



Diseño de un banco de prueba para bombas centrífugas hidráulicas conectadas en serie y paralelo para la Universidad Antonio Nariño sede Neiva.

Ernesto Medina Casagua

Fabián Puentes Ortiz

20451813909

20451818410

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva-Huila, Colombia

2022

Diseño de un banco de prueba para bombas centrífugas hidráulicas conectadas en serie y paralelo para la Universidad Antonio Nariño sede Neiva

Ernesto Medina Casagua

Fabián Puentes Ortiz

20451813909

20451813909

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

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ing Martha lucia Solano

Línea de Investigación:

Mecánica de fluidos.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “Diseño de un banco de pruebas para bombas centrífugas hidráulicas conectadas en serie y paralelo para la Universidad Antonio Nariño Sede Neiva”, Cumple con los requisitos para optar Al título de Ingeniero Mecánico

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Neiva-Huila 24,10,2022.

(Dedicatoria)

Yo, ERNESTO MEDINA CASAGUA dedico esta tesis en primer lugar a Dios, a mis queridos abuelos Alba Luz Molano – Efrain Casagua, a mis queridos padres Leidy Johanna Casagua –Ernesto Medina Quimbaya que han sido un apoyo incondicional para poder cumplir mi meta como profesional

Yo, FABIAN PUENTES ORTIZ dedico esta tesis a mi familia, ya que por ellos me motivan a cumplir mis metas y poder superarme día a día.

Contenido

	Pág.
1 Resumen.....	9
2 Abstract.....	10
3 Introducción	11
4 Planteamiento del problema	14
5 Justificación	16
6 Objetivos	18
6.1 Objetivo general	18
6.2 Objetivos específicos.....	18
7 Estado del arte.....	19
8 Marco teórico	24
8.1 bombas hidráulicas	24
8.1.1 Fluido.....	26
8.1.2 Velocidad de fluido	26
8.1.3 Presión atmosférica.....	27
8.1.4 Presión manométrica	27
8.1.5 Presión absoluta.....	28
8.1.6 Cavitación.....	28
8.1.7 Cabeza de la bomba.....	28
8.1.8 Caudal.....	28
8.1.9 Principio de Bernoulli.....	29
8.2 Clasificación de las bombas	30
8.2.1 Bombas desplazamiento positivo	30
8.2.2 Bombas Dinámicas	31
8.3 Bombas Centrífuga.....	31
8.3.1 Partes de la Bomba centrífuga	32
8.4 Sistema de operación.....	33
8.4.1 Operación en Serie.....	34
8.4.2 Operación en Paralelo.....	34
8.5 Curva Característica	34
8.6 Curva del sistema	36
8.7 Pérdidas de carga en un sistema de bombeo	36
8.7.1 Pérdidas primarias de carga en el sistema	37
8.7.2 Pérdidas secundarias de carga en el sistema.....	40
8.8 Punto de operación de un sistema de bombeo.....	41

9 Etapas de evaluación.....	42
9.1 Selección de bombas centrífugas	42
9.2 Sistemas de acoplamiento de bombas centrífugas	44
9.2.1 Bombas Centrífugas Conectadas En Serie	44
9.2.2 Bombas Centrífugas Conectadas En Paralelo.	46
9.3 Selección de accesorios	48
9.3.1 Selección de válvulas.....	49
9.3.1 Codos	51
9.3.1 Tees PVC.....	52
9.3.1 Tees Galvanizadas	53
9.3.2 Buje.....	53
9.3.3 Manómetro glicerina.....	54
9.3.4 Vacuómetro seco conexión vertical.....	55
9.3.5 Medidor de flujo de agua.....	55
9.4 Selección de tubería	56
9.5 Interruptor.....	57
9.6 Diseño del sistema en serie y paralelo	58
10.1 Diseño de la estructura	60
10.1.1 Fabricación de la estructura.....	61
10.2 Instalación y montaje del sistema de bombas	62
10.2.1 Montaje de bombas.....	62
10.3 Diseño y montaje del tanque al banco.....	63
10.3.1 Diseño del tanque	63
10.3.2 Montaje del tanque	65
10.4 Instalación de sistema en serie	66
10.5 Instalación de sistema en paralelo.....	67
11.1 Cálculo de pérdidas en los circuitos del banco	69
11.2 Determinación de caudal.....	71
11.3 Determinación de caudal por medio del medidor de flujo de agua.....	71
11.4 Análisis del banco de bomba centrífugas en serie y paralelo.....	73
11.5 Pérdida de carga primarias en el sistema serie.....	75
11.6 Pérdidas de carga secundarias circuito serie	78
11.7 Pérdida de carga primarias circuito paralelo	80
11.8 Pérdida secundarias circuito paralelo.....	82
11.9 Evidencia fotográfica de evaluación de funcionamiento del banco.....	84
12 Conclusión	86
13 Anexo.....	87
A Manual de funcionamiento del banco de bombas centrífugas en serie y paralelo... 87	
B Manual de mantenimiento en el banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo..... 89	
C Guías de práctica de laboratorio en el banco de pruebas de bombas centrífugas en serie	91
D Guías de práctica de laboratorio en el banco de pruebas de bombas centrífugas paralelo..... 96	

E Evidencia de desarrollado del banco pruebas de bombas centrifugas serie y paralelo por medio de registro fotográfico.....	101
13 Referencias Bibliograficas	102

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 8.1 Clasificación de las bombas hidráulicas	30
Figura 8.2 Partes de la bomba centrífuga	32
Figura 8.3 Curvas características de la bomba	35
Figura 8.4 Curva del sistema.....	36
Figura 8.5 Punto de operación de la bomba	41
Figura 9.1 Bomba XCM130.....	43
Figura 9.2 Curva característica de la bomba.....	43
Figura 9.3 Curvas características en serie	45
Figura 9.4 Diagrama en serie	46
Figura 9.5 Curvas características en paralelo	47
Figura 9.6 Diagrama en paralelo	48
Figura 9.7 Válvula de bola.....	50
Figura 9.8 Válvula de cortina.....	50
Figura 9.9 Codos de 45°	51
Figura 9.10 Codo de 90°	52
Figura 9.11 Tees PVC	52
Figura 9.12 Tees Galvanizadas.....	53
Figura 9.13 Bujes PVC.....	53
Figura 9.15 Manómetro glicerina	54
Figura 9.16 Vacuómetro seco conexión vertical	55
Figura 9.17 Medidor de flujo de agua	56
Figura 9.18 Tubo PVC	57
Figura 9.19 Interruptor on/off	58
Figura 9.20 Circuitos serie y paralelo.....	58
Figura 10.1 Croquis acotado de la estructura	60

Figura 10.2 Selección de material	60
Figura 10.3 Análisis estático del soporte	61
Figuras 10.4 Fabricación de la estructura.....	61
Figuras 10.5 Terminado de la estructura	62
Figura 10.6 Montaje de bombas.....	63
Figura 10.7 Diseño del tanque en SolidWorks.....	64
Figura 10.8 Análisis del tanque en SolidWorks.....	64
Figura 10.9 Fabricación del tanque	65
Figura 10.10 Montaje del tanque	65
Figura 10.10 Cuadro control válvulas	66
Figura 10.11 Sistema de bombas en serie.....	67
Figura 10.13 Sistema de bombas en paralelo.....	68
Figura 11.1 Fracciones del medidor de flujo de agua	71
Figura 11.2 Desarrollo de guías de laboratorio	85
Figuras E. Desarrollo del banco de pruebas	101
Figura E.1 Proceso de pintado y lijado a la estructura.....	101
Figura E.2 Selección de accesorios.....	102
Figura E.3 Puesta en marcha del banco	102

Lista de tablas

Pág.

Tabla 9.1 Características de la bomba XCM 130.....	44
Tabla 9.2 Longitud equivalente en diámetros de tubería	49
Tabla 9.3 Medidas del diámetro tubería PVC	57
Tabla 9.4 Accesorios utilizados	59
Tabla 11.1 Análisis del sistema paralelo.....	73
Tabla 11.2 Análisis del sistema serie.....	74
Tabla 11.3 Propiedades del agua y diámetros de tubería serie	76
Tabla 11.4 Pérdida primaria en la succión circuito serie	77
Tabla 11.5 Pérdida primaria en la descarga circuito serie.....	77
Tabla 11.6 Factor de fricción para tubería de diámetro 1”	78
Tabla 11.7 Sumatoria de coeficiente de resistencia en la succión serie	78
Tabla 11.8 Sumatoria de coeficiente de resistencia en la descarga serie.....	79
Tabla 11.9 Sumatoria de pérdidas secundaria en el circuito serie	80
Tabla 11.10 Propiedades del agua y diámetros de tubería serie	81
Tabla 11.11 Pérdida primaria en la succión circuito paralelo	81
Tabla 11.12 Pérdida primaria en la descarga circuito paralelo.....	81
Tabla 11.6 Factor de fricción para tubería de diámetro 1”	82
Tabla 11.13 Sumatoria de coeficiente de resistencia en la succión paralelo	83
Tabla 11.14 Sumatoria de coeficiente de resistencia en la descarga paralelo.....	83
Tabla 11.15 Sumatoria de pérdidas secundaria en el circuito paralelo	84
Tabla 1C. Características de la bomba configurada en serie.....	93
Tabla 2C. Datos experimentales circuito en serie	93
Tabla 3C. Propiedades del agua y diámetros de tubería serie	94
Tabla 4C. Cálculo de pérdida primarias succión y descarga serie.	94

Tabla 5C. Cálculo pérdida secundarias succión y descarga circuito serie.....	94
Tabla 6C. Sumatoria de pérdidas secundarias succión y descarga circuito serie	95
Tabla 1D. Características de la bomba configurada en paralelo.....	98
Tabla 2D. Datos experimentales circuito en paralelo	98
Tabla 3D. Propiedades del agua y diámetros de tubería paralelo.	99
Tabla 4D. Cálculo de pérdida primarias succión y descarga paralelo.	99
Tabla 5D. Cálculo pérdida secundarias succión y descarga circuito paralelo.....	100
Tabla 6D. Sumatoria de pérdidas secundarias succión y descarga circuito paralelo.	100

1 Resumen

En este proyecto se tiene como propósito contribuir al aprendizaje de los estudiantes del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva, en el área de mecánica de fluidos, donde se requiere de un análisis de su conducta y las situaciones de operación bajo las cuales entrega sus servicios, esta contribución dará inicio al desarrollo de las prácticas experimentales, en el que los estudiantes obtendrán el beneficio de desarrollar sus habilidades en un trabajo.

Se diseñó un banco de prueba para bombas centrífugas hidráulicas conectadas en serie y paralelo, como herramienta educativa donde el objetivo es conocer los beneficios que tiene el poder de interpretar, el funcionamiento de las bombas centrífugas con diferentes configuraciones y de este modo poder comparar datos teóricos con prácticos utilizando prácticas experimentales

Palabras clave: máquinas hidráulicas, prácticas experimentales, configuración serie y paralelo, banco de medición

2 Abstract

The purpose of this project is to contribute to the learning of the students of the Mechanical Engineering program of the Universidad Antonio Nariño, Neiva, in the area of fluid mechanics, where an analysis of their behavior and the operating situations under which it delivers its services is required, this contribution will start the development of experimental practices, in which students will get the benefit of developing their skills in a job.

A test bench will be designed for hydraulic centrifugal pumps connected in series and parallel, as an educational tool where the objective is to know the benefits of the power of interpretation, the operation of centrifugal pumps with different configurations and thus be able to compare theoretical data with practical using experimental practices.

Keywords: hydraulic machines, experimental practices, series and parallel configuration, measuring bench.

3 Introducción

A nivel de industria existen diferentes procesos en los cuales se requiere el uso de sistemas de bombeo con más de una bomba, debido a la exigencia del desplazamiento del fluido, donde la demanda de cabeza o altura del proceso sea excesivamente variable.

En los sistemas de bombeo donde se requiere dos o más bombas, permite que cada una de ellas opere en su mejor región de eficiencia en su mayor parte del tiempo de trabajo, brindando un costo de operación más bajo y mayor flexibilidad en su ejecución, ayudando a compensar los gastos iniciales.

Para realizar este trabajo se debe analizar las características en las que se desea desplazar el fluido (mayor presión o mayor caudal), ya que es posible implementar un sistema que cumpla con lo requerido.

Existen sistemas de bombeo diseñados para que el usuario tenga la facilidad configurarlo en serie (aumento de presión en el sistema) o paralelo (aumento de caudal en el sistema). Para realizar este tipo de configuraciones, en los líquidos, el sistema se conoce como bombeo, sus principales componentes son, las bombas, tuberías (succión y descarga), controles (válvulas) y elementos de medición (manómetros y vacuómetros) (mott)

En el presente proyecto se realiza el diseño de un banco de pruebas de bombas centrífugas con el objetivo de analizar el comportamiento de las bombas centrífugas configuradas en serie y en paralelo, mediante la construcción del banco de pruebas tendrá como fin mejorar el conocimiento que se adquiere en el área de mecánica de fluidos, desarrollando prácticas de laboratorio del programa ingeniería de mecánica de la Universidad Antonio Nariño.

Se ha demostrado mediante el estado del arte que la mayoría de los diseños de bancos de pruebas son realizados por estudiantes universitarios que buscan dar un aporte en los laboratorios de las universidades a las que asistían. Se halló que en la Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Quito en el año 2011 donde los estudiantes Freddy Agila e Iván Calahorrano realizaron un diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas y paralelo (Agila Díaz & Calahorrano Pérez, 2011), este proyecto aporta un sistema de medición donde se puede dar sus dos tipos de configuración para evaluar el funcionamiento de las bombas y poder comparar la teoría con la práctica, en el cual compararon los datos de la curva de la bomba, punto de operación, potencia mínima requerida, configuración en serie y paralelo, estos datos arrojan un margen de error mínimo y no supera el 10% debido a las curvas del sistema que ellos diseñaron para el banco, contribuyendo guías de laboratorio y teoría básica completa en el cual brinda una mejor perspectiva y deja un excelente entendimiento a la hora de diseñar el banco de pruebas.

A nivel nacional, en la ciudad de Bogotá se encontró el trabajo de grado de los estudiantes Esteban Garzón y Juan Carlos Espejo donde realizan en el año 2020 una renovación del banco de pruebas de bombas en serie y paralelo a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Garzón Manrique & Espejo Ramírez, 2020), el cual el banco se encontraba en pésimas condiciones de estado, estos estudiantes se motivaron a rediseñar la parte de sistema de conductos hidráulicos reutilizando las tres bombas periféricas dándoles una restauración completa, este proyecto tiene como fin evidenciar el comportamiento partículas de las bombas conectadas en serie y paralelo, donde agregaron un circuito eléctrico de protección para cada una de las bombas. Se puede distinguir que los

estudiantes de este proyecto manejan unas bombas distintas a la que se van a utilizar en el proyecto a realizar, la diferencia de estas dos bombas está en el cuerpo hidráulico, al momento de comparar estos dos tipos de bombas se nota una gran variedad en el comportamiento hidráulico, notando que la bomba centrífuga entrega una baja presión un mayor caudal, la bomba periférica entrega mayor presión y menor caudal, siendo lo opuesto de la anterior bomba, donde se llega a la conclusión que este proyecto aportaría la parte del rediseño del sistema conductos hidráulicos especial para dos bombas.

Así mismo se localizó en la ciudad de Barrancabermeja en las unidades tecnológicas de Santander el proyecto de Ángel Miguel Ardilla, Carlos Alfredo Rodríguez, Ronald Andrés Gómez en el cual diseñaron y construyeron un banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo en el año 2019 (Quintero, Rodriguez Diaz, & Gomez Marin, 2019), este proyecto ayuda a un seguimiento sobre el desarrollo de construcción del banco de prueba, donde muestra específicamente que elementos y accesorios utilizaron para el banco, dando ideas de implementar análisis de esfuerzo a la estructura de soporte por medio de programas de diseño.

4 Planteamiento del problema

El comportamiento de las bombas centrífugas configuradas en serie y paralelo es un tema relevante debido a que en los procesos industriales existen requerimiento de flujo en los que es necesario utilizar un sistema de bombeo con más de una bomba, esto puede ser porque la demanda de gasto o de carga del proceso sea excesivamente variable.

(Marchegiani, 2020)

Al no tener en cuenta el comportamiento de las bombas con esta determinada configuración, llegamos al error de elegir una bomba con característica elevada para un sistema de bombeo excesivamente variable, el cual la bomba no tiene tanta elasticidad en posibilidad del funcionamiento, llegando afectar el rendimiento, el mal trabajo del equipo y daños prematuros en el equipo. De acuerdo a los perfiles de las necesidades en cuanto la elasticidad de determinado sistema de circulación de fluido, vamos a tener la posibilidad de usar de dos o más bombas, en lugar de una, permitiendo que cada una de ellas opere en su mejor región de eficiencia la mayor parte del tiempo de operación, aun cuando los costos iniciales pueden ser mayores, obtienen el beneficio de costo de operación más bajo y la mayor flexibilidad en la operación ayuda a pagar la inversión inicial.

Apoyando la metodología CDIO (Girona, 2022), las prácticas experimentales por medio de bancos de pruebas es una herramienta que aporta a mejorar la comprensión teórica durante el ciclo de aprendizaje, aclarando con mayor facilidad las dificultades que presentan los estudiantes. Además, permite desarrollar habilidades y actitudes relacionadas a la realidad para que estos sean más competentes y puedan adaptarse fácilmente en el campo laboral. (Judicial I. d., 2013)

En la universidad Antonio Nariño Sede Neiva, el programa ingeniería mecánica actualmente cuentan con el espacio de laboratorio donde se puede implementar una herramienta educativa, apoyando al área de mecánica de fluidos donde resulta fundamental tener un componente práctico que retroalimenta la teoría aprendida en clases.

A través de este proyecto se permitirá al estudiante acercar el ambiente académico a la realidad, por medio de un banco de prueba para bombas centrífugas hidráulicas conectadas en serie y paralelo, con las cuales se tendrá como objetivo estudiar experimentalmente el funcionamiento de las bombas con esta determinada configuración, lo cual se convertiría en un incentivo para aprender y desarrollar nuevos conocimientos.

5 Justificación

Actualmente la universidad Antonio Nariño sede Neiva busca estrategias para mejorar la calidad de la formación académica apoyando el desarrollo integral e investigativo en los estudiantes, generando que el estudiante tenga la motivación de mejorar el laboratorio de mecánica de fluidos por medio de un banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo, ya que al no estar implementado se pierde de vista el desarrollo de prácticas experimentales, evitando de que los estudiantes no tenga una mirada más profunda del comportamiento de las bombas centrífugas configuradas en serie y paralelo.

Por medio de las prácticas experimentales mediante un banco de pruebas de bombas centrífugas los estudiantes del área de mecánica de fluidos van a complementar su aprendizaje teórico y aumentando las competencias de formación del futuro profesional, al saber en qué momento se debe utilizar cada determinada configuración, ya que nos brindan diferentes beneficios en los procesos industriales.

Se diseñará un banco de prueba para bombas centrífugas hidráulicas conectadas en serie y paralelo que brinde a los estudiantes las herramientas suficientes para la comprensión de la teoría impartida en clases, dando una mejor experiencia y motivación. (Álvarez Álvarez, 2012)

Se analiza que la experimentación es uno de los aspectos importantes de la enseñanza de las ciencias y del proceso de aprendizaje, como base teórica que puede proporcionar a los estudiantes y para el desarrollo de una serie de habilidades y destrezas. La fuerza por la cual la actividad experiencial es fundamental, y al mismo tiempo en

términos de desarrollar algunas habilidades de pensamiento. (López Rua & Tamayo Alzate, 2012)

6 Objetivos

6.1 Objetivo general

Diseñar y construir un banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo para el laboratorio de la universidad Antonio Nariño sede Neiva.

6.2 Objetivos específicos

- Analizar el modo de operación de una bomba centrífuga funcionando como sistema integrado en serie y paralelo.
- Diseño y construcción banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo.
- Evaluar el funcionamiento por medio de guía práctica banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo basado en un sistema hidráulico.

7 Estado del arte

A nivel internacional, en Perú se encontró una tesis de grado “Implementación de un módulo experimental para evaluar el comportamiento de fluidos en un banco de bombas en serie y paralelo” por parte del estudiante Miguel Jime Luna Gómez de la universidad Peruana Unión año 2020 (Gómez, 2020), en el cual el estudiante quiere innovar y dar ejecución de nuevas herramientas para iniciar las prácticas de laboratorio en el área de mecánica de fluidos, ya que este módulo servirá para el estudio de cómo se comportan las bombas en configuración serie –paralelo. Este proyecto consta con todos cálculos experimentales que se pueden obtener en un sistema hidráulico, brindando una guía y paso a paso para la hora de construcción y diseño de nuestro banco de pruebas

A nivel internacional en la ciudad de Riobamba – Ecuador las estudiantes Sonia Alexandra Cajo y Lorena Elizabeth López de la escuela superior politécnica de Chimborazo (Cajo Solano & Lopez Lopez, 2012), diseñaron y construyeron un banco de pruebas para la determinación de la eficiencia de bombas centrífugas domiciliarias, con el objetivo de analizar, estudiar y proponer nuevas alternativas para la selección e instalación de bombas centrífugas, mediante criterios de evaluación que permite comparar su comportamiento, donde se procede a evaluar la potencia, eficiencia y condiciones de operación dando como resultado las curvas características de la bomba. Tomando como guía este proyecto para la selección de bomba teniendo en cuenta sus curvas características dadas por el fabricante.

A nivel internación se encontró la tesis titulada “Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión serie y paralelo” por los autores Ivette Amores Silva, Miriam Chávez Estrada y Mónica Miranda Ramos de la

Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil – Ecuador (Amores-Silva, Chávez-Estrada, & Miranda-Ramos, 2017). Las estudiantes buscan mejorar la calidad académica mediante la implementación de un banco de pruebas, ya que este banco es una plataforma para la experimentación de proyectos que brindan una forma de comparación rigurosa, transparente, repetible e incentivando el aprendizaje a través de la práctica. En este proyecto decidieron implementar el sistema SCADA que tiene capacidad de calcular y mostrar el punto de operación en tiempo real a través de la gráfica Caudal vs altura, permite observar si dicho punto está dentro de los parámetros óptimos. En el proyecto a realizar no se implementan simuladores, ya que el diseño es mecánico y práctico para dar una experiencia bastante experimental.

A nivel internacional se encontró una tesis de grado titulada “Automatización de la adquisición de datos en un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo” (naranja, 2015). Automatizar un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el propósito de obtener un banco confiable, funcional y manipulable, que permita a las estudiantes desarrollar conocimientos y destrezas sobre las características de los sistemas de bombeo con tablas de resultados y gráficas. Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, permitieron afirmar que los sistemas en serie producen incrementos de la presión de bombeo a caudal constante, mientras que los sistemas en paralelo aumentan el caudal a presiones de bombeo constantes.

A nivel nacional se localizó por medio de la universidad Autónoma de occidente el proyecto de William Villareal donde diseñó un banco de pruebas para ensayo de bombas en serie y paralelo (Villareal López, 2008), donde comparte información muy útil para la

selección de una bomba centrífuga, diseñar un sistema de bombeo y decidir cuál configuración de conexión de las bombas es adecuado para cumplir los requerimientos, de capacidad o caudal y de carga o cabeza, apoyando que por medio de las prácticas experimentales complementa la teoría impartida en clase.

Así mismo el proyecto de los estudiantes Carlos Lozano y Raúl Eduardo Rodríguez de la Universidad Antonio Nariño Sede Riohacha (Lozano Barragán & Rodríguez Palmar, 2020), donde en el año 2020 diseñaron y construyeron un banco de pruebas de Electrobombas conectadas en serie y paralelo, el cual tienen como propósito mejorar el laboratorio de mecánica de fluido y brindarles a los estudiantes unas prácticas en el cual se podrá complementar la teoría utilizando esta herramienta didáctica, este proyecto aportó las referencias bibliográficas, donde fueron analizadas previamente para dar inicio al proyecto a desarrollar.

En el departamento de Nariño los estudiantes Camilo Andrés Melo y Richard Anderson Palacios de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño decidieron diseñar y construir un banco de pruebas para generar experimentalmente curvas características de bombas centrífugas (Melo & Palacios), en este banco se puede predecir el funcionamiento de las bombas en un determinado número de revoluciones y encontrar el punto óptimo de funcionamiento mediante las curvas características calculadas, también se define parámetros hidráulicos para evitar la cavitación y evaluar las bombas con diferentes diámetros de impulsores. En este proyecto también realizaron análisis estáticos para predecir sus futuras deformaciones y saber si el material aguanta las cargas aplicadas.

A nivel nacional se encontró la tesis titulada “Diseño, construcción y puesta a prueba de un banco de bombas centrífugas en serie, paralelo y mixto” realizada por los

estudiantes Hernán Andrés García y Jesús Alberto Suárez de la Universidad Pontificia Bolivariana (Garcia Hernandez, Rincon, & Alberto, 2010). Este proyecto tiene como objetivo demostrar cómo funcionan las bombas centrífugas conectadas en diferentes formas, permitiendo que cada una de ellas opere en su mejor región de eficiencia según la situación requerida, esta demostración tiene finalidad de que los estudiantes tengan como material académico para el desarrollo de prácticas experimentales. El libro hallado contiene un marco teórico bastante completo que va desde la investigación de selección de las bombas, los materiales, diseño conceptual, hasta los resultados finales propuestos por los estudiantes. Los estudiantes contaron con el apoyo de la universidad aportando la mayoría de los materiales.

En el departamento de Cundinamarca se encontró la tesis titulada “Diseño de banco para pruebas de bombas centrífugas para la empresa servicios eléctricos Agroindustrial LTDA” por los autores Giovanni Cubillos Rodríguez y Christian Sandoval Galeano de la Fundación Universitaria de América (Cubillos Rodriguez & Sandoval Galeano, 2021). En este proyecto se realizó el diseño de un banco de pruebas capaz de probar y obtener el conocimiento de las condiciones reales de funcionamiento de las tres bombas que más llegan a esta empresa, por medio de este banco se diagnosticara las fallas que tienen los equipo, ya que los daños más frecuentes están dados por bajas en el caudal, pérdida de presión y fallas en los sellos mecánicos, esto lo hacen con el fin de dar la mejor reparación de estas bombas brindando el excelente servicio al cliente. En este proyecto, el diseñador no implementa comportamiento en serie y paralelo, pero propone un estudio muy específico a las bombas que se va a implementar en el banco de pruebas.

8 Marco teórico

El sistema de conexión de las bombas centrífugas en serie y paralelo, se usan comúnmente en instalaciones donde el fluido es variable o que requiere una alta exigencia de fluido. Sus campos de aplicación son en la instalación petrolera, plantas de energía, acueductos, sistemas de riego, entre otras. Para la efectividad del sistema conexión se debe hacer un estudio para la selección de bombas, teniendo en cuenta sus complicaciones que pueden acarrear el sistema de bombeo.

El marco teórico abordará los conceptos básicos que definen las bombas centrífugas, teorías relacionadas para el desarrollo del banco de pruebas de bombas centrífugas, donde se explicarán elementos característicos de las mismas.

8.1 bombas hidráulicas

Una bomba es una máquina diseñada para elevar un líquido a un nivel establecido y darle un impulso a una determinada dirección, aumentando energía a los fluidos de tal manera que la energía mecánica proporcionada por el impulsor se convierte en energía cinética que se le añade a un fluido para darle más presión o caudal (Seguas, s.f.). Este cambio de energía se da en la parte interna de la bomba que da origen al principio de Euler.

Ecuación 1. Principio Euler

$$H_u = \pm \frac{U_1 C_{1u} - U_2 C_{2u}}{g}$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

H_u = altura hidráulica

U_1 = Velocidad absoluta del álabe a la entrada

C_{1u} = Componente periférica de la velocidad absoluta del fluido a la entrada

g = gravedad

U_2 = Velocidad absoluta del álabe a la salida

C_{2u} = Componente periférica de la velocidad absoluta del fluido a la salida

La ecuación fundamental del principio Euler **Ecuación 1** inicio gracias al origen de las turbomáquinas, partiendo de esta, surgió la ecuación de Bernoulli **Ecuación 3** que es la ecuación fundamental de hidrodinámica, por medio de esta ecuación determinamos la presión y caudal en función de las componentes de velocidad en la entrada y salida de esta.

El proceso de transformación de energía se efectúa en dos etapas:

Aspiración. - Cuando se transfiere energía mecánica a la bomba, esta comienza a girar y con esto se produce una caída de presión en la entrada de la bomba, ya que el recipiente de líquido se somete a la presión atmosférica, entonces hay una diferencia de presión que provoca la succión y así un impulso hidráulico dirigido hacia la entrada.

Descarga. - Cuando el líquido entra en la bomba, está lo recoge y lo traslada a la salida y se asegura de que el líquido no regrese debido a la rotación estructural. Por lo tanto, el líquido no tendrá otro camino que ingresar al sistema, donde haya espacio disponible, logrando así la descarga.

Para mayor comprensión del funcionamiento de una bomba tendremos en cuenta los siguientes conceptos.

8.1.1 Fluido

El fluido es un cuerpo que tiene la capacidad de fluir, sin rigidez y elasticidad. Debido a estas características, se somete inmediatamente a cualquier fuerza que cambie su forma, a través de la forma del recipiente que lo sostiene (amBientech, s.f.).

Un fluido puede ser un líquido (líquido incompresible) o un gas (líquido compresible), ya que estos estados de la materia corresponden perfectamente a la definición anterior. Entonces podemos resumir que lo que define a un fluido es su comportamiento, no su composición.

De manera similar, se puede decir que un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a fuerzas tangenciales o de corte. Cabe señalar que el fluido en reposo no soporta ningún esfuerzo cortante. Existe otra clasificación más profunda de los líquidos, así:

Fluidos newtonianos- Fluidos de viscosidad constante.

Fluido no newtoniano- fluido cuya viscosidad varía según la temperatura y el esfuerzo cortante.

8.1.2 Velocidad de fluido

Al estudiar el movimiento de los fluidos, necesariamente tendremos que considerar la descripción de un campo de velocidades. La velocidad del fluido en un punto C (cualquiera) se define como la velocidad instantánea del centro de gravedad del volumen dV que instantáneamente rodea al punto C. Por lo tanto, si definimos una partícula de

fluido como la pequeña masa de fluido completamente identificada que ocupa el volumen dV , podemos definir la velocidad en el punto C como la velocidad instantánea de la partícula de fluido, que en el instante dado, está pasando a través del punto C.

Ecuación 2. Velocidad

$$v = \frac{Q}{a}$$

Donde:

v: velocidad [m/s]

Q: caudal [L/min]

a: área [m²]

8.1.3 Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza que ejercen todas las mezclas de gases que componen la atmósfera, sobre la superficie terrestre, y los elementos que en ella se encuentran. Esta fuerza es por unidad de área, es decir, equivale al peso de la columna de aire que se extiende desde un punto de la superficie terrestre hasta el límite superior de la atmósfera (Equipos y laboratorios de colombia, s.f.).

8.1.4 Presión manométrica

También conocida como sobrepresión, es la presión medida en relación a la presión atmosférica. La presión manométrica se conoce como cero en relación con la presión ambiental (o atmosférica). Esto significa que la presión medida varía con la altitud y las condiciones climáticas (mott).

8.1.5 Presión absoluta

La presión absoluta es cuando la presión se mide en un vacío perfecto, con base en una presión de referencia de cero o sin presión. La presión no solo existe en un vacío perfecto, y el espacio exterior es el único lugar donde esto sucede de forma natural (mott).

8.1.6 Cavitación

Cuando en una tubería que transporta agua la presión interior comienza a caer por debajo de la presión atmosférica se inicia el vacío. A medida que desciende la presión, el vacío aumenta, aunque el agua sigue líquida. Es a partir de un determinado valor de vacío cuando el agua cambia de estado y se transforma en vapor (mott).

8.1.7 Cabeza de la bomba

La cabeza también está configurada para flexiones. Este extremo a menudo se denomina extremo estacionario y representa la altura máxima (presión) que puede proporcionar. Por lo tanto, las características de todas las bombas generalmente se pueden leer a partir de sus curvas QH (flujo - columna).

8.1.8 Caudal

El caudal es la cantidad de líquido o fluido que circula a través de un tramo de conducto (cañería, tubería, río, oleoducto) en una unidad de tiempo. Por lo general, se identifica con el volumen que pasa por un área determinada en la unidad de tiempo (mott).

Ecuación 3. Caudal

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

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

Q: caudal [L/min]

V: Volumen [L]

t: tiempo [minutos]

8.1.9 Principio de Bernoulli

Este principio describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de flujo horizontal, en el cual las regiones de mayor presión tienen una menor velocidad del fluido, y las secciones de menor presión tienen mayor velocidad de fluido. Expresa que la energía que posee un fluido ideal (sin viscosidad ni fricción) permanece constante durante todo su proceso al circular por un conducto cerrado (mott).

Ecuación 4. *Ecuación General de la energía*

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

h_a : energía agregada al fluido o energía total.

h_L : pérdida de energía

γ : peso específico.

p: presión.

v : viscosidad cinemática.

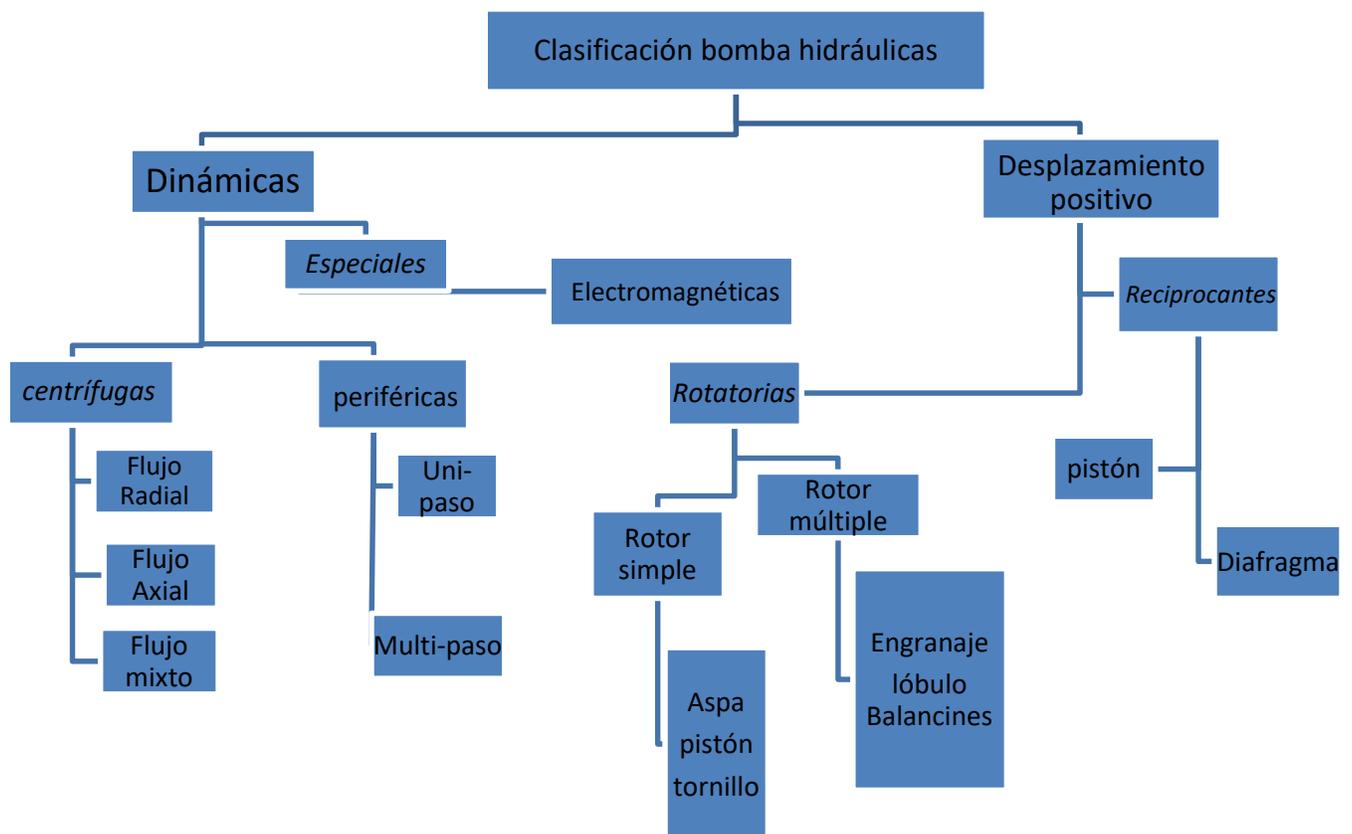
g : gravedad.

z_2 : Altura estática de descarga

z_1 : Altura estática de succión

8.2 Clasificación de las bombas

Figura 8.1 Clasificación de las bombas hidráulicas



Fuente. Autores

8.2.1 Bombas desplazamiento positivo

A este grupo pertenecen solo las bombas que son turbomáquinas, siempre son rotativas, su principio de funcionamiento se basa en la ecuación de Euler y su elemento transmisor se llama impulsor.

El principio de funcionamiento se basa en la hidrostática, por lo que se consigue un aumento de la presión mediante la repulsión de las paredes de la cámara modificando su volumen. En este tipo de bomba, en cada ciclo, el empujador activo produce un determinado volumen o desplazamiento, por eso también se le conoce como bomba volumétrica.

8.2.2 Bombas Dinámicas

Las bombas dinámicas o turbobombas es un tipo de bomba hidráulica en la que se agrega energía continuamente, para aumentar la velocidad y la presión del fluido dentro de la bomba, a medida que este fluido se mueve a través del impulsor de la bomba, gira a alta velocidad, con lo cual convertir la velocidad del fluido en energía de presión. En otras palabras, el principio de funcionamiento de estas bombas se basa en la transferencia de energía centrífuga (AguaMarket, s.f.). El rango operativo, relacionado con la altura de la bomba y el caudal, de una bomba de presión dinámica es mucho más amplio que el de una bomba de desplazamiento positivo.

8.3 Bombas Centrífuga

Las bombas centrífugas son el tipo de bombas que se utilizan con mayor frecuencia en la industria para transporte de todo tipo de líquido, estas dan la ventaja de tener un bajo costo de operación y de mantenimiento, ocupando poco espacio y generan bajos niveles de ruido (AguaMarket, s.f.).

La bomba centrífuga consiste de un impulsor y una carcasa, el impulsor consta de una serie de paletas de forma radial llamadas álabes, de varias formas y curvaturas, que giran dentro del cárter. A medida que el impulsor comienza a girar, transfiere fuerza al

fluido a través de los álabes, lo que aumenta la presión y la velocidad a medida que el fluido se mueve desde el centro hacia la periferia. El líquido sale del impulsor a lo largo de la circunferencia de la carcasa, que está diseñada para que la velocidad del impulsor disminuye (aumentando el área de flujo) a medida que se acerca a la tubería de descarga de la bomba. Por lo tanto, a medida que disminuye la velocidad, aumenta la presión de descarga, la función principal de una bomba centrífuga, en cualquier sistema de manejo de líquidos, es impulsar el fluido proveniente del motor.

8.3.1 Partes de la Bomba centrífuga

En la imagen podemos observar las partes de la bomba centrífuga.

Figura 8.2 *Partes de la bomba centrífuga*



Fuente. Recuperado de la página web <http://todoferreteria.com.mx/partes-de-una-bomba-centrifuga/>

Impulsor: Se puede encontrar de diferentes formas y tamaños, dependiendo del rendimiento requerido y las características del fluido bombeado. Todas las ruedas están equipadas con paletas especiales detrás del disco central, que compensan el empuje axial y reducen la presión en la cámara del sello.

Carcasa: Suelen ser de los mismos materiales que los impulsores sin embargo pueden ser de diferentes materiales cuando su uso previsto es muy específico. El sellado efectivo entre la carcasa y la cubierta es posible gracias a una junta plana integrada, que es responsable de reducir la tensión causada por la presión y la temperatura.

Cubierta: Esta parte de la bomba centrífuga está diseñada de tal manera que permite quitar el impulsor sin quitar la carcasa de las tuberías. Cabe señalar que los materiales utilizados para la fabricación de la funda son los mismos que los utilizados para la fabricación de la carcasa.

Eje: El diámetro de esta pieza está específicamente calculado y fabricado para reducir la deflexión en el área del sello, incluso en condiciones de trabajo pesado. Esto permite alcanzar velocidades críticas de deflexión, al menos el doble de la velocidad proporcionada por la bomba.

Soporte: El eje está soportado por dos cojinetes o cojinetes de rodillos. Los cojinetes laterales del acoplamiento también soportan el empuje axial restante del impulsor. El diseño y la fabricación de estos rodamientos también es importante, ya que están diseñados para durar 20.000 horas, incluso en las condiciones de funcionamiento más duras.

8.4 Sistema de operación

Cuando tiene varias bombas centrífugas, se pueden conectar en serie o en paralelo. Estos sistemas se utilizan para lograr especificaciones como el caudal y la presión, con ahorros operativos que no se logran con la instalación de una sola bomba

La bomba seleccionada debe superar la resistencia total del sistema, es decir, la resistencia de elevación o carga más la resistencia que crea fricción y diferencial de presión al caudal deseado.

8.4.1 Operación en Serie

Este tipo de acoplamiento consiste en la conexión de dos o varias bombas, una a continuación de la otra, implementando en casos que se desea elevar un mismo caudal a distintas alturas, sumándose las alturas de elevación de cada una de las bombas o para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de las conducciones (Pérez).

8.4.2 Operación en Paralelo

La operación en paralelo de dos o más bombas es un método común para cumplir con los requisitos en los que se debe aumentar la capacidad mientras se mantiene un caudal constante.

Si se acoplan dos o más bombas en paralelo, se produce un gran aumento del caudal sin aumentar la presión. En este caso, cada bomba con manguera de succión se alimenta al suministro de agua y todas las salidas están conectadas a una en común (Pérez).

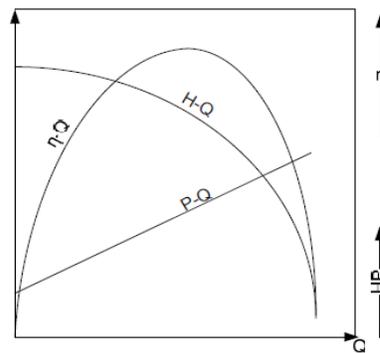
8.5 Curva Característica

Muchos problemas pueden estar asociados con las bombas centrífugas y tratar de resolverlos de la manera más eficiente posible, incluye saber exactamente si la bomba está operando dentro de los parámetros para los que fue diseñada. En el manual de la bomba encontraremos las distintas curvas asociadas las cuales son Q-H Q-P

y por supuesto el punto de funcionamiento donde debemos mantener nuestra bomba para una eficiencia óptima (Pérez).

Con el correcto conocimiento e interpretación que tengamos de estos gráficos nos proporcionará la información que necesitamos para tomar las decisiones correctas a la hora de resolver nuestros problemas.

Figura 8.3 *Curvas características de la bomba*



Fuente. Recuperado del documento (Organización Panamericana de la salud, 2007)

Se puede comprobar que una bomba centrífuga puede entregar un caudal desde 0 hasta un determinado valor máximo, esto depende del tipo y tamaño de la bomba y de las condiciones de aspiración. En la **Figura 3** la curva H-Q (altura-caudal) de una bomba representa la energía total desarrollada por la bomba en función del caudal proporcionado por ella, a una velocidad de rotación constante.

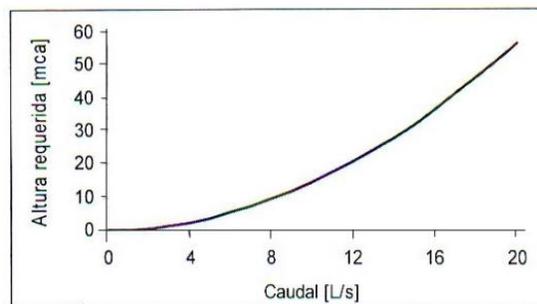
Se observa la curva η -Q (eficiencia - Caudal) que es la relación entre la potencia hidráulica entregada al fluido por la bomba y la potencia eléctrica consumida por el motor. De esto se puede concluir que la eficiencia es 0 cuando el caudal es 0, y dado que el caudal aumenta la eficiencia al valor máximo, que es llamado el punto de máxima potencia. Pero a partir de ese momento, a medida que aumenta el flujo, la eficiencia se comienza a disminuir.

Ya por últimos se tiene la curva P-Q (potencia – caudal) que es de tipo ascendente, ya que, al impulsar un caudal de líquido superior, la energía que se debe ejercer sobre el eje de la bomba también debe ser mayor. Se tienen en cuenta pérdidas que se producen en las bombas hidráulicas, tales como: pérdidas mecánicas, pérdidas hidráulicas y pérdidas de volumen.

8.6 Curva del sistema

La curva del sistema de bombeo es un gráfico que representa la altura de bombeo requerida en función del caudal a una velocidad de rotación constante. La altura requerida de la bomba del sistema es igual a la elevación con la que la bomba debe entregar el fluido más la caída de presión total en todo el sistema (mott).

Figura 8.4 *Curva del sistema*



Fuente. Recuperado del documento (Organización Panamericana de la salud, 2007)

8.7 Pérdidas de carga en un sistema de bombeo

En las tuberías, las pérdidas de energía ocurren debido a obstrucciones, cambios locales en la sección transversal o cambios abruptos en la dirección del flujo. En un sistema de riego, estas obstrucciones pueden ser accesorios por filtros, válvulas, manómetros

tees, codos, accesorios de cruceo o cualquier otro obstáculo que encuentre el agua que hace que el agua fluya y no pueda continuar fluyendo en la corriente correcta (mott).

La pérdida de carga total en un sistema de bombeo es la suma de las pérdidas primarias y secundarias.

Ecuación 5. Pérdida total de carga

$$hl = h_p + h_s$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

hl: Pérdida total de carga en todo el sistema

hp: Pérdidas primarias de carga en el sistema

hs: Pérdidas secundarias de carga en el sistema

8.7.1 Pérdidas primarias de carga en el sistema

Las pérdidas de energía primarias se producen por el rozamiento en el interior del fluido de las tuberías, conductos o cualquier otro dispositivo y resultan en una disminución de la presión entre dos puntos en el sistema de flujo.

La pérdida primaria se calcula utilizando la ecuación de Darcy, un componente de la pérdida de energía debido a la fricción en un fluido en movimiento. La fricción es proporcional a la velocidad de carga del fluido ya la relación entre la longitud y el diámetro del flujo, en el caso de ductos y tuberías (mott).

Ecuación 6. Pérdida primaria de energía

$$h_p = \frac{\gamma * L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

hp: pérdidas primarias de energía debido a la fricción.

L: longitud de la corriente de flujo

D: diámetro de la tubería

v: velocidad de flujo promedio

Y: factor de fricción, sin dimensiones

8.7.1.1 El factor de fricción de una tubería

Este es un adimensional que depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. Para calcular este coeficiente se utiliza el diagrama de Moody, este diagrama consta de dos ecuaciones, la ecuación 6 se utiliza para flujo laminar $Re < 2000$) y la **Ecuación 7** para flujo turbulento ($Re > 4000$) (mott)

Ecuación 7. *Factor de fricción*

$$f = \frac{64}{N_r}$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

f: Factor de fricción de la tubería

Re: Número de Reynolds

Ecuación 8 para flujo turbulento $Re > 4000$

Ecuación 8. *Factor de fricción en tubería*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{N_r\sqrt{f}} \right)$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

f : Factor de fricción de la tubería

ε : Rugosidad absoluta de la tubería (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

Re : Número de Reynolds

8.7.1.2 El número de Reynolds (Re)

El número de Reynolds es la relación entre las fuerzas inerciales y viscosas, es un parámetro útil para predecir si un flujo es laminar o turbulento. Es concebible que cuando la fuerza viscosa predominante (flujo lento, bajo Re) es suficiente para mantener alineadas todas las partículas líquidas, el flujo es laminar. Incluso Re muy bajo muestra un arrastre viscoso, donde los efectos de inercia son insignificantes. Cuando la fuerza de inercia domina a la fuerza viscosa (cuando el fluido fluye más rápido y Re es más grande), el flujo es turbulento (mott).

Ecuación 9. *Numero de Reynolds*

$$Re = \frac{v * D}{\vartheta}$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

Re : Número de Reynolds

v : Velocidad media del fluido [m/s].

D : Diámetro de la tubería [m].

ν : Viscosidad cinemática del fluido [m²/s].

8.7.2 Pérdidas secundarias de carga en el sistema

En la mayoría de los sistemas de flujo, la principal pérdida de energía se debe a la fricción en el conducto, los otros tipos de pérdidas suelen ser pequeñas comparadas entre sí y, por lo tanto, se denominan pérdidas pequeñas. Se producen pequeñas pérdidas cuando hay un cambio en la sección transversal de la ruta de flujo o la dirección del flujo, o cuando la ruta de flujo está obstruida, como con una válvula. La energía se pierde en estas condiciones debido a fenómenos físicos bastante complejos (mott).

La pérdida de energía es proporcional a la velocidad de descarga del fluido a medida que fluye alrededor de una curva, a través de la expansión o contracción de la sección de flujo o a través de una válvula. Los valores empíricos de pérdida de energía generalmente se informan en términos del factor de resistencia K , de la siguiente manera:

Ecuación 10. *Pérdida secundaria de energía*

$$h_s = k * \frac{v^2}{2g}$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Donde:

h_s : pérdida secundaria o menor

k : coeficiente de resistencia

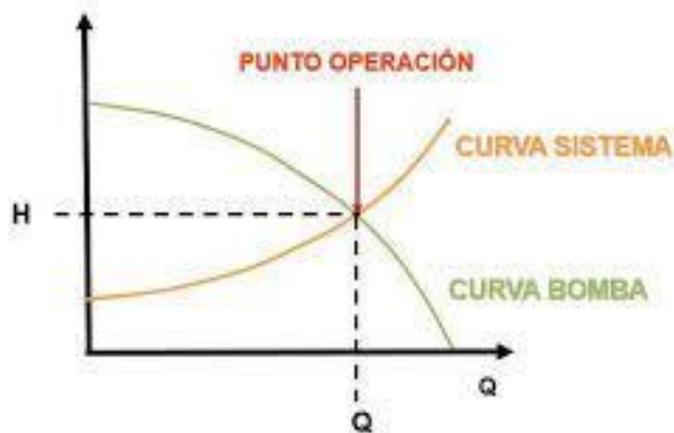
v : velocidad de flujo promedio

g : aceleración de la gravedad [m/s²]

8.8 Punto de operación de un sistema de bombeo

Para obtener el punto de operación del sistema de bombeo es necesario graficar dos curvas, la curva característica de la bomba que no la el fabricante y la curva del sistema que es hallada por el análisis de pérdida de carga, estas dos curvas se trazan en función de la altura manométrica y el caudal. El punto de operación es la intersección de estas dos curvas como lo enseña la figura 8.5 (mott).

Figura 8.5 *Punto de operación de la bomba*



Fuente. Recuperado de la pagina

https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13171/1/VasquezSergio_%202019_PIS12607.pdf

9 Etapas de evaluación

Etapa 1: Analizar el modo de operación de las bombas

Una bomba es un dispositivo mecánico que añade energía a un líquido. Un motor impulsa un eje rotatorio en la bomba. Entonces, la bomba aprovecha esta energía cinética y la transmite al líquido, lo que permite el movimiento de este y el incremento de su presión a través de sistemas de tuberías.

Ecuación 3. *Ecuación general de la energía*

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

9.1 Selección de bombas centrífugas

Según el libro de Mecánica de Fluidos - Robert Mott – sexta edición para la selección de bombas hay que tener en cuenta los siguientes factores:

1. Naturaleza del líquido por bombear.
2. Capacidad requerida (flujo volumétrico).
3. Condiciones del lado de succión (entrada) de la bomba.
4. Condiciones del lado de carga (salida) de la bomba.
5. Carga total sobre la bomba (término h_a de la ecuación de la energía).
6. Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido.
7. Tipo de fuente de potencia (motor eléctrico, motor diésel, turbina de vapor y otros).
8. Limitaciones de espacio, peso y posición.
9. Condiciones ambientales.
10. Costo de adquisición e instalación de la bomba.
11. Costo de operación de la bomba.
12. Códigos y estándares gubernamentales.

Teniendo en cuenta los factores recomendados, se seleccionará dos bombas centrífugas para el banco de prueba que sean de las mismas características.

Se hace la elección de una bomba centrífuga modelo XCM130 de marca Humboldt, es recomendada para bombear agua limpia, libre de partículas abrasivas y líquidos que no sean químicamente agresivos con los materiales que componen la bomba. Son aptas para uso doméstico y especialmente para distribución de agua en combinación con pequeños depósitos a presión.

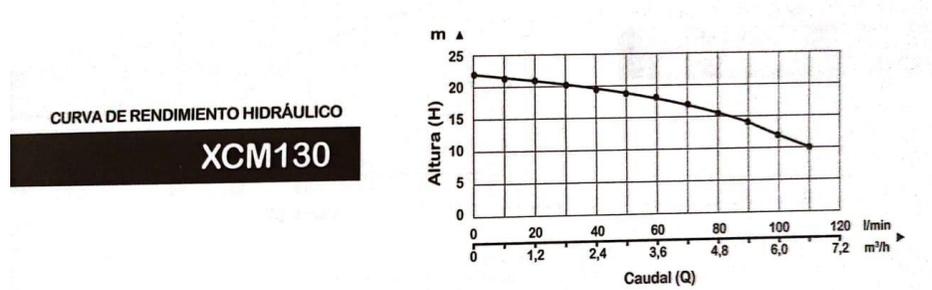
Figura 9.1 Bomba XCM130



Fuente. autores

La figura 9.1 consta con cuerpo de hierro fundido, impulsor de latón con protector térmico incorporado, eje rotor montado en rodamientos y sello mecánico grafito cerámico.

Figura 9.2 Curva característica de la bomba



Fuente. Recuperado del manual de la bomba

Características de las bombas centrífugas:

Tabla 9.1 Características de la bomba XCM 130

Marca	Humboldt Pumps
Modelo	XCM 130
Tipo de bomba	Centrifuga
Voltaje	110v
Frecuencia Nominal	60Hz
Corriente nominal de trabajo	6 A
Corriente de Arranque	42 A
Potencia max	0.5 HP
Altura max	22m
Caudal max	110L/min
Torque de operación	1.04Nm
Torque de partida	0.35Nm
Temperatura Ambiente max	+40 C
Temperatura Ambiente min	0 C
Succión max	8m
Diámetro de entrada/salida	1pulg x 1pulg
Peso neto	7kg
Posición de trabajo	Horizontal
Clase de aislamiento térmico	Clase F
Eficiencia energética de operación	75%
Clase eléctrica	Clase 1

9.2 Sistemas de acoplamiento de bombas centrífugas

El sistema de acoplamiento se puede dar entre dos o más bombas, conectadas en serie o paralelo. Estos sistemas son usados para facilitar un diseño de bombeo, bien sea para aumentar la altura manométrica o aumentar el caudal. Se cuentan con dos tipos de sistemas de acoplamiento: en serie y paralelo.

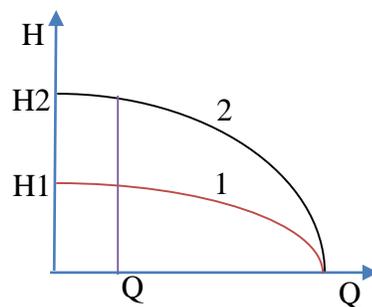
9.2.1 Bombas Centrífugas Conectadas En Serie

Se realiza un conjunto entre dos o más bombas centrífugas, este tipo de sistema aumenta la altura manométrica motivo por el cual el caudal se mantiene constante. La

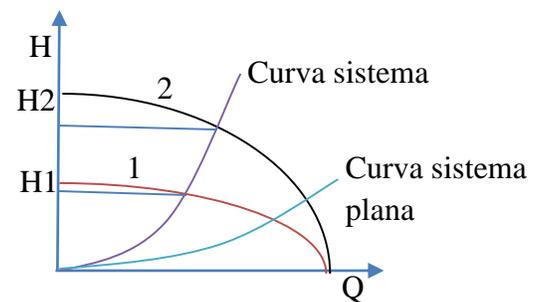
tubería de succión (entrada) está conectada a un tanque o fuente de agua y la tubería de descarga (salida) de la primera bomba se conecta en la entrada de la siguiente y así según las bombas conectadas. La cabeza total o altura manométrica total del sistema es la suma de las cabezas de cada Bomba.

Este sistema se evidenciará con la construcción de la curva Q-H.

Figura 9.3 *Curvas características en serie*



Grafica 9.3-A: curvas características de la bomba en serie



Grafica 9.3-B: curvas características de la bomba en serie con respecto a una curva de sistema

Fuente. Autores

En la figura 9.3-A, la curva número 1 es la curva característica de la bomba que da el fabricante de cualquiera de las dos bombas debido a que son iguales, en este caso, ya que el caudal va a hacer el mismo que recorre por la tubería no se suma (Q), simplemente se suma la contribución en altura de elevación (H). Para el análisis de la figura 9.3-A teniendo en cuenta que el sistema circula el mismo caudal, por lo tanto, se traza una línea vertical de caudal, para tender como resultado mediante de la intersección del trazado de caudal con la curva 2, que es la sumatoria de altura de elevación de las curvas características de las bombas operando en serie

Figura 9.3-B está construida respecto a una curva de sistema, que se calcula antes de la elección de la bomba, esta curva determinara si el sistema de operación en serie es

rentable o no, teniendo en cuenta que entre más aplanada sea la curva del sistema menos ganancia de altura tendrá, es decir si queremos un sistema de operación en serie adecuado la curva de sistema tiene que ser empinada, como se muestra en figura 9.3-B.

Diagrama de bombas en serie

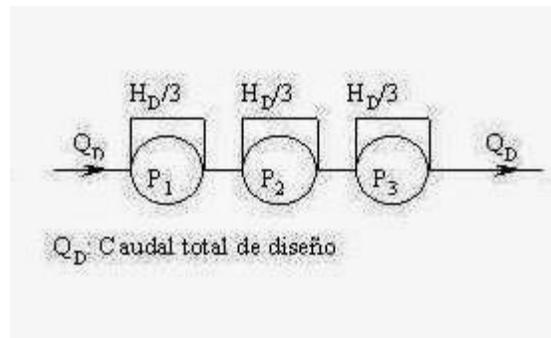
Ecuación 9. Caudal y altura sistema en serie

$$\text{Caudal} = Q_{\text{total}} = Q_a = Q_b = Q_c$$

$$\text{Altura} = H_{\text{total}} = H_a + H_b + H_c$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Figura 9.4 Diagrama en serie



Fuente. Recuperado de la pagina <http://bomparaseri.blogspot.com/2015/03/segunda-laboratorio-bombas-en-serie-y.html>

9.2.2 Bombas Centrífugas Conectadas En Paralelo.

Se realiza el acoplamiento entre dos o más bombas centrífugas, este tipo de conexión aumenta el caudal por lo que la altura manométrica se mantiene constante. La tubería de succión está conectada a un tanque o fuente de agua y la tubería de salida de cada bomba se une a la salida de las demás bombas. El caudal total del sistema es la suma del caudal de cada bomba.

Este sistema se evidenciará con la construcción de la curva Q-H

Figura 9.5 *Curvas características en paralelo*

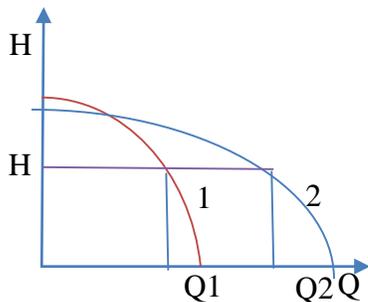


figura 9.5-A: curvas característica de la bomba en paralelo

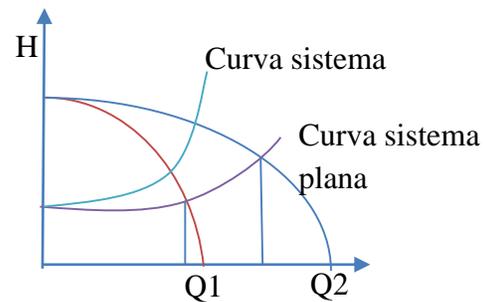


figura 9.5-B: curvas características de la bomba en paralelo con respecto a una curva de sistema

Fuente. Autores

En la figura 9.5-A, la curva número 1, representa la curva característica que da el fabricante de cualquiera de las dos bombas debido a que son iguales, en este caso, ya que la altura va a hacer la misma en las dos bombas no se suma, simplemente se suma la contribución de caudal. En este sistema circula la misma altura por lo tanto se traza una línea horizontal de altura, para así lograr observar mediante la intersección del trazado y la curva 2 que es el sistema en paralelo, el resultado el doble de caudal con las dos bombas en funcionamiento.

La figura 9.5-B está construida respecto a una curva de resistencia, que se calcula antes de la elección de la bomba, esta curva determinará si el sistema de operación en paralelo es rentable o no, teniendo en cuenta que entre más empinada sea la curva del sistema menos ganancia de caudal tendremos. Se tienen dos bombas acopladas en paralelo, las expresiones matemáticas que se relacionan son:

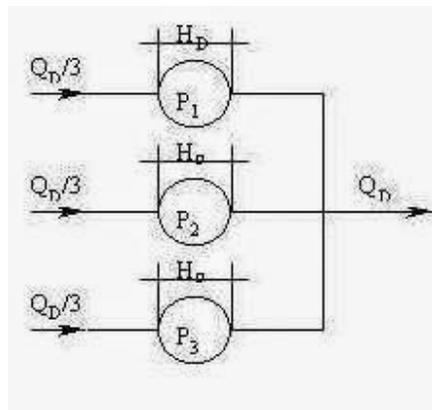
Ecuación 10. Caudal y altura sistema en paralelo

$$\text{Altura} = H_{\text{total}} = H_a = H_b = H_c$$

$$\text{Caudal} = Q_{\text{total}} = Q_a + Q_b + Q_c$$

Fuente. Recuperado del libro (mott)

Figura 9.6 Diagrama en paralelo



Nota. Recuperado de la pagina <http://bomparaseri.blogspot.com/2015/03/segunda-laboratorio-bombas-en-serie-y.html>

9.3 Selección de accesorios

Teniendo en cuenta las características de la bomba centrífuga y sistemas de bombeo en el banco de prueba, permitirá deducir las dimensiones, tipos de accesorios y material a utilizar (Válvulas, manómetros, vacuómetros y tipo de tubería).

Se debe tener en cuentas los datos de resistencia de válvulas y acoplamientos, el cual se expresa como longitud equivalente en diámetros de tubería las válvulas y acoplamientos para determinar el coeficiente de resistencia (K). En la tabla se presenta el valor de relación de longitud equivalente (L_e/D) en válvulas y accesorios.

Tabla 9.2 Longitud equivalente en diámetros de tubería

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo - abierta por completo	340
Válvula de ángulo - abierta por completo	150
Válvula de compuerta - abierta por completo	8
- 3/4 abierta	35
- 1/2 abierta	160
- 1/4 abierta	900
Válvula de verificación - tipo giratorio	100
Válvula de verificación - tipo bola	150
Válvula de mariposa - abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
- 10 a 14 pulg	35
- 16 a 24 pulg	25
Válvula de pie - tipo disco de vástago	420
Válvula de pie - tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° en radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar - con flujo directo	20
- con flujo en el ramal	60

Fuente. Recuperado del libro (mott)

9.3.1 Selección de válvulas

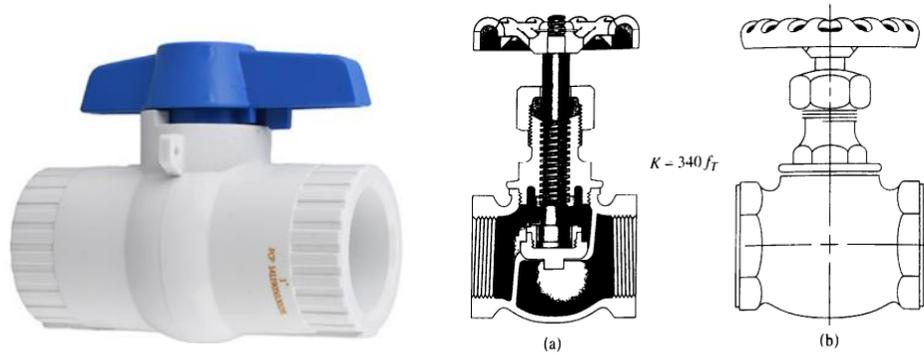
Se dispone de gran variedad de válvulas y acoplamientos (accesorios), para que cumpla las especificaciones requeridas por un sistema hidráulico. Su funcionamiento es regular el paso de fluido.

9.3.1.1 Válvula de bola

En el banco de prueba se utilizarán válvulas de bola de PVC de 1 pulgada, el cual se adaptará al sistema de tuberías con la intención habilitar los circuitos en serie y paralelo.

Ya que estas válvulas presentan una menor tensión al sistema, excelente sellado, su material no es corrosivo y sus costos de mantenimiento son bajos.

Figura 9.7 Válvula de bola



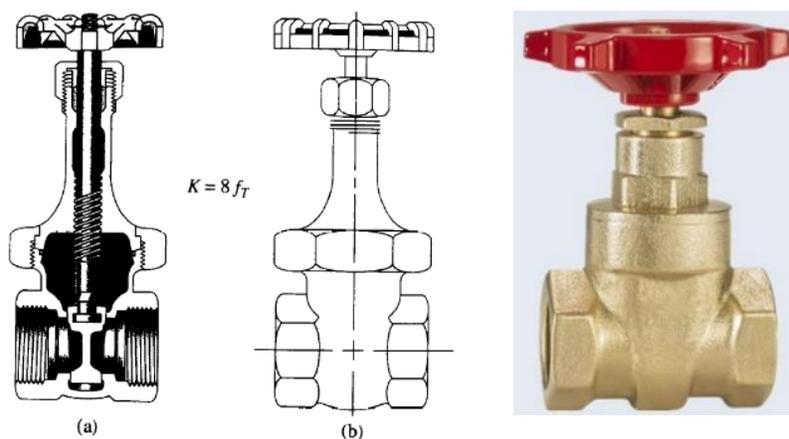
Fuente. Recuperado del libro (mott)

9.3.1.2 Válvula de cortina

En el banco de prueba utilizaremos dos válvulas reguladoras de bronce 1 pulgada, el cual se instalan al final del sistema “descarga” y en la entrada de la bomba I “succión”, con el propósito de agregar una resistencia al fluido del sistema.

Esta es una de las válvulas común, es una válvula mecánica, el cual su función es que su cortina se fije al marco de apoyo evitando que el fluido salga. Su costo es bajo.

Figura 9.8 Válvula de cortina



Fuente. Recuperado del libro (mott)

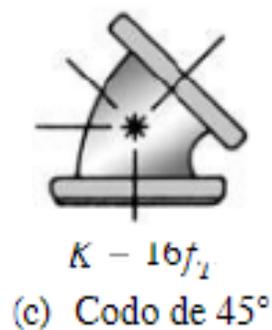
9.3.1 Codos

Estos permiten el cambio de dirección del sistema el cual van instalados en la succión y descarga de la bomba, y en los diferentes circuitos como serie y paralelo del banco de prueba. Se seleccionaron dos tipos de codos:

9.3.2.1 Codos de PVC de 1 pulgada de dirección de 45°

La curva de 45 grados está diseñada para cambiar la dirección de la tubería en 45 grados. Este es el segundo tipo comúnmente utilizado en tuberías industriales.

Figura 9.9 Codos de 45°



Fuente. Recuperado del libro (mott)

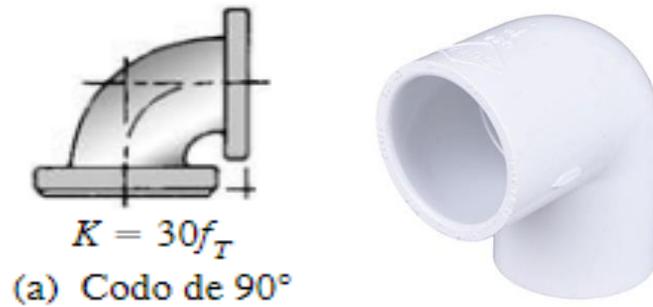
Los codos de 45° **Figura 13** se instalan en el sistema antes de un cambio de dirección de 90° para disminuir las pérdidas de energía.

9.3.2.2 Codos de PVC con un grado de dirección de 90°:

Como sugiere el nombre, el codo de tubería de PVC de 90 grados es para cambiar la dirección del líquido en un ángulo de 90 grados, por lo que también se le llama codo

vertical. Este tipo de codo se usa comúnmente en sistemas de tuberías porque es muy compatible con estructuras.

Figura 9.10 *Codo de 90°*

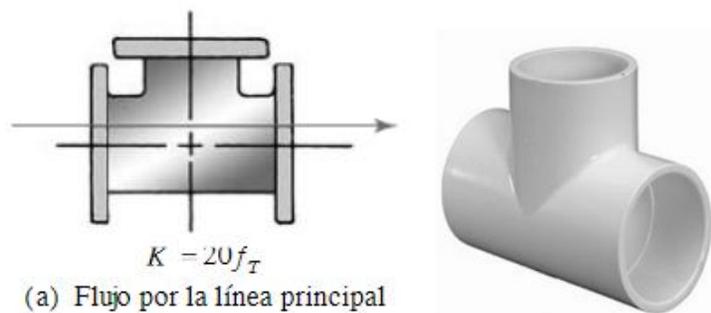


Fuente. Recuperado del libro (mott)

9.3.1 Tees PVC

En banco de prueba se ubicará tees de PVC de 1 pulgada, el permitirían la combinación o separación entre los circuitos serie y paralelos en el sistema de tuberías del banco.

Figura 9.11 *Tees PVC*



Fuente. Recuperado del libro (mott)

9.3.1 Tees Galvanizadas

Es una pieza de material de máxima resistencia que tiene un proceso de galvanizado el cual sirve para proteger la superficie del metal gracias a una capa de zinc sobre el hierro, este accesorio es utilizado para adaptar los manómetros por medio de un buje galvanizado de 1 pulgada a ¼ de pulgada.

Figura 9.12 *Tees Galvanizadas*



Fuente. Recuperado de la página web <https://www.ffioluciones.com/collections/all/tees-galvanizadas>

9.3.2 Buje

Este accesorio cumple con la principal función de reducir o aumentar el paso de un conducto, el buje es acoplado a los accesorios o instrumentos que lo requieran. Se utilizaron diferentes tipos: bujes galvanizados de 1 pulga a ¼ de pulgada donde se instalaron los manómetros, bujes de PVC de 1 pulgada a ½ pulgada para la instalación del medidor de flujo de agua.

Figura 9.13 *Bujes PVC*



Figura 9.14 *Bujes Galvanizados*



Fuente. Recuperado de la página web <https://www.lekons.com.ar/acc-galvanizados/1001-buje-galv-%C3%B8-4-x-3.html>

9.3.3 Manómetro glicerina

Los manómetros de glicerina son instrumentos para medir la presión de un líquido en circuitos cerrados, estos calculan la diferencia entre la fuerza real o absoluta y llaman a este valor la fuerza de medición. Además, sirve para tener un control estricto de cierto sistema hidráulico, en el caso de sistema en serie donde tenemos que verificar las presiones del sistema de bombeo inicial y final.

Para el banco de pruebas se manejan manómetros de un rango de presión de 0 a 100 psi, ya que nuestra bomba se encuentra en este rango de presión.

Figura 9.15 *Manómetro glicerina*



Fuente. Recuperado de la página web <https://tecfresh.com/producto/manometro-0-100-psi-0-7-bar-c-glicerina-o-2-5-x-1-4-ntp-vertical-calibrable-caja-inox-mec-bronce/>

9.3.4 Vacuómetro seco conexión vertical

Los vacuómetros son instrumentos de medición, el cual permite medir una presión menor al de la atmósfera. El instrumento irá conectado en la succión de la bomba I del banco, con un rango de medición de -30 a 60 PSI = -1 a 4 bar.

Figura 9.16 *Vacuómetro seco conexión vertical*



Fuente. Autores

9.3.5 Medidor de flujo de agua

El medidor de agua es un instrumento de precisión que registra y cuantifica el volumen de agua que circula en los sistemas serie y paralelo del banco de pruebas de bombas centrífugas. Los medidores están conformados por tres partes:

- Un mecanismo de medición que es accionado por el paso del agua.
- Un mecanismo de transmisión que es el enlace entre el mecanismo de medida y la relojería.
- Un mecanismo de registro que es la zona seca del medidor donde a través de engranes se mueven de manera continua las agujas y los números ubicados en la caratula del medidor.

En el banco de pruebas de bombas centrífugas se utilizó un medido de chorro único plástico de clase B/R 80 el cual tiene unas características de presión 145 PSI, longitud de 115mm y una entrada y salida de ½ pulgada.

Figura 9.17 *Medidor de flujo de agua*



Fuente. Recuperado de la página web <https://mitiendacoval.com/medidores/micromedidor--agua-clase-b-r80-1-2>

9.4 Selección de tubería

En la selección de tubería se tiene que tener en cuenta que existen muchos tipos de tuberías, con diferentes características de materiales, dimensiones, diámetros exteriores e interiores, espesor de pared y área de flujo. En este caso se utilizará tubería plástica de cloruro de polivinilo (PVC) de 1 pulgada en la succión y descarga del banco de pruebas de bombas centrífugas configuradas en serie y paralelo. Se utiliza tubería PVC de ½ pulgada para la adaptación del medidor de flujo de agua.

En la tabla 9.3 se muestran las especificaciones de tubería PVC.

Figura 9.18 *Tubo PVC*

Fuente. Recuperado de la página web <https://www.tubosparadrenaje.com/tuberia-de-pvc/sanitario/>

Tabla 9.3 *Medidas del diámetro tubería PVC*

Diámetro Nominal (pulg.)	RD	Diámetro Exterior		Diámetro Interior		Espesor de Pared		Presión a 23 °C		Peso Aprox. kg/m
		(pulg.) (O.D.)	(mm)	(pulg.) (I.D.)	(mm)	(pulg.) (T)	(mm)	(psi)	(kg/cm ²)	
1/2"	13,5	0.840	21.3	0.709	18.0	0.062	1.6	315	22.1	0.15
3/4"	21	1.050	26.7	0.923	23.4	0.060	1.5	200	14.0	0.15
1"	21	1.315	33.4	1.181	30.0	0.063	1.6	200	14.0	0.30
1 1/4"	26	1.660	42.2	1.524	38.7	0.064	1.6	160	11.2	0.30
1 1/2"	26	1.900	48.3	1.745	44.3	0.073	1.9	160	11.2	0.45
2"	26	2.375	60.3	2.182	55.4	0.091	2.3	160	11.2	0.59
2 1/2"	26	2.875	73.0	2.642	67.1	0.110	2.8	160	11.2	0.89
3"	26	3.500	88.9	3.214	81.6	0.135	3.4	160	11.2	1.34
4"	26	4.500	114.3	4.133	105.0	0.173	4.4	160	11.2	2.23
6"	26	6.625	168.3	6.084	154.5	0.255	6.5	160	11.2	5.06
<hr/>										
2"	41	2.375	60.3	2.257	57.3	0.059	1.5	100	7.0	0.45
2 1/2"	41	2.875	73.0	2.733	69.4	0.071	1.8	100	7.0	0.64
3"	41	3.500	88.9	3.330	84.6	0.085	2.2	100	7.0	0.89
4"	41	4.500	114.3	4.280	108.7	0.110	2.8	100	7.0	1.49

Nota. Recuperado de la página web <http://www.tuvimsa.com.mx/producto/tubo-pvc/>

9.5 Interruptor

Se utiliza interruptor de referencia EB2623,1 tensión nominal 500 Voltios, corriente nominal 30 Amperios, material metálico. El cual permite el encendido y apagado de las bombas centrífugas.

Figura 9.19 Interruptor on/off

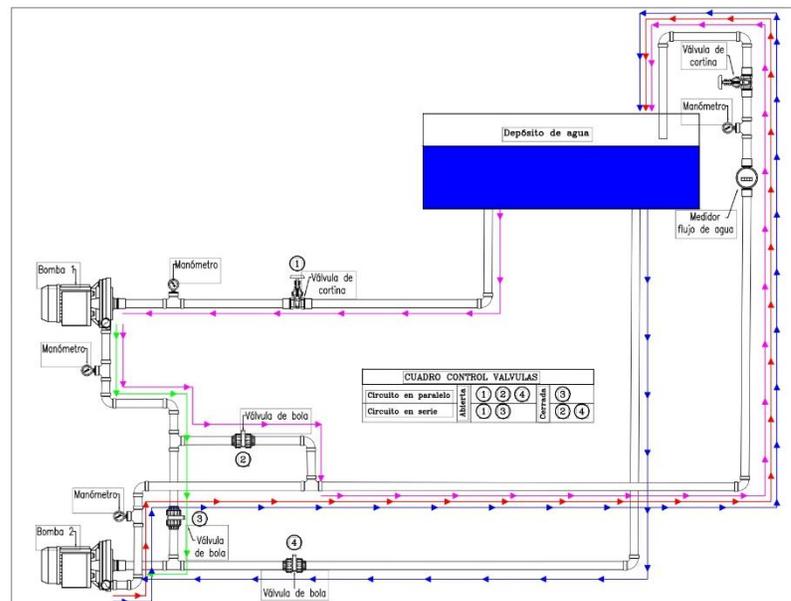


Fuente. Autores

9.6 Diseño del sistema en serie y paralelo

Una vez analizado el sistema en serie y paralelo y los accesorios que se va a implementar en el banco de bomba centrífugas, se procede diseñar por medio del programa AutoCAD el sistema de conductos para así tener una mejor perspectiva a la hora de la construcción.

Figura 9.20 Circuitos serie y paralelo



Fuente. autores

Para diseñar el sistema se tiene en cuenta que las dos bombas centrífugas tienen que estar simultáneamente conectadas a los dos circuitos serie y paralelo, para que por medio de apertura y cierres de válvulas se pueda elegir el circuito a estudiar. Para tener una menor dificultad de operación, se decidió tener una succión positiva para anular el cebado de las bombas y brindar buen funcionamiento. El sistema cuenta con una variedad de accesorios e instrumento de medición satisfaciendo la necesidad en el banco de pruebas.

Descripción del banco

Tabla 9.4 *Accesorios utilizados*

<i>Nombre Accesorio</i>	<i>Cantidad</i>
Bombas centrífugas	2 Unidades
Manómetros 0 a 100 PSI	3 Unidades
Vacuómetro -30 a 60 PSI	1 Unidades
Válvulas de bola 1 pulgada	3 Unidades
Válvulas de cortina 1 pulgada	2 Unidades
Codos de 45° de 1 pulgada	4 Unidades
Codos de 90° de 1 pulgada	10 Unidades
Tees PVC 1 pulgada	3 Unidades
Tees galvanizadas 1 pulgada	4 Unidades
Bujes galvanizados 1 pulgada a ¼ pulgada	4 Unidades
Bujes PVC 1 pulgada a ½ pulgada	2 Unidades
Interruptores on-off 30 Amperios 500 Voltios	2 Unidades
Tubo PVC 1 pulgada	6.10metros
Tubo PVC 1/2 pulgada	0.12metros
Cable cauchutado 3*12	2 metros
Medidor de flujo de agua ½ pulgada	1 Unidades

Fuente. Autores

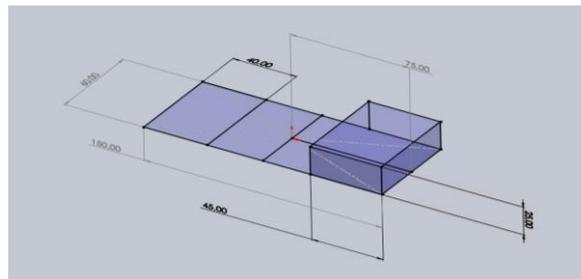
Etapa 2: Diseño y construcción del banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo.

Por el análisis realizado se definió el diseño y funcionalidades del banco de prueba de bombas centrífugas en serie y paralelo. De manera general se dará el proceso de construcción.

10.1 Diseño de la estructura

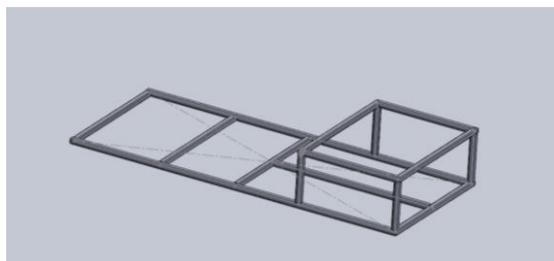
Para la fabricación de la estructura se debe tener en cuenta el peso y dimensiones de todos los elementos que se utilizan en el banco. Para ello se realiza un diseño con las medidas necesarias para el desarrollo del banco en SolidWorks, que brinda un análisis de esfuerzos que determina el material a utilizar para cumplir con la necesidad del soporte. Como se muestra en las figuras 10.1, 10.2 y 10.3.

Figura 10.1 *Croquis acotado de la estructura*



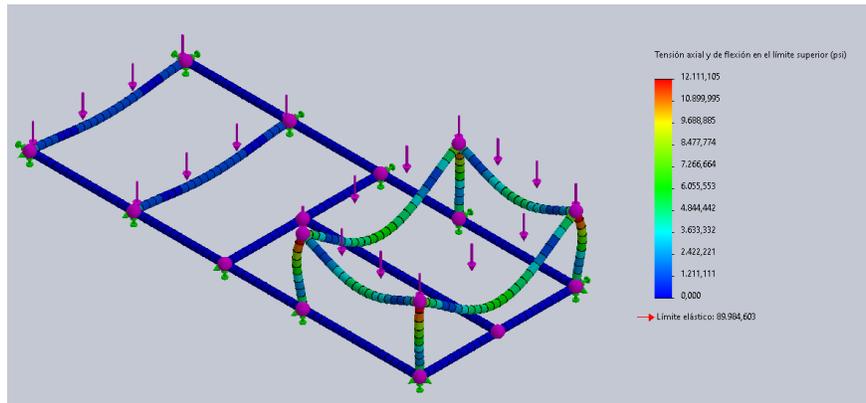
Fuente. autores

Figura 10.2 *Selección de material*



Fuente. autores

Figura 10.3 *Análisis estático del soporte*



Fuente. Autores

Analizando la tabla de tensión, logramos observar que la fuerza aplicada (12.111 PSI) en la pieza no supera el límite elástico del material (89.984 PSI), ya que si lo supera causaría una deformación permanente en la pieza, por lo tanto, nuestro material cumple con las características requeridas.

10.1.1 Fabricación de la estructura

Para la construcción de la estructura del banco se tiene en cuenta el material que se utilizó en el análisis de diseño en SolidWorks. Utilizando un tubo cuadrado de 1 pulgada calibre 18 de acero estructural. Como se muestra en las siguientes figuras 10.4 y 10.5.

Figuras 10.4 *Fabricación de la estructura*



Fuente. autores

Figuras 10.5 *Terminado de la estructura*



Fuente. autores

10.2 Instalación y montaje del sistema de bombas

10.2.1 Montaje de bombas

Las dos bombas van a estar al extremo del tanque de alimentación en una posición positiva, sujetadas fijamente al soporte, ya que su sistema de alimentación va a ser controlado por un sistema de válvulas, las cuales permitirán al usuario configurarlas a la necesidad que desee analizar. Como se muestra en la figura 10.6.

Figura 10.6 *Montaje de bombas*



Fuente. autores

10.3Diseño y montaje del tanque al banco

Para el sistema de bombas se utilizará un tanque que cumpla con las características de alimentación de las bombas. Su funcionamiento se basa en ser la fuente de succión y descarga del sistema hidráulico.

10.3.1 Diseño del tanque

Para el banco se diseñó un tanque en SolidWorks con las siguientes dimensiones, 60 cm de ancho por 45 cm de largo por 30 cm de alto con un material de vidrio calibre 6mm otorgando una capacidad de 80 litros y con dos perforaciones de 1 pulgada para conectar la succión de las bombas. El cual cumple con las características sugeridas del análisis de deformación como se muestra en las figuras 10.7,10.8 y 10.9

Figura 10.7 *Diseño del tanque en SolidWorks*

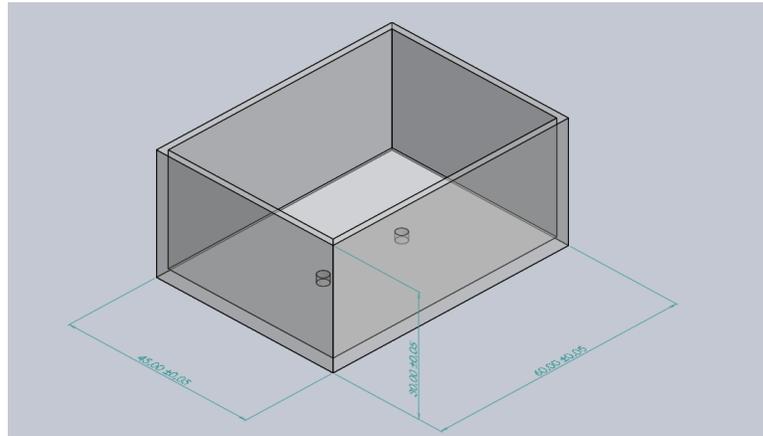
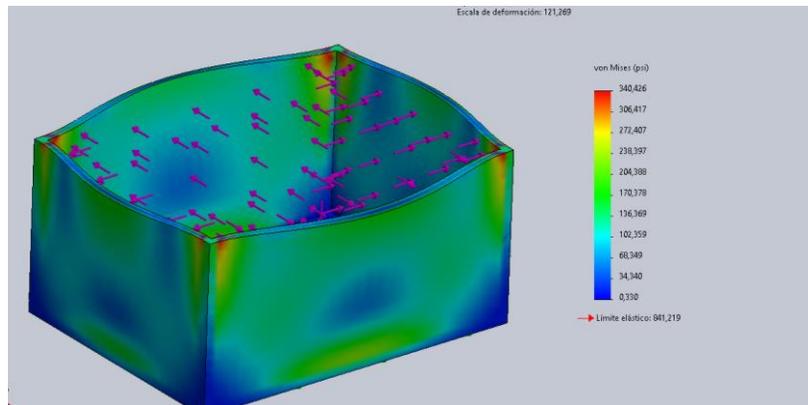


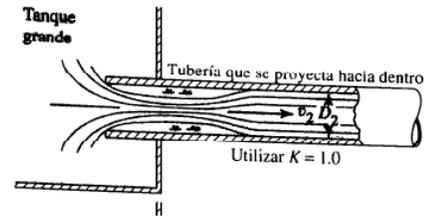
Figura 10.8 *Análisis del tanque en SolidWorks*



Fuente. Autores

Analizando la tabla de tensión, logramos observar que la presión aplicada (340.426PSI) en la pieza no supera el límite elástico del material (841.219 PSI), ya que si lo supera causaría una deformación permanente en la pieza, por lo tanto, nuestro material cumple con las características requeridas.

Figura 10.9 *Fabricación del tanque*



Fuente. Autores y libro (mott)

10.3.2 Montaje del tanque

Su instalación en la estructura va en el soporte que se diseñó específicamente para el montaje del tanque, al extremo de las bombas a una altura de 25 cm cumpliendo con una posición de succión positiva. Como se muestra en la figura 10.10.

Figura 10.10 *Montaje del tanque*



Fuente. Autores

10.4 Instalación de sistema en serie

Teniendo en cuenta que al utilizar el sistema en serie se logra aumentar la presión. Utilizando dos bombas centrífugas, donde la entrada (succión) de la bomba I se conectará al depósito de agua y su salida (descarga) será la entrada (succión) de la bomba II, el cual hace que la presión del banco aumente y su caudal se mantenga. Este efecto se observa por los manómetros y medidor de flujo de agua instalados en el sistema hidráulico. Este comportamiento del sistema se muestra en la **ecuación 9** *Caudal y altura sistema en serie*.

$$Caudal = Q_{total} = Q_a = Q_b = Q_c$$

$$Altura = H_{total} = H_a + H_b + H_c$$

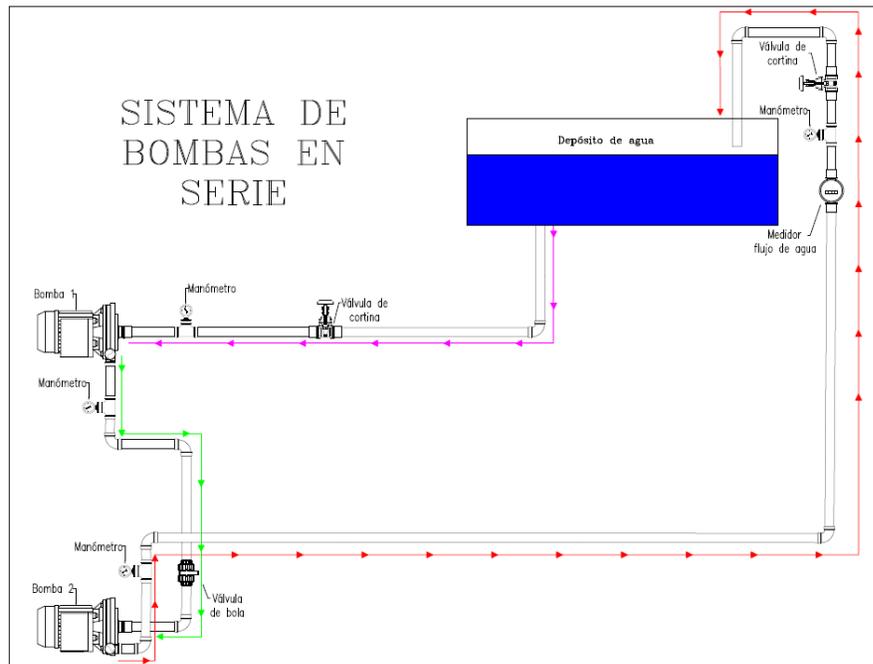
En el circuito serie se debe crear un camino con la ayuda de la operación de las válvulas de bola 1 y 3 en un estado abiertas, mientras que las válvulas de bola 2 y 4 están en posición cerrada como se ve en la figura de control de válvulas figura 10,10 y 10.11.

Figura 10.10 *Cuadro control válvulas*

CUADRO CONTROL VALVULAS						
Circuito en paralelo	Abierta	1	2	4	Cerrada	3
Circuito en serie		1	3			2

Fuente. Autores

Figura 10.11 Sistema de bombas en serie



Fuente. Autores

10.5 Instalación de sistema en paralelo

En el sistema paralelo, el banco tiene dos bombas con succión independiente al depósito de agua con única salida de fluido en el sistema, mostrando un mayor caudal debido a la sumatoria de salida del fluido en las bombas I y II. Esto se demuestra con la **ecuación 10** Caudal y altura sistema en paralelo.

$$\text{Altura} = H_{\text{total}} = H_a = H_b = H_c$$

$$\text{Caudal} = Q_{\text{total}} = Q_a + Q_b + Q_c$$

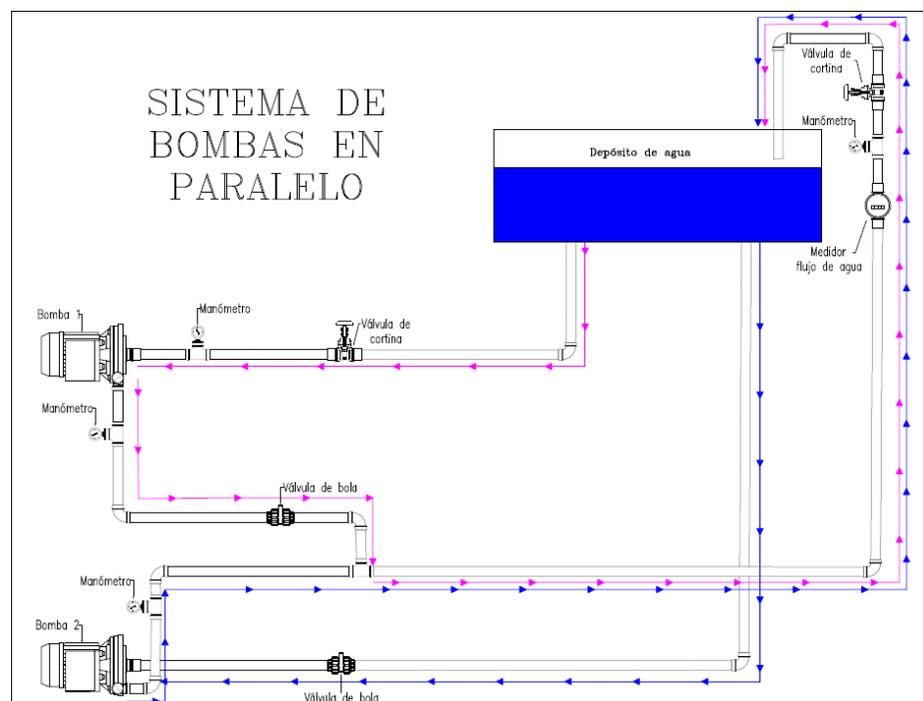
Para que este circuito funcione correctamente se tiene en posición abierta la válvula 1 y 4 que permite la alimentación independiente de las bombas centrífugas I y II, se abre la válvula 2 permitiendo un único paso de fluido obteniendo la sumatoria del caudal en el sistema. La válvula 3 debe estar cerrada separando el circuito en serie del banco como se evidencia en la figura 10.12 y 10.13

Figura 10.12

CUADRO CONTROL VALVULAS						
Circuito en paralelo	Abierta	1	2	4	Cerrada	3
Circuito en serie	Abierta	1	3		Cerrada	2 4

Fuente. autores

Figura 10.13 Sistema de bombas en paralelo



Fuente. autores

Etapa 3: Evaluar el funcionamiento por medio de guía práctica al banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo basado en un sistema hidráulico.

Se procede a desarrollar un análisis de funcionamiento al banco de bombas centrífugas en serie y paralelo, donde se halla caudales por medio del medidor de flujo de agua aplicando la fórmula de caudal, pérdidas de energía y un registro de presiones de cada una de las configuraciones. Con los estudiantes de la universidad Antonio Nariño sede Neiva del área mecánica de fluidos se desarrolló la guía práctica implementada para evaluar el funcionamiento del banco

11.1 Cálculo de pérdidas en los circuitos del banco

Para calcular las pérdidas de las configuraciones **figura 9.20**, primero se debe hacer un balance de energía del fluido por medio de la **ecuación 3**. Ecuación General de la energía

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

Se debe tener en cuenta los siguientes criterios de evaluación de este circuito para poder desarrollar el análisis.

- El circuito es cerrado, por lo tanto, no hay variación de altura. Entonces la expresión $z_2 - z_1$ es igual a 0.
- El tanque está a una presión atmosférica, por lo tanto la expresión $P_2 - P_1$ es igual 0.
- La tubería de succión y descarga consta de un diámetro de 1 pulgada.

Teniendo en cuenta los anteriores criterios de evaluación, la ecuación general de la energía se reduce a la siguiente:

$$H_{bomba} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

Para calcular la altura de la bomba (H_{bomba}) primero se debe identificar por medio de la **ecuación 5** análisis de pérdida de carga en el sistema serie (h_l), este análisis se divide en la pérdida primarias **ecuación 6** son las pérdidas de energía por tubería, conductos y pérdidas secundarias **ecuación 10** son las pérdidas menores del sistema debido a los accesorios.

$$\text{Ec 5} \quad h_l = h_p + h_s$$

Donde:

h_l : Pérdida total de carga en todo el sistema [m]

h_p : Pérdidas primarias de carga en el sistema [m]

h_s : Pérdidas secundarias de carga en el sistema [m]

$$\text{Ec 6} \quad h_p = \frac{\gamma * L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_p : pérdidas primarias de energía debido a la fricción. [m]

L : longitud de la corriente de flujo [m]

D : diámetro de la tubería [m]

v : velocidad de flujo promedio [m/s]

γ : factor de fricción, sin dimensiones

g : gravedad [m/s^2]

$$\text{Ec 10} \quad h_s = k * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

hs: pérdida secundaria o menor [m]

k: coeficiente de resistencia

v: velocidad de flujo promedio [m/s]

g: aceleración de la gravedad [m/s²]

11.2 Determinación de caudal

Se determina la medición de caudales por medio la de **ecuación 2. Caudal**.

Teniendo en cuenta un volumen determinado por el medidor de flujo de agua y el tiempo que tarda en medir.

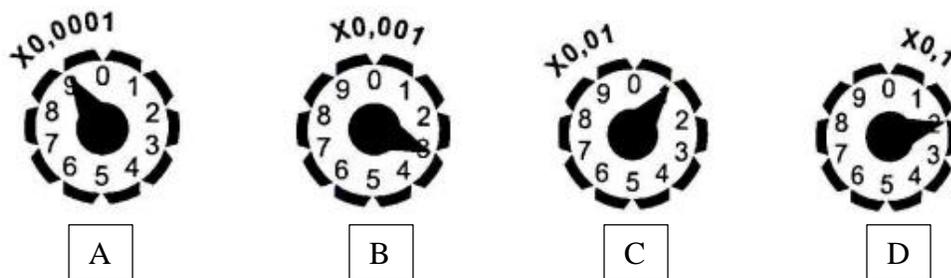
Ecuación 3. Caudal

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{[L]}{[\text{min}]}$$

11.3 Determinación de caudal por medio del medidor de flujo de agua

Para determinar el caudal se utiliza el medidor de flujo, donde se debe tener en cuenta que este mide el volumen de agua del banco en metros cúbicos (1000 litros) y sus fracciones en centenas, decenas y unidades (de litros). Estas fracciones están dadas por 4 relojes del medidor de flujo.

Figura 11.1 Fracciones del medidor de flujo de agua



Fuente. Recuperado de la página web https://cmasxalapa.gob.mx/pdf/conoce_tu_medidor.pdf

- **A- figura 10.12.** El número $\times 0.0001$ indica que la aguja marca la décima parte de un litro o un decilitro (una vuelta de la manecilla es un litro)
- **B- figura 10.12.** El número $\times 0.001$ aparece siempre junto al reloj donde se marca los litros (una vuelta de la manecilla indica 10 litros)
- **C- figura 10.12.** El número $\times 0.01$ es ubicado junto al reloj donde se miden las decenas de litros (una vuelta de la manecilla sería 100 litros)
- **D- figura 10.12.** El número $\times 0.1$ significa que la aguja de ese reloj va marcando los cientos de litros (una vuelta de la manecilla sería 1000 litros o 1 cm³)

Se elige un volumen constante con el que se va a experimentar, en este caso se eligió 10 litros, por lo tanto, el reloj a elegir en el medidor de flujo de agua sería el B de la figura 10.12, ya que una vuelta indica 10 litros.

Para tomar los tiempos del volumen de los 10 litros se tiene en cuenta diferentes presiones asignadas en el manómetro 1. Para aumentar las presiones de los manómetros es necesario estrangular la válvula 5 (válvula de cortina).

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a desarrollar un análisis en el banco de pruebas de bombas centrífugas serie y paralelo.

11.4 Análisis del banco de bomba centrífugas en serie y paralelo

Tabla 11.1 *Análisis del sistema paralelo*

Volumen (L)	Presión manómetro 1 (PSI)	Presión manómetro 2 (PSI)	Presión manómetro 3 (PSI)	Tiempo (min)	Q (L/min)
10	28	28	0	0,153333	65,2175331
10	29	29	18	0,238	42,0168067
10	30	30	24	0,34183333	29,2540227
10	31	31	28	0,577	17,3310225
10	32	32	32	1,16	8,62068966

Los datos de la tabla 11.1, se evalúan mediante las presiones asignadas al manómetro 1, observando el comportamiento de las presiones iniciales de los manómetros 1 y 2 es igual a 28 PSI y en el manómetro 3 su presión inicial es igual a 0. Ya que, no hay resistencia por medio de la válvula 5 a la salida del fluido, obteniendo un caudal máximo de 65,2175331 L/min en el sistema paralelo. A medida que se va estrangulando la válvula 5, las presiones del manómetro 3 se van igualando a las presiones de los manómetros 1 y 2 llegando a 32 PSI, siendo estas las presiones máximas del sistema con un caudal mínimo de 8,62068966 L/min.

Tabla 11.2 *Análisis del sistema serie*

Volumen (L)	Presión manómetro 1 (PSI)	Presión manómetro2 (PSI)	Presión manómetro 3 (PSI)	Tiempo (min)	Q (L/min)
10	28	54	45	0,299049	33,439336
10	29	56	50	0,358892	27,8635355
10	30	60	58	0,86818	11,5183487
10	31	61	59	1,332897	7,5024
10	32	62	60	1,797614	5,56292953

Los datos de la tabla 11.2, se evalúan mediante las presiones asignadas al manómetro 1 iniciando con una presión de 28 PSI. El comportamiento del manómetro 2, se aproxima al doble de la presión del manómetro 1 (54 PSI) y en el manómetro 3 su presión es igual a 45 PSI. Ya que, hay resistencia por medio de la válvula 5 a la salida del fluido, obteniendo un caudal máximo de 33,439336 L/min en el sistema serie. A medida que se va estrangulando la válvula 5, las presiones de los manómetros 2 y 3 se van igual llegando a una presión máxima del sistema de 62 PSI, con un caudal mínimo de 5.56292953 L/min.

11.5 Pérdida de carga primarias en el sistema serie

Son las pérdidas que se van a dar en los tramos rectos ya sea en forma horizontal o vertical, estas pérdidas van en función del diámetro, factor de fricción, longitud y velocidad del fluido.

Para el cálculo de estas pérdidas primarias en serie, se toma como referencia los caudales de la tabla 11.2 en m/s, ya con este rango de datos se define las variables de las pérdidas primarias de energía debido a la fricción (Ecuación 6). Se identifica la velocidad de succión y descarga (ecuación 2) para así posteriormente definir el número de Reynolds (Re) (Ecuación 9) de cada velocidad, manifestando si un flujo es laminar o turbulento. Determinando el número de Reynolds se procede a calcular el factor de fricción (f) (ecuación 8) y las pérdidas de carga (hl) de la tubería a diferentes condiciones según el tipo de tubería empleada.

Ecuación 2. Velocidad

$$v = \frac{Q}{a}$$

Donde:

v: velocidad [m/s]

Q: caudal [L/min]

a: área [m²]

Ecuación 9. Numero de Reynolds

$$Re = \frac{v * D}{\vartheta}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

v : Velocidad media del fluido [m/s].

D : Diámetro de la tubería [m].

ϑ : Viscosidad cinemática del fluido [m²/s].

Ecuación 8. *Factor de fricción en tubería*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right)$$

Donde:

f : Factor de fricción de la tubería

ε : Rugosidad absoluta de la tubería (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

Re : Número de Reynolds

En el desarrollo de estos cálculos matemáticos es necesario describir las propiedades del fluido de trabajo (agua), longitud y diámetros utilizados en el sistema serie.

Tabla 11.3 *Propiedades del agua y diámetros de tubería serie*

Propiedades	Agua (H2O)
temperatura	25°C
densidad	997 Kg/m ³
viscosidad dinamica	8,91x10 ⁻⁴

	Succión	Descarga
diámetros	1"	1 "
Longitud	1,08 m	5,02m

Fuente. autores

Tabla 11.4 *Pérdida primaria en la succión circuito serie*

Q (L/min)	Q (m ³ /s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds (Re)	factor de fricción (f)	Pérdida (m)
33,439336	0,000555093	0,033	0,64933408	23977,26213	0,024802005	0,01729964
27,8635355	0,000462535	0,033	0,541061677	19979,20339	0,02593449	0,01255987
11,5183487	0,000191205	0,033	0,223666414	8259,089431	0,032742024	0,0027097
7,50245518	0,000124541	0,033	0,145684706	5379,542652	0,037077682	0,00130183
5,56292953	9,23446E-05	0,033	0,108022472	3988,829784	0,040639952	0,0007845

Fuente. autores

Tabla 11.5 *Pérdida primaria en la descarga circuito serie*

Q (L/min)	Q (m ³ /s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds (Re)	factor de fricción	Pérdida (m)
33,439336	0,000555093	0,033	0,64933408	23977,26213	0,024802005	0,081162776
27,8635355	0,000462535	0,033	0,541061677	19979,20339	0,02593449	0,058925729
11,5183487	0,000191205	0,033	0,223666414	8259,089431	0,032742024	0,012712787
7,50245518	0,000124541	0,033	0,145684706	5379,542652	0,037077682	0,006107651
5,56292953	9,23446E-05	0,033	0,108022472	3988,829784	0,040639952	0,00368057

Fuente. autores

Se observa que las pérdidas primarias en la tabla 11.4 son menor que en la tabla 11.5, ya que, su longitud de tubería de succión es 1,08 metros y en la tubería de descarga es 5,02 metros de longitud, por lo tanto, tiene mayor recorrido y sus pérdidas son mayores. Debido a que la succión y la descarga tiene igual diámetro de tuberías las demás variables permanecen iguales.

11.6 Pérdidas de carga secundarias circuito serie

Las pérdidas secundarias son causadas por el cambio de movimiento del fluido debido a los accesorios (válvulas, codos, tees, semi codos) y turbulencia originada en puntos específicos. Estas pérdidas se hallan con la Ecuación 9.

Se halla el coeficiente de resistencia (k) en la succión y descarga de cada uno de los accesorios del banco con respecto al factor de fricción (ft) de los tamaños de conducto nominal

Tabla 11.6 Factor de fricción para tubería de diámetro 1"

TAMAÑO DE CONDUCTO NOMINAL	f_r
½	0.027
¾	0.025
1	0.023
1 ¼	0.022
1 ½	0.021
2	0.019
2 ½, 3	0.018
4	0.017
5	0.016
6	0.015
8 – 10	0.014
12 – 16	0.013
18 – 24	0.012

Fuente. Recuperado de la página web <https://www.slideserve.com/elsbeth/sistemas-de-linea-de-tuberia>

Tabla 11.7 Sumatoria de coeficiente de resistencia en la succión serie

Constante de tuberías (ft)	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
0,023	Entrada de succión	1"	1	0,023	0,023
0,023	Codo de 90°	1"	1	0,69	0,69
0,023	Válvula de cortina	1"	1	7,82	7,82
0,023	Tees	1"	1	0,46	0,46
				Total	8,993

Fuente. Autores

Se observa en la sumatoria de coeficiente de resistencia en la succión serie el accesorio con mayor resistencia es la válvula de cortina con un coeficiente de 7,82 y el accesorio con la menor resistencias es la entrada de succión con un coeficiente de 0.023.

Tabla11.8 *Sumatoria de coeficiente de resistencia en la descarga serie*

Constante de tuberías	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
0,023	Codo de 90°	1"	8	0,69	5,52
0,023	Codo de 45 °	1"	2	0,368	0,736
0,023	Válvula de cortina	1"	1	7,82	7,82
0,023	Tees	1"	6	0,46	2,76
0,023	Válvula bola	1"	1	3,45	3,45
0,023	medidor	1/2"	1	0,046	0,046
0,023	Contracción 1 a 1/2	1" a 1/2".	1	0,29	0,29
0,023	Ampliación de 1/2 a 1	1/2" a 1"	1	0,29	0,29
				Total	20,912

Fuente. autores

Se observa en la sumatoria de coeficiente de resistencia en la descarga serie el accesorio con mayor resistencia es la válvula de cortina con un coeficiente de 7,82 y el accesorio con la menor resistencias es el medidor de flujo de agua con un coeficiente de 0.046.

En la tabla 11.8, se logra observar que hay un mayor coeficiente de resistencia con un valor 20,912, debido a que en la descarga se implementa más accesorios, a diferencia a la tabla 11.7 con un coeficiente de resistencia de 8,993 en la succión.

Tabla 11.9 Sumatoria de pérdidas secundaria en el circuito serie

Q (L/min)	Q (m3/s)	Hs	Hd	Hds	H bomba
33,439336	0,000555093	0,072565403	0,287680654	0,360246057	0,373527
27,8635355	0,000462535	0,033284908	0,131955778	0,165240687	0,171332
11,5183487	0,000191205	0,017600971	0,069777865	0,087378836	0,090600
7,50245518	0,000124541	0,00706111	0,027993295	0,035054405	0,036346
5,56292953	9,23446E-05	0,002122378	0,008414024	0,010536402	0,010924

Fuente. Autores

Se halla la sumatoria del coeficiente de resistencia en los accesorios de la línea de succión(Hs) y descarga (Hd), teniendo en cuenta la cantidad de accesorios y el diámetro de tubería, para así posteriormente sumar estas dos pérdidas (Hs y Hd) e identificar la pérdida secundaria en el circuito serie con diferente rango de caudal, dando como resultado la altura correcta de la bomba (Hbomba) del sistema.

11.7 Pérdida de carga primarias circuito paralelo

Para el cálculo de estas pérdidas primarias en paralelo, se toma como referencia los caudales de la tabla 11.1 en m/s, ya con este rango de datos se define las variables de las pérdidas primarias de energía debido a la fricción (Ecuación 6). Se identifica la velocidad de succión y descarga (ecuación 2) para así posteriormente definir el número de Reynolds (Re) (Ecuación 9) de cada velocidad, manifestando si un flujo es laminar o turbulento. Determinando el número de Reynolds se procede a calcular el factor de fricción (f) (ecuación 8) y las pérdidas de carga (hl) de la tubería a diferentes condiciones según el tipo de tubería empleada.

En el desarrollo de estos cálculos matemáticos es necesario describir las propiedades del fluido de trabajo (agua), longitud y diámetros utilizados en el sistema serie.

Tabla 11.10 *Propiedades del agua y diámetros de tubería serie*

Propiedades	Agua (H2O)		
temperatura	25°C		
densidad	997 Kg/m^3		
viscosidad dinamica	$8,91 \times 10^{-4}$		

	Succión	Descarga
diámetros	1"	1 "
Longitud	2,14 m	7,05m

Fuente. Autores

Tabla 11.11 *Pérdida primaria en la succión circuito paralelo*

Q (L/min)	Q (m3/s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	factor de fricción	Pérdida (m)
65,2175331	0,001082611	0,033	1,2664117	46763,425	0,021256351	0,056396521
42,0168067	0,000697479	0,033	0,8158937	30127,631	0,02349033	0,02586843
29,2540227	0,000485617	0,033	0,5680625	20976,235	0,025624374	0,013679157
17,3310225	0,000287695	0,033	0,3365384	12426,995	0,029289532	0,005487767
8,62068966	0,000143103	0,033	0,1673988	6181,358	0,035581685	0,001649474

Fuente. autores

Tabla 11.12 *Pérdida primaria en la descarga circuito paralelo*

Q (L/min)	Q (m3/s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	factor de fricción	perdida (m)
65,2175331	0,001082611	0,033	1,2664117	46763,425	0,0212563	0,192907724
42,0168067	0,000697479	0,033	0,8158937	30127,631	0,0234903	0,088484535
29,2540227	0,000485617	0,033	0,5680625	20976,235	0,0256243	0,046790387
17,3310225	0,000287695	0,033	0,3365384	12426,995	0,0292895	0,018771241
8,62068966	0,000143103	0,033	0,1673988	6181,358	0,0355816	0,005642125

Fuente. autores

Se observa que las pérdidas primarias en la tabla 11.11 son menor que en la tabla 11.12, ya que, su longitud de tubería de succión es 2,14 metros y en la tubería de descarga es 7,05 metros de longitud, por lo tanto, tiene mayor recorrido y sus pérdidas son mayores. Debido a que la succión y la descarga tiene igual diámetro de tuberías las demás variables permanecen iguales.

11.8 Pérdida secundarias circuito paralelo

Se determina el coeficiente de resistencia (k) en la succión y descarga de cada uno de los accesorios del circuito paralelo, este coeficiente depende del factor de fricción (f_T) de los tamaños de conducto nominal

Tabla 11.6 Factor de fricción para tubería de diámetro 1”

TAMAÑO DE CONDUCTO NOMINAL	f_T
½	0.027
¾	0.025
1	0.023
1 ¼	0.022
1 ½	0.021
2	0.019
2 ½ , 3	0.018
4	0.017
5	0.016
6	0.015
8 – 10	0.014
12 – 16	0.013
18 – 24	0.012

Fuente. Recuperado de la página web <https://www.slideserve.com/elsbeth/sistemas-de-linea-de-tuberia>

Tabla 11.13 Sumatoria de coeficiente de resistencia en la succión paralelo

Constante de tuberías	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
0,023	Entrada de succión	1"	2	0,023	0,046
0,023	Codo de 90°	1"	2	0,69	1,38
0,023	Válvula de cortina	1"	1	7,82	7,82
0,023	Válvula bola	1"	1	3,45	3,45
0,023	Tees	1"	2	0,46	0,92
Total					13,616

Fuente. Autores

Se observa en la sumatoria de coeficiente de resistencia en la succión serie el accesorio con mayor resistencia es la válvula de cortina con un coeficiente de 7,82 y el accesorio con la menor resistencias es la entrada de succión con un coeficiente de 0.023.

Tabla 11.14 Sumatoria de coeficiente de resistencia en la descarga paralelo

Constante de tuberías	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
0,023	Codo de 90°	1"	6	0,69	4,14
0,023	Codo de 45 °	1"	4	0,368	1,472
0,023	Válvula de cortina	1"	1	7,82	7,82
0,023	Tees	1"	5	0,46	2,3
0,023	Válvula bola	1"	1	3,45	3,45
0,023	medidor	1/2"	1	0,046	0,046
0,023	Contracción 1 a 1/2	1" a 1/2".	1	0,29	0,29
0,023	Ampliación de 1/2 a 1	1/2" a 1"	1	0,29	0,29
Total					19,808

Fuente. autores

Se observa en la sumatoria de coeficiente de resistencia en la descarga paralelo el accesorio con mayor resistencia es la válvula de cortina con un coeficiente de 7,82 y el accesorio con la menor resistencias es el medidor de flujo de agua con un coeficiente de 0.046.

En la tabla 11.14, se logra observar que hay un mayor coeficiente de resistencia con un valor 19,808, debido a que en la descarga se implementa más accesorios, a diferencia a la tabla 11.13 con un coeficiente de resistencia de 13,616 en la succión.

Tabla 11.15 *Sumatoria de pérdidas secundaria en el circuito paralelo*

Q (L/min)	Q (m ³ /s)	Hs	Hd	Hl total	H bomba
65,2175331	0,001082611	0,041863954	0,124551943	0,166415897	0,166415897
42,0168067	0,000697479	0,030394032	0,090427095	0,120821127	0,120821127
29,2540227	0,000485617	0,006557286	0,019508973	0,026066259	0,026066259
17,3310225	0,000287695	0,003150341	0,009372767	0,012523108	0,012523108
8,62068966	0,000143103	0,001898447	0,005648183	0,00754663	0,00754663

Fuente. autores

Identificado la sumatoria del coeficiente de resistencia en los accesorios de la línea de succión(Hs) y descarga (Hd), teniendo en cuenta la cantidad de accesorios y el diámetro de tubería, identificar la pérdida secundaria en el circuito serie con diferente rango de caudal en paralelo, dando como resultado la altura correcta de la bomba (Hbomba) del sistema

11.9 Evidencia fotográfica de evaluación de funcionamiento del banco

Se observa el registro fotográfico, evaluando el funcionamiento por medio de guías de laboratorio propuesto en el banco de prueba de bombas centrífugas en serie y paralelo, con los estudiantes del área de mecánica de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva

Figura 11.2 Desarrollo de guías de laboratorio



12 Conclusión

- Analizando el comportamiento de las bombas centrífugas en serie con respecto a la instalación en paralelo se evidencia que estas aumentan la presión y disminuye el caudal por lo tanto la velocidad va a ser menor; mientras que el comportamiento del sistema paralelo aumenta caudal y disminuye presión por lo que su velocidad va a ser mayor con respecto al sistema serie.
- Utilizando dos bombas centrífugas de iguales características se desarrolló el banco hidráulico la cual tiene una capacidad de satisfacer los sistemas serie y paralelo. El sistema cuenta con una succión y descarga de 1" PVC la cual entrega 110 L/m de caudal máximo, altura máxima 22 metros y una potencia de medio caballo de fuerza (0.5Hp). Estas características son abastecidas por un tanque de almacenamiento de 80 litros de capacidad. Utilizando manómetros de rango 0 a 100 psi y un vacuómetro con un rango de -30 a 60 psi como sistemas de medición de presiones y distintos tipos de válvulas permitiendo configurar el sistema en serio o paralelo en el banco de pruebas de bombas centrífugas.
- Se evaluó el funcionamiento del banco de bombas centrífugas en serie y paralelo con estudiantes de ingeniería mecánica de la universidad Antonio Nariño sede Neiva. Por lo anterior se analizaron los resultados del funcionamiento por medio de guías prácticas de laboratorio establecidas en el documento.

13 Anexo

A Manual de funcionamiento del banco de bombas centrífugas en serie y paralelo.

Para el buen funcionamiento del banco hay que tener en cuenta unos pasos a seguir:

No prender las bombas sin fluido en el tanque.

1. Analizar que todos los accesorios, instrumentos de medición y sistema eléctrico estén en buen estado para su trabajo.
2. Comprobar que las válvulas de salida y succión se encuentren abiertas totalmente.
3. Iniciar el llenado del tanque, dejando un buen nivel de fluido. Su posición elevada permite el cebado a las bombas.
4. Conectar el banco a una fuente eléctrica de 110 voltios.
5. Las bombas deben ser encendidas al mismo tiempo para un mejor comportamiento en los circuitos serie y paralelo.

Funcionamiento del circuito en serie.

1. Para el funcionamiento del circuito serie, las válvulas 2 y 4 tienen que estar en posición cerrada, obstruyendo el paso de fluido.
2. Para dar paso al fluido por el circuito, las válvulas 1 y 3 se abren permitiendo el paso a la salida de tubería de 1
3. Varíe la presión del banco por medio de válvula de compuerta girándola en sentido horario.

4. Se toman las medidas de presión para comparar su comportamiento.
5. Apagar el circuito serie por medio de los interruptores del banco.
6. Garantice que las válvulas de salida queden abiertas totalmente.

Funcionamiento del circuito en paralelo.

1. La válvula 3 se pone en posición cerrada. obstruyendo el paso de fluido al circuito serie.
2. Las válvulas 1,2 y 4 se abren permitiendo el paso de fluido a la salida de la tubería de 1 pulgadas
3. Varíe la presión del banco por medio de válvula de compuerta girándola en sentido horario.
4. Se toman las medidas de presión para analizar su comportamiento.
5. Se paga el funcionamiento de las bombas al mismo tiempo.
6. Desconecte el banco de bombas centrífugas de la fuente de 110 voltios.
7. Retire el fluido del tanque de almacenamiento, ya terminada la práctica.

Para mantener una vida útil del banco de pruebas de bombas centrífugas en los accesorios, instrumentos de medición y bombas, se debe hacer un mantenimiento adecuado finalizando cada práctica de laboratorio

B Manual de mantenimiento en el banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo.

1. Mantener el banco desconectado de la fuente de energía.
2. Mantener el tanque de almacenamiento sin fluidos.
3. Verificar que todos los accesorios, instrumentos de medición y bombas estén en buenas condiciones.
4. Verificar que la conexión a la fuente eléctrica no presente fallas y puntos calientes.
5. Verificar que las líneas de los circuitos no presenten fugas del fluido.

Bombas

1. Verificar sus conexiones de cada bomba.
2. Observar si los motores tienen vibraciones diferentes.
3. Revisar el impulsor de las bombas.
4. Reemplazar sellos mecánicos si lo requiere.

Tuberías

1. Revisar tubería de descarga y succión del banco.
2. Hacer limpieza a la tubería para que no haya oposición al paso del fluido.
3. Verificar que las manijas de las válvulas estén en buen estado para una mejor manipulación.
4. Que la línea de circuitos serie y paralelo se encuentren en buen funcionamiento.

Base del banco

1. Lubricar y verificar el estado de las ruedas del soporte para una movilidad fácil.
2. Analizar el estado del soporte de fracturas y corregir si es necesario para evitar daños mayores.
3. Revisión de ajustes removibles que tiene el banco (tornillos de soporte).
4. Pintar si es necesario en caso de corrosión.

C Guías de práctica de laboratorio en el banco de pruebas de bombas centrífugas en serie

Objetivo general

Desarrollar destrezas en el análisis a estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica de la universidad Antonio Nariño (UAN) sede Neiva mediante la solución de práctica de laboratorio por medio del banco de bombas centrífugas en serie y paralelo con el fin de mejorar sus capacidades de conocimiento y formación académica.

Objetivo específico

- Estudiar el comportamiento del sistema en serie por medio del banco de bombas centrífugas.
- Hallar los caudales del sistema en serie

Materiales y equipos para el desarrollo de práctica

- Banco de pruebas
- Manómetros rango de 0 a 100 PSI
- Cinta métrica
- Cronometro
- Medidor de volumen

Pasos que hay que tener en cuenta para el desarrollo de la guía práctica.

1. Verificar que el banco e instrumentos de medición estén en buen estado para el uso.
2. Comprobar que las válvulas de salida se encuentren totalmente abiertas.

3. Comprobar que las válvulas de succión de las bombas estén abiertas para cuando se proceda al llenado de fluido al tanque estas hagan un cebado automático, por la posición que están ubicadas (positivas).
4. Hacer llenado del tanque de almacenamiento.
5. Conectar el banco a una fuente eléctrica a 110 voltios.

Funcionamiento en el circuito serie en las bombas I y II del banco.

1. Para el funcionamiento del circuito serie, las válvulas 2 y 4 tienen que estar en posición cerrada, obstruyendo el paso de fluido.
2. Para dar paso al fluido por el circuito, las válvulas 1 y 3 se abren permitiendo el paso a la salida de tubería de 1 pulgada.
3. Varié la presión del banco por medio de válvula de compuerta 5 girándola en sentido horario, que está ubicada en la salida del circuito.
4. Se toman las medidas de presión para comparar su comportamiento.
Mínimo 5 puntos de medida. Esta toma de presión se debe de hacer en el menor tiempo requerido para evitar sobrecargas de presión.
5. Apagar el circuito serie por medio de los interruptores del banco.
6. Garantice que las válvulas de salida queden abiertas totalmente.

La información recaudada por el anterior desarrollo de práctica en el banco se debe registrar en las siguientes tablas de análisis.

Obtención de datos

Con la práctica de laboratorio en el banco de bombas centrífugas, el estudiante deberá llenar las casillas de las siguientes tablas de análisis.

Identificar las características de las bombas centrifugas en serie

Tabla 1C. Características de la bomba configurada en serie

Caudal máx.	
Altura máx.	
Potencia	
Eficiencia	
Rpm	
Voltaje	
Altura de succión	
T° Max de fluido	

hallar el caudal en el sistema con cada una de las diferentes presiones propuestas en el manómetro 1, con un volumen constante.

Tabla 2C. Datos experimentales circuito en serie

Volumen (L)	Presión manómetro 1 (PSI)	Presión manómetro 2 (PSI)	Presión manómetro 3 (PSI)	Tiempo (min)	Q (L/min)
	28				
	29				
	30				
	31				
	32				

A partir de los datos registrados tabla 1, se determinan el cálculo de pérdidas primarias de succión y descarga en el circuito serie.

Tabla 3C. **Propiedades del agua y diámetros de tubería serie**

Propiedades	Agua (H2O)		Succión	Descarga
temperatura		diámetros		
densidad		Longitud		
viscosidad dinámica				

Tabla 4C. **Cálculo de pérdida primarias succión y descarga serie.**

Perdidas de succión circuito serie						
Q (L/min)	Q (m3/s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	factor de fricción	pérdida (m)

Perdidas de descarga circuito serie						
Q (L/min)	Q (m3/s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	factor de fricción	pérdida (m)

Se procede a calcular las pérdidas secundarias de succión y descarga en el circuito serie

Tabla 5C. **Cálculo pérdida secundarias succión y descarga circuito serie.**

Constante de tuberías (ft)	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
	Entrada de succión	1"			
	Codo de 90°	1"			
	Válvula de cortina	1"			
	Tees	1"			
				Total	

Constante de tuberías	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
	Codo de 90°	1"			
	Codo de 45 °	1"			
	Válvula de cortina	1"			
	Tees	1"			
	Válvula bola	1"			
	medidor	1/2"			
	Contracción 1 a 1/2	1" a 1/2".			
	Ampliación de 1/2 a 1	1/2" a 1"			
Total					

Finalmente, realice la sumatoria de pérdidas secundarias de succión y descarga del circuito serie y halla la altura de la bomba por medio de la ecuación general de la energía

Tabla 6C. **Sumatoria de pérdidas secundarias succión y descarga circuito serie**

Q (L/min)	Q (m ³ /s)	Hs	Hd	Hds	Hbomba

Análisis del circuito serie.

- Analizar la diferencia de caudal de los sistemas.
- Analizar la diferencia de presiones del sistema según el caudal de salida

D Guías de práctica de laboratorio en el banco de pruebas de bombas centrífugas paralelo.

Objetivo general

Desarrollar destrezas en el análisis a estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica de la universidad Antonio Nariño (UAN) sede Neiva mediante la solución de práctica de laboratorio por medio del banco de bombas centrífugas en serie y paralelo con el fin de mejorar sus capacidades de conocimiento y formación académica.

Objetivo específico

- Estudiar el comportamiento del sistema en serie por medio del banco de bombas centrífugas.
- Hallar los caudales del sistema en paralelo

Materiales y equipos para el desarrollo de práctica

- Banco de pruebas
- Manómetros rango de 0 a 100 PSI
- Cinta métrica
- Cronometro
- Medidor de volumen

Pasos que hay que tener en cuenta para el desarrollo de la guía práctica.

- Verificar que el banco e instrumentos de medición estén en buen estado para el uso.
- Comprobar que las válvulas de salida se encuentren totalmente abiertas.

- Comprobar que las válvulas de succión de las bombas estén abiertas para cuando se proceda al llenado de fluido al tanque estas hagan un cebado automático, por la posición que están ubicadas (positivas).
- Hacer llenado del tanque de almacenamiento.
- Conectar el banco a una fuente eléctrica a 110 voltios.

Funcionamiento en el circuito paralelo en las bombas I y II del banco.

- La válvula 3 se pone en posición cerrada. obstruyendo el paso de fluido al circuito serie.
- Las válvulas 1,2 y 4 se abren permitiendo el paso de fluido a la salida de la tubería de 1 pulgadas.
- Varíe la presión del banco por medio de válvula de compuerta 5 girándola en sentido horario.
- Se toman las medidas de presión para analizar su comportamiento. Mínimo 5 puntos de medida. Esta toma de presión se debe de hacer en el menor tiempo requerido para evitar sobrecargas de presión.
- Se apaga el funcionamiento de las bombas al mismo tiempo.
- Desconecte el banco de bombas centrífugas de la fuente de 110 voltios.
- Retire el fluido del tanque de almacenamiento, ya terminada la práctica.

La información recaudada por el anterior desarrollo de práctica en el banco se debe registrar en las siguientes tablas de análisis.

Obtención de datos

Con la práctica de laboratorio en el banco de bombas centrífugas, el estudiante deberá llenar las casillas de las siguientes tablas de análisis.

Identificar las características de las bombas centrífugas en paralelo

Tabla 1D. **Características de la bomba configurada en paralelo**

Caudal máx.	
Altura máx.	
Potencia	
Eficiencia	
Rpm	
Voltaje	
Altura de succión	
T° Max de fluido	

hallar el caudal en el sistema con cada una de las diferentes presiones propuestas en el manómetro 1, con un volumen constante.

Tabla 2D. **Datos experimentales circuito en paralelo**

Volumen (L)	Presión manómetro 1 (PSI)	Presión manómetro 2 (PSI)	Presión manómetro 3 (PSI)	Tiempo (min)	Q (L/min)
	28				
	29				
	30				
	31				
	32				

A partir de los datos registrados tabla 1, se determinan el cálculo de pérdidas primarias de succión y descarga en el circuito paralelo

Tabla 3D. **Propiedades del agua y diámetros de tubería paralelo.**

Propiedades	Agua (H ₂ O)		
temperatura			
densidad			
viscosidad dinámica			

	Succión	Descarga
diámetros		
Longitud		

Tabla 4D. **Cálculo de pérdida primarias succión y descarga paralelo.**

Perdidas de succión circuito paralelo						
Q (L/min)	Q (m ³ /s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	factor de fricción	pérdida (m)

Perdidas de descarga circuito paralelo						
Q (L/min)	Q (m ³ /s)	diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Reynolds	factor de fricción	pérdida (m)

Se procede a calcular las pérdidas secundarias de succión y descarga en el circuito paralelo

Tabla 5D. **Cálculo pérdida secundarias succión y descarga circuito paralelo.**

Constante de tuberías (ft)	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
	Entrada de succión	1"			
	Codo de 90°	1"			
	Válvula de bola	1"			
	Válvula de cortina	1"			
	Tees	1"			
Total					

Constante de tuberías	Accesorios	medida	Cantidad	K	Total
	Codo de 90°	1"			
	Codo de 45 °	1"			
	Válvula de cortina	1"			
	Tees	1"			
	Válvula bola	1"			
	medidor	1/2"			
	Contracción 1 a 1/2	1" a 1/2".			
	Ampliación de 1/2 a 1	1/2" a 1"			
Total					

Finalmente, realice la sumatoria de perdidas secundarias de succión y descarga del circuito serie y halla la altura de la bomba por medio de la ecuación general de la energía

Tabla 6D. **Sumatoria de pérdidas secundarias succión y descarga circuito paralelo.**

Q (L/min)	Q (m3/s)	Hs	Hd	Hds	Hbomba

Análisis del circuito paralelo.

- Analizar la diferencia de caudal de los sistemas.
- Analizar la diferencia de presiones del sistema según el caudal de salida

E Evidencia de desarrollado del banco pruebas de bombas centrifugas serie y paralelo por medio de registro fotográfico.

Figuras E. *Desarrollo del banco de pruebas*



Figura E.1 *Proceso de pintado y lijado a la estructura*



Figura E.2 Selección de accesorios



Figura E.3 Puesta en marcha del banco



14 Referencias Bibliográficas

- Agila Díaz, F., & Calahorrano Pérez, I. (14 de 06 de 2011). *Universidad Politecnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16348>
- Álvarez Álvarez, C. (2012). Teoría frente a práctica educativa: algunos problemas y propuestas de solución. *Perfiles educativos*, 37, Scielo.
- amBientech*. (s.f.). Obtenido de <https://ambientech.org/fluido>
- Amores-Silva, I., Chávez-Estrada, M., & Miranda-Ramos, M. (2017). *Diseño, implementación y control para un banco*. Guayaquil.
- Cajo Solano, S. A., & Lopez Lopez, L. E. (2012). *Diseño y contrucion de un banco de pruebas* . RIOBAMBA.
- Cubillos Rodriguez, C. G., & Sandoval Galeano, C. F. (2021). *Diseño de banco para pruebas de bombas centrifugas* . BOGOTÁ D.C.
- Equipos y laboratorios de colombia*. (s.f.). Obtenido de <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/definicion-presion-atmosferica>
- Garcia Hernandez, H. A., Rincon, S., & Alberto, J. (2010). *Diseño, contruccion y puesta a prueba de un banco de pruebas*. BUCARAMANGA.
- Garzón Manrique, E. L., & Espejo Ramírez, J. C. (2020). *Universidad Distrital*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/27733>
- Girona, J. (11 de 03 de 2022). *Universidad politecnica de catalunya*. Obtenido de <https://telecos.upc.edu/es/estudios/la-inciativa-cdio#portal-header>
- Gómez, B. M. (2020). *Implementación de un módulo experimental para evaluar el*. Lima.
- Judicial, I. d. (30 de 03 de 2013). *Importancia de la practica en la educacion*. Obtenido de <https://roleplayjuridico.com/importancia-de-la-practica-en-la-educacion/>
- Judicial, I. d. (30 de 03 de 2013). *Importancia de la practica en la educacion*.
- López Rúa, A. M., & Tamayo Alzate, O. E. (2012). Las practicas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 26.

- Lozano Barragan , C. M., & Rodriguez Palmar, R. E. (10 de 06 de 2020). *Universidad Antonio Nariño* . Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2596>
- Lozano Barragán, C. M., & Rodríguez Palmar, R. E. (2020). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de electrobombas conectadas en serie y paralelo*. Riohacha.
- Marchegiani, A. (23 de 03 de 2020). *Bombas Centrifugas*. Obtenido de <https://adnervillarroel.files.wordpress.com/2013/05/bombas.pdf>
- Melo, C. A., & Palacios, R. A. (s.f.). *Diseño y construcción de un banco* .
- mott, R. (s.f.). *Mecanica de Fluidos y Maquinas Hidraulicas* . Mexico D.F.
- naranjo, M. y. (2015). *Automatizacion de la adquisicion de datos en un batos de pruebas* . Chimborazo.
- Organización Panamericana de la salud. (2007). Guia para seleccion Equipos de bombeo para sistema de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. 14-15.
- Pérez, R. V. (s.f.). *Acoplamiento de bombas en serie y paralelo*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21179/3353962.2007.Parte11.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Quintero, Á. M., Rodriguez Diaz, C. A., & Gomez Marin, R. A. (2019). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de bombas* . Barrancabermeja.
- Seguas. (s.f.). *Bloq Seguas*. Obtenido de <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>
- Villareal López, W. J. (10 de 07 de 2008). *Universidad Autonoma de Occidente*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10614/6191>

