



**Diseño y construcción de un banco para la medición de pérdidas por fricción en
tuberías PVC y accesorios**

Jhon Sebastian Gomez Peña

Juan Camilo Avendaño Charry

Código: 20451914522

20451915376

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva - Huila, Colombia

2022

**Diseño y construcción de un banco para la medición de pérdidas por fricción en
tuberías PVC y accesorios**

Jhon Sebastian Gomez Peña
Juan Camilo Avendaño Charry

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

Director (a):
Ingeniera Martha Lucia Solano

Línea de Investigación:
Mecánica de Fluidos

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva - Huila, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____, Cumple con

los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Contenido

Lista de Figuras	3
Lista de tablas	4
Agradecimientos	7
Resumen.....	11
Abstract.....	12
1. Introducción	13
1.1 Objetivos:	16
1.2 Justificación.....	17
2. Revision del estado del arte.....	18
2.1 Antecedentes.....	18
2.2 Marco Teórico	26
3. Diseño.....	32
3.1 Diseño conceptual.....	34
3.1.1 Lluvia de ideas	34
3.2 Diseño de detalle: Diseño del Banco	35
3.2.1 Cálculo del sistema de tuberías	36
3.2.2 Trayectoria 1.....	37
3.2.3 Trayectoria 2.....	46
3.2.4 Trayectoria 3.....	51
3.2.5 Trayectoria 4.....	57
3.2.6 Trayectoria 5.....	63
4. Proceso de construcción del equipo	73
5. Anexos.....	78
5.1 Guías de laboratorio.....	78
5.2 Evaluación e implementación de las guías de laboratorio	85
6. Conclusiones	86
7. Bibliografía	87

1. Lista de Figuras

	Pág.
Figura 3-1: Diagrama de bloques para el cumplimiento de los objetivos	32
Figura 3-2: Sistemas que conformarán el banco	34
Figura 3-3: Plano del banco	36
Figura 3-4: Circuito de la trayectoria 1	37
Figura 3-5: Velocidad de la trayectoria 1	42
Figura 3-6: Circuito trayectoria 2.....	46
Figura 3-7: Velocidad trayectoria 2.....	47
Figura 3-8: Circuito trayectoria 3.....	51
Figura 3-9: Velocidad trayectoria 3.....	53
Figura 3-10: Circuito trayectoria 4.....	57
Figura 3-11: Velocidad trayectoria 4.....	59
Figura 3-12: Circuito trayectoria 5.....	63
Figura 3-13: Velocidad trayectoria 5.....	64
Figura 3-14: Fricción vs Accesorios	72
Figura 4-1: Corte y ensamble de tuberías y accesorios	73
Figura 4-2: Corte y ensamble.....	74
Figura 4-3: Corte y ensamble.....	74
Figura 4-5: Instalación de tuberías sobre tablero de madera HSS con abrazaderas.....	75
Figura 4-6: Instalación de tuberías	75
Figura 4-7: Instalación de tuberías	76
Figura 4-8: Empotramiento de tablero a la pared con conexión eléctrica	76
Figura 4-9: Instalación de electrobomba con tanque de almacenamiento y tuberías.....	77
Figura 4-10: Elementos de medición.....	77
Figura 5-1: Evaluación de las guías de laboratorio	85
Figura 5-2: Evaluación de las guías de laboratorio	85

2. Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Resultados de caracterización del banco	35
Tabla 3-2: Propiedades físicas del agua	38
Tabla 3-3: Rugosidad absoluta de materiales	41
Tabla 3-4: Pérdidas por fricción de la Trayectoria 1	42
Tabla 3-5: Coeficiente de resistencia K	43
Tabla 3-6: Pérdidas por fricción de la Trayectoria 2	47
Tabla 3-7: Pérdidas por fricción en trayectoria 3.....	53
Tabla 3-8: Pérdidas por fricción trayectoria 4.....	58
Tabla 3-9: Pérdidas por accesorios trayectoria 5.....	64
Tabla 3-10: Pérdidas energéticas totales	72

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi madre Yolanda Peña Bravo y a mi padre Jhon Freim Gomez Robles quienes han sido el motor de mi vida y la fuente de inspiración para salir adelante en cada aspecto de mi vida y en especial en esta etapa académica, dejándome la mejor herencia que es la educación lo cual me permitirá emprender una nueva etapa laboral y profesional en mi vida.

Jhon Sebastian Gomez Peña

3. Agradecimientos

A través de este proyecto de grado agradecemos a todos los docentes de la Universidad Antonio Nariño quienes han sido parte de este proceso académico los cuales nos han transmitido y aportado todos los conocimientos posibles para contribuir a nuestra formación personal y profesional.

Agradecemos a nuestra tutora la Ingeniera Martha Lucia Solano quien nos brindó su tiempo y fue nuestra guía e hizo posible llevar a cabo este proyecto, permitiéndonos cumplir nuestro objetivo.

También expresamos nuestra gratitud a todos los compañeros que hicieron parte de este proceso de nuestras vidas ya que logramos compartir nuestros conocimientos ayudándonos mutuamente a salir adelante en nuestro pregrado de Ingeniería Mecánica.

4. Resumen

El presente proyecto tiene como propósito proporcionar al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Antonio Nariño un banco de pruebas para medir las pérdidas por fricción en las tuberías PVC y demás accesorios que sea de utilidad para el aprendizaje práctico de los estudiantes. Se llevó a cabo mediante una metodología grupal de lluvia de ideas, integrada por el docente y estudiantes encargados de este proyecto, donde se realizó la caracterización y selección de distintas variables de diseño. También se realizó una búsqueda bibliográfica obteniendo un aporte significativo en cuanto al diseño y la construcción de este teniendo en cuenta cada una de las recomendaciones sugeridas para llevar a cabo una correcta elaboración y funcionalidad del equipo. Para el diseño de este, se implementó el software SolidWorks y para los cálculos de las pérdidas energéticas se empleó la herramienta Excel por cada Trayectoria de tubería para facilitar la obtención de estos. Sin embargo se realizó también de manera manual el cálculo de las pérdidas energéticas por accesorios, ilustrando al lector las ecuaciones utilizadas.

PALABRAS CLAVE: pérdidas por fricción, tuberías y accesorios, hidráulica, banco de medición.

5. Abstract

The purpose of this project is to provide the Antonio Nariño University Hydraulics Laboratory with a test bench to measure friction losses in PVC pipes and other accessories that is useful for students' practical learning. It was carried out through a group brainstorming methodology, made up of the teacher and students in charge of this project, where the characterization and selection of different design variables was carried out. A bibliographic search was also carried out, obtaining a significant contribution in terms of its design and construction, taking into account each of the suggested recommendations to carry out a correct elaboration and functionality of the equipment.

For the design of this, the SolidWorks software was implemented and for the calculations of the energy losses, the Excel tool was used for each Pipe Trajectory to facilitate obtaining them. However, the calculation of energy losses by accessories was also carried out manually, illustrating the equations used for the reader.

KEY WORDS: friction losses, pipes and accessories, hydraulics, measurement bench.

1. Introducción

En el ámbito ingenieril es de vital importancia la implementación de equipos prácticos de medición, que garanticen un alto nivel de exactitud y precisión al momento de enfrentarse a algún fenómeno físico. El banco de pruebas para fluidos es un claro ejemplo de un equipo necesario para la formación teórico-práctica del ingeniero mecánico, ya que este equipo permite determinar las pérdidas de energía del fluido en las tuberías por la fricción y demás accesorios que componen el sistema, identificando con exactitud cuánta carga y flujo volumétrico se está perdiendo en el sistema. Por ende, permite buscar diferentes alternativas o soluciones, las cuales son replantear los parámetros de diseño con el fin de que puedan contrarrestar este fenómeno presente en la mecánica de los fluidos.

Existen diferentes tipos de bancos de pruebas para el aprendizaje de este campo hidráulico como lo son “banco de pruebas tubo Venturi”, “Banco de prueba automático para bombas hidráulicas”, “Banco de pruebas para bombas hidráulicas de alto caudal y presión”, “Banco de pruebas para bombas hidráulicas de desplazamiento positivo”, entre otros.

Para este caso en particular la construcción del banco de pruebas depende de distintos parámetros de diseño que serán definidos mediante una metodología de fases, en la cual se implementará el método de lluvia de ideas donde se aceptarán las sugerencias que proporcionen los integrantes del grupo, como lo son el tipo de material de las tuberías y longitud de tramo de estas, tipo de bomba centrífuga, accesorios (Válvulas – Codos-Uniones, entre otros). Estos factores son esenciales al momento de diseñar este tipo de banco porque se determina el caudal máximo en el que puede operar el sistema, los diámetros internos y externos de las tuberías, la velocidad del fluido, área, espesor, viscosidad del fluido, rugosidad, presiones y selección del tipo de bomba que se requiere

para su respectiva operación. Bajo estos parámetros se busca llevar a cabo el diseño y manufactura del banco de pruebas en los que se aplicarán específicamente conceptos físicos del diseño mecánico, mecánica de fluidos, tecnología de materiales y máquinas hidráulicas.

El montaje de este equipo se realizó con fines educativos, la instalación contiene variedad de elementos comunes y comerciales que se asimilan a los sistemas de manipulación de fluidos en la industria, como lo son las tuberías en material PVC, uniones tipo T, válvulas de bola (PVC), tanque de 250 litros, manguera o dispensador de agua, abrazaderas plásticas, entre otros.

En la actualidad la Universidad Antonio Nariño sede Neiva Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica carece de este equipo que dificulta el aprendizaje práctico en temas hidráulicos; como consecuencia él ingeniero en formación no desarrolla habilidades y destrezas que le permitan enfrentar retos en el campo laboral.

Como antecedentes a nivel nacional se tiene de referente los aportes realizados por (JONATHAN ANDRÉS GÓMEZ COPETE, JAIME ALEBERTO RESTREPO VALENCIA & CRISTIAN RIOS AGUDELO, 2016). Donde implementaron una metodología que está dividida en dos fases: la primera consiste en plasmar el diseño y compra de los componentes requeridos con su respectivo montaje, en la segunda, se validó y rectificó fugas con el sistema en operación asegurando un correcto funcionamiento, adicional a esto se elaboraron guías de laboratorio. Para el diseño y respectivo montaje, se utilizó un análisis previo aplicando conceptos de la mecánica de fluidos en donde principalmente se estudió los cambios de presión con sus respectivas pérdidas haciendo circular el fluido por un circuito de tuberías de material PVC de cuatro tramos, con diferentes longitudes, diámetros, entre otros cambios de sección y distintos accesorios como lo son las válvulas.

A nivel internacional se tendrá en cuenta los estudios realizados por (RAFAEL GREGORIO POMA SOLANO, 2015, Lima -Perú) donde se realizó el diseño y manufactura del banco como consecuente a la necesidad de este equipo en el laboratorio de su facultad de Ingeniería, empleando materiales comerciales como lo son tuberías de PVC lisas, válvulas esféricas, válvulas de asiento inclinado, tubo de Venturi, filtro de anillos, y accesorios de conexión como reducciones, tees, codos de 90° y 45°. También se determinó el comportamiento de válvulas hidráulicas reguladoras de presión (reductora y sostenedora de presión) logrando el correcto funcionamiento e implementación del banco; La metodología implementada está determinada por dos fases: de laboratorio y de gabinete. La primera se tuvo en cuenta las características de los componentes, materiales y el rango de operación del equipo; La segunda, consiste en la distribución y armado de los distintos componentes del banco.

5.1 Objetivos:

Objetivo general

Diseñar y construir un banco de pruebas para calcular las pérdidas por fricción en tuberías PVC y accesorios, para el laboratorio de hidráulica en la Universidad Antonio Nariño sede Buganviles en Neiva.

Objetivos específicos

- Caracterizar el banco por el método de lluvia de ideas donde un grupo integrado por docentes y alumnos sugerirán las variables para el diseño del banco de pérdidas por fricción en tuberías PVC y accesorios.
- Diseñar y construir el banco de pérdidas por fricción en tuberías PVC y accesorios que esté acoplado a un sistema bypass para la implementación de las funciones y características.
- Evaluar por medio de prácticas el funcionamiento del banco de pérdidas por fricción en tuberías PVC y accesorios mediante la elaboración de guías de laboratorio.

5.2 Justificación

En los laboratorios de Hidráulica del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño actualmente no se realizan prácticas de pérdidas por fricción en tuberías PVC y accesorios, esto hace que se pierda una mirada más profunda a la hidráulica y se presente un vacío en la formación integral del futuro profesional.

Según lo anterior, se realiza este proyecto en busca de una mejora al laboratorio de hidráulica con el fin de poner en práctica los conocimientos teóricos aprendidos y de esta manera se evita que el Ingeniero en formación afronte sin experiencia en este campo de manipulación de fluidos (pérdidas por fricción en tuberías PVC y accesorios) en algún momento de la vida profesional y/o laboral.

Además, con la implementación de este banco de pérdidas por fricción en tuberías en PVC y accesorios, los docentes podrán obtener una herramienta con la cual van a reforzar y verificar los datos y conceptos teóricos impartidos en clase.

6. Revision del estado del arte

7.1 Antecedentes

Como referente de antecedentes para este trabajo se tendrá en cuenta los aportes realizados por (Mauricio Bracco, 2016), Presenta el diseño de un banco de pruebas en donde tienen en cuenta el estudio de varios tipos de materiales y accesorios más apropiados según su disponibilidad en el mercado, donde se llegó a la decisión de utilizar tuberías de material polipropileno marca Hidro 3 de aluminio que comúnmente se utilizan en instalaciones de calefacción; Este material presenta propiedades de rigidez lo cual evita que se presenten deformaciones en la cañería, por lo que se brindan antecedentes para obtener ideas e información para tener en cuenta en la selección de materiales que tendrá el banco. Se utiliza una metodología de lluvia de ideas entre los representantes de las cátedras involucradas y el estudiante encargado de realizar dicho proyecto donde definen los lineamientos y requerimientos del banco. Investigaron distintos formatos en internet para comparar distintos bancos de ensayos que se encontraban en demás establecimientos, por lo que trataron de construir un banco que pudiera integrar diversos aspectos para poder obtener todos los beneficios y alternativas. También de este trabajo se pueden tomar los aportes realizados en las guías de laboratorio ya que el banco tiene como finalidad ser implementado con fines académicos en donde dichas guías presentan tablas y planillas proporcionando la información de coeficientes de fricción para distintos materiales para las fórmulas de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams, especificaciones de la cañería utilizada, entre otros, lo cual facilita el entendimiento y la práctica en los estudiantes.

En los aportes realizados por (ALEXIS JESUS HIDALGO CRUZ, DARIO FERNANDO MORALES JARAMILLO, QUITO,2019) utilizaron una metodología de fases para la

construcción de un banco de pérdidas de carga por fricción en tuberías y accesorios, estas fases están constituidas de la siguiente manera, diseño y construcción, realización de pruebas de ensayo y elaboración de guías de laboratorio debido que el banco será implementado con fines académicos. Para el diseño realizaron una selección de elementos en donde las tuberías están compuestas por diferente material, cada tramo de las tuberías a su vez tendrá distintos diámetros y longitudes con una combinación en serie y en paralelo. Las pérdidas se midieron a través de lecturas de carga hidráulica en tubos piezométricos, a su vez mediante la utilización de manómetros. Realizaron siete trayectorias independientes para este banco, cada trayectoria estará destinada para cada tipo de tubería en la cuestión del material de dicha tubería; Los acoples de esta son de sencilla conexión lo cual facilitó el traslado de los manómetros, piezómetros en cada punto de medición. Se seleccionan finalmente tuberías en PVC de 1" y de ½", tuberías de cobre de ½" y tubería de hierro galvanizado de ½"; Cabe resaltar que también se seleccionaron accesorios tales como codo recto a 90° de PVC roscable de ½", YEE de PVC roscable de ½" entre otros. Seguido de esto la bomba centrífuga la acoplaron a un tanque de almacenamiento para succión que suministre el agua a las tuberías, por ende, se realiza los cálculos para la selección de la bomba y los puntos de operación de esta en cada tramo de la tubería. Sin embargo, cabe resaltar que para la operación del banco se utilizó el agua como fluido a una temperatura de 15°C. Para lograr un buen diseño y funcionamiento del banco acuden al método de Hardy-Cross para el análisis de las redes de distribución de agua lo cual es un buen aporte a tener en cuenta en el presente trabajo de grado. Otros aportes de suma importancia a tener en cuenta es que para lograr un buen diseño se debe pedir las especificaciones técnicas de cada accesorio al fabricante y para la selección de la bomba se recomienda otorgarle un factor de seguridad para que esta no trabaje al límite y así evitar su daño.

Con el fin de contribuir al desarrollo de habilidades prácticas en la facultad de ingeniería en la ciudad de Quito (Ecuador) YAMBOMBO GUANUTAXI Y JAVIER GUSTAVO, 2012, lleva a cabo el diseño de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga, en donde se determina experimentalmente el coeficiente de fricción para las diferentes tuberías y el coeficiente de resistencia para los diferentes accesorios y válvulas; En donde el coeficiente de fricción depende mucho del material de la tubería y el estado en el que se encuentre y el coeficiente de resistencia dependerá del caudal en el que se esté operando. El trabajo anterior tiene un aporte significativo en cuanto a los métodos de cálculo en donde se determina la potencia de la bomba para la circulación del agua, métodos como el diagrama de Moody serán de gran utilidad para obtener con mayor exactitud el valor del coeficiente de fricción mencionado anteriormente debido que de este depende el resultado del cálculo manual de dicho coeficiente. Otro aporte a tener en cuenta es la correcta operación del equipo en cuanto a abrir o cerrar válvulas porque gracias a esto garantiza el buen funcionamiento del banco y de los ensayos.

En busca de mejorar el laboratorio de hidráulica de la facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes (Bogotá-Colombia) 2010, Luis Guillermo Velásquez Rueda realiza el diseño de un banco de pruebas para la medición de pérdidas por fricción en tuberías fluyendo a presión donde toma de punto de partida un banco de pruebas dinámicas que se encontraba en el laboratorio de hidráulica de la facultad de ingeniería, utilizando este banco como fuente de agua acoplándolo al nuevo modelo, en el que previamente estudio el funcionamiento del banco de pruebas dinámicas. Para los cálculos hidráulicos del nuevo banco, emplea caudales de bombeo entre 0.2 L/s y 9 L/s con el fin de garantizar un amplio número de Reynolds donde estén presentes los tres tipos de regímenes de flujo en las tuberías, es decir flujo laminar, turbulento y en transición. Este estudio puede ser útil debido que aporta datos importantes en cuanto a el diseño, donde exponen los

resultados de operación del banco, en el cual se recomienda utilizar caudales bajos para analizar el comportamiento del fluido en la zona de régimen laminar y de esta manera obtener el diagrama de Moody completo para los tres regímenes de flujo dado el caso de que existan en el trabajo de grado que se desarrollará. Otro aporte relevante a tener en cuenta es que las caídas de presión en las tuberías están en función del diámetro que tenga esta, según el caudal máximo que se pueda operar por cada tramo o tubo y la relación de rugosidad relativa que se tenga. A demás antes de operar el banco se debe purgar las tuberías con el fin de sacar el aire atrapado en las cañerías para así evitar daños.

Dentro del estudio realizado por JAIME ROLANDO CALDERÓN CÓRDOVA, Quito, 2011, en el diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios, se realizaron simulaciones en el software Pipflow Expert en donde se analizan y se resuelven los problemas de pérdidas de energía en tuberías y accesorios una vez realizado el diseño y cálculos manuales, en donde se observó una desventaja en el banco de pruebas la cual es que si se utiliza un caudal por debajo de $1.1 \text{ m}^3/\text{h}$, no se podrá observar el diferencial de presión. Esto debido a que las presiones generadas por los caudales son tan bajas que en los manómetros no se puede apreciar o distinguir. Del proyecto mencionado anteriormente tiene un gran aporte en cuanto a la utilización de herramientas externas como un software para corroborar los cálculos hechos manualmente para así lograr tener una mayor exactitud en cuanto se esté realizando el diseño.

Con el fin de mejorar el aprendizaje teórico-práctico en los estudiantes de la facultad de ciencias naturales e ingeniería en las Unidades Tecnológicas de Santander (MIGUEL ALBERTO CERRA LIZARAZO y JHONATAN SILVA RUEDA, 2019) realizan el diseño de un banco de pruebas, a través de dibujo asistido por computadora, específicamente en el software SolidWorks para el análisis de pérdidas por carga en tuberías y accesorios, donde posteriormente determinan los

parámetros que intervienen en el diseño, esto a través de modelos ecuaciones que intervienen en temas hidráulicos con el fin de obtener los resultados de pérdidas por carga en las tuberías y demás accesorios. Seguido de esto realizan los trazados de los circuitos de las tuberías en el software mencionado anteriormente donde definen diámetros de tuberías, cantidad de accesorios, ubicación, posición, etc. Adicionalmente ejecutan el diseño de un soporte para el banco de pruebas utilizando mediante la misma metodología de dibujo asistido por computadora. De esta investigación podemos tomar como referencia las recomendaciones realizadas por los autores donde exponen que para lograr una mayor variedad de actividad en clase se sugiere la variación de apertura de las válvulas de paso del fluido que se encuentren en los extremos de las líneas o tuberías, esto para que el estudiante obtenga herramientas para ejecutar montajes de acuerdo a la necesidad de estudio y también que conozca detalladamente el comportamiento del sistema, es decir la funcionalidad de cada componente, tiempos de operación y por ende fortalezca sus conocimientos.

En la investigación realizada por (Juan José Cano Solórzano, Bogotá, 2019) donde realiza la optimización de un banco de pruebas para la caracterización de pérdidas de presión en válvulas comerciales, específicamente en válvulas de 2" validando su respectivo montaje donde se evidencia una mejora en la exactitud y precisión del banco gracias a que se caracterizó la válvula de compuerta tipo pegler donde se logró la disminución en el error KL, es decir en el cálculo de las curvas de coeficiente de pérdidas K contra fracción de apertura. El trabajo anterior tiene un aporte significativo en cuanto al estudio de las válvulas ya que en la literatura existe diversidad de información detallada sobre su comportamiento su coeficiente de pérdidas, lo cual facilitará la toma de decisiones y criterios de selección en cuanto se esté realizando el respectivo diseño del banco. También aporta realizar una mayor experimentación en el rango de apertura de válvulas

donde sugiere que sea del 1% al 15% con el fin de tener mayor claridad si se llega a presentar una inconsistencia en el valor de la presión, dado el caso que el fluido se encuentre sea de tipo flujo de transición.

En (CARLOS HUMBERTO ALVARADO ROJAS, SERGIO ANDRÉS ESPINOSA MORA, Bogotá, 2020) trabajo realizado por colegas de la universidad en otra sede, donde su objetivo principal era muy parecido al nuestro “Diseñar y Simular un banco para la medición de pérdidas por fricción en PVC y acero inoxidable”. Sus resultados basados en la utilización comercial PVC y acero inoxidable en diámetros de $\frac{1}{2}$ ”, $\frac{3}{4}$ ”, 1” y con una bomba de uso doméstico de 1/2 HP. Concluyeron que al utilizar la bomba periférica les entrega mayor presión, pero menor caudal. Si se utiliza centrífuga proporciona mayor caudal y menor presión. Esto es un aporte significativo al momento de selección de la bomba, sin embargo, les faltó implementar transductores de presión o caudal para detectar cambios en el comportamiento del fluido.

En la revisión bibliográfica revisada también se hace énfasis en una tesis que aparte de tratar sobre temas relacionadas con el banco, también abarcan el tema de la estructura donde se podría montar dicho banco, específicamente en (OMAR RAMÍREZ MONTOYA, Bogotá, 2017) donde simulan una estructura para el banco en ETABS utilizan como material el acero SA-36 con tubería de $40mm * 40mm * 1.5mm$ y obteniendo sus cálculos estructurales donde fue montado el banco hidráulico, el material utilizado para el banco hidráulico fue CPVC (policloruro de vinilo clorado) obteniendo resultados con variación de temperatura del fluido incluida concluyendo que al incrementar la temperatura, la pérdida comienza a disminuir por el cambio en las propiedades mecánicas del fluido (agua). Según esta información nos proporciona una mejor comprensión acerca de las propiedades del CPVC que funciona mejor cuando implica altas temperaturas a

comparación del PVC. Además, el banco hidráulico no contiene lecturas digitales si no análogas, perdiendo precisión en sus resultados.

En la tesis de grado (OSCAR JAVIER HERRERA CASTILLO, JUAN CARLOS CASTRO PACHECO, Barrancabermeja, 2020) se identifica que utilizan en su diseño del banco de pruebas hidráulico para calcular las pérdidas de carga en tuberías y accesorios instrumentos como: indicadores de presión, medidores de flujo (K24), accesorios como válvulas de apertura y cierre además de codos, tees, etc. Además de utilizar simuladores como SolidWorks y la versión DEMO del software Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (Labview) con el fin de comparar los datos simulados con los de la operación (datos reales) concluyendo que las pérdidas de presión aumentan cuando se reduce el diámetro de la tubería de igualmente el caudal disminuye. Sin embargo, se recomiendan utilizar otros tipos de fluidos con diferentes propiedades físicas como viscosidad y densidad, este es un aporte a tener en cuenta para este proyecto.

Según los resultados obtenidos en la investigación realizada por (JORGE LUIS BARRETO RIVERA HENRY, ALEXANDER BARRAGÁN, JOSÉ LUIS TRUJILLO VARGAS, Bogotá, 2008) se concluyó que a mayor caudal son mayores las pérdidas, sin embargo, se recomienda la utilización de un rotámetro de flujo para mejorar la precisión de los cálculos.

En el trabajo de grado (JORGE ANDRÉS PARRA DURÁN, LUIS GABRIEL VELASCO MARÍN, Santiago de Cali, 2017) donde establecieron según sus resultados un rango de velocidades de $2m/s$ a $5m/s$, utilizando accesorios como codos, tees, uniones universales y diferentes válvulas (cortina, globo, retención, bola) implementando parámetros constantes como la densidad, la rugosidad, la gravedad, la viscosidad dinámica y los diámetros de la tubería y accesorios ($1/2''$ y $1''$). Mediante los cálculos establecieron parámetros variables como la presión

y la velocidad del fluido, donde utilizaron instrumentos de medición digitales como sensor de presión con un rango de 0 a 300psi lo cual es un aporte significativo en cuanto se esté realizando la lluvia de ideas para la selección de elementos y demás variables.

En cuanto a las especificaciones o prestaciones que debe cumplir la electrobomba se puede observar en el estudio realizado por (ANDRÉS PRADA RUEDA, KEVIN A. SOCARRÁZ RICO, Santa Marta, 2020) donde utilizaron una electrobomba centrífuga de 2HP para hacer circular el fluido por la tubería de material PVC, tubo galvanizado y manguera, en distintos diámetros (1/2", 3/4" y 1") implementando instrumentos de medición analógicos y determinaron según sus resultados que al comparar las curvas experimentales de la electrobomba con la suministrada por el distribuidor su capacidad de caudal no llego al máximo. Además, se recomienda variar los tipos de tuberías en cuestión de material, pero, no las dimensiones y aumentar la longitud de medida y utilizar instrumentos de medición digitales para hacer que sea más precisa la medición acercándose al valor real, lo cual son aportes relevantes a tener en cuenta.

Cuando se evidencian los resultados de las pérdidas de energía en los accesorios, se muestra que en los accesorios los resultados difieren entre un 15% y 88% en comparación de las pérdidas de carga por fricción que difieren entre un 3% y 6%, esto según los resultados obtenidos por la investigación de (EDUAR ASTO CONTRERAS, ARTURO PEREDA CALDERON, Trujillo-Perú, 2018) en cuanto a su coeficiente de resistencia "K" en los accesorios no los tomaron constantes puesto que dependen del tipo de accesorio, la geometría utilizada y el caudal que circula por la tubería. Una buena recomendación para considerar es la de solicitar al distribuidor o fabricante toda la información como la del coeficiente de resistencia "K".

2.2 Marco Teórico

Definición de Fluido

Es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia adopta la forma del recipiente que lo contiene” (Chow, 1994).

Propiedades físicas de los fluidos y factores influyentes

Viscosidad

Se denomina viscosidad a la propiedad de los líquidos de oponer resistencia a las fuerzas tangenciales, que tratan de desplazar unas partículas con respecto a otras, es decir, es la propiedad del líquido a oponerse a las fuerzas que provocan el movimiento relativo de sus partículas o al desplazamiento o resbalamiento de sus capas. (R.L. Moot, “Mecánica de fluidos”, 2015).

Tipos de viscosidad

Existen dos tipos de viscosidad presentes en los fluidos, las cuales son:

- **Viscosidad absoluta o dinámica:** La viscosidad absoluta o dinámica de un fluido, es un coeficiente que mide su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo ($Pa \cdot s$) o también newton segundo por metro cuadrado ($N \cdot s/m^2$), o sea kilogramo por metro segundo ($kg/m \cdot s$). (CRANE, 1989)
- **Viscosidad cinemática:** Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m^2/s). (CRANE,1989)

Densidad

Es una característica de la masa de un sistema de flujo y se define como masa por unidad de volumen. La densidad se designa por la letra griega (ρ). El valor de densidad puede variar ampliamente según sea el fluido que se esté analizando, pero para un mismo fluido las variaciones de presión y temperatura tienen, generalmente, un efecto pequeño en el valor de (ρ) (Mott, 2006).

Densidad relativa: Expresa la relación entre el peso específico de un líquido dado con el peso específico del agua a una temperatura estándar de referencia. Por lo regular viene siendo dada por el símbolo (δ). (Mecánica de fluidos, M.Sc. Héctor Cochise Terán Herrera; MSc. Guido Rafael Torres Muñoz; M.Sc. Oscar Bladimir Arteaga López y M.Sc. Wilson Edmundo Sánchez Ocaña, 2018).

Caudal: Es la cantidad de flujo que circula en una unidad de tiempo, este es medido en volumen.

Presión: La presión es la magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie ($p = F/A$), siendo su unidad en el Sistema Internacional el Pascal (N/m^2) (Cengel, 2006).

Tipos de presión

Presión atmosférica: Es el valor normal de la presión que ejerce la atmósfera, al nivel del mar sobre todos los objetos inmersos en ella, se mide a través de un instrumento denominado barómetro. (Cengel, 2006).

Presión absoluta: Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absolutos, la cual es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas, lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña.

(Mecánica de fluidos, M.Sc. Héctor Cochise Terán Herrera; MSc. Guido Rafael Torres Muñoz; M.Sc. Oscar Bladimir Arteaga López y M.Sc. Wilson Edmundo Sánchez Ocaña, 2018).

Presión manométrica: La presión manométrica es normalmente una presión superior a la atmosférica, que se miden por medio de un manómetro que marca la diferencia entre la presión desconocida y la presión atmosférica. (Mecánica de fluidos, M.Sc. Héctor Cochise Terán Herrera; MSc. Guido Rafael Torres Muñoz; M.Sc. Oscar Bladimir Arteaga López y M.Sc. Wilson Edmundo Sánchez Ocaña, 2018).

Ecuaciones para emplear

Ecuación de Darcy para la pérdida de energía: Esta ecuación se emplea para el cálculo de pérdidas de energía por fricción en secciones rectas y largas de tuberías redondas. (R.L. Moot, “Mecánica de fluidos”, 2015).

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h_f = Pérdida de energía debida a la fricción

L = longitud de la corriente de flujo

D =diámetro de la tubería

v =velocidad de flujo promedio

f =factor de fricción (adimensional)

Número de Reynolds - secciones circulares: En la dinámica de los fluidos, estos tienen un comportamiento que puede ser laminar o turbulento, resulta bastante complejo clasificar a simple vista un fluido, puesto que estos fluyen en tuberías que suelen ser muy opacas internamente y poco visibles. Gracias a esta ecuación se puede predecir si el fluido es laminar o turbulento. (R. Moot, “Mecánica de fluidos”, 2015).

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu}$$

Donde:

N_R = número de Reynolds

v = velocidad de flujo

D =diámetro de la tubería

ρ =densidad

ν =viscosidad cinemática

η = viscosidad del fluido o dinámica

Una vez se obtiene el resultado utilizando la ecuación anterior se define si el fluido es laminar o turbulento, si el resultado de $N_R < 2000$, el flujo es laminar y si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento.

A demás de esto, al realizar este cálculo también facilitará conocer el factor de fricción (f) con el que se debe trabajar.

Flujo laminar: Mientras el agua fluye desde un grifo a una velocidad muy baja, el flujo parece ser suave y constante. La corriente tiene un diámetro bastante uniforme y hay poca o ninguna evidencia de la mezcla entre las diversas partes de la corriente. A esto se le llama flujo laminar. (MOTT & UNTENER, 2015, pág. 179).

Flujo turbulento: “Cuando el grifo está abierto casi en su totalidad, el agua tiene una velocidad bastante alta. Entonces los elementos del fluido parecen estar mezclándose caóticamente dentro de la corriente. Ésta es una descripción general del flujo turbulento” (MOTT & UNTENER, 2015, pág. 179).

Factor de fricción: Para obtener las pérdidas de energía por fricción en una tubería, es necesario identificar si es un flujo laminar o turbulento, esto se identifica una vez se haya utilizado la ecuación anterior (Número de Reynolds). Teniendo claridad de esto y conociendo el resultado de N_R se aplicará una ecuación distinta dependiendo el caso.

Factor de fricción para flujo laminar: (R. Moot, “Mecánica de fluidos”, 2015).

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

Donde

f = factor de fricción

N_R = número de Reynolds

Factor de fricción para flujo turbulento: (R. Moot, “Mecánica de fluidos”, 2015).

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

Donde

f = factor de fricción

N_R = número de Reynolds

D = diámetro tubería

ε = rugosidad

Coefficiente de resistencia: Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido conforme pasa por un codo o por una válvula, con la siguiente ecuación se obtiene el coeficiente de resistencia. (R. Moot, “Mecánica de fluidos”, 2015).

$$h_l = K \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h_L =pérdida menor

K =coeficiente de resistencia

v =velocidad promedio del flujo

g =gravedad

Ecuación general de la energía: (R. Moot, “Mecánica de fluidos”, 2015).

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

h_a : energía agregada al fluido o energía total.

h_L : pérdida de energía

γ : peso específico.

p : presión.

v : velocidad.

g : gravedad.

z_2 : Altura estática de descarga

z_1 : Altura estática de succión

Elementos del banco

- **Tubería:** Tubos en PVC de diferentes diámetros y longitudes, estos serán ubicados en combinaciones serie y paralelo.
- **Válvulas:** Su función es permitir o negar el flujo del líquido en diferentes tramos y en ocasiones también puede emplearse para regular el caudal. En este caso las válvulas a emplear serán válvulas de mariposa y válvulas de bola.
- **Bomba:** Proporciona la energía necesaria para que el líquido circule por la instalación.

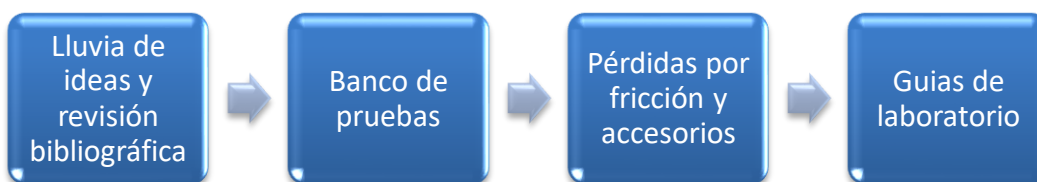
- **Depósito o tanque:** Al funcionar la instalación con un circuito cerrado, la bomba debe aspirar el fluido de un depósito o tanque, luego de hacer el recorrido por todo el sistema debe volver al depósito o tanque.
- **Accesorios:** Las pérdidas no solo se presentan en la tubería, también se evidenciarán pérdidas en los accesorios que van conectados a la tubería. Los elementos necesarios a los que debe llevar el sistema son: válvulas, codos de 90°, uniones, uniones tipo “T”, etc.
- **Manómetro:** Este es un elemento de medición que permite conocer el valor de las presiones y la pérdida de carga entre dos puntos del sistema.
- **BY PASS:** Es un tipo de conexión donde la tubería está entre la parte de aspiración y la de descarga de un grupo elevador de presión para bypass de agua cuando las bombas no están en funcionamiento.

3. Diseño

Para cumplir con los objetivos planteados inicialmente, se elaboró un diagrama de bloques como se muestra en la figura 1, donde se indica el punto de partida y donde se pretende llegar al momento de diseñar el banco.

Figura 3-1

Diagrama de bloques para el cumplimiento de los objetivos



Nota: fuente propia

Teniendo en cuenta el diagrama de bloques planteado anteriormente donde se evidencian los parámetros a seguir, se plantearon y definieron cada una de las variables y sistemas que conformaría el banco como se observa en la figura 2-2, siguiente de esto se definen las funciones de cada una de las variables del banco.

- **Sistema de almacenamiento:** Este sistema tiene como función recibir y almacenar el fluido que, en este caso será agua.
- **Sistema de bombeo:** Este sistema es aquel que hace posible la circulación del fluido en diferentes tramos de las tuberías, específicamente este dado por una electrobomba, lo que permite que exista un caudal y una presión en dichas tuberías.
- **Sistema de Tuberías:** Sistema encargado de servir como medio para que el fluido (agua) pueda circular libremente en diferentes tramos.
- **Bypass:** Es un tipo de conexión donde la tubería está entre la parte de aspiración y la de descarga o simplemente realiza el cambio de trayectoria o desvío del fluido.
- **Válvulas y accesorios:** Control manual que permite el paso del flujo o viceversa mente impide el paso de este. Para el caso de los accesorios, tendrán como función ser puntos de conexión para las tuberías, de esta manera lograr el paso del caudal.
- **Equipos de medición:** Es el responsable de medir los caudales y las presiones ejercidas en el banco, lo cual permitirá la toma de datos y resultados.

Figura 3-2*Sistemas que conformarán el banco**Nota:* fuente propia

3.1 Diseño conceptual

A partir de la explicación y definición de cada uno de los sistemas y variables que conformarán el banco de pruebas para medir pérdidas por fricción, se ejecutaron algunos métodos y técnicas para obtener las mejores alternativas y viabilidad para cada uno de estos sistemas.

3.1.1 Lluvia de ideas

Se empleó el método de “lluvia de ideas” para definir las mejores alternativas para cada uno de los sistemas. Para llevar a cabo este proceso, cada integrante del proyecto propuso ideas respecto a cada uno de los sistemas, teniendo en cuenta el presupuesto económico con el que se contará, siendo estas ideas avaladas por el asesor del proyecto.

En la tabla 1 se evidenciarán las ideas propuestas para cada sistema del banco.

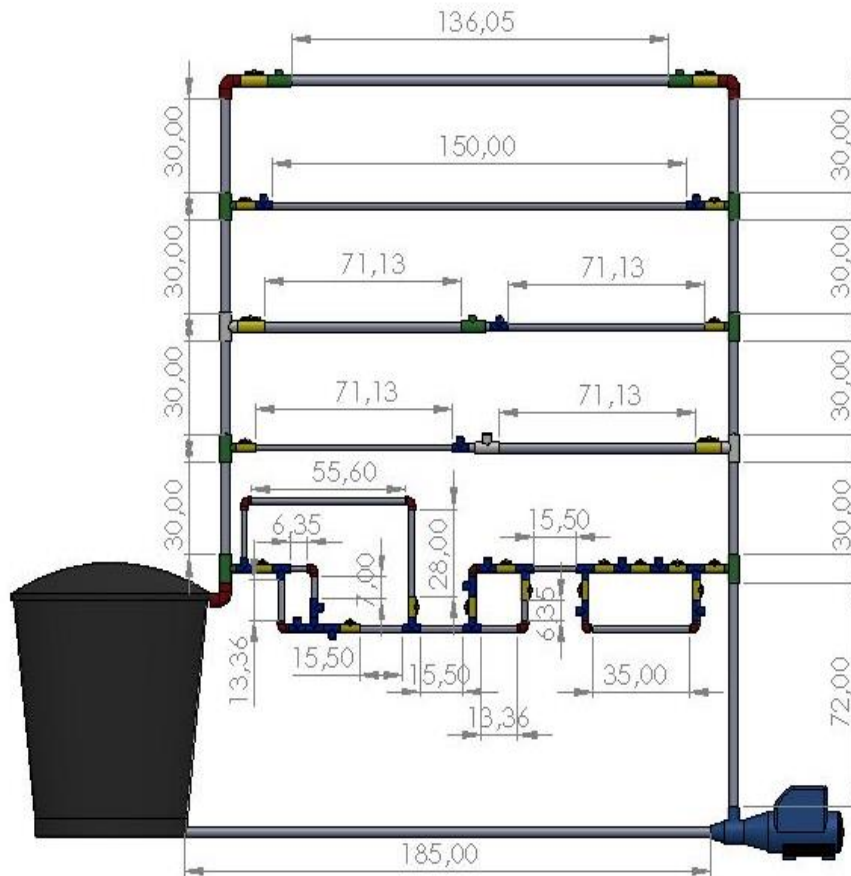
Tabla 3-1

Resultados de caracterización del banco

LLUVIA DE IDEAS DE LOS SISTEMAS QUE CONFORMAN EL BANCO				
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	SISTEMA DE BOMBEO	SISTEMA DE TUBERIAS	VÁLVULAS Y ACCESORIOS	EQUIPOS DE MEDICIÓN
Tanque cónico 250 LTS TOPTEC	Electrobomba periférica 1/2 HP	Tubo 1/2X6m presión 13.5-315 (psi)	Tee reducida PVC 1X1/2 presión	Manómetro de glicerina 0-60 (psi)
		Tubo 1x6 presión 21-200 (psi)	Codo 90° 1 presión	
		Buje soldado 1X1/2 presión	Codo 90° 1/2 presión	
		Soldadura PVC 1/16GI 236 ml	Tee 1 presión	
		Teflón 3/4X10M premium	Tee 1/2 presión	
			Válvula bola PVC 1/2" lisa soldable	
			Válvula bola PVC 1" lisa soldable	
			Válvula compuerta 1/2"	

3.2 Diseño de detalle: Diseño del Banco

En el presente capítulo se realizó el diseño de los diferentes sistemas y demás componentes del banco de acuerdo con la figura 3-2. A continuación se muestra el diseño propuesto con sus respectivos sistemas y demás accesorios presentes en cada trayectoria de las tuberías, para dicho diseño se implementó el software SolidWorks para llevarlo a cabo.

Figura 3-3*Plano del banco*

Nota: fuente propia

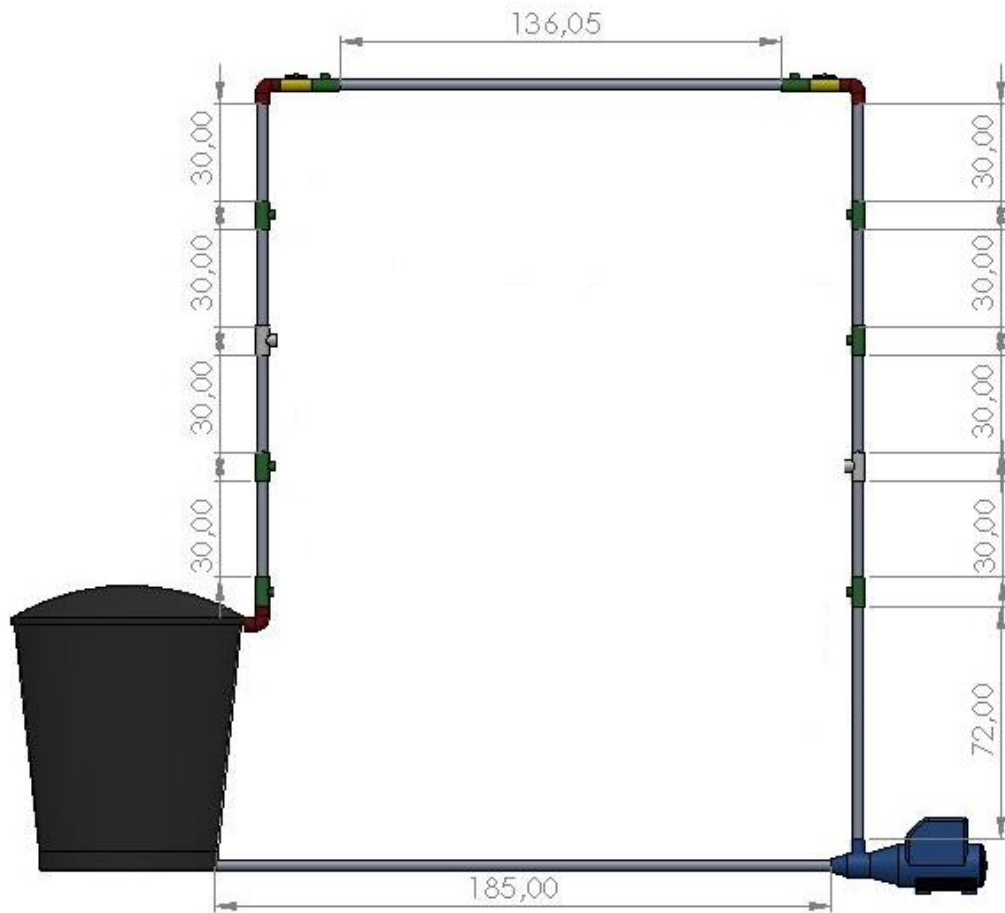
3.2.1 Cálculo del sistema de tuberías

Para el cálculo del sistema de tuberías se realizó individualmente por cada trayectoria, conociendo el diámetro de la tubería (PVC) por cada tramo y las distintas válvulas con sus respectivos accesorios que van a componer dichas trayectorias.

3.2.2 Trayectoria 1

Figura 3-4

Circuito de la trayectoria 1



Nota: fuente propia

En esta trayectoria se tienen los siguientes elementos:

- Tubería PVC de 1"
- Codo de 90° 1" de presión (Descarga - 3 unidades)
- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1" (2 unidades)

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (red de tubería – 2 unidades)
- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga - 8 unidades)

Pérdidas energéticas por fricción

Para el cálculo de estas pérdidas se emplearon una serie de ecuaciones empíricas, las cuales nos proporcionaron los resultados necesarios para la construcción del banco. Tomando como fluido el agua, está tendrá una temperatura acorde a las condiciones ambientales de la ciudad de Neiva capital del departamento del Huila donde se llevó a cabo el diseño y construcción del banco.

$$T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = v * A \rightarrow \text{donde } v = \text{Velocidad del fluido y } A = \text{área}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \rightarrow \text{donde } d = 1 \text{ in} = 0,0254 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi * (0,0254)^2}{4} = 5,067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Se toma como referente la siguiente tabla donde exponen las propiedades físicas del agua, donde se obtiene la viscosidad cinemática para poder calcular la velocidad del agua en la tubería.

Tabla 3-2:

Propiedades físicas del agua

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ\text{F}$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb} \cdot \text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
0	1000	$1,788 \times 10^{-3}$	$1,788 \times 10^{-6}$	32	1,940	$3,73 \times 10^{-5}$	$1,925 \times 10^{-5}$
10	1000	$1,307 \times 10^{-3}$	$1,307 \times 10^{-6}$	50	1,940	$2,73 \times 10^{-5}$	$1,407 \times 10^{-5}$
20	998	$1,003 \times 10^{-3}$	$1,005 \times 10^{-6}$	68	1,937	$2,09 \times 10^{-5}$	$1,082 \times 10^{-5}$
30	996	$0,799 \times 10^{-3}$	$0,802 \times 10^{-6}$	86	1,932	$1,67 \times 10^{-5}$	$0,864 \times 10^{-5}$
40	992	$0,657 \times 10^{-3}$	$0,662 \times 10^{-6}$	104	1,925	$1,37 \times 10^{-5}$	$0,713 \times 10^{-5}$
50	988	$0,548 \times 10^{-3}$	$0,555 \times 10^{-6}$	122	1,917	$1,14 \times 10^{-5}$	$0,597 \times 10^{-5}$
60	983	$0,467 \times 10^{-3}$	$0,475 \times 10^{-6}$	140	1,908	$0,975 \times 10^{-5}$	$0,511 \times 10^{-5}$
70	978	$0,405 \times 10^{-3}$	$0,414 \times 10^{-6}$	158	1,897	$0,846 \times 10^{-5}$	$0,446 \times 10^{-5}$
80	972	$0,355 \times 10^{-3}$	$0,365 \times 10^{-6}$	176	1,886	$0,741 \times 10^{-5}$	$0,393 \times 10^{-5}$
90	965	$0,316 \times 10^{-3}$	$0,327 \times 10^{-6}$	194	1,873	$0,660 \times 10^{-5}$	$0,352 \times 10^{-5}$
100	958	$0,283 \times 10^{-3}$	$0,295 \times 10^{-6}$	212	1,859	$0,591 \times 10^{-5}$	$0,318 \times 10^{-5}$

Nota: Fuente Frank. M. White 5ed.

Realizando la interpolación tenemos una viscosidad cinemática de:

$$\nu = 0,898 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Velocidad

Seguido de esto se procede a calcular la velocidad del fluido en la tubería de la siguiente manera:

$$v = \frac{\nu}{A * 1 \text{ m}} \rightarrow \text{se calcula tomando como referente 1 m de tubería}$$

Se tomó un metro de tubería, debido que este aplicará para todo el tramo de esta, sin embargo,

los cálculos se realizaron con la longitud que corresponda a cada tramo y accesorio.

$$v = \frac{(0,898 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})}{(5,067 * 10^{-4} \text{ m}^2) * 1 \text{ m}} = 1,772 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

Caudal

Se calcula el Caudal de dicha trayectoria:

$$Q = v * A \rightarrow \left(1,772 * 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (5,067 * 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$Q = 8.978 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

Numero de Reynolds

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{v * D}{\nu}$$

N_R = número de Reynolds

v = velocidad de flujo

D =diámetro de la tubería

ρ =densidad

ν =viscosidad cinemática

$$N_R = \frac{(1,772 * 10^{-3} \text{ m/s})(0,0254 \text{ m})}{0,898 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 10^{-6}} = \mathbf{50,121} \text{ (adimensional)}$$

$N_R < 2000$, *el flujo es laminar*

Factor de fricción para flujo laminar

$$f = \frac{64}{N_R} \rightarrow \frac{64}{50,121}$$

$$f = 1,27$$

Rugosidad absoluta según el tipo de material (ε):

Tabla 3-3

Rugosidad absoluta de materiales

Rugosidad absoluta (k_s) para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías

Material	K_s (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

Nota: Fuente de Mecánica de fluidos. Robert Mooth. 6ed.

Rugosidad Relativa

$$\frac{\varepsilon}{D_I} \rightarrow \text{Donde } D_I = 1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm}$$

$$\text{Entonces } \frac{\varepsilon}{D_I} = \frac{0,0015 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 5,905 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Las ecuaciones suministradas anteriormente se toman como referencia para implementarlas en la herramienta Excel, lo cual facilitará los cálculos y brindará mayor exactitud en ellos. Cabe

resaltar que se tendrá en cuenta la longitud de tubería de cada tramo o sección según corresponda para hallar la velocidad.

Tabla 3-4
Pérdidas por fricción de la Trayectoria 1

Trayectoria 1												
Tramo	Tubería	L (m)	Di (m)	A (m ²)	vis. Cinemat	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Re	ε (mm)	ε/Di	f	hf
Succión - Bomba	1" PVC	1,85	0,0254	0,00050671	0,000000898	0,00095796	4,85405E-07	27,0959682	0,0015	5,90551E-05	2,36197502	0,00077437
Descarga	1" PVC	4,4805	0,0254	0,00050671	0,000000898	0,00039554	2,00424E-07	11,1879346	0,0015	5,90551E-05	5,72044815	0,00077437
Total												0,00154873

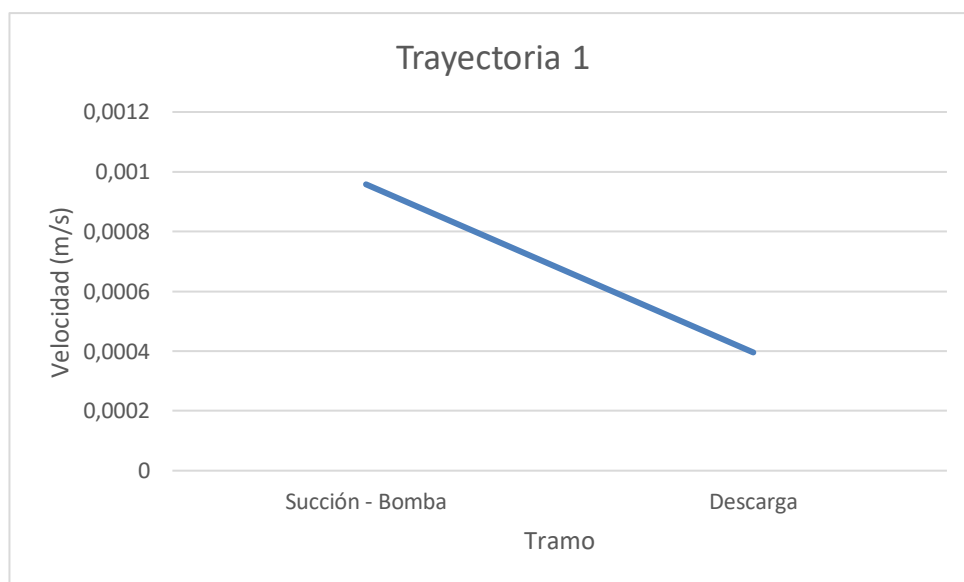
Fuente: Propia

Nota: Se calcula el área, velocidad, caudal, número de Reynolds, factor de fricción con el fin de obtener el hf siendo este valor la pérdida energética debido a la fricción, en cada tramo de esta trayectoria.

Comportamiento de la velocidad en cada tramo de la sección

Figura 3-5

Velocidad de la trayectoria 1



Fuente: Propia

Nota: Esta figura evidencia el comportamiento y variación de la velocidad de la succión respecto a la descarga evidenciando una disminución de esta velocidad en la descarga.

Pérdidas de energía por accesorios

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

Para cada accesorio necesitamos conocer el coeficiente de resistencia según el diámetro de la tubería:

- Codo de 90° 1" de presión (descarga)

Tabla 3-5
Coeficiente de resistencia K

	Diámetro nominal, in								
	Roscado					Acoplado			
	½	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas):									
Globo	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
De retención	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
De ángulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Codos:									
45° normal	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° suave					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° suave	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° suave					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
«Tes»:									
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

Nota: Fuente Coeficiente de pérdida k para accesorios – Mecánica de fluidos. Frank. M. White

Coeficiente de resistencia k=0,50

Teniendo este valor se reemplaza en la ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_l = 0,50 \times \frac{\left(0,0003955 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = (3,9870 \times 10^{-6}) \times (3 \text{ unidades})$$

$$h_l = 1,19613 \times 10^{-6} m$$

- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1" (2 unidades)

Para este caso, utilizamos formulas empíricas para calcular el coeficiente de resistencia

K:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

donde $\frac{L_e}{D_i} = \text{Longitud equivalente en diametros de la tuberia}$

$$L_e = 136,05 \text{ cm} = 1,3605 \text{ m}$$

$$D_i = 1 \text{ in} = 0,0254 \text{ m}$$

Se trabajó con cada uno de los valores obtenidos en Excel según el tramo en el que se encuentre cada accesorio, tales como la velocidad, factor de fricción, etc.

$$K = 5,7204 \times \frac{1,3605 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 306,401$$

Una vez obtenido el valor del coeficiente de resistencia K (adimensional) se procedé a calcular las pérdidas energéticas en este accesorio:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g} \rightarrow 306,401 \times \frac{\left(0,0003955 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000235133 \text{ m} \times (2 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000470267 \text{ m}}$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (red de tuberia-2 unidades)

Coeficiente de resistencia:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

donde $\frac{L_e}{D_i} = \text{Longitud equivalente en diametros de la tuberia}$

$$L_e = 136,05 \text{ cm} = 1,3605 \text{ m}$$

$$D_i = 1 \text{ in} = 0,0254 \text{ m}$$

$$K = 5,7204 \times \frac{1,3605 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 306,401$$

Pérdidas de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g} \rightarrow 306,401 \times \frac{\left(0,0003955 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000235133 \times (2 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000470267 \text{ m}}$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga - 8 unidades)

Coefficiente de resistencia:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

donde $\frac{L_e}{D_i}$ = Longitud equivalente en diámetros de la tubería

Esta L_e se emplea solo la longitud donde está ubicado el accesorio

$$L_e = 312 \text{ cm} = 3,12 \text{ m}$$

$$D_i = 1 \text{ in} = 0,0254 \text{ m}$$

$$K = 5,7204 \times \frac{3,12 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 702,669$$

Pérdidas de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g} \rightarrow 702,669 \times \frac{\left(0,0003955 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000539231 \times (8 \text{ unidades})$$

$$h_l = 0,00431385 \text{ m}$$

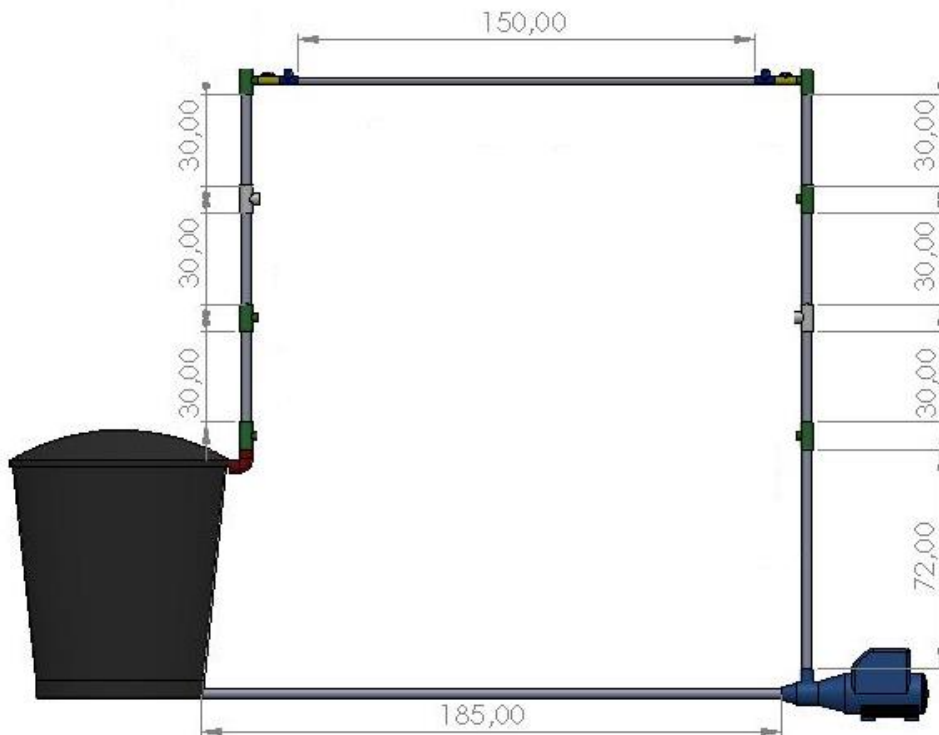
Sumatoria total de pérdidas por accesorios en la trayectoria 1:

$$h_l = 1,19613 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,000470267 \text{ m} + 0,000470267 \text{ m} + 0,00431385 \text{ m}$$

$$h_l = 0,00525558 \text{ m}$$

3.2.3 Trayectoria 2

Figura 3-6
Circuito trayectoria 2



Nota: fuente propia

En esta trayectoria se tienen los siguientes accesorios:

- Codo de 90° 1" de presión (Descarga)
- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (2 unidades)

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 8 unidades)
- Tee 1/2 presión (2 unidades)

Con las ecuaciones expuestas en la trayectoria anterior se emplea la herramienta Excel, donde se utilizan las mismas series de ecuaciones calculando las pérdidas por fricción en las tuberías:

Pérdidas energéticas por fricción

Tabla 3-6
Pérdidas por fricción de la Trayectoria 2

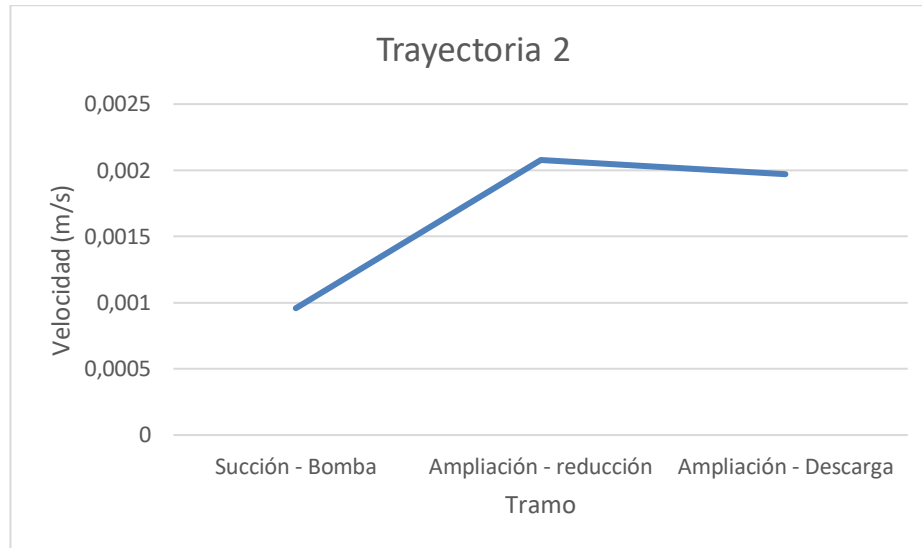
Trayectoria 2												
Tramo	Tubería	L (m)	Di (m)	A (m ²)	vis. Cinemat	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Re	ε (mm)	ε/Di	f	hf
Succión - Bomba	1" PVC	1,85	0,0254	0,000506707	0,000000898	0,00095796	4,85405E-07	27,0959682	0,0015	5,90551E-05	2,36197502	0,00077437
Ampliación - reducción	1/2 " PVC	4,02	0,0117	0,000107513	0,000000898	0,00207773	2,23383E-07	27,0706201	0,0015	0,000128205	2,3641867	0,01720039
Ampliación - Descarga	1" PVC	0,9	0,0254	0,000506707	0,000000898	0,00196914	9,97778E-07	55,6972679	0,0015	5,90551E-05	1,14906893	0,00077437
Total												0,01874913

Fuente: Propia

Nota: Esta tabla calcula el área, velocidad, caudal, número de Reynolds, factor de fricción con el fin de obtener el hf siendo este valor la pérdida energética debido a la fricción, en cada tramo de esta segunda trayectoria para así obtener el hf total.

Figura 3-7

Velocidad trayectoria 2



Fuente: Propia

Nota: La figura evidencia el comportamiento y variación de la velocidad de cada tramo en el cual esta fluyendo el agua en este circuito de la trayectoria 2.

Pérdidas de energía por accesorios

- **Codo de 90° 1" de presión (Descarga)**

Para el codo ubicado en la zona de descarga, se realizaron los cálculos con la velocidad obtenida en la tabla de Excel en dicho tramo de descarga y se utilizó el mismo coeficiente de resistencia K empleado en los codos de la tabla 3-5:

$$h_l = K * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 0,50 * \frac{\left(0,00196914 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} = m$$

$$h_l = 9,5096 \times 10^{-6} m$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (2 unidades)**

En este segundo tramo, las válvulas de bola se encuentran en la misma sección de tubería por lo que la velocidad del flujo será la misma para cada válvula, los datos aplicados en las ecuaciones serán tomados de la tabla 3-6 suministrada anteriormente de la trayectoria 2:

$$h_l = K * \frac{v^2}{2g}$$

Seguido de esto se calcula el coeficiente de resistencia:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

donde $\frac{L_e}{D_i}$ = Longitud equivalente en diámetros de la tubería

$$L_e = 1,5 \text{ m}$$

$$D_i = 1/2 \text{ in} = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 2,3641 \times \frac{1,5 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 303,100$$

Por tanto, las pérdidas energéticas en este accesorio serán de:

$$h_l = 303,100 * \frac{(0,002077 \text{ m/s})^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 0,006418057 \times (2 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,012836113 \text{ m}}$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 8 unidades)

$$h_l = K * \frac{v^2}{2g}$$

coeficiente de resistencia:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$L_e \rightarrow$ Se utilizó la longitud según la ubicación de cada accesorio

$$D_i = 1 \text{ in} = 0,0254 \text{ m}$$

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i} \rightarrow 1,14906 \times \frac{2,52 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}}$$

$$K = 114,002$$

Las pérdidas energéticas en este accesorio en el tramo de descarga son de:

$$h_l = 114,002 * \frac{\left(0,00196914 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 2,25303 \times 10^{-5} \text{ m} \times (8 \text{ unidades})$$

$$h_l = \mathbf{0,000180242 \text{ m}}$$

- **Tee ½ presión (2 unidades)**

Las Tee ½ presión se encuentran la misma sección de tubería por lo que la velocidad del flujo será la misma para cada Tee, los datos aplicados en las ecuaciones serán tomados de la tabla 3-6 suministrada anteriormente de la trayectoria 2:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

donde $\frac{L_e}{D_i} =$ Longitud equivalente en diámetros de la tubería

$$L_e = 1,5 \text{ m}$$

$$D_i = 1/2 \text{ in} = 0,0117 \text{ m}$$

Coefficiente de resistencia será igual a:

$$K = 2,3641 \times \frac{1,5 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}}$$

$$K = 303,100$$

Por tanto, las pérdidas energéticas en este accesorio serán de:

$$h_l = 303,100 * \frac{(0,002077728 \text{ m/s})^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 0,006418057 \times (2 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,012836113 \text{ m}}$$

Total de pérdidas energéticas por accesorios en la trayectoria 2:

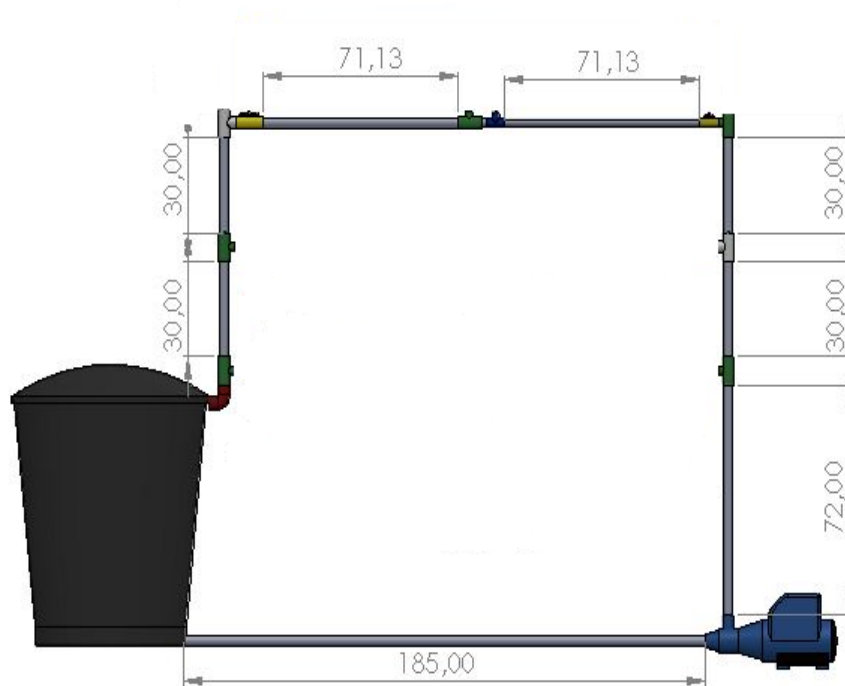
$$h_L = 9,5096 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,012836113 \text{ m} + 0,012836113 + 0,000180242$$

$$\mathbf{h_l = 0,025861978 \text{ m}}$$

3.2.4 Trayectoria 3

Figura 3-8

Circuito trayectoria 3



En esta trayectoria se tienen los siguientes accesorios:

- Codo de 90° 1" de presión (Descarga)
- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (1 unidad)
- Válvula de bola PVC lisa soldable 1" (1 unidad)
- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 6 unidades)
- Tee ½ presión (1 unidad)
- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Reducción - ampliación)

Siguiendo la metodología de las anteriores trayectorias donde se utilizan las mismas series de ecuaciones calculando las pérdidas por fricción en las tuberías mediante la herramienta

Excel:

Tabla 3-7
Pérdidas por fricción en trayectoria 3

Trayectoria 3												
Tramo	Tubería	L (m)	Di (m)	A (m ²)	vis. Cinemat	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Re	ε (mm)	ε/Di	f	hf
Succión - Bomba	1" PVC	1,85	0,0254	0,00050671	0,000000898	0,00095796	4,85405E-07	27,0959682	0,0015	59,0551181	2,36197502	0,00077437
Reducción - Ampliación	1/2 " PVC	2,7426	0,0117	0,00010751	0,000000898	0,00304546	3,27427E-07	39,6790975	0,0015	128,205128	1,61293991	0,01720039
Ampliación - Descarga	1" PVC	0,6	0,0254	0,00050671	0,000000898	0,00295371	1,49667E-06	83,5459019	0,0015	59,0551181	0,76604595	0,00077437
Total												0,01874913

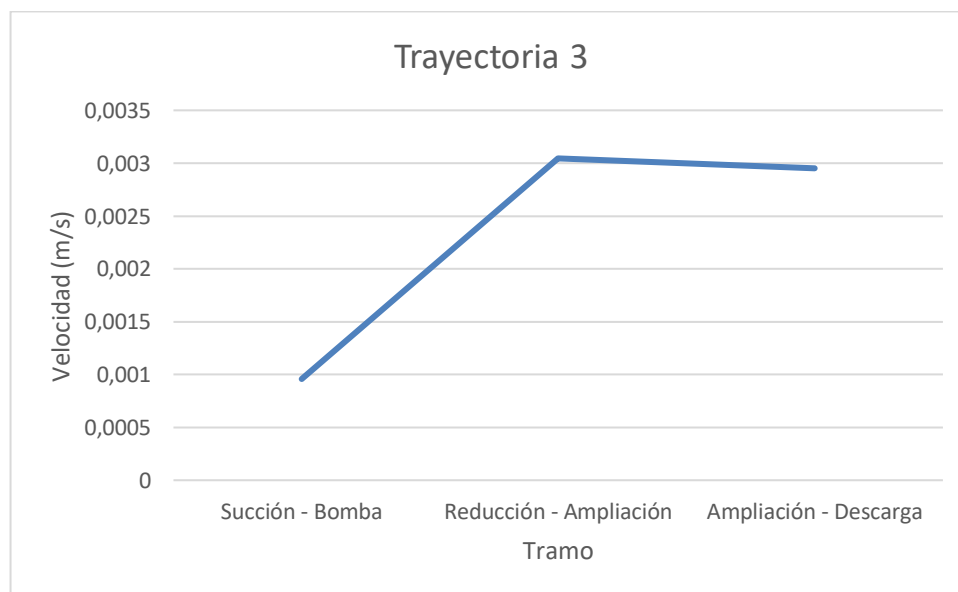
Fuente: Propia

Nota: En la tabla se calcula el área, velocidad, caudal, número de Reynolds, factor de fricción con el fin de obtener el hf siendo este valor la pérdida energética debido a la fricción, en cada tramo de esta tercera trayectoria para así obtener el hf total.

Comportamiento de la velocidad respecto cada tramo de la sección:

Figura 3-9

Velocidad trayectoria 3



Fuente: Propia

Nota: En esta figura se ilustra el comportamiento y variación de la velocidad de cada tramo en el cual está fluyendo el agua en este circuito de la trayectoria 3.

Pérdidas de energía por accesorios

- **Codo de 90° 1" de presión (Descarga)**

Para el codo ubicado en la zona de descarga, se realizaron los cálculos con la velocidad obtenida en la tabla de Excel en dicho tramo de descarga y se empleó el mismo coeficiente de resistencia K tomado de la tabla 3-5 empleado en la trayectoria anterior:

$$h_L = K * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 0,50 * \frac{\left(0,002953709 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} = 2,22334 \times 10^{-7} m$$

$$h_l = 2,22334 \times 10^{-7} m$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (1 unidad)**

coeficiente de resistencia:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

donde $\frac{L_e}{D_i}$ = Longitud equivalente en diámetros de la tubería

$$L_e = 0,711 m$$

$$D_i = 0,0117 m$$

$$K = 1,6129 \times \frac{0,711 m}{0,0117 m} = 98,0146$$

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 96,0146 \times \frac{\left(0,003045456 m/s\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 4,63348 \times 10^{-5} m$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable 1" (1 unidad)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

donde $\frac{L_e}{D_i}$ = Longitud equivalente en diámetros de la tubería

$$L_e = 0,711 m$$

$$D_i = 0,0254 m$$

$$K = 1,6129 \times \frac{0,711 m}{0,0254 m} = 45,148$$

Teniendo el coeficiente de resistencia, se calcula la pérdida de energía en este accesorio:

$$h_l = 45,148 \times \frac{(0,003045456 m/s)^2}{2 (9,81 \frac{m}{s^2})}$$

$$h_l = 2,13432 \times 10^{-5} m$$

- **Tee ½ presión (1 unidad)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$K = 1,6129 \times \frac{0,711 m}{0,0117 m} = 98,0171$$

$$h_l = 98,0171 \times \frac{(0,003045456 m/s)^2}{2 (9,81 \frac{m}{s^2})}$$

$$h_l = 4,63348 \times 10^{-5} m$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 6 unidades)

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 192 \text{ m} = 1,92 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0254 \text{ m}$$

$$K = 0,7660 \times \frac{1,92 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 57,905$$

Pérdidas energéticas en descarga:

$$h_l = 57,905 \times \frac{(0,002953709 \text{ m/s})^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 2,57489 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$h_l = 2,57489 \times 10^{-5} \text{ m} \times (6 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000154493 \text{ m}}$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Ampliación)

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,711 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0254 \text{ m}$$

Coefficiente de resistencia:

$$K = 1,6129 \times \frac{0,711 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 45,1496$$

Pérdida de energía:

$$h_l = 45,1496 \times \frac{(0,003045456 \text{ m/s})^2}{2 (9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$h_l = 2,13432 \times 10^{-5}$$

Total de pérdidas energéticas por accesorios en la trayectoria 3:

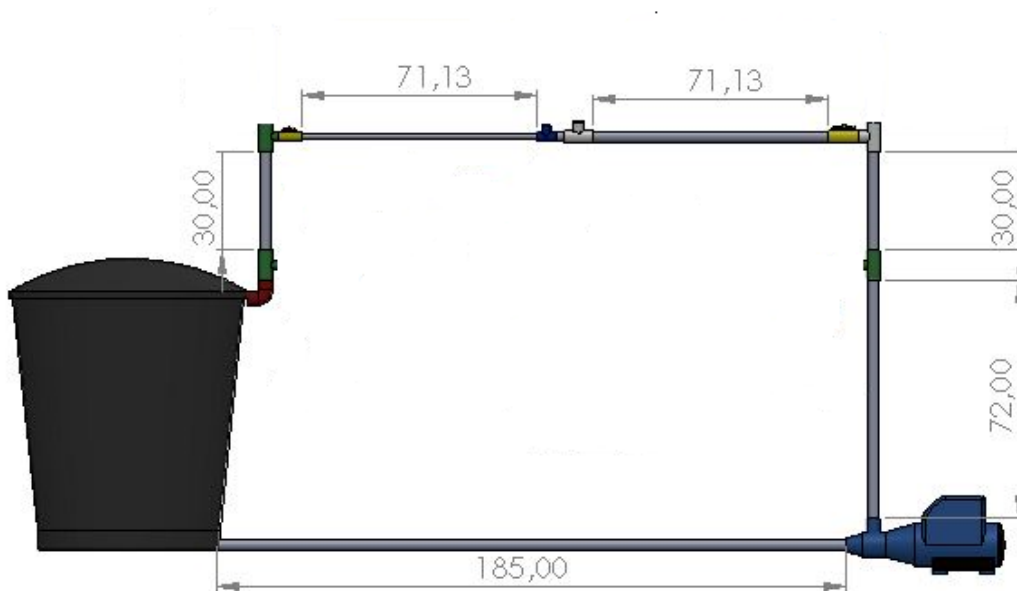
$$h_l = 2,22334 \times 10^{-7} \text{ m} + 4,63348 \times 10^{-5} \text{ m} + 2,13432 \times 10^{-5} \text{ m} + 4,63348 \times 10^{-5} \text{ m} \\ + 0,000154493 \text{ m} + 2,13432 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$h_l = 0,000290071 \text{ m}$$

3.2.5 Trayectoria 4

Figura 3-10

Circuito trayectoria 4



En esta trayectoria se tienen los siguientes accesorios:

- Codo de 90° 1" de presión (Descarga)
- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1" (1 unidad)
- Válvula de bola PVC lisa soldable 1/2" (1 unidad)
- Tee ½ presión (1 unidad)
- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (1 unidad)
- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 4 unidades)

Siguiendo la metodología de las anteriores trayectorias donde se utilizan las mismas series de ecuaciones calculando las pérdidas por fricción en las tuberías mediante la herramienta

Excel:

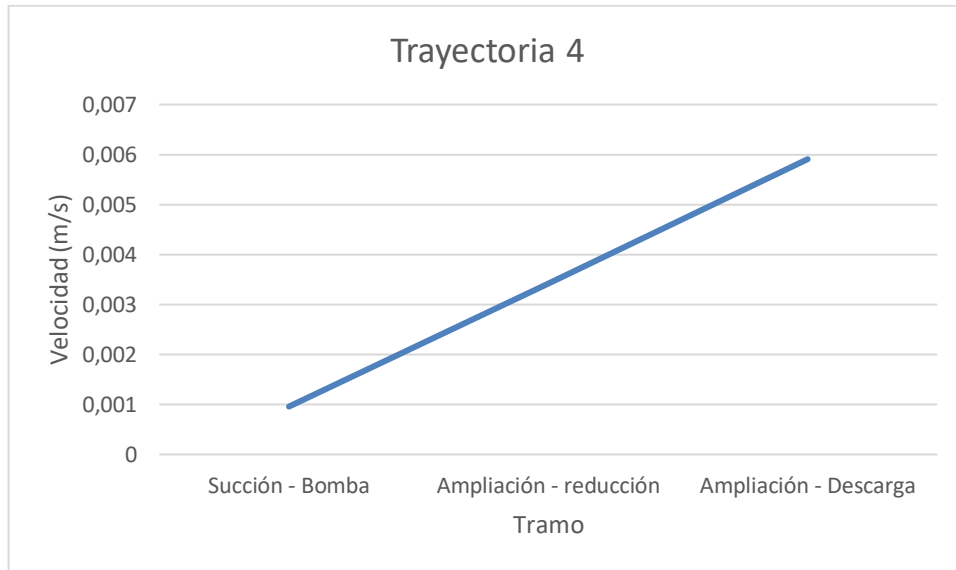
Tabla 3-8
Pérdidas por fricción trayectoria 4

Trayectoria 4												
Tramo	Tubería	L (m)	Di (m)	A (m ²)	vis. Cinemat	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Re	ε (mm)	ε/Di	f	hf
Succión - Bomba	1" PVC	1,85	0,0254	0,00050671	0,000000898	0,00095796	4,8541E-07	27,0959682	0,0015	5,90551E-05	2,36197502	0,00077437
Ampliación - reducción	1/2 " PVC	2,4426	0,0117	0,00010751	0,000000898	0,0034195	3,6764E-07	44,5524821	0,0015	0,000128205	1,43650807	0,01720039
Ampliación - Descarga	1" PVC	0,3	0,0254	0,00050671	0,000000898	0,00590742	2,9933E-06	167,091804	0,0015	5,90551E-05	0,38302298	0,00077437
Total												0,01874913

Fuente: Propia

Nota: Esta tabla calcula el área, velocidad, caudal, número de Reynolds, factor de fricción con el fin de obtener el hf siendo este valor la pérdida energética debido a la fricción, en cada tramo de esta cuarta trayectoria para así obtener el hf total.

Comportamiento de la velocidad respecto cada tramo de la sección:

Figura 3-11*Velocidad trayectoria 4*

Fuente: Propia

Nota: En esta figura se evidencia el comportamiento y variación de la velocidad de cada tramo en el cual está fluyendo el agua en este circuito de la trayectoria 4.

Pérdidas de energía por accesorios:

- **Codo de 90° 1" de presión (Descarga)**

Para el codo ubicado en la zona de descarga, se realizaron los cálculos con la velocidad obtenida en la tabla de Excel en dicho tramo de descarga y se empleó el mismo coeficiente de resistencia K empleado anteriormente obtenido de la tabla 3-5.

$$h_l = 0,50 * \frac{\left(0,005907419 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} = 6,20954 \times 10^{-6} m$$

$$\mathbf{h_l = 6,20954 \times 10^{-6} m}$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable de 1" (1 unidad)**

Coefficiente de resistencia:

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,7113 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0254 \text{ m}$$

$$K = 1,4365 \times \frac{0,7113 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 40,227$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 40,227 \times \frac{\left(0,003419498 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 2,39777 \times 10^{-5}$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable 1/2" (1 unidad)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,7113 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 1,4365 \times \frac{0,7113 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 87,331$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 87,331 \times \frac{\left(0,003419498 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 5,20476 \times 10^{-5}$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Ampliación -1 unidad)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,7113 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0254 \text{ m}$$

$$K = 1,4365 \times \frac{0,7113 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 40,227$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 40,227 \times \frac{\left(0,003419498 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 2,39747 \times 10^{-5}$$

- Tee 1/2 presión (1 unidad)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,7113 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 1,4365 \times \frac{0,7113 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 87,332$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 87,332 \times \frac{\left(0,003419498 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$\mathbf{h_l = 5,20476 \times 10^{-5}}$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 4 unidades)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 132 \text{ cm} = 1,32 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0254$$

$$K = 0,3830 \times \frac{1,32 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 19,905$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 19,905 \times \frac{\left(0,005907419 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 3,54048 \times 10^{-5} \text{ m} \times 2 \text{ unidades}$$

$$\mathbf{h_l = 7,08095 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

Total de pérdidas energéticas por accesorios en la trayectoria 4:

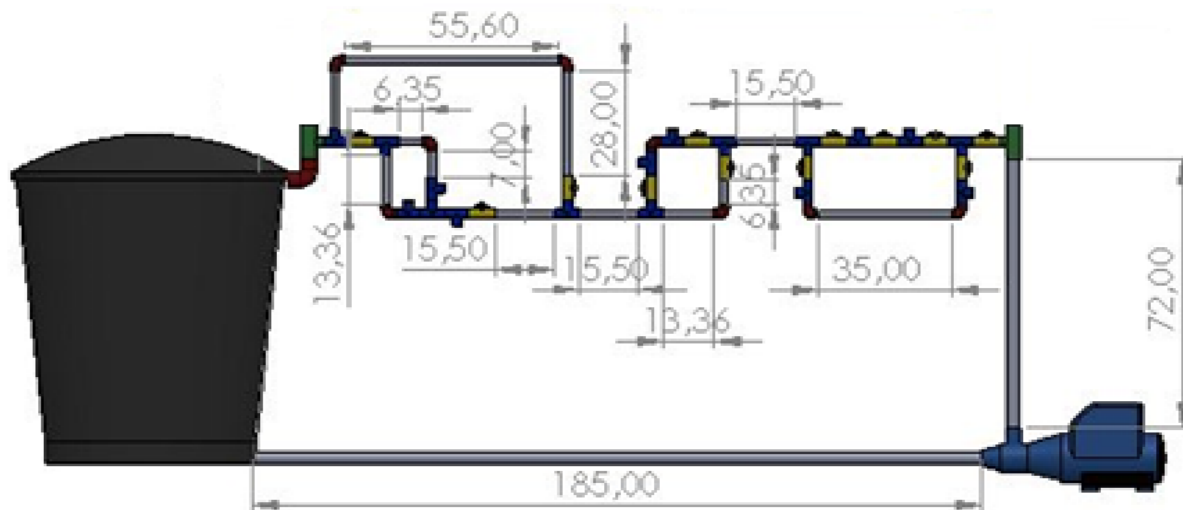
$$h_l = 6,20954 \times 10^{-6} \text{ m} + 2,39777 \times 10^{-5} \text{ m} + 5,20476 \times 10^{-5} \text{ m} \\ + 2,39747 \times 10^{-5} \text{ m} + 5,20476 \times 10^{-5} \text{ m} + 7,08095 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\mathbf{h_l = 0,000375898 \text{ m}}$$

3.2.6 Trayectoria 5

Figura 3-12

Circuito trayectoria 5



En esta trayectoria se tienen los siguientes accesorios:

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Bypass 1 – 1 unidad)
- Codo de 90° 1/2" de presión (Bypass 1 – 2 unidades)
- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (Bypass 1- 6 unidades)
- Tee ½ presión (Bypass 1 - 4 unidades)
- Tee ½ presión (Bypass 2 - 4 unidades)
- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (Bypass 2 - 3 unidades)
- Codo de 90° 1/2" de presión (Bypass 2 - 1 unidad)
- Tee ½ presión (Bypass 3 - 6 unidades)
- Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (Bypass 3- 3 unidades)
- Codo de 90° 1/2" de presión (Bypass 3 – 3 unidades)

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 1 unidad)
- Codo de 90° 1" de presión (descarga)

Siguiendo la metodología de las anteriores trayectorias donde se emplea las mismas series de ecuaciones calculando las pérdidas por fricción en las tuberías mediante la herramienta

Excel:

Tabla 3-9
Pérdidas por accesorios trayectoria 5

Trayectoria 5												
Tramo	Tubería	L (m)	Di (m)	A (m ²)	vis. Cinemat	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Re	ε (mm)	ε/Di	f	hf
Succión - Bomba	1" PVC	1,85	0,0254	0,00050671	0,000000898	0,00095796	4,85405E-07	27,0959682	0,0015	59,0551181	2,36197502	0,00077437
Bypass 1 (Ampl-Reducc)	1/2" PVC	1,07	0,0117	0,00010751	0,000000898	0,00780604	8,39252E-07	101,704573	0,0015	128,205128	0,62927357	0,01720039
Bypass 2 (Ampl-Reducc)	1/2" PVC	0,3521	0,0117	0,00010751	0,000000898	0,02372186	2,55041E-06	309,070982	0,0015	128,205128	0,20707217	0,01720039
Bypass 3 (Ampl-Reducc)	1/2" PVC	1,4131	0,0117	0,00010751	0,000000898	0,00591074	6,35482E-07	77,0107513	0,0015	128,205128	0,83105279	0,01720039
Total												0,05237554

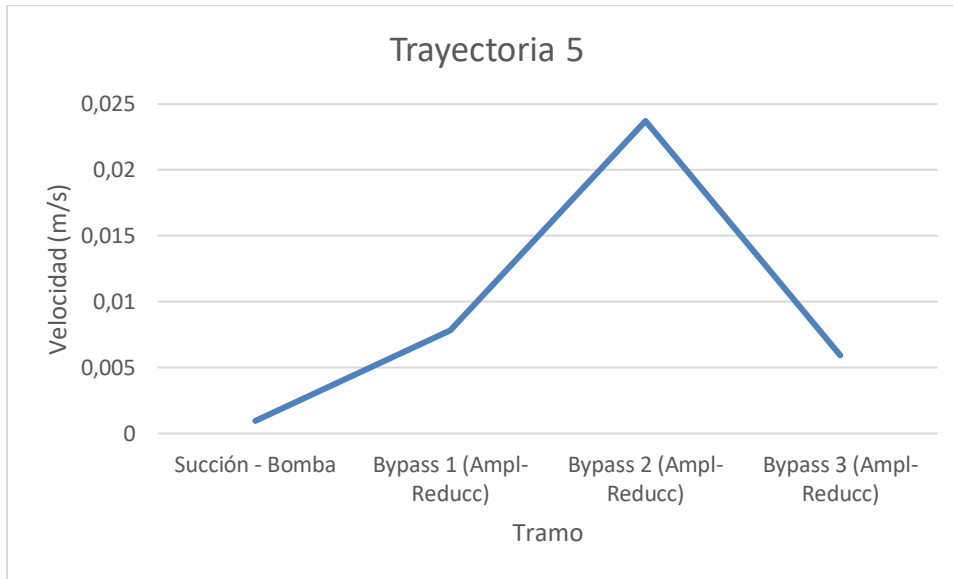
Fuente: Propia

Nota: En esta tabla se calcula el área, velocidad, caudal, número de Reynolds, factor de fricción con el fin de obtener el hf siendo este valor la pérdida energética debido a la fricción, en cada tramo de esta quinta trayectoria para así obtener el hf total.

Comportamiento de la velocidad respecto cada tramo de la sección:

Figura 3-13

Velocidad trayectoria 5



Fuente: Propia

Nota: En esta figura se ilustra el comportamiento y variación de la velocidad de cada tramo en el cual está fluyendo el agua en este circuito de la trayectoria 5.

Pérdidas energéticas por accesorios

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Bypass 1 – 1 unidad)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 72 \text{ cm} = 0,72 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0254 \text{ m}$$

$$K = 0,6292 \times \frac{0,72 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} = 17,837$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 17,837 \times \frac{\left(0,007806043 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 5,53989 \times 10^{-5} m$$

- **Codo de 90° 1/2" de presión (Bypass 1 – 2 unidades)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,35 m$$

$$D_i = 0,0117 m$$

$$K = 0,6292 \times \frac{0,35 m}{0,0117 m} = 18,824$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 18,824 \times \frac{\left(0,007806043 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 5,84635 \times 10^{-5} m \times (2 \text{ unidades})$$

$$h_l = 0,000116927 m$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (Bypass 1- 6 unidades)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,35 m$$

$$D_i = 0,0117 m$$

$$K = 0,629273575 \times \frac{0,35 m}{0,0117 m} = 18,824$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 18,824 \times \frac{\left(0,007806043 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 5,84635 \times 10^{-5} m \times (6 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000350781 m}$$

- Tee ½ presión (Bypass 1 - 4 unidades)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,35 m$$

$$D_i = 0,0117 m$$

$$K = 0,629273575 \times \frac{0,35 m}{0,0117 m} = 18,824$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 18,824 \times \frac{\left(0,007806043 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 5,84635 \times 10^{-5} m \times (4 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000233854 m}$$

- Tee ½ presión (Bypass 2 - 4 unidades)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,3521m$$

$$D_i = 0,0117 m$$

$$K = 0,2070 \times \frac{0,3521 m}{0,0117 m} = 6,231$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 6,231 \times \frac{\left(0,023721858 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000178731 \times (4 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000714925 m}$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (Bypass 2- 3 unidades)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 0,3521m$$

$$D_i = 0,0117 m$$

$$K = 0,2070 \times \frac{0,3521 m}{0,0117 m} = 6,231$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 6,231 \times \frac{\left(0,023721858 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000178731 \times (3 \text{ unidades})$$

$$h_l = 0,000536194 \text{ m}$$

- Codo de 90° 1/2" de presión (Bypass 2 – 1 unidad)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 19,71 \text{ cm} = 0,1971 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 0,2070 \times \frac{0,1971 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 3,488$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 3,488 \times \frac{\left(0,023721858 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000100051 \text{ m}$$

- Tee 1/2 presión (Bypass 3 - 6 unidades)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 85,71 \text{ cm} = 0,8571 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 0,83105 \times \frac{0,8571 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 60,879$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 60,879 \times \frac{\left(0,00591074 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000108407 \times (6 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000650444 m}$$

- **Válvula de bola PVC lisa soldable de 1/2" (Bypass 3- 3 unidades)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 85,71 \text{ cm} = 0,8571 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 0,8310 \times \frac{0,8571 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 60,879$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 60,879 \times \frac{\left(0,00591074 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000108407 \text{ m} \times (3 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000325222 m}$$

- **Codo de 90° 1/2" de presión (Bypass 3 – 3 unidades)**

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 110,31 \text{ cm} = 1,1031 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 0,8310 \times \frac{1,1031 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 78,353$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 78,353 \times \frac{\left(0,00591074 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_l = 0,000139522 \times (3 \text{ unidades})$$

$$\mathbf{h_l = 0,000418566 \text{ m}}$$

- Tee reducida PVC de 1 X 1/2" de reducción (Descarga – 1 unidad)

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

$$L_e = 75,31 \text{ cm} = 0,7531 \text{ m}$$

$$D_i = 0,0117 \text{ m}$$

$$K = 0,8310 \times \frac{0,7531 \text{ m}}{0,0117 \text{ m}} = 53,492$$

Pérdida de energía:

$$h_l = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_l = 53,492 \times \frac{\left(0,00591074 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$\mathbf{h_l = 9,52533 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

Total de pérdidas energéticas por accesorios en la trayectoria 5:

$$\begin{aligned}
 h_l &= 5,53989 \times 10^{-5} m + 0,000116927 m + 0,000350781 m + 0,000233854 m \\
 &+ 0,000714925 m + 0,000536194 m + 0,000100051 m + 0,000650444 m \\
 &+ 0,000325222 m + 0,000418566 m + 9,52533 \times 10^{-5} m \\
 \mathbf{h_l} &= \mathbf{0,003597616 m}
 \end{aligned}$$

Pérdidas energéticas totales en el banco

Tabla 3-10
Pérdidas energéticas totales

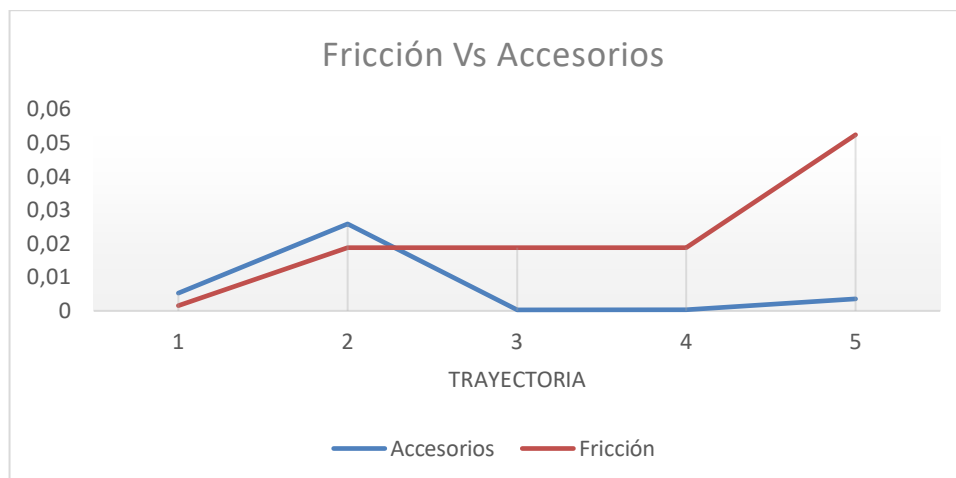
Pérdidas totales		
Trayectoria	hl	hf
1	0,00525558	0,001548734
2	0,025861978	0,018749126
3	0,000290071	0,018749126
4	0,000375898	0,018749126
5	0,003597616	0,052375541
Total	0,035381143	0,110171653

Fuente: Propia

Nota: Esta tabla es un resumen de los trayectos donde se realizó la suma de las pérdidas energéticas totales obtenidas en cada uno de los circuitos del banco tanto para la fricción como para los accesorios.

Figura 3-14

Fricción vs Accesorios



Fuente: Propia

Nota: En la figura se ilustra la comparación y comportamiento de las pérdidas energéticas totales por fricción y accesorios obtenidas en cada una de las trayectorias del banco.

4. Proceso de construcción del equipo

Figura 4-1

Corte y ensamble de tuberías y accesorios



Nota: fuente propia

Figura 4-2

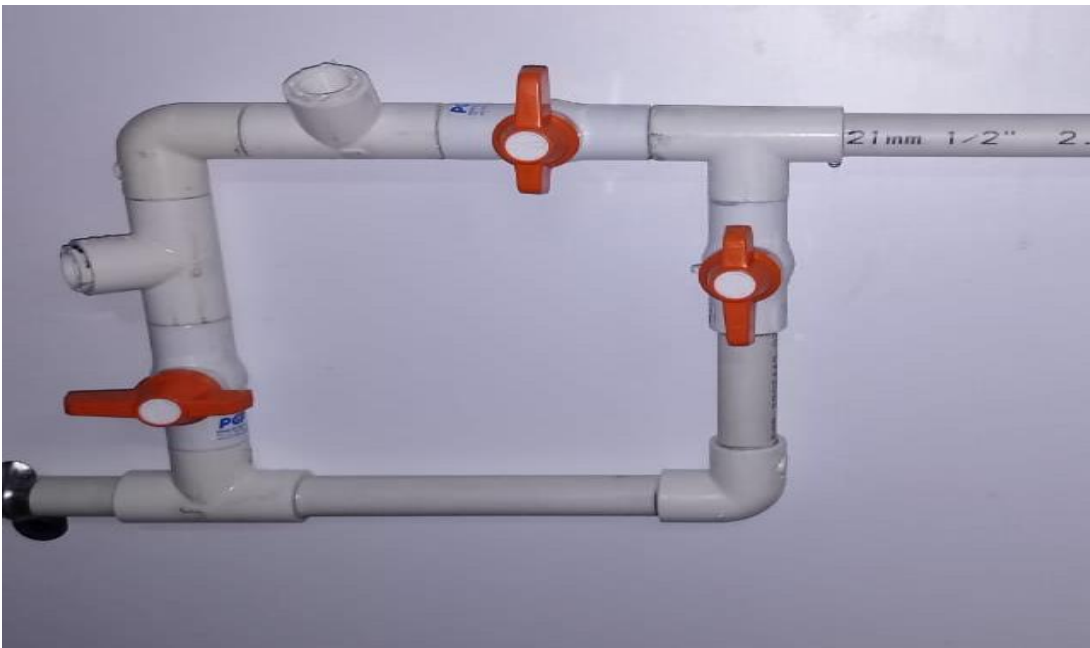
Corte y ensamble



Nota: fuente propia

Figura 15

Corte y ensamble



Nota: fuente propia

Figura 16

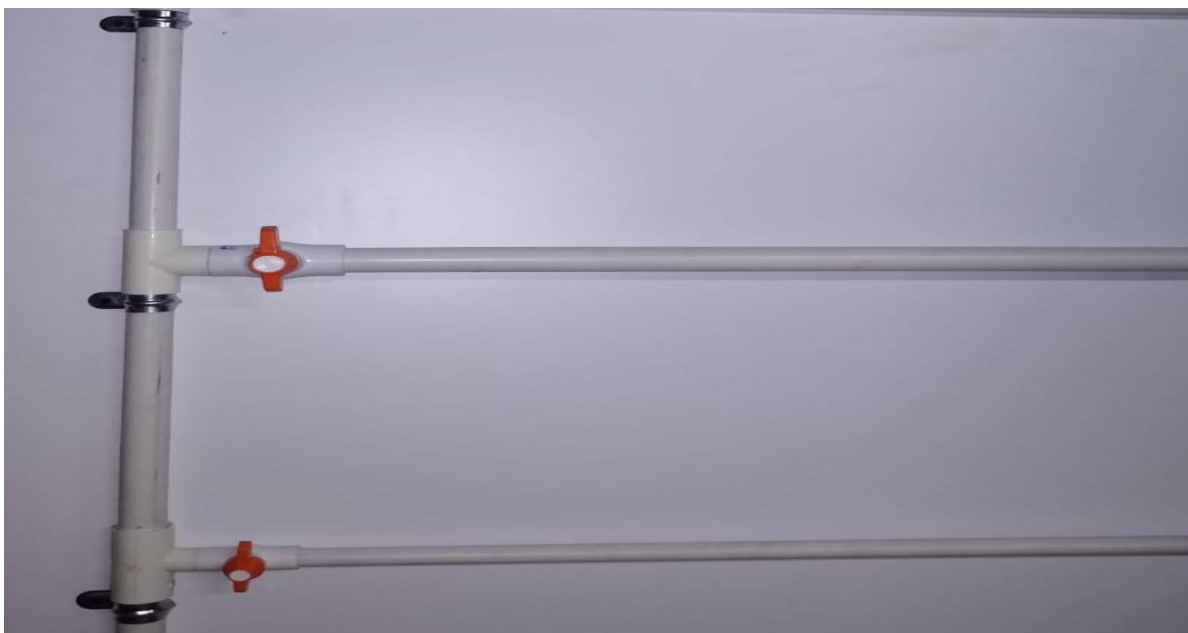
Instalación de tuberías sobre tablero de madera HSS con abrazaderas



Nota: fuente propia

Figura 4-5

Instalación de tuberías



Nota: fuente propia

Figura 4-6

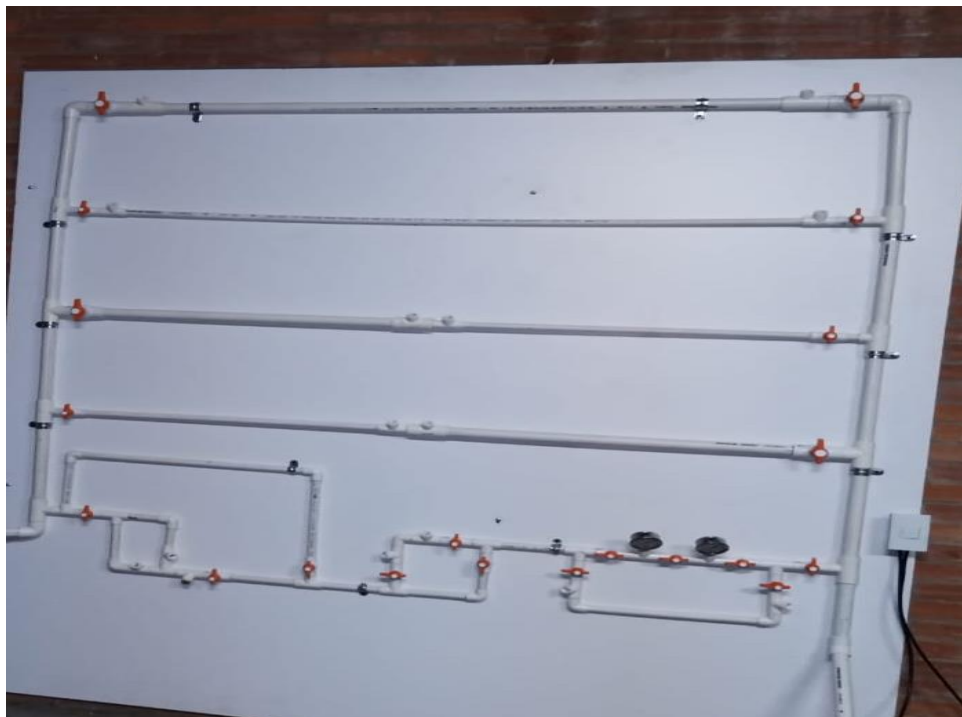
Instalación de tuberías



Nota: fuente propia

Figura 4-7

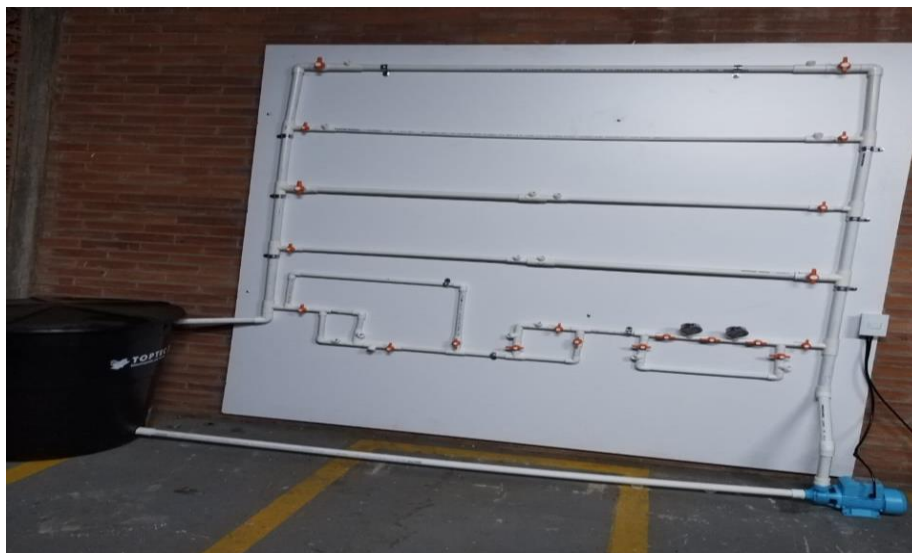
Empotramiento de tablero a la pared con conexión eléctrica



Nota: fuente propia

Figura 4-8

Instalación de electrobomba con tanque de almacenamiento y tuberías



Nota: fuente propia

Figura 4-9

Elementos de medición



Nota: fuente propia

5. Anexos

5.1 Guías de laboratorio

Pérdidas energéticas debido a la fricción y accesorios en tuberías

PROGRAMAS	Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Biomédica
ASIGNATURA	Mecánica de Fluidos
NOMBRE DEL PROFESOR	Martha Lucia Solano
FECHA	Octubre 2022

OBJETIVO

Calcular las pérdidas energéticas existentes en cada sección o tramo de tubería debido a la fricción y distintos accesorios que la componen, con una metodología experimental y teórica.

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Pérdidas por fricción

1. Identifique el diámetro de la tubería y el material de la tubería de cada sección.
2. Determine la longitud de cada tramo de tubería utilizando herramientas de medición como decímetros, entre otros que proporcione las instalaciones universitarias.
3. Calcule la velocidad de cada trayectoria según las fórmulas empíricas anexadas, para esto utilice la viscosidad cinemática tomando como referente un metro de tubería y la temperatura del agua según las condiciones ambientales.
4. Obtenga el caudal o flujo volumétrico que circula en la tubería.
5. Determine el número de Reynolds con la viscosidad cinemática e identifique el tipo de fluido presente en la trayectoria (Laminar – Turbulento).
6. Buscar el valor de la rugosidad absoluta del material de la tubería.
7. Una vez obtenida la rugosidad absoluta del material, seguido de esto proceda a calcular la rugosidad relativa.
8. Hallé el factor o coeficiente de fricción utilizando ya sean ecuaciones empíricas o diagrama de Moody.

9. Siguiendo la metodología mencionada anteriormente calcule las pérdidas por fricción en cada tramo mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, una vez obtenido las pérdidas energéticas en cada tramo realizar la suma de cada una de ellas.
10. Calcular las presiones en cada punto o trayectoria indicada por el docente mediante la ecuación general de la energía y comparé dicha presión obtenida analíticamente con la obtenida experimentalmente.
11. Emplear la herramienta Excel para facilitar los cálculos y dar una mayor precisión y exactitud en los cálculos.

Pérdidas por accesorios

1. Identifique el diámetro de la tubería y el material de la tubería de cada sección.
2. Identifique la cantidad y tipo de accesorio presente en cada sección.
3. Calcule la velocidad de cada trayectoria según las fórmulas empíricas anexadas, para esto utilice la viscosidad cinemática tomando como referente un metro de tubería y la temperatura del agua según las condiciones ambientales.
4. Obtenga el caudal o flujo volumétrico que circula en la tubería.
5. Calcular el cociente de la longitud equivalente y diámetro interno de la tubería para cada uno de los accesorios según su tramo.
6. Obtenga la rugosidad absoluta del material, seguido de esto se proceda a calcular la rugosidad relativa según el diámetro de la tubería donde se encuentra conectado el accesorio.
7. Hallé el factor o coeficiente de fricción utilizando ya sean ecuaciones empíricas o diagrama de Moody.
8. Calcule el coeficiente de resistencia del accesorio.
9. Una vez obtenido el coeficiente de resistencia obtenga la pérdida energética en cada accesorio a través de las ecuaciones anexadas y sume cada una de estas pérdidas calculadas en cada accesorio.
10. Para estos cálculos use la herramienta Excel o realice dichos cálculos a mano según sea su preferencia.

MATERIALES Y EQUIPOS

BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICION DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERIAS PVC Y ACCESORIOS (Equipo disponible en el laboratorio de Hidráulica).

DATOS Y RESULTADOS

Registro los datos de las pérdidas por fricción en la Tabla 1.

5.1											
5.2											
5.3											
Total											

A partir de los valores registrados en la Tabla 1 y tabla 2, determiné el valor de las presiones en algunos puntos de las tuberías y comparé estos valores con los obtenidos de manera experimental:

Tabla 3. Presiones

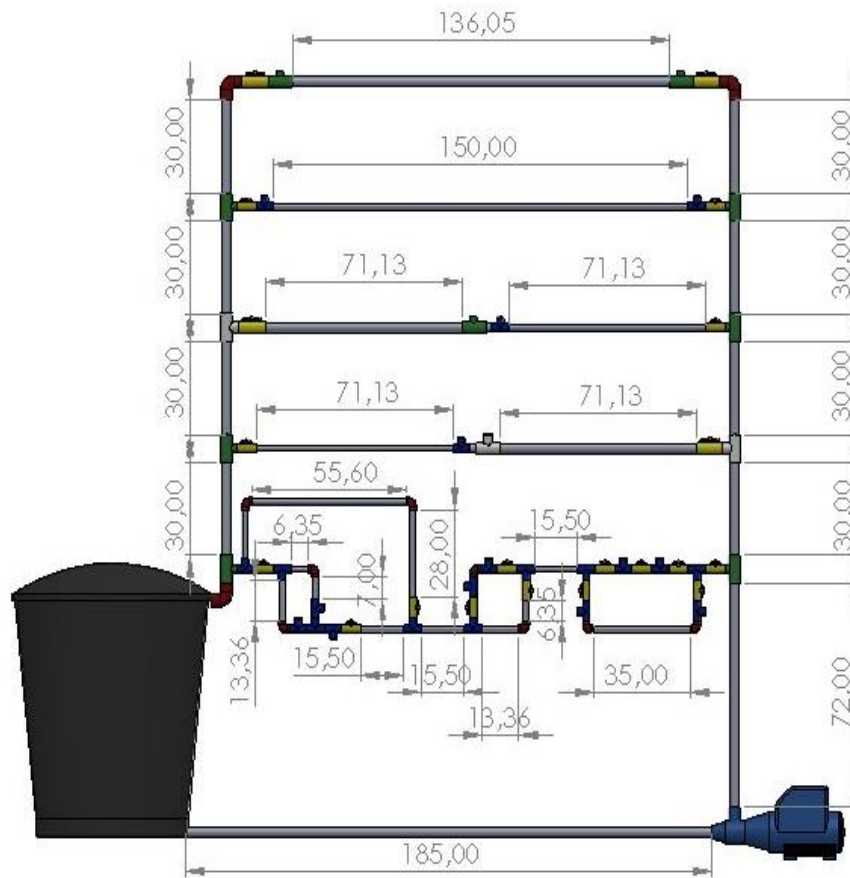
Tramo	h_f	Presión analítica	Presión experimental	V (m/s)	
1					
2					
3					
4					
5					

CONCLUSIONES

Realice sus conclusiones sobre los resultados obtenidos de la práctica.

ANEXOS

1. PLANO DEL BANCO



2. Ecuación de Darcy para pérdidas de energía por fricción

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h_f = Pérdida de energía debida a la fricción

L = longitud de la corriente de flujo

D =diámetro de la tubería

v =velocidad de flujo promedio

f =factor de fricción (adimensional)

3. Número de Reynolds

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu}$$

N_R = número de Reynolds

v = velocidad de flujo

D =diámetro de la tubería

ρ =densidad

ν =viscosidad cinemática

η = viscosidad del fluido o dinámica

4. Factor de fricción

Para flujo laminar

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

Donde

f = factor de fricción

N_R = número de Reynolds

Para flujo turbulento

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

Donde

f = factor de fricción

N_R = número de Reynolds

D = diámetro tubería

ε = rugosidad

5. Pérdidas de energía por accesorios

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

Donde

h_L =pérdida menor

K =coeficiente de resistencia

v =velocidad promedio del flujo

g =gravedad

6. Ecuación general de la energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

7. Coeficiente de resistencia

$$K = f \times \frac{L_e}{D_i}$$

Recomendaciones

- Regular la apertura de las válvulas para medir la presión y evitar el daño de la electrobomba.
- Verificar que el fluido (agua) este limpió
- Tener en cuenta el plano del banco (medidas -longitud) para la realización de los cálculos.
- Utilizar suficiente teflón para evitar fugas de agua y realizar una práctica adecuada.

REFERENCIAS

- Frank. M. White (Mecánica de fluidos, sexta edición, 2015)
- R.Moot (Mecánica de fluidos, séptima edición,2015)

5.2 Evaluación e implementación de las guías de laboratorio

Figura 5-1

Evaluación de las guías de laboratorio



Nota: Fuente propia

Figura 5-2

Evaluación de las guías de laboratorio



Nota: fuente propia

6. Conclusiones

- A partir de la metodología de fases para llevar a cabo la elaboración del banco, empleándose para ello el diagrama de bloques y para la selección de los componentes y caracterización se utilizó el método lluvias de ideas donde se escogieron las alternativas más adecuadas para los sistemas y accesorios del banco teniendo en cuenta su disponibilidad en el mercado realizando un minucioso análisis de costos. De lo anterior se halló los siguientes resultados: Al implementar un Bypass genera una mayor pérdida energética en el fluido ya que su conexión y componentes permiten una buena canalización del flujo de agua circulando por sus diferentes vías o trayectos lo cual lo hace conveniente para realizar prácticas donde se afiance los conceptos teóricos con la práctica.
- Se diseñó el banco de tal forma que las secciones sean independientes y el fluido circule con mayor velocidad y sin tantas pérdidas energéticas, esto con la finalidad de que los estudiantes que realicen la práctica desarrollen habilidades analíticas e identifiquen el comportamiento del fluido en cada circuito del banco, además la selección de componentes y la longitud de la tubería fue un factor de gran relevancia.
- Se realizó la construcción del banco de manera manual y sencilla, utilizando herramientas de corte para una mayor precisión para evitar mal contacto al momento de unir la tubería con algún accesorio. De tal forma que no se generen pérdidas adicionales por esto.
- Se demostró que al pasar el fluido por algún accesorio o por un tramo de la tubería hay una pérdida de presión registrada por los manómetros, generalmente el manómetro de salida marca un valor menor al manómetro de entrada.
- Se construyeron las guías de laboratorio de forma clara y precisa mostrando la metodología a seguir para que los estudiantes realicen de manera correcta las prácticas y además de esto de una manera didáctica, realizando su respectiva evaluación en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Antonio Nariño sede Buganviles en la ciudad de Neiva.

7. Bibliografía

- R. Diaz, Héctor Alfonso. (2011) “Diseños hidráulicos sanitarios y de gas en edificaciones”. Tercera edición. Colombia. Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería. Pág. 223
- R. Mott. (2015) “Mecánica de Fluidos. Septima Edición”. Editorial Pearson Educacion. México. Pág 181, 183-195.
- G. Yambombo (2012). Universidad Central Del Ecuador. Recuperado el 18 de 09 de 2021, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/325>
- J. Hidalgo, D. Morales (2019). Pontifica Universidad Catolica Del Ecuador. Recuperado el 18 de 09 de 2021, de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17649>
- A. Hernandez (09 de 1986). Corporacion Universitaria Auntonoma De Occidente. Recuperado el 18 de 09 de 2021, de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/2469/T0000759.pdf?sequence=1>
- R, Lopez. (2011) “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados”. Segunda edición. Colombia. Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería. Pág. 546
- K. Ulrich, S. Eppinger (2013) “Diseño y Desarrollo de Productos. Quinta Edicion” McGRAW-HILL, Mexico

Gómez J, Restrepo J, Ríos C. (2016). *Repositorio Institucional Pascual Bravo*. Obtenido de <http://repositorio.pascualbravo.edu.co:8080/jspui/handle/pascualbravo/97>

Gómez C, Restrepo J, Ríos C, (2016). “Instalación y construcción de un Banco de Pruebas para perdidas en tuberías y accesorios con fines académicos”. Universitaria Pascual Bravo (Medellín-Antioquia) la tesis

Alfonso H, (1986) “Banco para la medición de pérdidas por fricción en tuberías y accesorios de un sistema hidráulico” Universidad Autónoma De Occidente (Santiago de Cali) Tesis

Velasquez L, (2010) “Diseño de un banco de pruebas para la medición de pérdidas por fricción en tuberías fluyendo a presión” Universidad de los Andes (Bogotá)

Rafael Gregorio Poma Solano, (2015) “Diseño y construcción de un banco de ensayo para el estudio de pérdidas de carga por fricción y singularidad” Lima - Perú

YAMBOMBO G, GUSTAVO J, (2012) “Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos por pérdidas de carga en tuberías y accesorios” Universidad Central Del Ecuador, tesis

HIDALGO A, MORALES D, (2019) “Diseño y construcción de un equipo para la determinación de pérdidas de carga por fricción en tuberías y en accesorios para el

laboratorio de hidráulica de la facultad de ingeniería de la PUCE”. Universidad Católica del Ecuador