cerrada cuando las bombas estén trabajando esto podría ocasionar un daño en la tubería. 4. Antes de iniciar con las practicas verificar que la válvula de desagüe N°6 debe este completamente cerrada en el transcurso de todas las practicas. Antes de iniciar con el laboratorio, tenga en cuenta los pasos de seguridad para el banco Datos a tener en cuenta en el transcurso de todas las practicas. Apertura de válvula caudal (5 por cada practica). Reiniciar el caudalímetro al finalizar cada prueba realizada. (para reiniciar se mantiene oprimido el botón de DISPLAY hasta que la pantalla este en ceros). Al finalizar los pasos que se realizan en cada uno de los sistemas se encuentran una tabla para registrar los daros obtenidos en el laboratorio. Desarrollo del laboratorio: Laboratorio con bomba de medio caballo (½ HP). • Abrir solamente la válvula 2, 4 y 5.

- Encender la bomba 1 de $\frac{1}{2}$ HP y esperar 30 segundos a que se regule el flujo de agua dentro de la tubería.
- En este paso ya podrá comenzar a tomar los datos
- Pasados 30 segundos a notar el primer caudal y presión con la válvula N°5 totalmente abierta, luego cerrar un poco la válvula 5 y contabilizar 30 segundos a que el caudal este lo más estable posible.
- Pasados 30 segundos, anotar el segundo caudal, presión del manómetro N°3 y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos, anotar el tercer caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos. anotar el cuarto caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos anotar el quinto caudal, presión. (En este punto la válvula N°5 debe estar casi a cerrarse por completo, pero no debe estar totalmente cerrada)
- Después de tomar los 5 caudales, abrir por completo la válvula N°5 y apagar bomba 1 de $\frac{1}{2}$ HP

Laboratorio con bomba de un caballo (1 HP).

Antes de iniciar con el laboratorio, **tenga en cuenta los pasos de seguridad** para el banco.

Desarrollo del laboratorio

- Abrir solamente la válvula 1 y 5, las demás deben estar completamente cerradas
- Encender la bomba 2 de 1 HP y esperar 30 segundos a que se regule el flujo de agua dentro de la tubería.
- En este paso ya podrá comenzar a tomar los datos
- Pasados 30 segundos a notar el primer caudal y presión con la válvula N°5 totalmente abierta, luego cerrar un poco la válvula 5 y contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos, anotar el segundo caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos, anotar el tercer caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos. anotar el cuarto caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos anotar el quinto caudal, presión. (En este punto la válvula N°5 debe estar casi a cerrarse por completo, pero no debe estar totalmente cerrada)
- Después de tomar los 5 caudales, abrir por completo la válvula N°5 y apagar bomba 2 de 1 HP

Laboratorio con bombas en Paralelo

Antes de iniciar con el laboratorio, **tenga en cuenta los pasos de seguridad** para el banco.

Desarrollo del laboratorio

- Abrir válvulas 1, 2, 4 y 5
- Encender la bomba 1 de $\frac{1}{2}$ HP y esperar 10 segundos
- Pasados los 10 segundos, encender la bomba 2 de 1 HP y esperar 30 segundos a que se regule el flujo de agua dentro de la tubería.
- En este paso el sistema estará en paralelo
- Pasados 30 segundos a notar el primer caudal y presión con la válvula N°5 totalmente abierta, luego cerrar un poco la válvula N°5 y contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos, anotar el segundo caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos, anotar el tercer caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos. anotar el cuarto caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.

- Pasados 30 segundos anotar el quinto caudal, presión. (En este punto la válvula N°5 debe estar casi a cerrarse por completo, pero no debe estar totalmente cerrada)
- Después de tomar los 5 caudales, abrir por completo la válvula N°5 y apagar la bomba 2 de 1 HP y luego la bomba 1 de 1/2 HP

Laboratorio con bombas en Serie

Antes de iniciar con el laboratorio, **tenga en cuenta los pasos de seguridad** para el banco.

Desarrollo del laboratorio

- Abrir válvulas 1,2,3,4 y 5
- Encender la bomba 1 de ½ HP y esperar 10 segundos
- Pasados los 10 segundos, encender la bomba 2 de 1 HP y esperar 5 segundos
- Pasados los 5 segundos, cerrar despacio la válvula N°4
- Cuando la válvula 4 esté totalmente cerrada, se procede a cerrar despacio la válvula N°1
- En este paso el sistema estará en serie
- contabilizar 30 segundos y notar el primer caudal, presión. Con la válvula. N°5 totalmente abierta, luego cerrar un poco la válvula 5 y contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos, anotar el segundo caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos, anotar el tercer caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos. anotar el cuarto caudal, presión y cerrar un poco la válvula N°5. luego contabilizar 30 segundos.
- Pasados 30 segundos anotar el quinto caudal, presión. (En este punto la válvula N°5 debe estar casi a cerrarse por completo, pero no debe estar totalmente cerrada)
- Después de tomar los 5 caudales, abrir por completo la válvula N°5 y la válvula N°1
- Apagar la bomba de 1 HP y contabilizar 10 segundos.
- Pasados los 10 segundos, apagar la bomba de ½ HP

Variables bomba de medio caballo (½ HP)	
Apertura de válvula °	Caudal m³/s
Variables Laboratorio con bomba de un caballo (1 HP).	
Apertura de válvula °	Caudal m³/s
Variables bombas en Paralelo	
Apertura de válvula	Caudal m³/s
Variables bombas en Serie	
Apertura de válvula °	Caudal m³/s

PREGUNTAS ORIENTADORAS

1. ¿Cuáles son los componentes principales del banco de bombas y cuál es su función?
2. ¿Por qué es importante mantener un caudal constante durante las pruebas en el banco?
3. ¿Cuál es la relación entre caudal, presión y potencia en una bomba centrífuga respecto a una configuración en serie?
4. ¿Cuál es la relación entre caudal, presión y potencia en una bomba centrífuga respecto a una configuración en paralelo?
5. Calcular pérdidas mayores en la succión y descarga de cada sistema, pérdidas menores en la succión y descarga de cada sistema y con los resultados hallar la curva de cada sistema.
6. Calcular la carga estática para el banco de pruebas y justifique su respuesta
7. ¿A qué caudal se presentan mayores pérdidas dentro de cada sistema?

ANEXOS

DATOS Y FORMULAS A USAR

Datos a usar:

- Longitud de tubería de succión en paralelo: 2,61 m
- Longitud de tubería de descarga en paralelo: 4,33 m.
- Longitud de tubería de succión en serie: 3,24 m
- Longitud de tubería de descarga en serie: 2,25 m
- Longitud de tubería de succión bomba 1 HP:
- Longitud de tubería de descarga bomba 1 HP:
- Longitud de tubería de succión bomba 1/2 HP: MEDIR
- Longitud de tubería de descarga bomba 1/2 HP: MEDIR
- μ (viscosidad dinámica): 0,000891 kg/m. s
- Densidad del agua: 997 kg/m³
- D, interior: 0,02664 m
- Área: 0,000558 m²
- Rugosidad de la tubería: 0,0000015 m

Formulas

$$Q = A * V$$

- Q = Caudal del fluido (m³/s)
- V = Velocidad media (m/s)
- A = Área de la tubería (m²)

$$Re = \frac{VD}{\theta} = \frac{\rho VD}{\mu}$$

- V = Velocidad promedio del fluido (m/s)

- D = Diámetro de la tubería (m)
- μ = Viscosidad dinámica del fluido
- θ = Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)
- ρ = Densidad del fluido (Kg/m. s)

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{\varepsilon}} \right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2}$$

- f = Factor de fricción
- D = Diámetro de la tubería (m)
- ε = Rugosidad de la tubería (m)
- Re = Número de Reynolds

$$hL \text{ mayores} = \frac{\Delta PL}{\rho g} = f \frac{L * V^2}{D * 2g}$$

- f = Factor de fricción
- L = Longitud de la tubería (m)
- V = Velocidad del fluido (m/s)
- D = Diámetro de la tubería (m)
- g = Gravedad (m/s²)

$$K = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_r$$

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D	Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340	Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150	Codo estándar de 90°	30
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8	Codo de 90° y radio largo	20
—abierta $\frac{3}{4}$	35	Codo de 90° para calle	50
—abierta $\frac{1}{2}$	160	Codo estándar de 45°	16
—abierta $\frac{1}{4}$	900	Codo de 45° para calle	26
Válvula de retención —tipo oscilante	100	Doble de retorno cerrado	50
Válvula de retención —tipo bola	150	Te estándar —con flujo por la línea principal	20
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45	—con flujo por la ramificación	60
—10-14 in	35	Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
—16-24 in	25		

Tamaño nominal de la tubería			Tamaño nominal de la tubería	
Estados Unidos (in)	Métrico (mm)	Factor de fricción, f_f	Estados Unidos (in)	Métrico (mm)
½	DN 15	0.026	3, 3½	DN 80, DN 90
¾	DN 20	0.024	4	DN 100
1	DN 25	0.022	5, 6	DN 125, DN 150
1¼	DN 32	0.021	8	DN 200
1½	DN 40	0.020	10-14	DN 250 a DN 350
2	DN 50	0.019	16-22	DN 400 a DN 550
2½	DN 65	0.018	24-36	DN 600 a DN 900

- K = Coeficiente de pérdida o de resistencia
- Le/D = Longitud equivalente en diámetros de tubería
- Fr = Factor de fricción para 1 in.

$$hL \text{ menores} = KL * \frac{V^2}{2g}$$

- KL = Coeficiente de pérdida o de resistencia
- V = Velocidad promedio del fluido (m/s)
- g = Gravedad (m/s²)

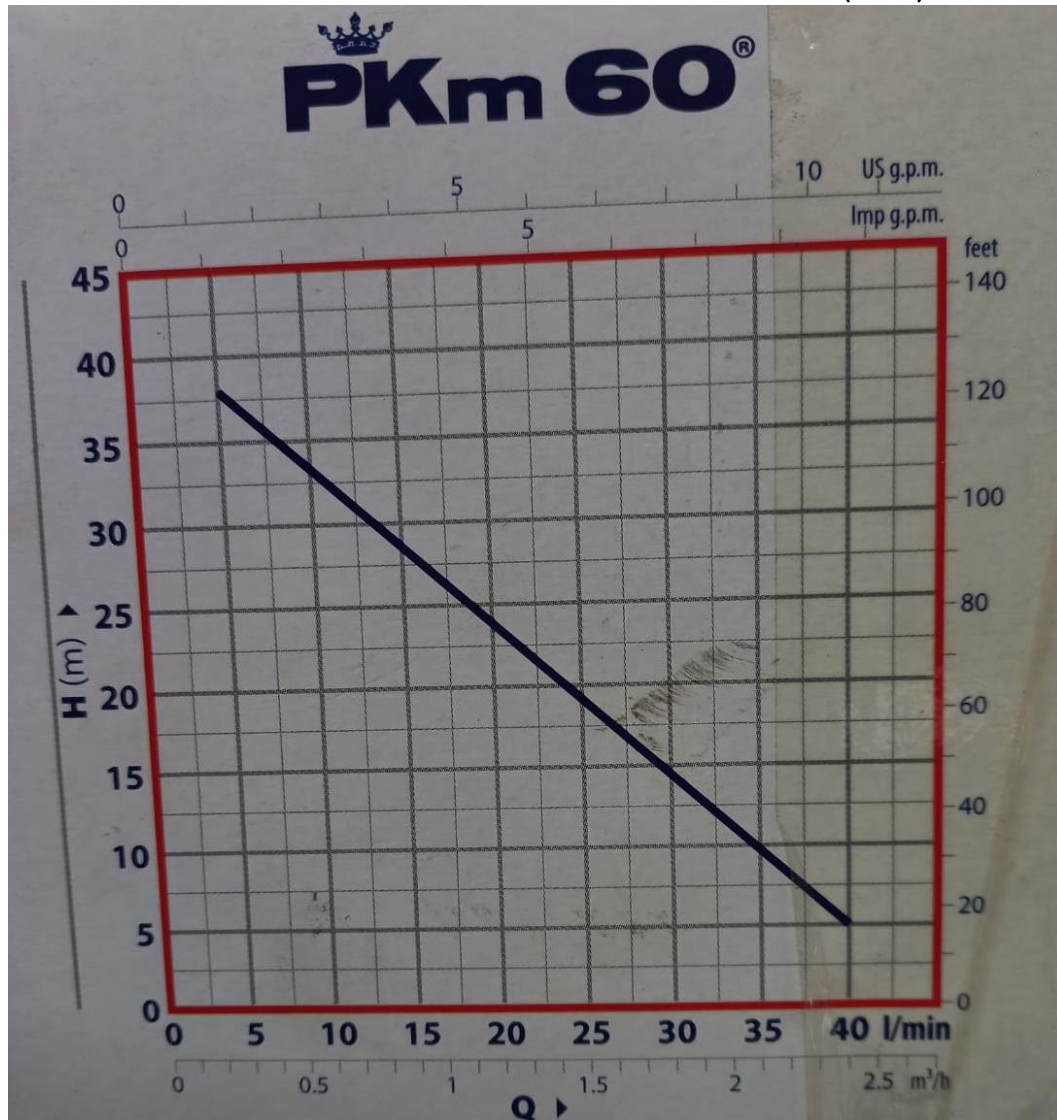
Hbomba en paralelo

$$hbomba = \frac{2 * V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + hL$$

Hbomba en serie

$$hbomba = hL$$

CURVA DE LA BOMBA DE BOMBA DE MEDIO CABALLO (½ HP).



CURVA DE LA BOMBA DE BOMBA DE UN CABALLO (1 HP).



6.1 RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO PARA BOMBAS

Este mantenimiento los fabricantes de dichas bombas lo recomiendan realizar por lo menos una vez al año o dependiendo al trabajo que este sometida las bombas.

Mantenimiento del caracol de la bomba.

1. Quitar la carcasa de la cámara de agua limpiar las impurezas que se puedan presentar en esta.
2. Revisar el estado del O'RING de la carcasa.
3. Verificar el estado del sello mecánico.
4. Quitar el impulsor revisar si se encuentra en buen estado, si presenta desgaste o una fisura remplazarlo.

Mantenimiento de la parte eléctrica

1. Revisar que se encuentre en buen estado el capacitor.
2. Comprobar que las conexiones estén haciendo buen contacto.
3. Revisar que no se esté filtrando agua dentro de la carcasa de la parte eléctrica.

Mantenimiento del ventilador

1. Revisar que se encuentre en buen estado el ventilador.

7 CONCLUSIONES

El diseño, fabricación y puesta en marcha del banco didáctico de bombas en serie y en paralelo en la Universidad Santo Tomás seccional Tunja ha culminado exitosamente, cumpliendo con el objetivo general propuesto. Este logro representa un avance significativo en las herramientas educativas disponibles para los estudiantes de ingeniería mecánica.

El modelo teórico desarrollado durante la fase de diseño demostró una mayor precisión en la predicción del caudal máximo para el sistema en paralelo en comparación con el sistema en serie. Sin embargo, las pruebas experimentales revelaron diferencias notables entre los resultados teóricos y prácticos, especialmente en el sistema en serie. Estas discrepancias se atribuyen principalmente a limitaciones físicas que restringen el caudal máximo alcanzable en la configuración en serie. Un hallazgo importante es la eficiencia superior del sistema en paralelo en comparación con las predicciones teóricas.

Las pruebas experimentales mostraron que esta configuración logra caudales significativamente mayores de lo esperado, lo que sugiere su idoneidad para aplicaciones que requieren un alto flujo de fluido. Por otro lado, el sistema en serie, aunque cumple con las expectativas en términos de pérdidas de carga, presenta limitaciones considerables en cuanto al caudal máximo alcanzable. Estas restricciones se atribuyen a factores físicos como la capacidad de la tubería. A pesar de las diferencias en los caudales observados, el modelo teórico predice con precisión las pérdidas de carga relativas en ambos sistemas, con variaciones en los valores absolutos principalmente debido a las diferencias en los caudales experimentales.

La construcción del banco didáctico según el diseño planteado, que constituía uno de los objetivos específicos, se ha llevado a cabo con éxito. El resultado es una herramienta robusta y funcional que permite a los estudiantes observar y analizar el comportamiento de los sistemas de bombeo en diferentes configuraciones. Además, se ha cumplido el objetivo de generar una guía comprehensiva que explica el funcionamiento del banco didáctico. Esta guía no solo facilita el uso del equipo, sino que también establece conexiones claras con los principios de ingeniería mecánica, hidráulica y sistemas de fluidos, cumpliendo así con el tercer objetivo específico planteado.

El banco didáctico ha demostrado ser una plataforma versátil que no solo cumple con los objetivos educativos inicialmente propuestos, sino que también ofrece oportunidades para futuras investigaciones y mejoras. Su diseño modular y la capacidad de configurar los sistemas en serie y en paralelo proporcionan una herramienta invaluable para la enseñanza práctica de conceptos hidráulicos complejos.

En conclusión, el proyecto ha alcanzado sus objetivos de manera satisfactoria, ofreciendo a la Universidad Santo Tomás seccional Tunja un recurso educativo de alto valor. El banco didáctico no solo mejorará la comprensión de los estudiantes sobre los sistemas de bombeo, sino que también fomentará la investigación aplicada en el campo de la ingeniería hidráulica.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrau, P. R.-E.-P. (s.f.). *Ergonomía 1, Fundamentos*. Barcelona: EDICIONES UPC.
- Clay, C. (20 de Noviembre de 2021). *ehowenespanol.com*. Obtenido de ehowenespanol.com: https://www.ehowenespanol.com/tipos-captacion-agua-pluvial-info_211424/
- EMMSA. (2024). *dia.unison.mx*. Obtenido de dia.unison.mx: https://dia.unison.mx/wp-content/uploads/2018/05/SALIDA_HID_WC.pdf
- Falabella. (2024). *homecenter.falabella.com.co/*. Obtenido de homecenter.falabella.com.co/: <https://homecenter.falabella.com.co/homecenter-co/product/118836238/Electrobomba-Centrifuga-1-1-2-HP/118836242>
- GRUNDFOS. (2021). *grundfos.com*. Obtenido de grundfos.com: <https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/pumps-in-parallel#:~:text=Las%20bombas%20que%20funcionen%20en,las%20mismas%20condiciones%20de%20aspiraci%C3%B3n>.
- GRUNDFOS. (2021). *grundfos.com*. Obtenido de grundfos.com: <https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/pumps-in-series>
- Ingeniería Montajes Soluciones. (25 de Septiembre de 2018). *ms-ingenieria.com*. Obtenido de ms-ingenieria.com: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/sistemas-hvac/calculo-y-aplicaciones-de-caudales-en-la-industria/>
- MATAIX, C. (1986). MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS SEGUNDA EDICION. En C. MATAIX, *MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS SEGUNDA EDICION* (pág. 660). Madrid: EDICIONES DEL CASTILLO S.A.
- MatWeb. (2024). *matweb.com*. Obtenido de matweb.com: <https://www.matweb.com/search/GetReference.aspx?matid=142782>
- Mecánica de fluidos. (s.f.). *deymerg.wordpress.com*. Obtenido de deymerg.wordpress.com: <https://deymerg.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/07/mecanica-fluidos-mott.pdf>
- Pedrollo PK. (2024). *pedrollo.com*. Obtenido de pedrollo.com: https://www.pedrollo.com.co/public/allegati/PK_ES_60Hz.pdf
- POLARIDAD. (1 de Febrero de 2024). *polaridad.es*. Obtenido de polaridad.es: <https://polaridad.es/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-factor-de-friccion-darcy-weisbach/>
- REPOSITORIO INSTITUCIONAL RI-UTS. (10 de OCTUBRE de 2019). <http://repositorio.uts.edu.co/>. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co/>: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/4830#:~:text=%22El%20presente%20trabajo%20de%20grado%20comprende%20el%20dise%C3%B1o%2C,Barrancabermeja%2C%20en%20la%20materia%20de%20mec%C3%A1nica%20de%20fluidos>.
- RUA RAMIREZ, E., HERNANDEZ MORENO, S., CELY, L., GONZALEZ AMARILLO, A. M., RAMIREZ ALVARADO, R., MANCIPE, J., . . . GRANADOS COMBA, A. (2020). BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO: Sistema portatil para irrigacion de cultivos de arboles frutales. En E. RUA RAMIREZ, S. HERNANDEZ MORENO, L. CELY, A. M. GONZALEZ AMARILLO, R. RAMIREZ ALVARADO, J. MANCIPE, . . . A. GRANADOS COMBA, *BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO: Sistema portatil para irrigacion de cultivos de arboles frutales* (pág. 205). Tunja: Ediciones USTA - UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.

Sidoc. (2018). *sidocsa.com*. Obtenido de *sidocsa.com*:
<https://sidocsa.com/producto/1079/>

Studocu. (2023). *studocu.com*. Obtenido de *studocu.com*:
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-ricardo-palma/mecanica-de-fluidos/tablas-mecanica-de-fluidos-mott/19831057>

TAMESON. (21 de Septiembre de 2023). *tameson.es*. Obtenido de *tameson.es*:
<https://tameson.es/pages/perdida-de-carga>

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE. (2008). *red.uao.edu.co*. Obtenido de *red.uao.edu.co*:
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6191/T04198.pdf>

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. (2021). *bibliotecadigital.udea.edu.co*. Obtenido de *bibliotecadigital.udea.edu.co*:
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/19734/7/OrtizManuel_2021_PruebasBombasHidraulicas.pdf

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS. (6 de OCTUBRE de 2020). *repository.udistrital.edu.co*. Obtenido de *repository.udistrital.edu.co*:
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/27733>

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA DE ECUADOR. (JULIO de 2011). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de *dspace.ups.edu.ec*:
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16348>

YONUS A. CENEGEL, J. M. (2012). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones. En J. M. YONUS A. CENEGEL, *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones* (pág. 978). Mexico: Mc Graw Hill.

ANEXOS

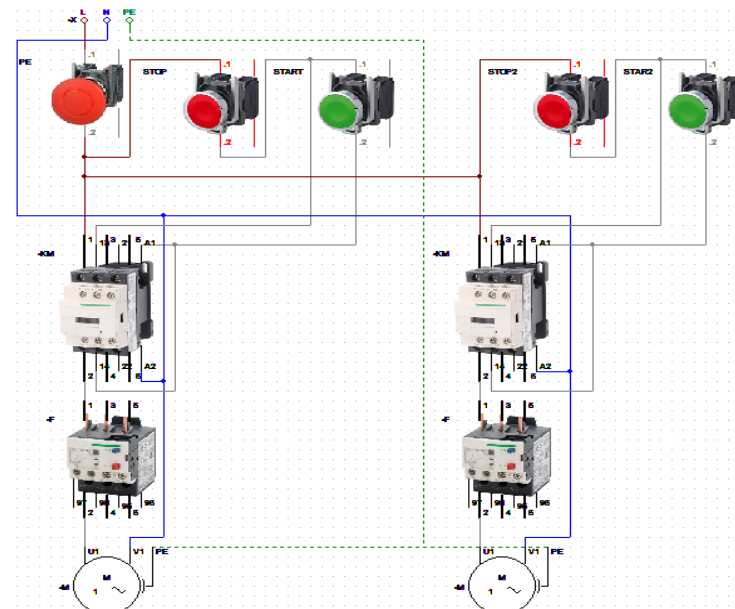
Anexo A Circuito eléctrico

Los componentes principales del circuito de control de las electrobombas monofásicas son los siguientes:

1. Contactor (CONT.):
 - Dispositivo electromagnético que permite controlar el encendido y apagado del motor.
 - Actúa como un interruptor automático controlado por el circuito de control.
2. Relé térmico (RT):
 - Dispositivo de protección contra sobrecargas.
 - Desconecta el circuito si la corriente excede un valor predeterminado durante un tiempo específico.
3. Pulsador de arranque (START):
 - Botón normalmente abierto (NA) que inicia el funcionamiento del motor al cerrarse momentáneamente.
4. Pulsador de parada (STOP):
 - Botón normalmente cerrado (NC) que detiene el funcionamiento del motor al abrirse momentáneamente.
5. Paro de emergencia (PE):
 - Botón de seguridad normalmente cerrado (NC) que corta inmediatamente la alimentación del circuito en caso de emergencia.

Este conjunto de componentes forma una unidad de control básica para operar y proteger las bombas monofásicas de manera segura y eficiente, para saber cómo se conecta el circuito se debe de ver la Figura 34.

Figura 34 Unidad de control



Fuente: Autores