

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Rediseño de un banco experimental de pérdidas hidráulicas en tuberías para
prácticas de laboratorio

INGE-3099

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero mecánico

Presentado por:

Jorge Armando Chiriboga Mantilla

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Ing. Mario Chiriboga, Dra. Narcisa Mantilla y
Dra. Diana Chiriboga, por todo el esfuerzo y
dedicación que me han dado para poder
superarme cada día.

.

Agradecimientos

Ing. Mario Chiriboga, Dra. Narcisa Mantilla y Dra. Diana Chiriboga, a los docentes, Ing. Gonzalo Zabala, Ing. Mario Patino, Ing. Juan Peralta y Ing. Xavier Ladines. Por dirigir este trabajo de graduación.

Declaración Expresa

Yo Jorge Armando Chiriboga Mantilla acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 23 de octubre del 2025.



Jorge Armando

Chiriboga Mantilla

Evaluadores

Dr. Miguel Ángel Quilambaqui Jara

Profesor de Materia

Mgtr. Gonzalo Rodolfo Zabala Ortiz

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo general la readecuación del banco experimental de pérdidas de tuberías del Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en las prácticas académicas relacionadas con el estudio de pérdidas de energía en sistemas de tuberías. Se planteó como hipótesis que la inspección visual, el diagnóstico de fallas, el mantenimiento y la sustitución de componentes defectuosos, junto con la calibración de los instrumentos de medición, permitirían mejorar la precisión y confiabilidad de los resultados experimentales, asegurando un equipo seguro y operativo para la enseñanza práctica. La metodología empleada fue de carácter experimental e inspección que incluyó una inspección visual de los componentes del banco hidráulico, pruebas de operación para la detección de fugas y ver el funcionamiento de los instrumentos. Finalmente, se realizó una validación experimental mediante la comparación entre los resultados teóricos con los experimentales. Los resultados evidenciaron una precisión en las mediciones, reducción de fugas y un incremento en la seguridad operativa del equipo. Se concluye que el rediseño y la readecuación del banco experimental garantiza fortalecer el proceso de aprendizaje práctico en las prácticas de mecánica de fluidos.

Palabras clave: pérdidas de energía, banco hidráulico, mecánica de fluidos, instrumentación, prácticas experimentales.

Abstract

The present project had the general objective of reconditioning the experimental pipe loss bench of the Fluid Mechanics Laboratory at the Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), to ensure its proper functioning in academic practices related to the study of energy losses in piping systems. It was hypothesized that visual inspection, fault diagnosis, maintenance and replacement of defective components, together with the calibration of measuring instruments, would improve the accuracy and reliability of the experimental results, ensuring a safe and operational piece of equipment for practical teaching.

The methodology employed was of an experimental and inspection-based nature, which included a visual inspection of the components of the hydraulic bench, operational tests to detect leaks, and verification of the proper functioning of the measuring instruments. Finally, experimental validation was carried out through the comparison between theoretical and experimental results.

The results showed improved measurement accuracy, a reduction in leaks, and an increase in the operational safety of the equipment. It is concluded that the redesign and reconditioning of the experimental bench contributes to strengthening the practical learning process in fluid mechanics laboratory sessions.

Keywords:

energy losses, hydraulic bench, fluid mechanics, instrumentation, experimental practices.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1	1
1.2 Descripción del Problema.....	5
1.3 Justificación del Problema.....	8
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	9
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
1.5 Marco teórico.....	10
1.5.1 Rediseño	10
1.5.2 Fundamentos de los fluidos.....	10
1.5.3 Pérdidas por fricción por Darcy Weisbach	11
1.5.4 Pérdidas por accesorios o menores.....	12
1.5.5 Banco experimental en pérdidas en tuberías	13
1.5.6 Piezómetro o columna de agua.....	15
1.5.7 Flujo en Tuberías.....	16
1.5.8 Tuberías en serie.....	16
1.5.9 Tuberías en paralelo	17
1.5.10 Diagrama de Moody.....	18

1.5.11	Practicas de laboratorio	20
Capítulo 2	22
Metodología.	23
2.1	Enfoque y tipo de investigación	23
2.2	Esquema metodológico.....	24
2.2.1	Inspección visual del banco hidráulico	25
2.2.2	Prueba inicial de operación	30
2.3	Alternativas de solución	31
2.4	Normas aplicadas.....	31
2.4.1	Alternativa 1: Reemplazo total del sistema.....	32
2.4.2	Alternativa 2: Mantenimiento correctivo y reemplazo parcial.....	32
2.4.3	Alternativa 3: Mantenimiento general.....	33
2.4.4	Mantenimiento y reemplazo de componentes	34
2.4.5	Procedimiento experimental en el banco hidráulico	38
2.4.6	Verificación inicial de componentes	39
2.4.7	Selección del circuito de prueba.....	39
2.4.8	Purgado de la columna de agua.....	39
2.4.9	Toma de datos de caudal y presión	40
2.4.10	Pruebas experimentales con manómetros	40
2.5	Pruebas Experimentales con Manómetros.....	41
2.5.1	Tubería de 1 pulgada de DN	41
2.5.2	Tubería de ¾ de pulgada	44
Capítulo 3	50
3. Resultados y análisis	51

Capítulo 4	60
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	61
4.1.1 Conclusiones	61
4.1.2 recomendaciones	62
Referencias	64

Abreviaturas

ASME American Society of Mechanical Engineers

ISO International Organization for Standardization

PVC Policloruro de vinilo

DN Diámetro nominal

Simbología

- A Área de la sección transversal de la tubería
- D Diámetro interno de la tubería
- f Factor de fricción de Darcy
- g : Aceleración de la gravedad
- h Altura de energía o carga hidráulica
- h_m Pérdidas menores
- h_f Pérdida por fricción (pérdida mayor)
- h_t Pérdida total de energía
- K Coeficiente de pérdidas menores
- L Longitud de la tubería
- P Presión
- P_1 Presión en el punto de entrada
- P_2 Presión en el punto de salida
- Q Caudal del fluido
- V Velocidad media del fluido en la tubería
- ΔP Diferencia de presión entre dos puntos
- ε/D Rugosidad relativa
- Re Número de Reynolds
- ε Rugosidad absoluta de la tubería
- ρ Densidad del fluido

Índice de figuras

Figura 1 Banco experimental hidráulico de perdidas en tuberías antes	6
Figura 2 Banco experimental hidráulico de perdidas en tuberías	14
Figura 3 Piezómetro o manómetro diferencial de columna de agua	15
Figura 4 Sistema de tubería en serie	16
Figura 5 Sistema de tubería en paralelo	18
Figura 6 Diagrama de Moody.....	19
Figura 7 Diagrama de Moody.....	24
Figura 8 Figura de la parte posterior del banco experimental hidráulico	25
Figura 9 Condiciones iniciales del piezómetro de columna de agua	26
Figura 10 Condiciones iniciales de la válvula de 1 pulgada	27
Figura 11 Figura del y los manómetros del banco hidráulico.....	28
Figura 12 Figura del caudalímetro del banco hidráulico	29
Figura 13 Figura muestra las condiciones iniciales de la válvula cheque del banco hidráulico .	29
Figura 14 Figura muestra las condiciones iniciales del motor del banco hidráulico	30
Figura 15 Figura muestra las condiciones iniciales del motor del banco hidráulico.....	34
Figura 16 Figura de las mangueras nuevas de ¼ de pulgada.....	35
Figura 17 La figura de la válvula de compuerta de 1 pulgada.....	36
Figura 18 La figura de las condiciones de la válvula de compuerta de ½ de pulgada	37
Figura 19 La figura de la válvula de cierre rápido o de bola del banco hidráulico.....	37
Figura 20 La figura del manómetro del banco hidráulico.....	38
Figura 21 Diagrama de la configuración de la tubería de 1 pulgada	41
Figura 22 Sistema de tuberías en paralelo	45
Figura 23 Tramo en serie de la tubería faltante para el cálculo del delta P	48
Figura 24 Banco hidráulico rediseñado	51
Figura 25 Pérdida total de carga en función del caudal.....	54
Figura 26 Pérdida total de carga en función del caudal escala logarítmica	55
Figura 27 Factor de fricción teórico y experimental en función del caudal	56
Figura 28 Comparación de la caída de presión experimental con la teórica	57

Figura 29 La figura muestra el esquema del banco hidráulico de pérdidas de tuberías	71
Figura 30 Tramo en paralelo de la tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada.....	73
Figura 31 Tramo en serie de la tubería faltante para el cálculo del delta P	73
Figura 32 Plano del banco hidráulico	80

Índice de tablas

Tabla 1 Valores K para distintos accesorios (*)	13
Tabla 2 Matriz de decisión de las alternativas	33
Tabla 3 Datos de para los cálculos de la tubería de 1 pulgada de diámetro nominal	41
Tabla 4 Tabla de datos y propiedad del agua a 30°C	48
Tabla 5 Resultados obtenidos de la práctica experimental y cálculos realizados.....	53
Tabla 6 Resultados de la toma de datos y cálculos realizados.....	56
Tabla 7 Tabla que muestra las incertidumbres de las pérdidas de presión y coeficiente de fricción	67
Tabla 8 Tabla de datos y propiedad del agua a 30°C	74
Tabla 9 La tabla para la práctica del tramo de 1 pulgada de DN.....	75
Tabla 10 La tabla para la práctica del tramo de $\frac{3}{4}$ pulgada de DN.....	76
Tabla 11 Programa de mantenimiento preventivo Banco hidráulico.....	78

Capítulo 1

1.1 Introducción

El estudio del comportamiento de los fluidos en sistemas de tuberías constituye a uno de los conceptos y aplicaciones más importantes en la ingeniería mecánica en la actualidad. La transferencia de energía, la disipación por fricción, la interacción del flujo con superficies rugosas y la variación de la presión a lo largo de trayectorias hidráulicas determinan la eficiencia, estabilidad y confiabilidad de los sistemas de transporte de fluidos. Estos principios no solo sustentan el diseño de instalaciones industriales, sino que permiten optimizar redes de distribución, estaciones de bombeo, intercambiadores de calor y dispositivos de control de flujo, donde incluso pérdidas energéticas aparentemente pequeñas pueden traducirse en variaciones significativas del desempeño global del sistema (White, 2016).

El estudio experimental de estos fenómenos exige el uso de bancos hidráulicos capaces de reproducir condiciones controladas, medir con precisión parámetros críticos como caudal, presión, velocidad media y gradiente energético y establecer una correspondencia clara entre los modelos teóricos y el comportamiento real del flujo (Swamee & Jain, 1976). Este tipo de instalaciones constituye un componente esencial en la formación del ingeniero, ya que proporciona evidencia empírica del cumplimiento de leyes fundamentales como la ecuación de Bernoulli, la ecuación de continuidad y la ecuación de Darcy–Weisbach, pilares que gobiernan la dinámica del flujo interno en conductos cerrados (Çengel & Cimbala, 2020).

Dentro de este marco teórico, la ecuación de Darcy–Weisbach adquiere especial relevancia al describir las pérdidas de energía primarias asociadas a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería. El parámetro más sensible de esta ecuación, el factor de fricción f ,

depende de manera significativa del régimen de flujo, del número de Reynolds y de la rugosidad relativa del conducto, lo que introduce comportamientos no lineales que requieren el uso de correlaciones empíricas, como la ecuación de Colebrook–White o el diagrama de Moody (Munson et al., 2013). La correcta determinación de este factor resulta indispensable para el dimensionamiento de tuberías, la selección de bombas, la estimación de requerimientos energéticos y la predicción del desempeño del sistema bajo distintas condiciones operativas.

No obstante, la confiabilidad de los resultados experimentales depende directamente del estado físico y funcional del banco hidráulico empleado. Componentes deteriorados tuberías con corrosión interna, válvulas con fugas, manómetros descalibrados o uniones defectuosas pueden introducir errores sistemáticos significativos, comprometiendo la precisión de las mediciones y dificultando la validación de los modelos teóricos. Cuando estos sistemas presentan desgaste, dejan de reproducir con fidelidad las condiciones idealizadas asumidas en las ecuaciones fundamentales, generando discrepancias que afectan tanto el aprendizaje experimental como la utilidad académica del equipo.

Ante esta realidad, resulta necesario realizar un análisis exhaustivo del funcionamiento, la confiabilidad y la precisión del banco hidráulico, con el fin de diagnosticar las fallas que afectan las mediciones y proponer acciones correctivas. La evaluación de las pérdidas de energía en tuberías de distintos diámetros, la determinación experimental del factor de fricción, la comparación con modelos teóricos y el análisis de la influencia del régimen de flujo y la rugosidad permiten no solo validar los fundamentos teóricos, sino también establecer el estado real del sistema y su capacidad para generar datos experimentales robustos.

Este estudio se enmarca en la necesidad de fortalecer la infraestructura experimental del laboratorio de Termo fluidos, garantizando que estudiantes y usuarios dispongan de un equipo que represente con precisión el comportamiento físico del flujo en condiciones reales de operación. La comprensión adecuada de las pérdidas energéticas, del gradiente de presión y del efecto del régimen de flujo resulta crucial para la ingeniería aplicada, especialmente en áreas vinculadas al transporte de agua, sistemas térmicos, procesos industriales y diseño mecánico.

En consecuencia, este capítulo presenta el contexto técnico y conceptual necesario para el análisis de las pérdidas de carga en tuberías mediante un banco hidráulico, establece los fundamentos teóricos que respaldan la investigación y justifica la relevancia académica y operativa de la evaluación experimental propuesta.

1.2 Descripción del Problema

El Centro de Desarrollo Tecnológico y de Servicios (CDTS) dispone de un banco hidráulico donado por el área de Tecnología Mecánica, originalmente como una herramienta para fortalecer las actividades de docencia, investigación y validación experimental en el estudio del flujo interno y las pérdidas de energía en sistemas de tuberías. Este equipo que actualmente se encuentra ubicado en la facultad de ingeniería mecánica del CDTS, representa un equipo compartido por diversas carreras de la facultad, entre ellas Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Alimentos y otras disciplinas que requieren comprender el comportamiento hidráulico en procesos de conducción, transferencia de fluidos y operación de equipos industriales.

No obstante, el banco hidráulico presenta un deterioro considerable como resultado de varios años desuso sin la implementación de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo estructurado como se muestra en la figura 1. La presencia de tuberías de hierro galvanizado con corrosión interna, accesorios degradados, válvulas con fugas y manómetros descalibrados hacen que sea imposible validar el funcionamiento del banco hidráulico. En consecuencia, el sistema no logra reproducir condiciones de flujo controladas ni proporcionar datos confiables de caudal, presión o pérdidas energéticas, afectando la validez de los ensayos experimentales y debilitando el proceso de enseñanza práctica.

Figura 1

Banco experimental hidráulico de pérdidas en tuberías antes



Nota. La figura muestra el banco hidráulico en su estado inicial previo a la intervención

Estas deficiencias impiden que el banco cumpla su función fundamental: la demostración experimental de los principios teóricos de la mecánica de fluidos asociados a pérdidas primarias y secundarias, rugosidad relativa, número de Reynolds y determinación del factor de fricción mediante la ecuación de Darcy–Weisbach y correlaciones empíricas como Colebrook–White. La acumulación de depósitos internos, la alteración no controlada de la rugosidad y la aparición de perturbaciones geométricas generan comportamientos hidráulicos alejados de los modelos teóricos, introduciendo errores sistemáticos que afectan la precisión, reproducibilidad y confiabilidad de los resultados.

El estado actual del banco también reduce significativamente su valor interdisciplinario. Programas como Ingeniería en Alimentos emplean este tipo de instalaciones para el análisis del transporte de fluidos viscosos, la evaluación de pérdidas de carga en sistemas de bombeo y la comprensión del comportamiento del flujo en procesos industriales. Sin embargo, el deterioro del equipo impide desarrollar estas actividades con el rigor académico requerido, limitando su utilidad tanto en prácticas de laboratorio como en proyectos de investigación y formación de competencias técnicas.

Adicionalmente, la configuración física del sistema presenta deficiencias que afectan el desarrollo adecuado del flujo. La trayectoria hidráulica no garantiza condiciones de flujo totalmente desarrollado, el banco carece de instrumentación digital moderna y el conjunto presenta vibraciones y fugas que alteran las lecturas experimentales. La falta de uniformidad en los diámetros internos, sumada a la degradación de los accesorios, introduce pérdidas adicionales no deseadas que no pueden cuantificarse ni corregirse experimentalmente, imposibilitando la validación confiable de las ecuaciones fundamentales impartidas en el aula.

Frente a este escenario, el CDTS ha identificado la necesidad urgente de restablecer la operatividad del banco hidráulico mediante un proceso de rediseño integral que contemple el reemplazo de tuberías deterioradas, la actualización de válvulas, conexiones y accesorios, la incorporación de instrumentación moderna debidamente calibrada y la implementación de condiciones que garanticen mediciones estables, repetibles y consistentes.

La problemática es que el estado actual del banco hidráulico y los requerimientos técnicos, académicos y experimentales necesarios para su uso multidisciplinario no cumple con criterios mínimos de seguridad y precisión, y no permite el desarrollo de prácticas experimentales que reflejen con precisión los fenómenos hidráulicos reales.

En este contexto, la rediseño del banco hidráulico es importante para garantizar que las carreras que dependen de esta herramienta dispongan de un equipo funcional, actualizado y alineado con los principios fundamentales de la mecánica de fluidos.

1.3 Justificación del Problema

El banco hidráulico del Centro de Desarrollo Tecnológico y de Servicios (CDTS) constituye un recurso experimental clave para la formación en ingeniería y ciencias aplicadas, utilizado por carreras como Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Alimentos, Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental. Su propósito original es permitir el estudio del flujo interno, pérdidas de energía, medición de caudal y comportamiento hidráulico en tuberías y accesorios, conectando la teoría con la práctica experimental.

Actualmente, el equipo presenta deterioro estructural, descalibración de instrumentos y fallas en tuberías, válvulas y conexiones, lo que compromete la precisión y confiabilidad de los datos. Esta situación limita la validación de modelos teóricos afectando al aprendizaje práctico y reduce la capacidad de la universidad para ofrecer prácticas idóneas con forma a los temas de la materia de mecánica de fluidos.

La readecuación del banco hidráulico permitirá recuperar su funcionalidad, garantizar mediciones precisas y repetibles, actualizar los equipos asegura la seguridad operativa y fortalecer la formación interdisciplinaria. Así, el proyecto no solo mejora la estructura del banco hidraulico, sino que asegura que el laboratorio de Termofluidos mantenga prácticas de laboratorio óptimas para los estudiantes y así fomenta el aprendizaje en lo que se refiere a las pérdidas de energía en sistemas de tuberías.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Readecuar el banco experimental de pérdidas de tuberías mediante inspección, sustitución de componentes y calibración de instrumentos, garantizando su funcionamiento para la realización de prácticas académicas en ESPOL.

1.4.2 Objetivos específicos

Dar mantenimiento al banco experimental mediante inspección, sustitución de componentes y calibración de instrumentos. asegurando su correcto funcionamiento y la precisión de las mediciones.

Validar el funcionamiento del banco experimental mediante pruebas de flujo y pérdida de carga en distintas configuraciones de válvulas, garantizando su utilidad académica.

Elaborar una guía práctica del banco experimental mediante la recopilación de datos, conceptos, diagramas y procedimientos, para que los estudiantes comprendan el funcionamiento del equipo y los principios del análisis de pérdidas por fricción.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Rediseño

El rediseño se refiere al proceso de modificación y mejora de un sistema existente con el fin de optimizar su funcionamiento, adaptarlo a nuevos requerimientos o corregir deficiencias detectadas durante su uso. Este proceso no implica necesariamente la creación de un nuevo sistema, sino la mejora de su desempeño mediante cambios estructurales, funcionales o en sus componentes, buscando mayor eficiencia, seguridad y confiabilidad (Ulrich & Eppinger, 2016).

En el caso del banco hidráulico, el rediseño no se limita únicamente a la modificación de su estructura física, sino que también comprende la optimización y el reemplazo de componentes como tuberías, accesorios e instrumentos de medición. La adecuada selección y configuración de estos elementos es fundamental para garantizar mediciones precisas y resultados experimentales confiables durante las prácticas de laboratorio, lo cual permite una mejor validación de los modelos teóricos de la mecánica de fluidos (Munson et al., 2013; Fox, McDonald & Pritchard, 2015).

1.5.2 Fundamentos de los fluidos

El flujo de un fluido incompresible en tuberías se describe mediante las leyes de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía (Streeter & Bedford, 1998). La ecuación de Bernoulli permite relacionar la presión, la velocidad y la altura en distintas configuraciones de

tuberías en un entorno ideal sin pérdidas de fricción y pérdidas por accesorios (White, 2011). La ecuación de viene dada:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (1.1)$$

Donde:

- P es la presión del fluido,
- ρ es la densidad del fluido,
- g es la aceleración de la gravedad,
- v es la velocidad del flujo, y
- z es la elevación respecto a un plano de referencia.

Sin embargo, en sistemas reales de tuberías existen pérdidas debidas a la fricción y a efectos de accesorios, por lo que se introduce un término de pérdida de carga que en el análisis energético se resta de la ecuación anterior (e.g., Doyle, 2019).

1.5.3 Pérdidas por fricción por Darcy Weisbach

La ecuación de Darcy–Weisbach es una ecuación fundamental en mecánica de fluidos para cuantificar pérdidas de energía por fricción en tuberías (Munson, Young & Okiishi, 2013):

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (1.2)$$

Donde:

h_f es la pérdida de carga por fricción (m),

f es el coeficiente de fricción adimensional,

L es la longitud de la tubería (m),

D es el diámetro interno (m),

V es la velocidad media del fluido (m/s),

g es la gravedad (m/s²)

La ecuación es ampliamente empleada en ingeniería, tanto en educación superior como en la práctica profesional, debido a su validez tanto en flujo laminar como turbulento y su adaptación a diferentes materiales y condiciones de flujo (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2011).

Para el cálculo de factor de fricción se usa la ecuación de Swamee–Jain, debido a que es una ecuación precisa y que no requiere iteraciones como Colebrook (White, 2016) .

La ecuación viene dada:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (1.3)$$

1.5.4 Pérdidas por accesorios o menores

Las pérdidas por accesorios o menores son las pérdidas de energía que ocurren cuando el fluido fluye a través de accesorios, ya sea válvulas, manómetros u otros equipos que alteran el comportamiento del flujo. Estos distintos accesorios tienen un factor K que es el coeficiente de pérdidas del accesorio en un sistema de tuberías, estos valores dependen y pueden variar dependiendo de su material geometría e instalación (Fox, McDonald & Pritchard, 2015). La ecuación viene dada por:

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (1.4)$$

Donde h_m es la pérdida menor medida en metros (m), V es la velocidad del fluido medido por su diámetro interno, g es la aceleración de la gravedad expresada en m/s^2

Tabla 1

Valores K para distintos accesorios ()*

Pérdidas por accesorio factores K	
Codo 45° standard	0.4
Codo 90° standard	0.9
Brida	1.5
Válvula de compuerta (cierre rápido)	0.8–1.0
Válvula de compuerta (media vuelta)	0.2–0.3
Manómetro	0.1
Entrada súbita	0.5

(*) Los valores de K fueron sacados de Crane Technical Paper No. 410

1.5.5 Banco experimental en pérdidas en tuberías

El banco experimental de pérdidas en tuberías es una maquina hidráulica diseñada para estudiar el comportamiento del flujo de un fluido incompresible en este caso agua en tuberías de diferentes diámetros, materiales y geometría, así como para analizar pérdidas por fricción y pérdidas menores. El principal funcionamiento de este banco es ver las pérdidas de energía en las tuberías y ver como varia con diferentes caudales (Fox et al., 2015).

El banco experimental permite evaluar la energía perdida por fricción y por accesorios, comparando los resultados experimentales con los valores teóricos tabulados, lo que es fundamental para validar modelos hidráulicos. (Doyle, 2019, p. 110).

Figura 2

Banco experimental hidráulico de pérdidas en tuberías



Nota. La figura muestra el banco hidráulico con sus componentes para prácticas de laboratorio.

1.5.6 Piezómetro o columna de agua

El piezómetro o columna de agua es un dispositivo que mide la presión estática de un punto o de varios de manera directa (Cengel & Cimbala, 2017) como se muestra en la figura 2, el principio hidrostático es:

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad (1.5)$$

donde h es la altura de la columna, ρ la densidad del agua y g la aceleración de la gravedad.

La diferencia de altura (en cm H₂O) puede ser convertida a metros de columna de fluido para integrarla en cálculos de pérdidas de carga totales h_T .

Figura 3

Piezómetro o manómetro diferencial de columna de agua



Nota. Equipo ya instalado en el banco hidráulico con sus diferentes elementos que miden diferentes puntos de las tuberías

La columna de agua es especialmente útil para:

- Validar lecturas de manómetros.

- Determinar pérdidas menores h_m y totales h_T .
- Comparar resultados experimentales con los valores calculados usando ecuaciones de fricción (Darcy–Weisbach) y factores K

1.5.7 Flujo en Tuberías

El estudio de flujo en tuberías es fundamental en la ingeniería ya que permite analizar el comportamiento del fluido en sistemas de tuberías para una mayor eficiencia y seguridad. En un sistema de tuberías pueden ser tanto en serie como en paralelo (Potter, M. C., Wiggert, D. C., & Ramadan, B. H., 2012). El conocimiento de estas configuraciones es esencial para calcular correctamente la pérdida total de carga y diseñar sistemas hidráulicos confiables (White, 2016; Munson et al., 2013).

1.5.8 Tuberías en serie

En un sistema de tuberías en serie, los tramos de tubería se conectan uno tras otro, de manera que el caudal que circula es el mismo en todos los tramos como se muestra en la figura, pero las pérdidas de carga se suman a lo largo del recorrido (Munson et al., 2013).

Figura 4

Sistema de tubería en serie



Nota. La figura muestra una configuración de tubería en serie similar a la del banco hidráulico.

Esto significa que la pérdida total de presión entre el inicio y el final del sistema se obtiene sumando las pérdidas por fricción y las pérdidas menores de cada tramo, de acuerdo con las ecuaciones de Darcy–Weisbach y los coeficientes K de los accesorios (Fox, McDonald & Pritchard, 2015) como se ve en la ecuación 1.6:

$$h_T = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n (h_{f,i} + h_{m,i}) \quad (1.6)$$

Donde:

$h_{f,i}$ = pérdida por fricción del tramo i

$h_{m,i}$ = pérdidas menores de cada tramo

1.5.9 Tuberías en paralelo

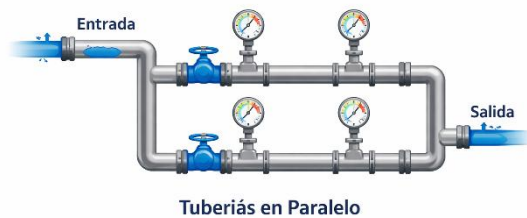
En un sistema de tuberías en paralelo, varias ramas conducen el fluido entre un mismo punto de entrada y uno de salida. A diferencia de las tuberías en serie, donde el caudal es constante en todos los tramos, en un arreglo paralelo el caudal se distribuye entre las distintas ramas, dependiendo de las resistencias hidráulicas de cada una (Munson et al., 2013). Las pérdidas de carga entre la entrada y la salida son iguales para todas las ramas, pero los caudales individuales pueden variar, lo que permite ajustar el diseño del sistema para optimizar el flujo total (Fox, McDonald & Pritchard, 2015).

El cálculo del caudal en cada rama se realiza considerando la ecuación de Darcy–Weisbach y los factores de fricción correspondientes a cada tubería, así como las pérdidas menores por accesorios. Esta configuración es frecuente en sistemas de distribución de agua y en procesos

industriales, ya que ofrece flexibilidad, posibilidad de mantenimiento sin interrumpir el sistema y una mejor adaptación a cambios en la demanda de flujo (Çengel & Cimbala, 2017).

Figura 5

Sistema de tubería en paralelo



Nota. La figura muestra una configuración de tubería en paralelo similar a la del banco hidráulico.

En resumen, el análisis de tuberías en paralelo permite evaluar cómo se reparte el caudal, cómo afectan las pérdidas de carga a cada rama y cómo se puede optimizar la operación del sistema hidráulico:

$$h_1 = h_2 = \dots = h_n = h_T$$

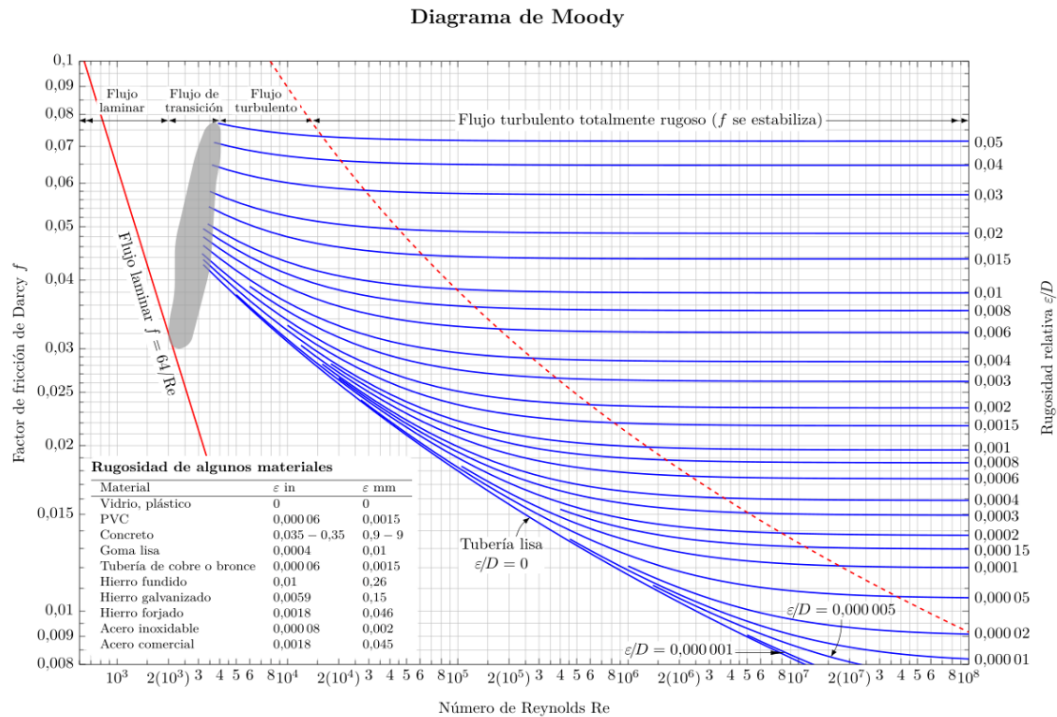
Esto permite calcular el caudal de cada rama, porque $Q_1 \neq Q_2$, usando la ecuación de Darcy-Weisbach.

1.5.10 Diagrama de Moody

El diagrama de Moody es una gráfica adimensional utilizada en mecánica de fluidos para determinar el factor de fricción f en tuberías circulares como se muestra en la figura 3. Relaciona tres parámetros fundamentales:

Figura 6

Diagrama de Moody



Nota. Tomado de “Fundamentals of Fluid Mechanics” (8th ed.) por B. R. Munson, D. F. Young y T. H. Okiishi, 2013, Wiley.

- **Número de Reynolds (Re)** eje horizontal (escala logarítmica)
- **Factor de fricción de Darcy (f)** eje vertical
- **Rugosidad relativa (ϵ/D)** familias de curvas

Este diagrama sirve para hallar el coeficiente f sin resolver ecuaciones implícitas (como Colebrook), leyendo directamente el valor desde la gráfica.

Cómo se lee

1. **Calcula Re .**
2. **Ubica Re en el eje horizontal.**
3. **Selecciona la curva** correspondiente a tu ϵ/D (p. ej., hierro galvanizado cédula 40).

4. Lee f en el eje vertical donde intersectan.

- **Regímenes que muestra**

- **Laminar** ($Re < 2300$): $f = 64/Re$ (línea recta).

- **Transición** ($\approx 2300-4000$): zona inestable (no se recomienda diseño).

- **Turbulento** ($Re > 4000$): f depende de Re y ε/D ; para flujo totalmente rugoso, f depende casi solo de ε/D .

1.5.11 Prácticas de laboratorio

Las prácticas de laboratorio son fundamentales en la formación de los estudiantes de ingeniería, ya que permiten aplicar los conocimientos teóricos en situaciones reales y reforzar la comprensión de los fenómenos estudiados en clase. En mecánica de fluidos, los laboratorios facilitan la medición de variables como presión, caudal, velocidad y pérdidas de carga, permitiendo comparar los resultados experimentales con los valores calculados teóricamente. (Munson et al., 2013).

Las prácticas de laboratorio ayudan a desarrollar competencias técnicas como el manejo de instrumentos de medición, la recolección y análisis de datos y la interpretación de resultados. Estas experiencias prácticas permiten identificar errores y comprender la influencia de factores como la rugosidad de las tuberías o la presencia de accesorios en el flujo y luego validar las ecuaciones en los sistemas de tuberías (Fox, McDonald & Pritchard, 2015).

Por otra parte, Çengel y Cimbala (2017) destacan que los laboratorios fomentan el aprendizaje significativo, ya que los estudiantes observan directamente cómo las variables operativas afectan el comportamiento del fluido y el desempeño del sistema. De esta manera, el

laboratorio no solo fortalece el conocimiento teórico, sino que también promueve habilidades críticas y prácticas que son esenciales en la formación profesional de un ingeniero.

Capítulo 2

Metodología.

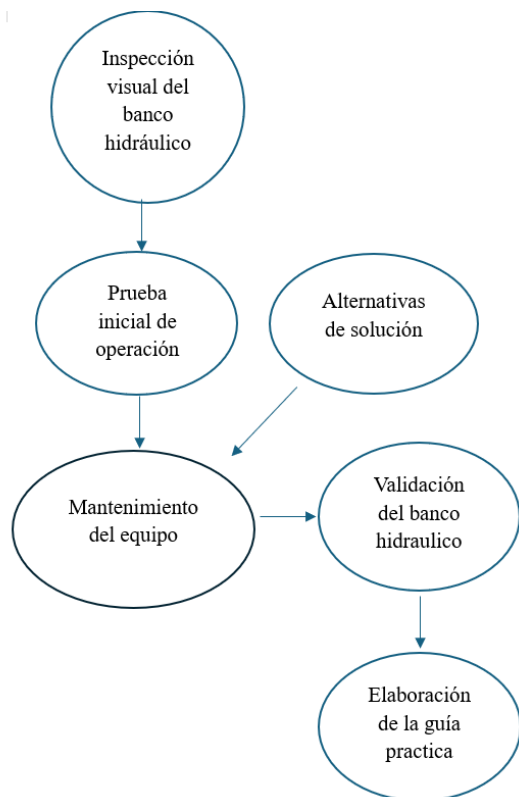
1.6 Enfoque y tipo de investigación

La metodología del estudio se sigue dos enfoques complementarios que son la inspección técnica y experimental, los cuales garantizan la confiabilidad de los datos y el correcto funcionamiento del banco hidráulico. En primero se aplica la inspección técnica que es definida por Montgomery (2012) como un procedimiento importante en el control de calidad de un equipo, donde permite identificar las fallas generales que pueden afectar los resultados del experimento. Por ello, se revisaron las mangueras, conexiones, válvulas, manómetros, tuberías y el estado general del sistema para detectar las posibles fugas y estado de los componentes. Posteriormente, se emplea el enfoque experimental en el que consiste en manipular deliberadamente una variable independiente para observar su efecto sobre una variable dependiente (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). En este caso, se varió el caudal mediante el ajuste de válvulas de la válvula de salida para así ver cuanta energía se pierda al disminuir la velocidad del flujo.

1.7 Esquema metodológico

Figura 7

Diagrama de Moody



Nota. El esquema muestra todo el proceso que se va a seguir de acuerdo con a los objetivos especificados

1.7.1 Inspección visual del banco hidráulico

1.7.1.1 Tuberías y reservorio

Durante la inspección visual se observó que las tuberías presentaban desprendimiento de pintura en varias secciones como se muestra en la figura 5, lo que indica desgaste por el uso y exposición a la humedad. Esto puede afectar la durabilidad de las tuberías y, en casos extremos, favorecer la aparición de corrosión. El reservorio del banco hidráulico mostraba acumulación de suciedad y signos de oxidación en su interior y bordes, lo que podría interferir con la calidad del agua circulante y con el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 8

Figura de la parte posterior del banco experimental hidráulico



Nota. La figura muestra el estado del equipo hidráulico en la parte posterior

1.7.1.2 Mangueras y columna de agua

Las mangueras que conectan el reservorio con la columna de agua como se muestra en la figura 6 estaban visiblemente sucias y presentaban restos de sedimentos. El visor que protege el interior de la columna de agua también tenía suciedad acumulada, lo que dificultaba la observación del flujo interno y podría afectar la precisión de la medición del nivel de agua. Esta situación indica la necesidad de limpieza profunda o reemplazo de las mangueras para garantizar un funcionamiento óptimo.

Figura 9

Condiciones iniciales del piezómetro de columna de agua



Nota. En la figura se muestra las condiciones generales del componente instalado en el banco hidráulico.

1.7.1.3 Válvulas

Al revisar las válvulas como se muestra en la figura 7, se detectó que algunas estaban duras al girarlas, lo que sugiere posible desgaste interno o acumulación de residuos que dificultan su operación. La válvula de cheque presentaba daños evidentes que podrían provocar fugas o impedir el flujo correcto del agua. Esta inspección permitió determinar que era necesario reparar o reemplazar la válvula antes de realizar pruebas de operación.

Figura 10

Condiciones iniciales de la válvula de 1 pulgada



Nota. La figura muestra las condiciones generales de la válvula y de todas en general instaladas en el banco hidráulico.

1.7.1.4 Manómetros

Se identificó que dos de los manómetros carecían de su carátula protectora como se muestra en la figura 8, lo que impide una lectura precisa de la presión. Esto es crítico para la evaluación del funcionamiento del banco hidráulico, ya que los manómetros proporcionan información directa sobre la presión en diferentes secciones del sistema. La inspección visual permitió planificar la reposición de estos instrumentos para asegurar mediciones confiables (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2023).

Figura 11

Figura del y los manómetros del banco hidráulico



Nota. En la figura muestra las condiciones del manómetro antes de su readecuación

1.7.1.5 Caudalímetro

El caudalímetro del banco hidráulico presentaba suciedad acumulada, lo que podría alterar la medición del flujo de agua y afectar los resultados de las pruebas de rendimiento del sistema. Se determinó que era necesaria su limpieza o calibración antes de proceder con las pruebas experimentales (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2022).

Figura 12

Figura del caudalímetro del banco hidráulico



Nota. La figura muestra las condiciones generales del caudalímetro

1.7.1.6 Motor y válvula cheque

El motor fue inspeccionado y se detectó que requería mantenimiento preventivo. Esto incluye limpieza, revisión de conexiones y posibles ajustes, con el objetivo de garantizar que funcione correctamente durante las pruebas y no afecte la seguridad ni la precisión de los resultados (National Fire Protection Association [NFPA], 2022).

Figura 13

Figura muestra las condiciones iniciales de la válvula cheque del banco hidráulico



Nota. En la figura muestra las condiciones de la válvula cheque antes de hacerle la prueba inicial

Figura 14

Figura muestra las condiciones iniciales del motor del banco hidráulico



Nota. En la figura muestra las condiciones del motor antes de hacerle la prueba inicial

1.7.2 Prueba inicial de operación

Una vez realizada la inspección visual y corregidos los problemas críticos, se procedió a la prueba inicial de operación del banco hidráulico, haciendo circular agua por las tuberías para evaluar su estado interno y funcionamiento general del sistema. Durante esta etapa se observó que la válvula de 1/2 pulgada presentaba fuga, provocando la salida de agua y evidenciando la necesidad de reparación o reemplazo para asegurar la estanqueidad del sistema.

Se detectó además que el manómetro correspondiente a la misma sección no estaba marcando correctamente, lo que impide medir de manera confiable la presión en esa tubería. A pesar de estos problemas, las tuberías no presentaban obstrucciones, lo que indica que el flujo de agua no se encontraba restringido por residuos o acumulaciones internas.

En la zona de la columna de agua las mangueras que conectan a la columna estaban opacas con alta suciedad y no se distinguía el nivel del agua dentro de la manguera, lo que puede afectar la medición y debe ser corregido mediante el reemplazo. Se identificó también una brida soldada en el área de conexión de las mangueras, y las válvulas presentes en esa sección presentaban fugas, lo que

requiere un reemplazo para poder medir adecuadamente la caída de presión y garantizar el funcionamiento seguro del banco hidráulico.

Esta prueba permitió verificar de manera preliminar el estado operativo del sistema y evidenciar los componentes que requieren mantenimiento o reemplazo antes de realizar la validación final mediante las pruebas teóricas y prácticas del laboratorio (Manufacturers Standardization Society [MSS], 2018).

1.8 Alternativas de solución

Con base en la inspección visual realizada al banco hidráulico, se plantearon tres alternativas de solución que garantizan el correcto funcionamiento del sistema antes de las pruebas experimentales. Las alternativas se diferencian por los criterios de selección y las normas aplicadas.

1.9 Normas aplicadas

NTE INEN 2260:2013: Regula la seguridad industrial en laboratorios y talleres. Se aplicó durante las actividades de prueba y mantenimiento para evitar riesgos por presión, fugas o contacto con aceite hidráulico (American Society of Mechanical Engineers, 2005).

NTE INEN 439:2016: Establece los colores y señales de seguridad en equipos industriales. Se utilizó para identificar válvulas, tuberías y zonas de riesgo del banco hidráulico (American Society of Mechanical Engineers, 2023).

ISO 4413:2010: Norma internacional para diseño, montaje y mantenimiento de sistemas hidráulicos. Define los principios de seguridad, limpieza y control de presión aplicados durante el mantenimiento (American Society of Mechanical Engineers, 2022).

1.9.1 Alternativa 1: Reemplazo total del sistema

Consiste en sustituir por completo los componentes principales del banco hidráulico, incluyendo:

- Todas las tuberías
- Conexiones y codos
- Mangueras
- Válvulas
- Manómetros
- Caudalímetro
- Soportes o uniones deterioradas
- Elementos eléctricos asociados a la bomba (si aplica)

Esta alternativa garantiza un sistema nuevo con mayor confiabilidad y mínima probabilidad de fallas durante las pruebas.

Ventajas: alta seguridad operativa, eliminación total de fugas, precisión elevada.

Desventajas: costo elevado, tiempo de intervención mayor.

1.9.2 Alternativa 2: Mantenimiento correctivo y reemplazo parcial

Consiste en realizar mantenimiento únicamente a los componentes defectuosos y reemplazarlos si ya no funcionan y no hay modo de reparar. Esto incluye:

- Cambio de mangueras con fugas
- Cambio de manómetros
- Limpieza de tuberías internamente
- Revisión de válvulas que presenten desgaste o fugas
- Ajustes menores en conexiones y uniones

Esta alternativa equilibra costo y funcionalidad, asegurando que el sistema opere con confiabilidad sin necesidad de un reemplazo completo.

Ventajas: menor costo, intervención moderada, mejora significativa del rendimiento.

Desventajas: deja elementos antiguos que podrían fallar en el futuro.

1.9.3 Alternativa 3: Mantenimiento general

Consiste en realizar únicamente actividades básicas de mantenimiento para permitir la operación del banco hidráulico sin reemplazar componentes, salvo casos estrictamente necesarios:

- Limpieza externa e interna
- Purga del sistema para retirar aire
- Alineación o ajuste superficial de válvulas
- Verificación rápida de conexiones
- Lubricación y revisión general de la bomba

Desventajas: alta probabilidad de fallas futuras, menor precisión en los datos, menor confiabilidad del sistema.

Ventajas: costo muy bajo de preparación

Tabla 2

Matriz de decisión de las alternativas

Criterio de evaluación	Ponderación (%)	Reemplazo completo	Mantenimiento correctivo y reemplazo parcial	Mantenimiento correctivo
Costo de implementación	25	2	4	5
Eficiencia recuperada	30	5	4	3

Durabilidad esperada	20	5	4	2
Tiempo de ejecución	15	2	4	5
Mantenimiento	10	4	5	2
Puntaje total ponderado	100	3.85	4.15	3.45

Nota. La tabla muestra las ponderaciones respectivas para cada alternativa de solución dependiendo de los criterios

1.9.4 Mantenimiento y reemplazo de componentes

Se realizó limpieza externa, lubricación de ejes y verificación de parámetros de presión y caudal, asegurando el correcto funcionamiento del banco hidráulico. El motor bo

Figura 15

Figura muestra las condiciones iniciales del motor del banco hidráulico



Nota. La figura muestra el motor dado el mantenimiento

Se procedió al reemplazo de las mangueras que conectan el fluido hacia la columna de agua tal como se muestra en la figura 13, con el objetivo mejorar la toma de datos en el banco hidraulico.

Esta decisión a que los datos sean solo de las perdidas del sistema de tuberías y no a factores externos no controlados (Manufacturers Standardization Society [MSS], 2018).

Figura 16

Figura de las mangueras nuevas de ¼ de pulgada



Nota. Las mangueras van antes y después de la brida también en la tubería de ¾ de pulgada se instalaron nuevas del mismo tipo

3. Mantenimiento de válvulas (1/2", 1" y 3/4")

Las válvulas de ½ ¾ y 1 pulgada se retiraron, lavaron y revisaron. No requirieron reemplazo y solo se aplicó un mantenimiento preventivo. Asimismo, la válvula de compuerta estaba intacta y no requirió un mayor mantenimiento como se muestra en la figura 15. Pero en la válvula de la tubería de ½ de pulgada presentaron fugas leves y su mantenimiento solo fue una limpieza parcial y

desmonte como se muestra en la figura 15. Todas las válvulas se les hizo un desmonte para así hacerle una limpieza ligera y al momento de colocarlas se utilizó teflón para no causar fugas al momento de la instalación y posterior funcionamiento del equipo (Manufacturers Standardization Society [MSS], 2018).

Figura 17

La figura de la válvula de compuerta de 1 pulgada



Nota. La figura muestra las condiciones casi perfectas de la válvula de compuerta del banco hidráulico esto también ocurrió en la de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Figura 18

La figura de las condiciones de la válvula de compuerta de ½ de pulgada



Nota. La figura muestra las condiciones de la válvula de la tubería de ½ de pulgada.

4. Reemplazo de la válvula de las mangueras y mantenimiento de los manómetros

Se hizo un reemplazo de la válvula de las mangueras que presentaba fuga a una de válvula de cierre rápido de ½.

Figura 19

La figura de la válvula de cierre rápido o de bola del banco hidráulico



Nota. La figura muestra la nueva válvula de bola instalada en la tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada conectando hacia el piezómetro por medio de la manguera.

Figura 20

La figura del manómetro del banco hidráulico



Nota. La figura muestra las condiciones del y los manómetros después del mantenimiento

1.9.5 Procedimiento experimental en el banco hidráulico

Conexión y llenado del sistema

El proceso comenzó con la conexión de la bomba al circuito eléctrico y el llenado del reservorio hasta asegurar que la válvula de retención quedara completamente sumergida. Este detalle, aparentemente menor, es decisivo: una bomba que aspira aire se comporta como un pulmón enfermo, incapaz de mantener un flujo estable. Al evitar la cavitación, se protege tanto el equipo como la calidad de las mediciones, una práctica estándar en laboratorios académicos bien diseñados (Çengel & Cimbala, 2018).

1.9.6 Verificación inicial de componentes

Con todas las válvulas abiertas, se inspeccionó el sistema en busca de fugas y se comprobó que los manómetros ofrecieran lecturas estables. En hidráulica, una fuga externa es como una mentira silenciosa: no siempre se ve, pero distorsiona todo lo que viene después. Este paso garantiza que las pérdidas registradas sean internas al sistema y no producto de fallas visibles pero ignoradas (Munson et al., 2013).

1.9.7 Selección del circuito de prueba

Se cerraron las tuberías de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgada para trabajar exclusivamente con la tubería de 1 pulgada de diámetro nominal. La elección no es arbitraria: concentrar el análisis en un solo circuito permite aislar variables y comparar resultados con bancos de referencia utilizados en universidades como UT Austin. Es el método científico en su versión más sobria: menos ruido, más claridad (Fox et al., 2015).

1.9.8 Purgado de la columna de agua

Antes de cualquier medición, se purgó la columna dejando fluir el agua a través de las mangueras hasta eliminar el aire atrapado. Luego, con la bomba apagada y la válvula superior abierta, se permitió que la presión interna se equilibrara con la atmosférica. Este procedimiento tan meticuloso como necesario evita errores sistemáticos que, de otro modo, se filtrarían en cada lectura de presión como una sombra persistente (White, 2016).

Referencia de nivel inicial

Se estableció un nivel de referencia de 45 cm en la columna de agua. Ese valor se convirtió en el punto de partida para todas las mediciones posteriores de presión y pérdida de carga. La repetibilidad experimental depende de estas referencias fijas: sin ellas, comparar resultados sería como medir el tiempo con relojes que nunca marcan la misma hora (Çengel & Cimbala, 2018).

1.9.9 Toma de datos de caudal y presión

Con el motor en funcionamiento, la columna reflejó las variaciones de presión generadas por la bomba a distintos caudales. Mediante la regulación de la válvula de salida de la tubería de 1 pulgada, se modificó el caudal y se registraron las lecturas manométricas correspondientes. Este procedimiento se repitió de forma sistemática, permitiendo construir la relación h_T vs Q , una de las herramientas más reveladoras del análisis hidráulico. A partir de ella, se puede determinar el factor de fricción f y el coeficiente de pérdida K de los accesorios, tal como se hace en bancos hidráulicos de referencia internacional (Fox et al., 2015; Crane Co., 2019).

1.9.10 Pruebas experimentales con manómetros

En esta etapa se abordó el tratamiento de los datos obtenidos. Para la tubería de 1 pulgada, se procesaron las lecturas de caudal y presión con el objetivo de cuantificar las pérdidas de carga y contrastarlas con los modelos teóricos (Dwyer Instruments.,2020). Aquí, la hidráulica deja de ser solo agua en movimiento y se convierte en un diálogo entre teoría y experimento (American Society of Mechanical Engineers, 2005).

1.10 Pruebas Experimentales con Manómetros

En esta parte se describe todo el proceso de cálculos después de la recolección de datos del banco hidráulico, para la tubería de 1 pulgada se tiene los siguientes datos:

1.10.1 Tubería de 1 pulgada de DN

Figura 21

Diagrama de la configuración de la tubería de 1 pulgada



Nota. El diagrama muestra el tramo de la tubería de 1 pulgada con una brida de por medio.

Tabla 3

Datos de para los cálculos de la tubería de 1 pulgada de diámetro nominal

Datos		
Longitud	1.72	m
factor de tubería	0.035	
Diámetro	0.0266	m
K teórico	2	
e teórica	0.00015	m
u	0.000798	kg/ms

Nota. todos los valores fueron sacados de libros excepto la Longitud

1.10.1.1 Cálculo de ejemplo

Se calcula el factor de fricción de manera teórica despejando de la ecuación 1.3 de Swamee–Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{5.74}{Re^2} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.00015}{3.7} + \frac{5.74}{5271232.026^2} \right) \right]^2}$$

$$= 0.035$$

Envase a esto se realiza el cálculo de la f experimental

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2}{2g} + z_2 + h_T \quad (2.1)$$

Pérdidas totales;

$$h_T = h_f + h_m \quad (2.2)$$

Despejando h_f experimental tenemos;

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{V_1 - V_2}{2g} + (z_2 - z_1) - \sum h_m \quad (2.3)$$

Para un diámetro constante;

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - K \frac{V_1^2}{2g} = \frac{(2.5 \text{ psi}) * 6894.76 \text{ Pa}}{\left(996 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} - (2) \frac{(2.46^2)}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0.69 \text{ m}$$

Finalmente se determina f experimental

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (2.4)$$

$$f_{experimental} = (0.69 \text{ m}) \frac{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (0.0266 \text{ m})}{(1.71 \text{ m})(2.46^2)} = 0.05785$$

Incertidumbre

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho g} - K \frac{V^2}{2g}$$

$$\delta h_f = \sqrt{\left(\frac{\delta h_f}{\partial(\Delta P)} \delta P \right)^2 + \left(\frac{\delta h_f}{\partial V} \delta V \right)^2} \quad (2.5)$$

Derivadas parciales:

$$\frac{\delta h_f}{\partial(\Delta P)} = \frac{1}{\rho g} \quad (2.6)$$

$$\frac{\delta h_f}{\partial V} = -K \frac{V}{g} \quad (2.7)$$

Se reemplaza la ecuación 2.6 y 2.7 en la 2.5 y queda:

$$\delta h_f = \sqrt{\left(\frac{1}{\rho g} \delta P \right)^2 + \left(K \frac{V}{g} \delta V \right)^2} \quad (2.8)$$

$$\delta h_f = \sqrt{\left(\frac{345}{\left(996 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right)^2 + \left((2) \frac{2.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} (0.03 * 2.46) \right)^2} = 0.12 \text{ m}$$

Para esto tenemos $\frac{\delta V}{V} = \frac{\delta Q}{Q}$

$$\delta f = f \sqrt{\left(\frac{\delta h_f}{h_f}\right)^2 + \left(2 \frac{\delta V}{V}\right)^2} \quad (2.9)$$

$$\delta f = f \sqrt{(0.17)^2 + (2 * 0.03)^2} = \pm 0.012$$

$$f = 0.058 \pm 0.012$$

Por último, de la ecuación 1.3 se despeja la rugosidad del material trabajado:

$$\varepsilon = 3.7D \left(10^{-0.5/\sqrt{f}} - \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right) = 3.7D \left(10^{-0.5/\sqrt{0.058}} - \frac{5.74}{(5271232.026)^{0.9}}\right) = 0.82 \text{ mm}$$

1.10.2 Tubería de ¾ de pulgada

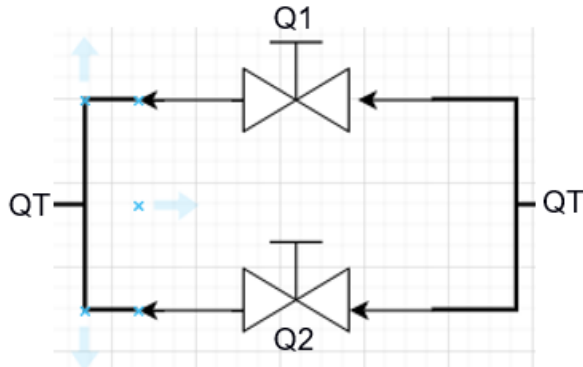
Para esta siguiente práctica se calcula los caudales que pasan por los tramos paralelo y en serie de la configuración de la tubería de ¾ de pulgada teniendo en cuenta la rugosidad hallada anteriormente para determinar el factor de fricción de la tubería.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{5.74}{Re^2}\right)\right]^2} = f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.00082}{3.7} + \frac{5.74}{4699498.038^2}\right)\right]^2} = 0.0641$$

Tramo en paralelo

Figura 22

Sistema de tuberías en paralelo



Nota. El esquema muestra el sistema de tuberías en paralelo con diámetro de $\frac{3}{4}$ DN

Para este tramo se sabe que $Q_1 \neq Q_2$, pero las pérdidas $h_{1T} = h_{2T}$, para ello se estima un valor de carga 5 m y se calcula el q_i para cada tramo de la tubería en paralelo.

$$h_f = \frac{8fL}{\pi^2 g D^5} q_i^2 \quad (2.10)$$

Hallamos los caudales circulantes, estos caudales no son los que realmente están circulando si no los que circularían si las pérdidas de carga fuera 5 m, 10 m.

$$q_{1i} = \sqrt{\frac{h_f \pi^2 g D^5}{8fL}} = \sqrt{\frac{(5m)(3.14)^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.0209)^5}{8(0.0641)(0.61)}} = 0.00248 \frac{m^3}{s}, 0.00351$$

$$q_{2i} = \sqrt{\frac{h_f \pi^2 g D^5}{8fL}} = \sqrt{\frac{(5m)(3.14)^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.0209)^5}{8(0.0641)(0.73)}} = 0.00269 \frac{m^3}{s}, 0.00380$$

$$Q_T = q_{1i} + q_{2i} = 0.00248 + 0.00269 = 0.00517 \frac{m^3}{s}, 0.00731$$

Se halló la razón de flujo volumétrico para cada tramo.

$$R_i = \frac{q_i}{Q_T} \quad (2.11)$$

$$R_1 = \frac{q_{1i}}{Q_T} = \frac{0.00248 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00517 \text{ m}^3/\text{s}} = 0.48$$

Se halló los valores reales utilizando la ecuación 13 con el caudal antes de llegar al tramo del flujo paralelo (medido por el caudalímetro).

$$Q_1 = R_1 * Q_T = 0.479 * 0.000985 = 0.00047183 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Por último, se halló las pérdidas de carga h_T

$$h_T = h_f + h_m$$

$$h_{i,T} = f \frac{LV_i^2}{2gD} + K \frac{V_i^2}{2g} = \frac{Q_i^2}{A_1^2 2g} \left(\frac{fL}{D} + K \right)$$

Sumatoria de los accesorios K (los valores K están en la tabla 1):

$$\sum K = 0.9 + 0.9 + 0.2 = 2$$

$$h_{1,T} = \frac{(0.00047373)^2}{(0.00034 \text{ m}^2)^2 2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \left(\frac{(0.0641)(0.61 \text{ m})}{0.0209 \text{ m}} + (2) \right) = 0.323 \text{ m}$$

Sabemos que $h_{1,T} = h_{2,T}$, se despeja el caudal Q_2 de la ecuación 2.11

$$Q = \sqrt{\frac{h_{1,T} A^2 2g}{f \frac{L}{D} + K}} \quad (2.12)$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{(0.323 \text{ m})(0.00034 \text{ m}^2)^2 2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{(0.0641) \frac{(0.73 \text{ m})}{(0.0209 \text{ m})} + (2)}} = 0.000416 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se calculó las razones de caudales (R_1 y R_2) para las ramas paralelas. Esta razón se mantiene constante para todos los caudales medidos, permitiendo determinar Q_1 y Q_2 de manera directamente a partir del caudal total

Los valores R más equivalentes son:

$$R_1 = 0.511$$

$$R_2 = 0.489$$

Hallando el caudal:

$$Q_1 = R_1 * Q_T = 0.511 * 0.000985 = 0.0005033$$

$$Q_2 = R_2 * Q_T = 0.489 * 0.000985 = 0.0004816$$

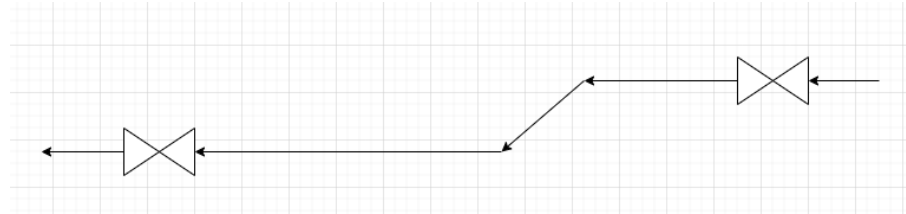
$$h_{1,T} = \frac{Q_1^2}{A_1^2 2g} \left(\frac{fL}{D} + K \right) = \frac{(0.0005033)^2}{(0.00034 \text{ m}^2)^2 2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \left(\frac{(0.0641)(0.61 \text{ m})}{0.0209 \text{ m}} + (2) \right) = 0.43 \text{ m}$$

$$h_{1,T} = \frac{Q_2^2}{A_1^2 2g} \left(\frac{fL}{D} + K \right) = \frac{(0.0004816)^2}{(0.00034 \text{ m}^2)^2 2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \left(\frac{(0.0641)(0.73 \text{ m})}{0.0209 \text{ m}} + (2) \right) = 0.43 \text{ m}$$

Tramo en serie

Figura 23

Tramo en serie de la tubería faltante para el cálculo del delta P



Nota. La figura muestra el diagrama de la tubería en serie con una longitud $L = 170.5 \text{ cm}$

Tabla 4

Tabla de datos y propiedad del agua a 30°C

Datos		
viscosidad dinámica del agua	0.000798	$\frac{\text{kg}}{\text{ms}}$
Densidad del agua	996	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Longitud de la tubería	1.705	m
diámetro interno	0.0209	m
K, válvula de compuerta abierta	0.8	
K, Entrada de tubería, borde agudo	2	
K, 2 Conexión en T (flujo en línea)	1.8	
Caudal	0.000985	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
K, 2 Conexión en T (flujo deriv.)	4	
K, codo de 90 grados	0.9	

Aplicando la ecuación de:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.13)$$

Suma de las pérdidas de menores por accesorios

$$\sum K = 1.8 + 4 + 0.8 + 2 = 8.6$$

$$h_{T,serie} = \frac{(0.0009850 \frac{m^3}{s})^2}{(0.000343 m^2)^2 2(9.81 \frac{m}{s^2})} \left(\frac{(0.0641)(1.705 m)}{(0.0209 m)} + 8.6 \right) = 5.81 m$$

Con los valores hallados, encuentre las pérdidas totales de los tramos para llegar al manómetro y compare los valores ΔP teórica y experimental.

$$h_T = h_{1,Tparalelo} + h_{T,tramo en serie} = 0.43 + 5.81 = 6.24 m$$

Aplicamos la ecuación de Bernoulli tenemos:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2}{2g} + (z_2 + h_T)$$

En este caso Δz es $-0.28 m$

$$\Delta P = \rho g(z_2 + h_T) = 996 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * (-0.28 + 6.24) m = 58233.73 Pa$$

Comparación con los valores tomados de la practica

$$\Delta P = 62052.84 Pa$$

$$error\% = \frac{|\Delta P_{teorica} - \Delta P_{experimental}|}{\Delta P_{teorica}} * 100 = \frac{|58233.73 - 62052.84|}{58233.73} = 6.45 \%$$

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas en el banco hidráulico mostrado en la Figura 19. Asimismo, se incluye la cotización total del equipo, correspondiente a un valor de USD 2 725,19, el cual representa el costo total de todas las partes que conforman el banco hidráulico. Previamente a la realización de las pruebas, el equipo fue sometido a un proceso de mantenimiento y readecuación, garantizando su correcto funcionamiento. La cotización detallada, los planos del sistema y el plan de mantenimiento preventivo se presentan en el Apéndice A.

Figura 24

Banco hidráulico rediseñado



Nota. La figura muestra el banco hidráulico rediseñado y readecuado para uso de prácticas de laboratorio para los estudiantes de la ESPOL.

Los datos experimentales permitieron evaluar el comportamiento del flujo en la tubería, así como las pérdidas de carga totales, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores generadas por los accesorios del sistema.

Los resultados se presentan mediante tablas y gráficos, los cuales facilitan la interpretación de la información y permiten comparar los valores experimentales con los valores teóricos obtenidos a partir de los modelos hidráulicos clásicos, como la ecuación de Darcy–Weisbach.

La Tabla 5 muestra los valores de caudal, velocidad, presiones de entrada y salida, pérdida total de carga, pérdidas por fricción, pérdidas menores y factores de fricción teórico y experimental obtenidos para diferentes condiciones de operación del sistema.

Estos datos constituyen la base para el análisis comparativo entre el comportamiento teórico del flujo y el comportamiento real observado en el banco hidráulico.

Tabla 5

Resultados obtenidos de la práctica experimental y cálculos realizados

Q(gp m)	V(m/ s)	D(m)	P_1 (ps i)	P_2 (ps i)	ΔP	h_T (m)	h_f (m)	h_m (m)	$f_{teoricc}$	K	$f_{experimenta}$
18	2.46	0.02 66	11.5	9	2.5	1.76 41	0.69 55	1.068 7	0.035	3.477 7	0.0579
11.5	1.57	0.02 66	20	19	1	0.70 57	0.28 39	0.421 8	0.035	3.362 6	0.0561
9.5	1.30	0.02 66	23.5	22.8	0.7	0.49 40	0.19 37	0.300 2	0.035	3.507 6	0.0583
8.8	1.20	0.02 66	24.6	24	0.6	0.42 34	0.16 62	0.257 2	0.035	3.501 4	0.0582
7.2	0.98	0.02 66	25	24.6	0.4	0.28 23	0.11 13	0.171 0	0.035	3.477 7	0.0579

Nota. Los resultados que se muestran son los de la tubería de 1 pulgada de diámetro nominal.

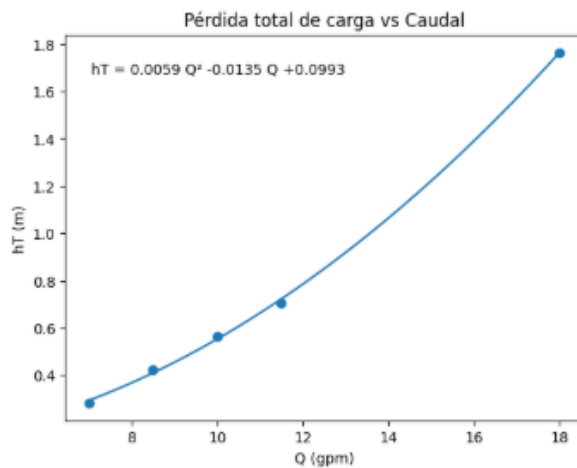
La Figura 22 presenta la variación de la pérdida total de carga h_T en función del caudal Q . Se observa que la pérdida total de carga aumenta de manera no lineal con el incremento del caudal, lo cual concuerda con el comportamiento esperado en sistemas hidráulicos, donde las pérdidas por fricción y las pérdidas menores dependen del cuadrado de la velocidad del flujo.

El ajuste cuadrático obtenido para los datos experimentales confirma esta tendencia y valida la aplicación de la ecuación de Darcy–Weisbach para el análisis del sistema bajo

condiciones de flujo turbulento. En la Figura 23 se muestra la gráfica de h_T vs Q en escala log-log, correspondiente a la tubería de 1 pulgada ($D = 0.0266$ m), donde se comparan las pérdidas totales de carga para distintos caudales. Esta representación permite transformar la relación no lineal entre la pérdida de carga y el caudal en una línea recta, facilitando la identificación de la pendiente de la relación $h_T \propto Q^n$. En este caso, la pendiente observada confirma la dependencia cuadrática del flujo turbulento, tal como predice la ecuación de Darcy–Weisbach, validando experimentalmente el modelo teórico. Además, la escala logarítmica permite comparar de manera más clara los datos experimentales y teóricos, destacando cualquier desviación que pueda deberse a rugosidad interna, pérdidas menores o incertidumbres de medición, lo que hace esta herramienta especialmente útil para el análisis y la interpretación del comportamiento hidráulico del sistema.

Figura 25

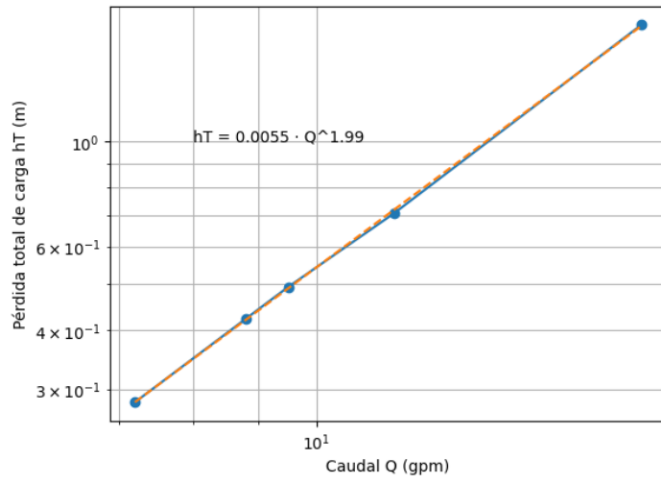
Pérdida total de carga en función del caudal



Nota. La grafica muestra la relación de h_t y Q del tramo de la tubería de 1 pulgada de DN

Figura 26

Pérdida total de carga en función del caudal escala logarítmica



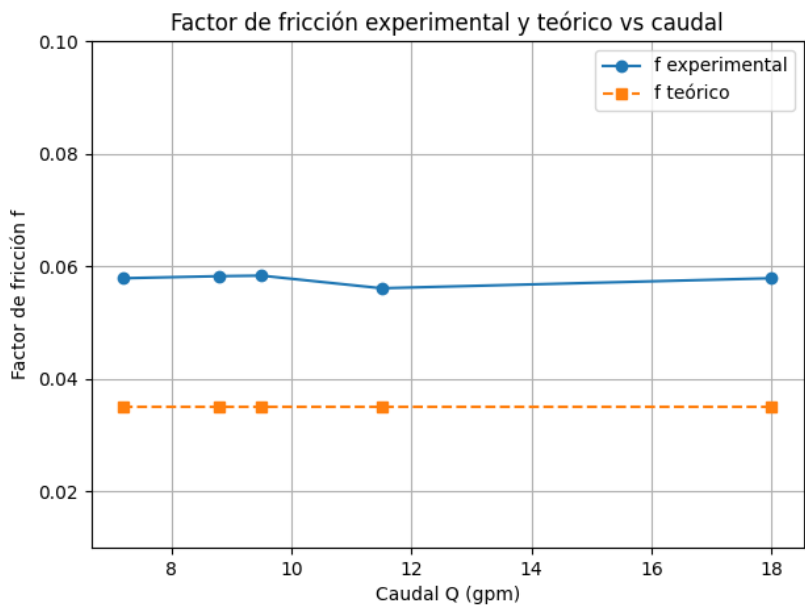
Nota. La grafica muestra la relación de las perdidas de carga con respecto al caudal en una gráfica log-log

En la Figura 24 se comparan los valores del factor de fricción teórico y experimental en función del caudal. Se observa que el factor de fricción experimental presenta valores ligeramente superiores al teórico, lo cual puede atribuirse a efectos no ideales del sistema, como la rugosidad interna de la tubería, la presencia de óxido, pequeñas irregularidades geométricas y errores de medición.

No obstante, ambos factores muestran una tendencia similar, lo que indica que el modelo teórico utilizado representa adecuadamente el comportamiento hidráulico del sistema.

Figura 27

Factor de fricción teórico y experimental en función del caudal



Nota. La figura muestra la gráfica del factor fricción teórico y experimental de la tubería de 1 pulgada DN

Tabla 6

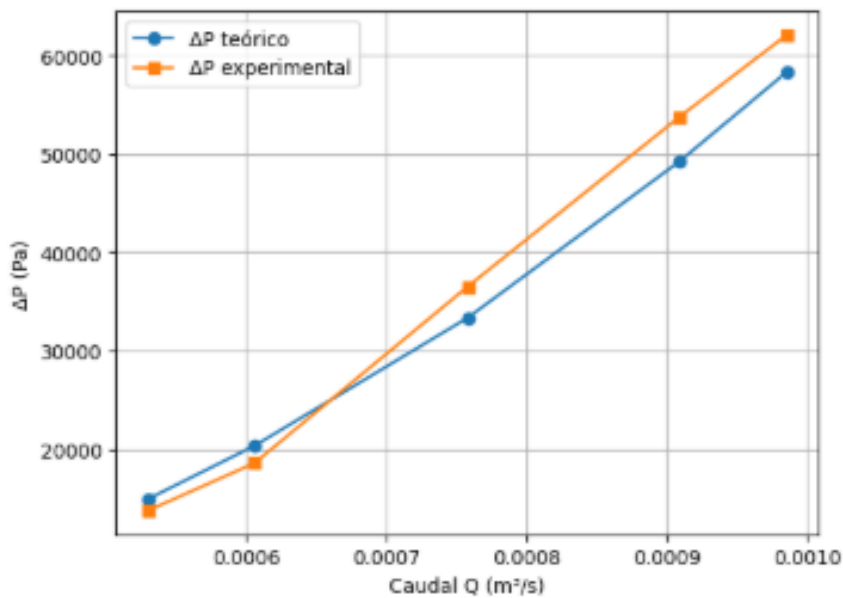
Resultados de la toma de datos y cálculos realizados

Q (m ³ /s)	Q (gpm)	V (m/s)	D (m)	P ₁ (psi)	P ₂ (psi)	ΔP (psi)	ΔP exp (Pa)	ΔP teo (Pa)	Error (%)
0.000985	13	2.87	0.0209	15.5	6	9.5	62 053	58 291	6.45
0.000909	12	2.65	0.0209	16	7.3	8.7	53 779	49 263	9.17
0.000758	10	2.21	0.0209	16.5	8	8.5	36 542	33 375	9.49
0.000606	8	1.77	0.0209	17.3	9.8	7.5	18 616	20 375	8.63
0.00053	7	1.55	0.0209	18.1	11.5	6.6	13 790	14 958	7.81

Nota. Cálculos realizados en la configuración de la tubería de ¾ de pulgada de diámetro nominal

Figura 28

Comparación de la caída de presión experimental con la teórica



En esta etapa del estudio se trabajó exclusivamente con la tubería de 3/4 de pulgada, correspondiente a un diámetro interno de 0.0209 m, con el objetivo de analizar el comportamiento hidráulico del sistema considerando un tramo de tuberías en paralelo seguido de un tramo en serie. Para esta configuración, se evaluaron las pérdidas totales de energía y la caída de presión asociada a distintos caudales de operación.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6, donde se resumen los valores de caudal, presiones medidas mediante manómetros y las presiones calculadas teóricamente a partir de las pérdidas por fricción y pérdidas menores del sistema. A partir de estos datos se realizó la comparación entre la caída de presión experimental y la caída de presión teórica, con el fin de evaluar la concordancia entre el modelo hidráulico y el comportamiento real del sistema.

En la Figura 25 se muestra la gráfica de ΔP en función del caudal, donde la curva de color azul representa los valores de presión experimental, mientras que la curva de color naranja corresponde a los valores de presión teórica. Se puede observar que las dos curvas presentan una tendencia ascendente cuando el caudal aumenta, lo cual concuerda con la conducta esperada, ya que las pérdidas de carga crecen de manera no lineal a medida que sube el caudal.

Asimismo, se observa que a caudales bajos la diferencia entre las presiones teóricas y las experimentales es mayor, lo cual indica que el sistema está más cerca de las condiciones ideales previstas en el modelo teórico. Conforme el caudal se incrementa, la separación entre las dos curvas crece, lo cual ocurre porque suben de manera exponencial las pérdidas por fricción, además de las pérdidas menores vinculadas a los accesorios y a la rugosidad interna del tubo.

Como resultado del presente trabajo, se elaboró una guía práctica dirigida a los estudiantes para el uso adecuado del banco hidráulico en las prácticas de laboratorio. Este material tiene como finalidad estandarizar el procedimiento experimental y apoyar la comprensión de los conceptos teóricos asociados al flujo en tuberías.

La guía incluye la descripción del equipo, normas de seguridad, procedimiento experimental y recomendaciones para la correcta ejecución de la práctica. Su aplicación contribuye a reducir errores operativos y mejorar el desarrollo de las actividades de laboratorio. La guía práctica completa se presenta en el Apéndice A.

También se desarrolló un plan de mantenimiento en la tabla 11 que se encuentra en el Apéndice A en la que los estudiantes o profesores a cargo del equipo podrán realizar actividades de gestión o prácticas que requieran conocimientos en el área de tuberías.

Por último se desarrolló la cotización del equipo donde se involucra todas las partes que lo conforman, estos valores son valores dados por proveedores de Guayaquil y valores directos de la página por lo que no se asume valores de importación.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Las pruebas experimentales realizadas en las tuberías de 1 pulgada ($D = 0.0266$ m) y 3/4 de pulgada ($D = 0.0209$ m) permitieron no solo validar el comportamiento del flujo y las pérdidas de energía en las tuberías en configuraciones en serie y en paralelo con datos reales y compararlos con la teoría. La pérdida total de energía aumenta conforme el caudal aumenta, como lo explica la ecuación de Darcy–Weisbach que indica las pérdidas de fricción en las tuberías. Sin embargo, los resultados hallados muestran un ligero porcentaje de error en los valores teóricos y los valores experimentales tal como se mostró en las gráficas y cálculos realizados que puede ser ocasionado por el deterioro de las tuberías internamente. Esta pequeña desviación significa que un sistema en la vida real no se comporta igual que en la teoría, pero esto no significa que este mal. El análisis que se debe tener frente a estos posibles errores es saber lo que está pasando dentro de la tubería y dar soluciones lógicas que ayuden al entendimiento del comportamiento del flujo en diferentes configuraciones y materiales de tuberías o diferentes tipos de fluidos.

El banco hidráulico se convierte en una herramienta muy útil en el área de la ingeniería no solo mecánica sino en otras carreras que necesiten saber cómo se comporta el flujo en las tuberías. Debido a que el banco hidráulico con todos los accesorios y equipos instalados ayuda a ver por medio de los manómetros, columna de agua y caudalímetros datos cuantitativos de lo que pasa en cada tramo de la tubería, para así entender el comportamiento de distintas configuraciones de tuberías para un mismo caudal o varios caudales.

La readecuación de este banco hidráulico funcional ofrece un recurso didáctico valioso y aplicable a varias carreras de ingeniería, contribuyendo al fortalecimiento práctico y la formación integral en los sistemas de tuberías y fluidos. El banco hidráulico es un recurso importante para entender el comportamiento del fluido que pasa a través de las tuberías de distintas configuraciones.

La elaboración de la guía práctica para este banco hidráulico es otro recurso valioso para el aprendizaje de los estudiantes ya que otorga una guía de los pasos a seguir y que se debe hacer para la obtención de datos y así poder entender mejor el funcionamiento del equipo, así como las limitaciones que este trae. Asegurando un aprendizaje óptimo para las distintas carreras de ingeniería.

4.1.2 recomendaciones

Se recomienda realizar un mantenimiento del banco hidráulico antes de cada práctica, verificando el estado de las tuberías, accesorios, válvulas y equipos de medición. Aunque el banco mostró un comportamiento adecuado y coherente con la teoría, el uso continuo puede generar desgaste, acumulación de sedimentos o desajustes en los instrumentos, lo que a largo plazo podría afectar la precisión de las mediciones.

Asimismo, es importante llevar a cabo un proceso de mantenimiento preventivo de todo el equipo hidráulico que asegure la confiabilidad de los datos obtenidos experimentalmente y la seguridad operacional para los estudiantes que ingresen a los laboratorios de Termofluidos.

Se recomienda que los estudiantes usen los equipos de protección personal haciendo una revisión de la guía de seguridad antes de iniciar la práctica donde los profesores que dirigen esa

practica deben asegurarse de que cada estudiante haya recibido una retroalimentación de seguridad antes de iniciar la practica con este banco hidraulico.

Se recomienda también fortalecer y actualizar la guía práctica del laboratorio. Contar con un documento claro, ordenado y bien explicado facilita el trabajo de los estudiantes, reduce errores durante la toma de datos y mejora la comprensión de los sistemas hidráulicos. Esta guía debe servir no solo como un instructivo, sino como un apoyo didáctico que ayude a relacionar la teoría con la experiencia experimental.

Además, se sugiere fomentar el uso del banco hidráulico en diferentes carreras, como Ingeniería Química, Ingeniería de Alimentos y afines, ya que el estudio de las pérdidas de energía en tuberías es fundamental en procesos industriales. Finalmente, se recomienda incentivar a los estudiantes a analizar de manera teórica el comportamiento del fluido cuando pasan por configuraciones tanto en paralelo como en serie ya que esto forma parte del aprendizaje de la carrera de la Ingeniería.

Referencias

- ASME. (2005). *Measurement uncertainty: Instruments and apparatus* (ASME PTC 19.1). American Society of Mechanical Engineers.
- Blevins, R. D. (2016). *Applied fluid dynamics handbook*. Krieger Publishing Company.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Colebrook, C. F. (1939). Turbulent flow in pipes, with reference to the transition between the smooth and rough pipe laws. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 11(4), 133–156.
- Crane Co. (2018). *Flow of fluids through valves, fittings, and pipe* (Technical Paper No. 410). Crane Co.
- Dwyer Instruments. (2020). *U-tube manometers and pressure measurement principles*. Dwyer Instruments Inc.
- Fox, R. W., & McDonald, A. T. (2009). *Introduction to fluid mechanics laboratory manual*. John Wiley & Sons.
- Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2011). *Fluid mechanics with engineering applications*. Pearson Education.
- Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2015). *Introduction to fluid mechanics* (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Haaland, S. E. (1983). Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow. *Journal of Fluids Engineering*, 105(1), 89–90.
- Holman, J. P. (2012). *Experimental methods for engineers* (8th ed.). McGraw-Hill.

- Idelchik, I. E. (2007). *Handbook of hydraulic resistance* (3rd ed.). Begell House.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- ISO. (2003). *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices* (ISO 5167). International Organization for Standardization.
- Moody, L. F. (1944). Friction factors for pipe flow. *Transactions of the ASME*, 66, 671–684.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2017). *Fundamentals of fluid mechanics* (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Potter, M. C., Wiggert, D. C., & Ramadan, B. H. (2012). *Mechanics of fluids* (4th ed.). Cengage Learning.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B., & Bedford, K. W. (1998). *Fluid mechanics* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Swamee, P. K., & Jain, A. K. (1976). Explicit equations for pipe-flow problems. *Journal of the Hydraulics Division*, 102(5), 657–664.
- White, F. M. (2016). *Fluid mechanics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- American Society of Mechanical Engineers. (2022). ASME B31.1: Power piping. ASME.
- American Society of Mechanical Engineers. (2022). ASME B31.3: Process piping. ASME.
- American Society of Mechanical Engineers. (2023). ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII: Pressure vessels. ASME.
- Occupational Safety and Health Administration. (2023). Occupational safety and health standards (29 CFR Part 1910). U.S. Department of Labor.
- Occupational Safety and Health Administration. (2022). Hazard communication standard (29 CFR 1910.1200). U.S. Department of Labor.

International Organization for Standardization. (2019). ISO 15649: Petroleum and natural gas industries — Piping. ISO.

National Fire Protection Association. (2022). NFPA 45: Standard on fire protection for laboratories using chemicals. NFPA.

Manufacturers Standardization Society. (2018). MSS SP-58: Pipe hangers and supports – Materials, design and manufacture. MSS.

Apéndice A

Tabla 7

Tabla que muestra las incertidumbres de las pérdidas de presión y coeficiente de fricción

Q (gpm)	ΔP (Pa)	δP (Pa)	hf (m)	δhf (m)	f	δf
18	65,500	± 655	1.7641	0.12	0.058	± 0.012
11.5	58,605	± 586	0.7057	0.08	0.056	± 0.011
9.5	51,700	± 517	0.494	0.06	0.058	± 0.012
8.8	45,500	± 455	0.4234	0.05	0.058	± 0.012
7.2	38,600	± 386	0.2823	0.04	0.058	± 0.012

Nota. La tabla muestra las incertidumbres de la tubería de 1 pulgada de DN

Códigos de graficas en Python

Grafica h_T vs Q 1 pulgada

Q = [18, 11.5, 9.5, 8.8, 7.2] # gpm

hT = [1.7641, 0.7057, 0.4940, 0.4234, 0.2823]

```
plt.figure()
```

```
plt.plot(Q, hT, marker='o')
```

```
plt.xlabel('Caudal Q (gpm)')
```

```
plt.ylabel('Altura total h_T (m)')
```

```
plt.grid(True)
```

```
plt.show()
```

Grafica h_T vs Q log-log

```
plt.figure()
plt.loglog(Q, hT, marker='o')
plt.xlabel('Caudal Q (gpm)')
plt.ylabel('Altura total h_T (m)')
plt.grid(True, which='both')
plt.show()
```

Grafica comparación factores de fricción teórico y experimental con respecto al caudal

```
f_teo = [0.035, 0.035, 0.035, 0.035, 0.035]
f_exp = [0.0579, 0.0561, 0.0583, 0.0582, 0.0579]

plt.figure()
plt.plot(Q, f_teo, marker='o', label='f teórico')
plt.plot(Q, f_exp, marker='s', label='f experimental')
plt.xlabel('Caudal Q (gpm)')
plt.ylabel('Factor de fricción f')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

Tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada DN

Comparación de la caída de presión teórico vs experimental

Datos

Q = [0.000378, 0.000495, 0.000620, 0.000758, 0.000985] # m³/s ordenados de menor a mayor

DeltaP_exp = [13500, 24000, 33000, 44000, 65500] # Pa

DeltaP_teo = [11600, 18000, 26700, 38440, 63021] # Pa

Crear la gráfica

```
plt.figure(figsize=(8,5))
```

```
plt.plot(Q, DeltaP_exp, 'o-', color='blue', label='ΔP experimental')
```

```
plt.plot(Q, DeltaP_teo, 's--', color='orange', label='ΔP teórico')
```

Etiquetas y título

```
plt.xlabel('Caudal Q (m3/s)')
```

```
plt.ylabel('ΔP (Pa)')
```

```
plt.title('Comparación ΔP experimental vs ΔP teórico')
```

```
plt.grid(True)
```

```
plt.legend()
```

```
plt.show()
```

**Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad de Ingeniería en Mecánica y
Ciencias de la Producción
Guía de Práctica de Mecánica de Fluidos**

Objetivos

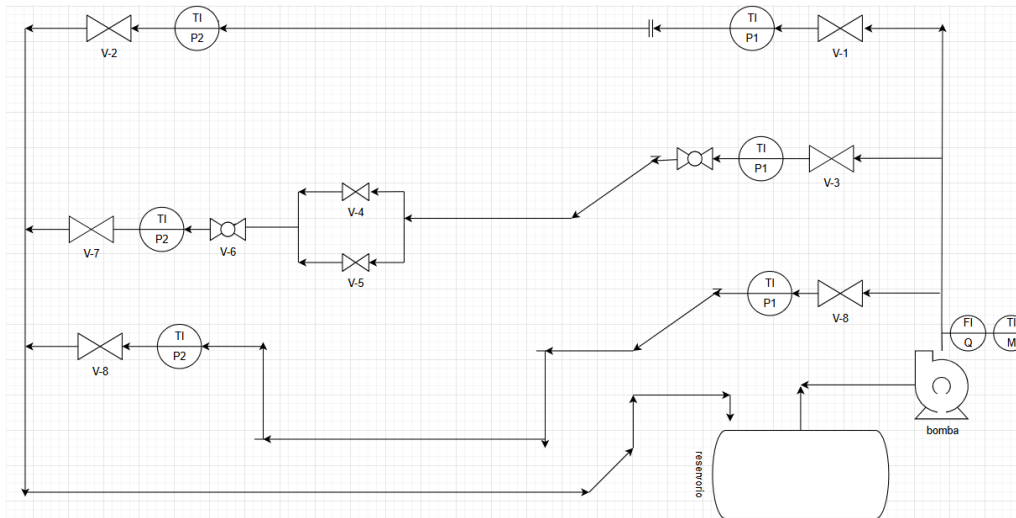
- Determinar de manera teórica el factor de fricción de la tubería de 1 pulgada usando los valores reales del banco hidráulico
- Comparar el factor de fricción teórico y experimental del tramo de tubería de 1 pulgada de DN
- Calcular las pérdidas en el tramo paralelo del tramo de tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada
- Comparar las caídas de presiones teóricas como experimentales para el tramo de tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada

Equipos:

- Banco hidráulico
- manómetros
- válvula de compuerta
- válvula de bola
- caudalímetro
- Bomba
- Columna de agua

Figura 29

La figura muestra el esquema del banco hidráulico de pérdidas de tuberías



Nota. El esquema muestra de manera las partes del banco hidráulico

Procedimiento

Preparación del banco hidráulico

- Verificar que todas las válvulas estén cerradas.
- Asegurarse de que los manómetros estén calibrados y sin burbujas de aire.
- Llenar el reservorio con agua hasta la altura de operación indicada (que la válvula cheque no entre aire).
- Encendido del motor-bomba (dejar que fluya por lo menos 5 minutos el agua para la limpieza del sistema).

Configuración de tuberías

- Seleccionar la sección a medir: tubería de 1 pulgada, $\frac{3}{4}$ de pulgada o $\frac{1}{2}$ de pulgada DN
- Ajustar los codos, conexiones en T y accesorios según el diagrama de pruebas.

Medición de caudal

- Cerrar lentamente la válvula de salida (V-2, V-7 y V-8) hasta obtener el caudal deseado.
- Medir el caudal con el método establecido – flujómetro o caudalímetro
- Registrar el caudal Q en m^3/s o gpm.

Medición de presiones

- leer las presiones en cada manómetro (P_1 y P_2) una vez estabilizado el flujo.
- Anotar las diferencias de presión $\Delta P = P_1 - P_2$.

piezómetro

- Encender el sistema dejar que la columna de agua y dejar que el sistema libere el aire atrapado adentro.
- Apagar el motor y dejar abierto las válvulas del piezómetro (en la parte de arriba) hasta que el nivel de agua alcance una altura (referencia 45 cm).
- Se cierran las válvulas de arriba y se vuelve a encender el sistema

Repetición para diferentes caudales

- Ajustar la válvula para distintos caudales.
- Repetir los pasos anteriores para cada caudal.
- Registrar todos los valores en la tabla de datos.

Cálculo de pérdidas de carga y factores de fricción

Tubería de 1 pulga de DN

Se calcula primero el factor de fricción teórico usando la fórmula de Swamee–Jain dado por la ecuación 1:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^2} \right) \right]^2} \quad (1)$$

Luego se procede a calcular el h_f despejado de la ecuación de Bernoulli dado por la ecuación 2:

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - K \frac{V_1^2}{2g} \quad (2)$$

Finalmente se despeja el factor de fricción de manera experimental de la ecuación de Darcy dado por la ecuación 3:

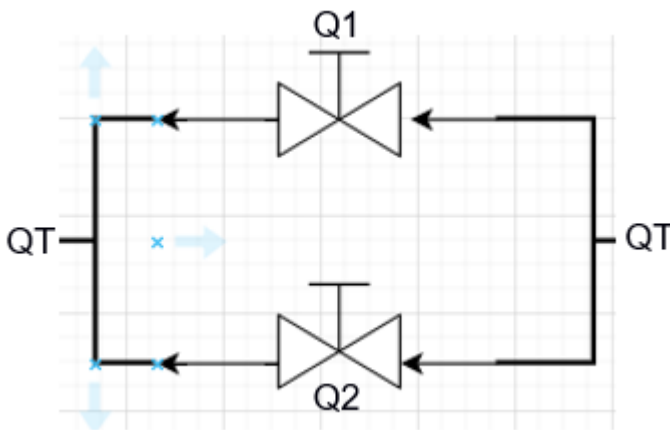
$$f_{experimental} = h_f \frac{2gD}{LV^2} \quad (3)$$

Tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada de DN

Tramo paralelo

Figura 30

Tramo en paralelo de la tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada



$$Q_1 = R_1 * Q_T$$

$$Q_2 = R_2 * Q_T$$

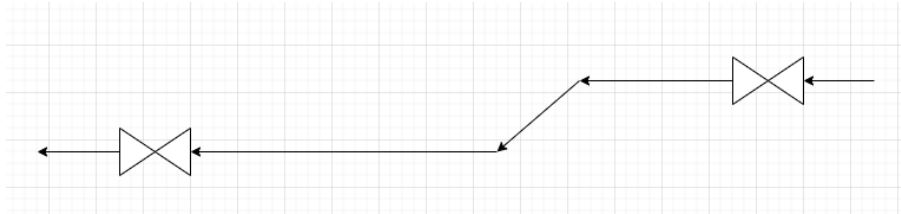
Los valores de $R_1 = 0.511$ y $R_2 = 0.489$. Usando

$$h_{iT} = \frac{Q_i^2}{A_1^2 2g} \left(\frac{fL_i}{D} + K \right)$$

Tramo en serie

Figura 31

Tramo en serie de la tubería faltante para el cálculo del delta P



Nota. La figura muestra el diagrama de la tubería en serie con una longitud $L = 170.5 \text{ cm}$

Tabla 8

Tabla de datos y propiedad del agua a 30°C

Datos		
viscosidad dinámica del agua	0.000798	$\frac{kg}{ms}$
Densidad del agua	996	$\frac{kg}{m^3}$
Longitud de la tubería	1.705	m
diámetro interno	0.0209	m
K, válvula de compuerta abierta	0.8	
K, Entrada de tubería, borde agudo	2	
K, 2 Conexión en T (flujo en línea)	1.8	
K, 2 Conexión en T (flujo deriv.)	4	
K, codo de 90 grados	0.9	

Aplicando la ecuación de pérdidas totales:

$$h_{T, \text{tramo en serie}} = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{fL}{D} + \sum K \right) = \frac{Q^2}{A^2 2g} \left(\frac{fL}{D} + \sum K \right)$$

Con los valores hallados, encuentre las pérdidas totales de los tramos para llegar al manómetro y compare los valores ΔP teórica y experimental.

$$h_T = h_{1,T\text{paralelo}} + h_{T,\text{tramo en serie}}$$

Aplicamos la ecuación de Bernoulli tenemos:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2}{2g} + (z_2 + h_T)$$

En este caso Δz es 0.28 m

Comparación con los valores tomados de la practica

$$\text{error}\% = \frac{|\Delta P_{\text{teorica}} - \Delta P_{\text{experimental}}|}{\Delta P_{\text{teorica}}} * 100$$

Registro de datos finales

Tabla 9

La tabla para la práctica del tramo de 1 pulgada de DN

Q(gp m)	V(m/ s)	D(m)	P ₁ (ps i)	P ₂ (ps i)	ΔP	h_T (m)	h_f (m)	h_m (m)	f_{teorico}	$f_{\text{experimental}}$

Nota. La tabla representa todos los datos importantes que debe hallar el estudiante.

Tabla 10

La tabla para la práctica del tramo de 3/4 pulgada de DN

Q	Q	V	D	P ₁	P ₂	ΔP	ΔP ^{exp}	ΔP ^{teo} (Pa)	Error (%)
(m ³ /s)	(gpm)	(m/s)	(m)	(psi)	(psi)	(psi)	(Pa)		

Nota. La tabla representa todos los datos importantes que debe hallar el estudiante

Resultados y Análisis

- Estimar de manera experimental el factor de fricción de la tubería de 1 pulgada de DN y compararlo con el valor teórico usando la ecuación de Swamee–Jain.
- Graficar h_T vs Q y hacer la misma grafica en la log-log y analice las dos graficas
- Hallar las pérdidas totales en el tramo de las tuberías de paralelo y en serie y compárelos con los datos experimentales de presiones.
- Analizar las pérdidas al aumentar el caudal
- Hallar los caudales que pasan por cada ramal del tramo paralelo

Cierre del banco

Cerrar válvulas y drenar el sistema si es necesario.

Guardar la guía de datos y limpiar el área de trabajo.

LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

GUÍA DE SEGURIDAD

BANCO HIDRÁULICO DE PÉRDIDAS EN TUBERÍAS



M008 – Wear safety footwear



M032 – Wear anti-static footwear



M010 – Wear protective clothing



M003 – Wear ear protection

Verificar que todas las tuberías, válvulas y accesorios estén correctamente conectadas y sin fugas.

Cerrar válvulas lentamente para evitar golpes de ariete o presión excesiva.



Riesgo de Corte y Perforación



Riesgo de Salpicadura



Riesgo de Deslizamiento



Riesgo de Golpes por Altura



Riesgo de Aplastamiento

Tabla 11*Programa de mantenimiento preventivo Banco hidráulico*

N°	Actividad	Periodos	Responsables	Observaciones
1	Inspección visual de tuberías y accesorios	Antes de cada práctica	Estudiante Laboratorista	/ Revisar fugas, conexiones flojas; usar guantes y gafas
2	Limpieza de superficie y tuberías externas	Antes de cada práctica	Estudiante Laboratorista	/ Paño y cepillo; evitar derrames de agua
3	Verificación de válvulas y compuertas	Semanal	Estudiante Laboratorista	/ Abrir y cerrar suavemente; revisar funcionamiento
4	Revisión de manómetros y caudalímetros	Semanal	Estudiante Laboratorista	/ Comprobar que no tengan daños visibles
5	Calibración de manómetros y caudalímetros	Mensual	Docente / Técnico	Garantizar mediciones confiables; usar manual del fabricante
6	Limpieza interna del circuito (fluido)	Mensual	Estudiante Laboratorista	/ Evitar sedimentos y obstrucciones; drenar agua residual
7	Lubricación del motor y bomba	Cada 3 meses	Técnico responsable	Aplicar lubricante en ejes; verificar niveles según manual
8	Revisión eléctrica del motor y bomba	Cada 3 meses	Técnico responsable	Comprobar cables, conexiones y fusibles; multímetro

9	Prueba funcional del banco hidráulico	Semestral	Técnico / Docente	Encender y verificar caudal, presión y respuesta del sistema
10	Registro de mantenimiento	Después de cada actividad	Estudiante / Técnico	Anotar fecha, actividad, observaciones y responsable

Acuarela del rio
2132044
jochmant@espol.edu.ec

PRO-FORMA

Fecha

1/25/2026


N° de Pro-forma

000001

Cliente

Dr. Juan Manuel Peralta Jaramillo
099 623 7780
jperal@espol.edu.ec

Empresa

 CDTs
 ESPOL
 099 623 7780


CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	TOTAL
1	BBomba Centrífuga Serie J(STA-RITE)	1,200.00	1,200.00
1	caudalímetro	143.73	143.73
1	tubería cheque 1 1/4	25.00	25.00
1	Tuberia de 1 1/4 "	10.00	10.00
10	Tuberia galvanizada 1 "	10.00	100.00
5	Codos Galvanizados 1 "	5.00	25.00
2	Uniones Universales galvanizado 1"	5.00	10.00
2	Tuberia Galvanizada 3/4 "	8.00	16.00
2	Reduccion galvanizada 3/4	5.00	10.00
6	Manómetros 0-100 psi	45.00	270.00
2	Manómetros 0-60 psi	45.00	90.00

