



Diseño de un laboratorio virtual para la enseñanza del cálculo de pérdidas de presión en tuberías para la UAN Sede Neiva

**Carlos Alberto Cumaco Pascuas
Juan Camilo Cumaco Olarte**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2021

Diseño de un laboratorio virtual para la enseñanza del cálculo de pérdidas de presión en tuberías para la UAN Sede Neiva.

**Carlos Alberto Cumaco Pascuas
Juan Camilo Cumaco Olarte**

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

Director (a):
PhD. Karel Joel Arencibia Avila

Línea de Investigación
Sistemas Complejos: Simulación y Modelamiento de sistemas y procesos complejos

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

2021

(Dedicatoria o lema)

Agradezco al Dios todopoderoso por acompañarme en una carrera difícil, y también a mi familia, ellos siempre me han apoyado, alentado y aconsejado para luchar por mi carrera y seguir desarrollándome como profesional.

Doy gracias a Dios por darme la vida y guiarme en todos mis caminos con la fuerza y la salud necesaria para completar la investigación. Porque sin él, no sería quien soy hoy. Además, se lo dedico a mi familia para que me acompañe durante el entrenamiento.

A Dios primero que todo ya que se a él se le debe esto, porque él dio la fe y fuerzas cada vez que la necesite. A mi familia, por acompañarme durante estos años dándome ánimos, por inculcarme el amor y el pensamiento analítico. A mis amigos, quienes me han acompañado a lo largo de todo el proceso, siempre con paciencia y amor, gracias a todos por su paciencia.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a Dios por estar siempre con nosotros y bendecirnos, tenemos la fuerza y el coraje para seguir creciendo en identidades personales y profesionales. Para completar con éxito el largo camino, es imposible sin el apoyo de nuestra familia y amigos, quienes han hecho sus propios aportes para lograr este objetivo.

Y los profesores por brindarnos las herramientas necesarias para formarnos como profesionales y afrontar las necesidades del lugar de trabajo. Gracias a nuestros supervisores de proyectos por su paciencia y sabiduría, nos han orientado durante todo el proceso de trabajo y se han convertido en excelentes profesores y colaboradores.

Resumen

La práctica de laboratorio es una potente estrategia pedagógica para la construcción de competencias procedimentales y por este motivo es utilizada en una gran variedad de programas académicos, usualmente sincronizada con su asignatura teórica correspondiente. Los laboratorios virtuales se destacan por su impacto visual y sus características de animación, las cuales simulan el ambiente de un laboratorio real. En este trabajo, se presenta el diseño de un laboratorio virtual para la enseñanza del cálculo de pérdidas de presión en tuberías utilizando aire como sustancia de trabajo, aspecto ausente en los actuales Programas de Estudio de la UAN. El modelado virtual de los diferentes componentes se realiza en el software SOLIDWORKS, en el cual se aprecian cada uno de los elementos que lo componen como accesorios y tuberías.

Los planos y esquemas resultantes son generados en el mismo software, se realiza la programación en el software LabVIEW el cual genera la interfaz HMI para la manipulación de las válvulas para visualizar las caídas de presión del aire al pasar por distintas trayectorias de tubería y accesorios. Este banco permite medir y controlar las variables de operación, como caudal y presión. El diseño de las diferentes trayectorias concuerda con la realidad de la instrumentación y los accesorios utilizados en la industria.

A manera de conclusión el nuevo diseño del laboratorio virtual incorpora materiales como son el cobre, acero y PVC, el aire como sustancia de trabajo, así como trayectorias rectas y curvas, que permiten ampliar los estudios sobre las pérdidas de presión en tuberías, donde se visualiza la variación de la velocidad de flujo, este estudio se complementa con la formulación de las prácticas en el banco de pruebas, con ello mejora la comprensión de los conceptos estudiados, que indican una solución parcial al desarrollo de los laboratorios físicos, que no se encuentran disponibles en la Universidad Antonio Nariño sede Neiva.

Palabras clave: Caídas de presión, Laboratorio virtual, pérdidas por accesorios, compresor, tubería, medidores de flujo.

Abstract

Laboratory practice is a powerful pedagogical strategy for the construction of procedural competencies and for this reason it is used in a great variety of academic programs, usually synchronized with its corresponding theoretical subject. Virtual laboratories stand out for their visual impact and animation characteristics, which simulate the environment of a real laboratory. In this work, the design of a virtual laboratory for teaching the calculation of pressure losses in pipes is presented using air as a working substance, an aspect that is absent in the current study programs of the UAN. The virtual modeling of the different components is carried out in the SOLIDWORKS software, in which each of the elements that compose it can be seen as accessories and pipes.

The resulting drawings and diagrams are generated in the same software, the programming is carried out in the LabVIEW software which generates the HMI interface for the manipulation of the valves to visualize the air pressure drops when passing through different paths of pipes and accessories. This bench allows you to measure and control operating variables, such as flow and pressure. The design of the different trajectories agrees with the reality of the instrumentation and accessories used in the industry.

In conclusion, the new design of the virtual laboratory incorporates materials such as copper, steel and PVC, air as a working substance, as well as straight and curved trajectories, which allow further studies on pressure losses in the pipeline, where the variation of the flow velocity is visualized, this study is complemented with the formulation of the practices in the test bench, thereby improving the understanding of the studied concepts, which indicate a partial solution to the development of physical laboratories, which does not They are available at the Universidad Antonio Nariño, Neiva headquarters

Keywords: Pressure drops, Virtual laboratory, accessory losses, compressor, pipeline, flow meters.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Introducción.....	1
Justificación.....	3
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	5
1. Estado del Arte	7
1.1 Reseña de diseños de laboratorios virtuales en universidades nacionales.....	7
1.2 Reseña de diseños de laboratorios virtuales en Universidades Internacionales .	8
1.3 Caracterización de los laboratorios virtuales	9
2. Marco Teórico.....	13
2.1 Caudal.....	13
2.2 Fluidos comprensibles e incomprensibles	14
2.3 Número de Mach.....	17
2.4 Generación de la turbulencia.....	17
2.5 Presión Diferencial	18
2.6 Pérdidas menores	19
2.6.1 Coeficiente de resistencia de carga K.....	20
2.6.2 Ampliación brusca	20
2.6.3 Contracción Brusca	21
2.7 Válvulas	22
2.7.1 Válvulas de Compuerta.....	22
2.7.2 Válvula de globo	23
2.7.3 Válvula de bola	24
2.8 Compresores.....	25
3. Propuesta de Diseño.....	27
3.1 Descripción del diseño banco de pruebas	27
3.1.1 Investigación 1. Banco de pruebas para fluidos	27
3.1.2 Investigación 2. Banco para determinar las pérdidas de energía en tuberías PVC. 31	
3.1.3 Investigación 3. Banco de pérdidas de cargas en tuberías	33
3.2 Consideraciones generales de los elementos seleccionados para la construcción del laboratorio virtual.....	36
3.3 Materiales y accesorios.....	40
3.3.1 Selección de equipos y accesorios	41

4. Parámetros y Elementos de Medición	47
4.1 Descripción de los elementos de medición, accesorios y equipos para el laboratorio virtual.....	47
4.2 Descripción de las trayectorias	55
4.2.1 Trayectoria 1	55
4.2.2 Trayectoria 2	55
4.2.3 Trayectoria 3	55
4.2.4 Trayectoria 4	56
4.2.5 Cálculos de pérdida de carga en un circuito de fluido.....	56
4.2.5.1 Cálculo del área	58
4.2.5.2 Cálculo de pérdidas de presión en accesorios	60
4.2.5.3 Cálculos para las pérdidas presión en el sistema:.....	61
5. Formulación de Prácticas de pérdidas de presión	65
5.1 Práctica N°1 Cálculo de pérdidas de presión por recorrido	65
5.2 Práctica N° 2. Medición de flujo	67
5.3 Práctica N°3 Cálculo de pérdidas de presión en accesorios	68
6. Simulación de Prácticas	70
6.1 Resultados analíticos de las prácticas	70
6.2 Resultados de las prácticas mediante el laboratorio virtual	74
6.3 Comparación de resultados analíticos vs resultados del laboratorio virtual.....	83
7. Conclusiones y recomendaciones	85
7.1 Conclusiones	85
7.2 Recomendaciones	86
Bibliografía	89

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2- 1. Ecuación de continuidad [1].....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. 2 . Ampliación brusca [2].....	20
Figura 2- 3. Contracción brusca [3].....	21
Figura 2- 4. Válvula de compuerta [4].....	22
Figura 2- 5. Válvula globo [5].....	23
Figura 2-6. Válvula de bola [6].....	24
Figura 3- 7. Banco de pruebas 3D [7].....	28
Figura 3- 8. Diseño estructura base para el banco [8].....	29
Figura 3- 9. Banco de pruebas [9].....	31
Figura 3-10. Banco de pérdidas de cargas [10].....	33
Figura 3-11. Diseño del banco de pérdidas de cargas [11].....	34
Figura 3- 12. Dimensiones de estructura [12].....	41
Figura 3-13. Dimensiones del circuito de tuberías [13].....	41
Figura 3-14. Diseño seleccionado [14].....	42
Figura 3-15. Valores de diseño de la rugosidad de tubos [15].....	44
Figura 3- 16. Diámetro interior nominal [16].....	45
Figura 4-17 . Válvula de bola [17].....	50
Figura 4-18. Tubería [18].....	50
Figura 4-19. Unión T [19].....	51
Figura 4-20. Manómetro [4].....	51
Figura 4-21. Indicador [21].....	52
Figura 4-22. Compresor [22].....	52
Figura 4-23. Drum [23].....	53
Figura 4- 24. Posicionamiento de accesorios y equipos seleccionados para el laboratorio virtual [24].....	54
Figura 6- 25. Panel frontal [25].....	75
Figura 6- 26. Programación LabVIEW [26].....	76

Figura 6-27. Continuación Programación LabVIEW [27]	76
Figura 6-28. Pérdidas de presión del tramo 1 [29].....	77
Figura 6-29. Pérdidas de presión del tramo 2 [30].....	77
Figura 6- 30. Pérdidas de presión del tramo 3 [31].....	78
Figura 6- 31. Pérdidas de presión del tramo 4 [32].....	78
Figura 6-32. Apertura de la válvula 2 al 25% [33]	79
Figura 6- 33. Apertura de la válvula 2 al 50% [34].....	79
Figura 6-34. Apertura de la válvula 2 al 100% [35]	80
Figura 6-35. Pérdida en el accesorio M1 [36]	80
Figura 6-36. Pérdida en el accesorio M2 [37]	80
Figura 6-37. Pérdida en el accesorio M3 [38]	81
Figura 6-38. Pérdida en el accesorio M4 [39]	81
Figura 6-39. Pérdida en el accesorio M5[40]	81
Figura 6-40. Pérdida en el accesorio M6	82
Figura 6- 42. Pérdida en el accesorio M7 [42]	82
Figura 6-43. Pérdida en el accesorio M8 [43]	82

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-3. Ventajas y Desventajas Laboratorios convencionales vs virtuales [1]	10
Tabla 2-2. Coeficiente de resistencia-contracción brusca [2].....	22
Tabla 3- 3. Clasificación de tuberías con su respectivo factores K y medidas [3]	29
Tabla 3- 4. Características del banco de pruebas para fluidos [4]	30
Tabla 3- 5. Características del banco hidráulico [5].....	32
Tabla 3- 6. Características del banco de pérdidas de cargas [6].....	34
Tabla 3-7. Comparación de la información obtenida de los bancos comerciales.....	35
Tabla 3-8. Variables Comparativas de Flujos Aire-Agua [8]	37
Tabla 3-9. Condiciones de trabajo [9].....	39
Tabla 3- 10. Características de resistencia en materiales [10]	40
Tabla 3-11. Tipos de material de tubería y accesorios [11]	42
Tabla 3-11. (Continuación).....	43
Tabla 3- 12. Conversión de unidades de diámetro [12]	44
Tabla 3- 13. Especificación de materiales y cantidad [13]	45
Tabla 3-14. Propiedades del Aire [14]	46
Tabla4- 15. Descripción de equipos [15]	47
Tabla4- 15. (Continuación).....	48
Tabla4- 15. (Continuación).....	49
Tabla 4- 16 Áreas por trayectoria [16]	58
Tabla 4- 17. Altura de manómetros [17]	59
Tabla 4-18. Pérdidas por Manómetro [18]	61
Tabla 4- 19. Lectura de Manómetros [9]	62
Tabla 5-20. Práctica 1. Pérdidas de presión por recorrido [20].....	65
Tabla 5-21. Práctica 2. Medición de flujo [21].....	67
Tabla 5-22 .Práctica 3. Cálculo de pérdidas de presión en accesorios [22].....	68

Introducción

Los laboratorios virtuales es una herramienta multimedia de incalculable valor científico y pedagógico, donde su aplicación ha sido exitosa en muchos lugares del mundo dando solución a las inquietudes de los estudiantes, ampliando las oportunidades y los campos de acción en los cuales puede aplicar lo aprendido. Igualmente, los laboratorios virtuales hacen uso de los elementos que brinda la tecnología y realizar nuevas actividades prácticas que contribuyen a ampliar su aprendizaje, basados en la interacción de la parte teórica con la parte práctica y el interés propio del estudiante. (Cordoba & Velasquez, 2013)

Hace muchos años los laboratorios de mecánica de fluidos consistían en bancos de pruebas experimentales de tipo manual e instrumentos convencionales, donde se realizaban ensayos pero que presentaban dificultades o fallas debido a la falta de mantenimiento. La evolución en este tipo de aplicación de laboratorios se debe principalmente al avance de las tecnologías de la información y actualmente ha tomado relevancia debido a la pandemia del COVID-19 ha generado una globalización de la educación y de la economía, tomando un importante espacio (Potkonjak *et al*, 2016) debido principalmente a i) permite el ahorro de costos en infraestructura a la universidad, ii) ahorro en tiempo y costos en los desplazamientos de los estudiantes. (Heradio *et al*, 2016; Colwell, Scanlon & Cooper, 2002; Chen Song, & Zhang, 2010).

Con los laboratorios remotos, las universidades fortalecen su imagen ante entidades gubernamentales reguladores como el MEN (Ministerio de Educación Nacional), debido a que hace uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación - TIC como herramienta diferencial en la educación y mejora su Good Will, teniendo en cuenta que al estudiante se le amplía su oferta horaria. La ley 1978 de 2019 por la cual se moderniza el sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones -TIC, en el cual el artículo 6 define: Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones son el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios

que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como voz, datos, texto, video e imágenes. (Zamora, 2010).

Según las experiencias observadas a través de la práctica de los laboratorios tradicionales, pueden presentar inconvenientes tales como: encontrar adecuadas instalaciones, costos elevados de los equipos, recursos humanos para su administración y realizar mantenimiento, restricción en cuanto a tiempos de acceso, manipulación correcta de los instrumentos; y comparando éstas causas con los laboratorio virtuales, se solventa que con la implementación de un laboratorio virtual, un concepto nuevo, los cuales llegan a complementar la educación incluyendo tecnología, mejor experiencia remota y una mejor flexibilidad en el desarrollo de las prácticas, una alternativa que pueda ayudar a realizar prácticas pedagógicas de una forma interactiva y amena usando un software existente en la UAN que permite de una forma virtual realizar prácticas de una forma real. Con esta tendencia se hacen esfuerzos para la aplicación del uso de éstos en las universidades, desarrollando un proyecto que le brinde a los estudiantes el acceso remoto a un laboratorio de mecánica de fluidos para un mayor conocimiento en temas relacionados con la realidad como las pérdidas de presión en tuberías, con el objeto de ampliar la disponibilidad de interactuar con el módulo de laboratorio.

El presente proyecto enfoca su realización fundamentalmente a las pérdidas de presión en tuberías y accesorios, cuando el fluido se desplaza por circuitos con distintos coeficientes de rugosidad, y así, cumplir con el objetivo del diseño de un banco de pruebas para la aplicación de los conceptos de mecánica de fluidos. El diseño gráfico se realiza con el software SolidWorks, los datos de medición y caudal serán entregados por instrumentos electrónicos y con la ayuda del software LabVIEW (prácticas simuladas), y estos datos se observarán en la pantalla de un PC, donde el estudiante podrá realizar la manipulación de las distintas válvulas (abrir y cerrar) y observar las presiones mostradas por los distintos manómetros instalados en las trayectorias de tuberías, y con ello hacer el respectivo cálculo y análisis de los valores de presión.

El proyecto se desarrolló por medio de la búsqueda de información o antecedentes en relación al diseño de bancos de pruebas para el cálculo de pérdidas de presión en sistemas de tuberías en Universidades nacionales e internacionales, en el cual se encontraron proyectos que disponen de agua y aire como flujo de trabajo y otros que disponen del banco físicamente en los laboratorios de las universidades, cabe mencionar que no se

evidenciaron proyectos con un banco de pruebas de pérdidas de presión o similares en la universidad UAN de Neiva.

Con esto, el objetivo en un futuro es que los estudiantes además de tener el primer laboratorio virtual educacional de la universidad puedan ingresar a un servidor desde su casa por medio del internet a este laboratorio y que puedan disponer de él, que se cuente con ayuda en línea, explicación teórica y descripción de métodos, obtener resultados y explicaciones satisfactorias.

Ante estas situaciones, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿El desarrollo de un Laboratorio Virtual para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías utilizando el aire como sustancia de trabajo permitirá ampliar conceptos teóricos-prácticos al programa de ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño?

Justificación

Actualmente los estudiantes de la facultad de ingeniería electromecánica no disponen de bancos para la práctica de cálculo de pérdidas de presión tanto físicos como virtuales donde se complemente los conceptos fundamentales del movimiento de fluidos en la solución de problemas de ingeniería. Basados en la necesidad de un mayor involucramiento de los estudiantes, la flexibilidad de lugar y hora, la optimización de los recursos de la universidad y sin riesgos o necesidad de técnicos guiando el trabajo, se propone el uso de la TIC, específicamente de los laboratorios virtuales, que son las herramientas actuales que captan la atención de los estudiantes ya que los acercan a los medios tecnológicos, permitiendo una experimentación directa e individual. Con ello se crea este proyecto del diseño de un laboratorio virtual para el cálculo de pérdidas de presión de tuberías y para este caso utilizando el aire como sustancia de trabajo, que permita la enseñanza constructiva que pueda ser rentable para el estudiante en su formación y pueda seguir adquiriendo conocimiento fuera del aula incrementando la dedicación en la realización de las prácticas de laboratorio.

Objetivos

Los laboratorios virtuales hacen uso de los elementos que brinda la tecnología para realizar actividades prácticas que contribuyen a ampliar el aprendizaje, basados en la interacción de la parte teórica con la parte práctica y el interés propio del estudiante por lo tanto, se plantea diseñar un laboratorio virtual para la enseñanza del cálculo de pérdidas de presión en tuberías utilizando como sustancia de trabajo el aire para la UAN Sede Neiva, para lograr el desarrollo del laboratorio virtual es necesario estudiar y caracterizar los laboratorios de cálculo de pérdidas de presión en tuberías existentes tanto en ciudad nacionales como internacionales, estas investigaciones serán seleccionadas por su objetivo de investigación, es decir estas investigaciones en común desarrollaron bancos hidráulicos para determinar las pérdidas de energía en diferentes materiales, por lo tanto se identifican como referencias claves, que permitan analizar los diversos materiales, el diseño estructural y los diferentes resultados pero con un objetivo en común, esto le proporciona a los autores una vista más clara para el desarrollo y construcción del banco propuesto en este proyecto.

De la misma manera es necesario diseñar la instalación y determinar los parámetros y elementos de medición donde se llevará a cabo las diferentes prácticas y el proceso de simulación donde se establece la descripción de los componentes y dispositivos presentes en el diseño del banco de pruebas basado en las investigaciones descritas con anterioridad.

Finalmente se debe realizar la comprobación del laboratorio por medio de la Simulación de prácticas de pérdidas de carga del aire en el modelo diseñado para contrastar la cercanía entre los datos entregados por el software y los datos realizados de forma analítica, para así garantizar la confiabilidad del programa realizado o de manera correctiva mejorar el programa para que entregue datos más acordes a los reales.

En base a lo planteado se estipula el siguiente objetivo general y objetivos específicos:

Objetivo general

Diseñar un laboratorio virtual para la enseñanza del cálculo de pérdidas de presión en tuberías utilizando como sustancia de trabajo el aire para la UAN Sede Neiva.

Objetivos específicos

- Estudiar y caracterizar los laboratorios de cálculo de pérdidas de presión en tuberías existentes tanto nacional como internacional
- Diseñar la instalación y determinar los parámetros y elementos de medición donde se llevará a cabo las diferentes prácticas y el proceso de simulación.
- Simulación de las diferentes prácticas de pérdidas de carga del aire en el modelo diseñado.

Para el desarrollo de este proyecto basado en el diseño de un banco de tuberías complementado con la programación en el software LabVIEW la interfaz HMI, el cual permite al estudiante interactuar con el banco, se pretende proporcionar una herramienta tecnológica que permita la evaluación de las pérdidas de presión en las distintas trayectorias de tuberías y accesorios que componen el banco utilizando aire, con este espacio se podrá obtener datos experimentales, siendo su característica más importante es que permitirá a los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño realizar prácticas de mecánica de fluidos de manera no presencial, a través de la herramienta digital dispuesta online, de forma gratuita.

Para alcanzar los objetivos planteados, se determinan tres fases: revisión literaria, el diseño y prueba del modelo, de allí que se pretenda trabajar en un enfoque mixto: cualitativa y cuantitativa, donde permitirá conocer los métodos o técnica existente en el diseño de un laboratorio virtual, y el proceso de construcción de éste, haciendo las respectivas pruebas y demostrando sus resultados.

1. Estado del Arte

Este capítulo se presenta el estudio y la caracterización de las instalaciones para el cálculo de pérdida de presión en tuberías y accesorios, los cuales serán de ayuda para llevar a cabo el diseño del banco de pruebas.

1.1 Reseña de diseños de laboratorios virtuales en universidades nacionales

En las Unidades Tecnológicas de Santander, en el programa en ingeniería electromecánica, en la ciudad de Barrancabermeja, Santander, cuenta con un banco de pruebas para el análisis de pérdidas hidráulicas en tubería y accesorios, se realiza el montaje y la simulación de un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios, implementando un control de velocidad de fluido y monitoreo del comportamiento de cada circuito de tubería basado en equipos automatizados. (Lara & Pineda, 2011)

En la Universidad Tecnológica de Pereira, cuenta con un banco didáctico, para prácticas de mecánica de fluidos apoyando en un PLC, utilizando como sustancia de trabajo el agua. La finalidad primordial de la investigación es que se obtuvo un banco para pruebas de mecánica de fluidos, con el fin de que pueda obtener un control de nivel, el cual no sea controlado por una persona, si no específicamente desde un centro de mando asistido por un computador el cual envié las señales de control. Ya que en el laboratorio de la universidad no tienen los medios posibles para establecer las pruebas correspondientes. Determinar métodos diferentes para el tratamiento de fluidos de trabajo y puede establecer una interfaz hombre-máquina para un control de automatismo total a la hora de monitorear parámetros esenciales en un laboratorio de mecánica de fluidos, además de interactuar en tiempo real con lo que acontece en la configuración de las necesidades hidráulicas en una instalación de red de tuberías. (Morales, 2015)

En la Universidad Autónoma de Occidente, sede Cali se realiza un mejoramiento del banco de pruebas para determinar pérdidas de carga en tuberías existente en la universidad, implementado un sistema de adquisición de datos que permita el cálculo sistematizado de las pérdidas de carga en los distintos circuitos de tubería que componen el banco. La adquisición de los datos se hace mediante sensores de presión y flujo electrónicos con pantalla digital permitiendo la fácil lectura de los datos adquiridos. Con el desarrollo de una aplicación web exclusiva para el banco creada en lenguaje de programación PHP y HTML, la cual sistematiza todas las ecuaciones de los circuitos del sistema y el estudiante pueda comparar los valores prácticos con los cálculos teóricos de la aplicación. (Pardo, 2009)

En la Universidad Industrial de Santander de Bucaramanga, se realizó el diseño integral, en un solo banco, los recursos necesarios para el estudio del fenómeno de pérdidas de energía en tuberías, válvulas y accesorios debidas al flujo de líquidos; para el análisis del comportamiento hidráulico de tuberías en serie y paralelo. El resultado es el diseño de un Banco de pruebas el cual permite variar todos los parámetros que intervienen en el fenómeno junto con el simulador “Transporte de fluidos” complementa el estudio y análisis de las experiencias. (Betancurt, 2011)

En la búsqueda de la información en relación al diseño de bancos de pruebas para el cálculo de pérdidas de presión en sistema de tuberías en Universidades de Colombia, se encontraron proyectos que solo utilizan el agua como sustancia de trabajo, y que se dispone del banco físicamente en los laboratorios de las universidades, automatizando los datos de la práctica. Por lo anterior, no se evidenciaron proyectos con un banco de pruebas de pérdidas de presión en tuberías utilizando aire y que éste sea solo virtual.

1.2 Reseña de diseños de laboratorios virtuales en Universidades Internacionales

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de la ciudad Riobamba, Ecuador, en la Facultad de Mecánica, existe un diseño de laboratorio virtual para medir caída de presión en tuberías con fluido hidráulico y obtener datos en tiempo real usando LabVIEW y Visual Basic. El cual mide la pérdida de energía en una válvula esférica mediante la adquisición de datos, para automatizar la recopilación de datos experimentales y teóricos y de esta manera

obtener el coeficiente de pérdida de carga, y lograr la optimización de la instalación existente en el laboratorio de Mecánica de fluidos. El estudio lo complementan con la guía de laboratorio, un plan de mantenimiento y las tablas de registro que orientaran un mejor funcionamiento del procedimiento (Cordoba & Velasquez, 2013).

En este proyecto de University of Petroleum & Minerals, se ha desarrollado una herramienta didáctica interactiva en forma de laboratorio virtual de mecánica de fluidos. Este laboratorio consta de cuatro experimentos relacionados con pérdidas en sistemas de tuberías, medidores de flujo, lechos empaquetados y fluidizados. Los laboratorios pueden ejecutarse en cualquier PC con un sistema operativo de 32 bits y estar disponibles a través de Internet. Con la capacidad de variar diferentes parámetros en los experimentos, los estudiantes pueden desarrollar un sentido intuitivo de causa y efecto. (S. U. Rahman*, Department of Chemical Engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran-31261, Kingdom of Saudi Arabia).

En la universidad de Texas Arlington, se implementa un manual de laboratorio que proporciona a los estudiantes una descripción general de diez laboratorios de mecánica de fluidos con diferentes experimentos y sus aplicaciones prácticas, donde por medio manuales, videos educativos y libros de trabajo de preparación de informes de laboratorio interactivos. Cada sección incluye teoría, aplicaciones prácticas, objetivos, experimentales procedimiento y preguntas posteriores al experimento. (Habib Ahmari, Department of Civil Engineering at UTA,2014)

En las Universidad internacionales se han desarrollado trabajos utilizando técnicas de la inteligencia artificial, introduciendo la computación en los laboratorios, automatizando las prácticas de los laboratorios de mecánica, electrónica, etc., y se hicieron programas para procesar automáticamente los datos. En la actualidad en los laboratorios de mecánica las prácticas se hacen con el uso de programas de computación, desarrollando laboratorios virtuales en diferentes temáticas de la disciplina de física.

1.3 Caracterización de los laboratorios virtuales

Los laboratorios presentados anteriormente, son instalaciones físicas en los laboratorios de las distintas Universidades, que cuentan con un control lógico programable (automatización de los bancos existentes), pero el estudiante debe trasladarse como tal al espacio del banco

para realizar las distintas prácticas y debido a la Pandemia desde el 2020, no pueden ser utilizados por los estudiantes para realizar las diferentes prácticas. También es utilizada la simulación de los bancos de pruebas de pérdidas de presión, pero no hay una interacción Máquina-Hombre, sino que solo puede observar el comportamiento del flujo y visualizar los resultados, sin que el estudiante analice matemáticamente los resultados.

Una alternativa para la enseñanza de los procedimientos de laboratorios cuando existen dificultades de acceso al lugar, instrumentación descalibrada, falta de mantenimiento, lo constituye el uso de laboratorios virtuales, que se crean por medio de la programación (software) que ayudan al estudiante a apropiarse y comprobar sus habilidades, este permite aprender conceptos, leyes y fenómenos sin tener que esperar mucho tiempo y sin tener necesidad de invertir en infraestructura para realizar los experimentos.

A continuación, se observan las ventajas y desventajas de laboratorios convencionales vs virtuales:

Tabla 1-3. Ventajas y Desventajas Laboratorios convencionales vs virtuales [1]

Tipo de Laboratorio	Ventajas	Desventajas
Convencional	Datos reales	Restricciones de tiempo y lugar
	Interacción con equipo real	Costos de mantenimiento
	Trabajo en equipo	Requiere Supervisión
Virtual	No hay restricciones de tiempo ni lugar	Trabajo individual
	De bajo costo	No hay interacción con equipo real

Un laboratorio virtual tiene una función principalmente pedagógica que permite asimilar conceptos, leyes y fenómenos sin tener que esperar largos periodos e invertir en infraestructura. También es una herramienta para la predicción y verificación de datos para el diseño de experimentos cada vez más complejos. La creación de laboratorios virtuales tiene múltiples ventajas respecto a los reales. Dado que este tipo de laboratorios se sustenta en modelos matemáticos que se ejecutan en computadoras, su configuración y operación es más sencilla. Un laboratorio virtual provee un medio para la enseñanza en la experimentación con una reducción significativa de los costos para las universidades y la ventaja de enriquecer la experiencia del estudiante, mejorando resultados en cuanto a la

apropiación de conceptos, es decir, el educando se familiariza con el experimento, debido a que cuenta con conocimientos previos, por lo tanto, es posible difundir el aprendizaje constructivista, fomentando la capacidad de análisis y el pensamiento crítico.

De todo lo anterior, se puede concluir que, dada la creciente aparición, disponibilidad y uso de nuevas TIC, es posible y necesaria su introducción en los procesos de enseñanza el uso de estos laboratorios abre nuevas posibilidades al aumentar la capacidad de experimentación, pues son laboratorios permanentemente disponibles para los estudiantes, Por otra parte, las prácticas se pueden impartir de forma virtual abatiendo los costos de transporte del educando al aula además de que se reduce la probabilidad de accidentes de campo.

2. Marco Teórico

2.1 Caudal

Desde el punto de vista del control de procesos, el caudal es una de las variables más importantes para la operación de una planta industrial. La medición del caudal es esencial en todas las fases de manipulación de los fluidos, incluyendo la producción y el procesamiento. Un sistema de medición de caudal debe considerarse globalmente como un conjunto formado por el medidor y los circuitos de tubería aguas arriba y aguas abajo del mismo.

Cuando se toma un punto o una sección transversal de referencia en una tubería, el caudal es la cantidad de fluido, expresada en volumen, que pasa por dicho punto o sección en una unidad de tiempo. Por lo tanto, el parámetro caudal se expresa en unidades de volumen (m^3/h). Se puede decir también, que el caudal volumétrico de un fluido Q (m^3/s) es igual al producto de la velocidad media de flujo \bar{v} (m/s) por el área de la sección transversal de la tubería A (m^2).

$$Q_v = \bar{v} \cdot A \tag{1.1}$$

En muchas aplicaciones de la mecánica de fluidos es necesario tener en cuenta las variaciones de densidad. El campo de los fluidos compresibles es muy amplio, y comprende intervalos de presión, temperatura y velocidad. En el flujo de fluidos compresibles, a densidades ordinarias y velocidades elevadas, el parámetro fundamental es el número de Mach. A densidades muy bajas, para las que el recorrido libre medio de las moléculas es considerable, en comparación con el tamaño del aparato o de los cuerpos sólidos en contacto con el gas, es preciso tener en cuenta otros factores. El número de Mach, que se designa por N_{Ma} , se define como la relación entre la velocidad u del fluido y la velocidad a del sonido en el fluido, para las condiciones de flujo: (Warren & Mc Cabe,

pág. 122)

$$N_{Ma} = \frac{u}{a} \tag{1.2}$$

Por definición, el número de Mach es igual a la unidad, cuando la velocidad del fluido es igual a la del sonido en el mismo, a la presión y temperatura del fluido. Según que el número de Mach sea menor, igual o mayor que la unidad, el flujo recibe el nombre de subsónico, sónico o supersónico. (Warren & Mc Cabe)

2.2 Fluidos compresibles e incompresibles

En el flujo incompresible el fluido se mueve a lo largo de la tubería manteniendo su densidad constante. En flujos de líquidos, es muy difícil alcanzar Mach igual a 0,3 debido a la gran presión requerida para inducir el flujo, por eso, este tipo de flujo normalmente se considera incompresible. Una diferencia esencial entre un fluido compresible y uno incompresible está en la velocidad del sonido. En un fluido incompresible la velocidad de propagación de un gradiente de presión es prácticamente instantánea; por otro lado, en un fluido compresible el gradiente de velocidad es finita. Cuando la velocidad de un fluido alcanza su velocidad del sonido, la variación de la densidad (o del volumen) es igual a la variación de la velocidad, es decir, una gran variación de la velocidad. Los flujos de gases pueden fácilmente alcanzar velocidades elevadas, características de flujos compresibles.

Los gases son fluidos compresibles, de esta forma las ecuaciones básicas de flujo deben considerar las variaciones en la densidad provocadas por la presión y por la temperatura. Para los fluidos compresibles, como gases y vapores, es necesario adicionar términos térmicos a la ecuación de Bernoulli para obtener una ecuación que considere la energía total y no solamente la energía mecánica.

Los problemas más interesantes del flujo de fluidos compresibles se encuentran en el intervalo de velocidades elevadas, para las cuales el número de Mach es próximo o superior a la unidad (Warren & Mc Cabe, pág. 122). Se utilizan las siguientes relaciones básicas:

$$(1.3) \text{ Ecuación de continuidad} \quad \frac{dp}{\rho} + \frac{dS}{S} + \frac{du}{u} = 0$$

(1.4) Balance de energía total para el flujo estacionario $\frac{dQ}{m} = dH + d\left(\frac{u^2}{2g_c J}\right)$

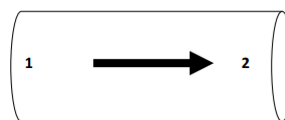
(1.5) Balance de energía mecánica con fricción de pared $\frac{d\rho}{\rho} + d\left(\frac{u^2}{2g_c}\right) + \frac{u^2}{2g_c} f \frac{dL}{r_H}$

(1.6) Ecuación para la velocidad del sonido. $a = \sqrt{g_c \left(\frac{d\rho}{d\rho}\right)_s}$

(1.7) Ecuación de estado de los gases ideales. $p = \frac{R}{M} \rho T$

Al considerar el movimiento de un fluido compresible a lo largo de una tubería horizontal, es de hacer notar que, si se experimenta un cambio de presión a lo largo de su trayectoria, por efecto de la pérdida de energía por fricción, la densidad del fluido deja de ser constante. Esto le otorga un carácter especial a este tipo de flujo que lo diferencia de una manera clara de lo estudiado en flujo compresible a través de la ecuación de Bernoulli. Por ejemplo, la ecuación de continuidad escrita en estado estacionario entre los puntos 1 y 2 de la figura 2-1, establece lo siguiente:

Figura 2-1 Ecuación de Continuidad [1]



Fuente: Autor

El producto ρV es conocido como el flujo másico por unidad de área. Es de hacer notar que ahora el producto VA (flujo volumétrico), ahora varía a lo largo de la tubería por efecto de la expansión del gas.

Antes de seguir en análisis de las ecuaciones involucradas, es necesario introducir las consideraciones relacionadas con las relaciones presión, volumen y temperatura para flujo compresible. El comportamiento P-V-T de los gases en un rango considerable de presiones, puede ser descrito por la Ley de gases ideales.

$$PV = nRT = \frac{m}{PM} RT \tag{1.8}$$

$$\text{Densidad: } \rho = \frac{MP}{RT} \tag{1.9}$$

$$\text{Volumen específico: } v = \frac{RT}{MP} \tag{1.10}$$

A medida que el gas se mueve entre 1 y 2, experimenta una pérdida de energía que se traduce en una caída de presión, la cual dependiendo del largo de la tubería puede ser considerablemente alta, por lo tanto, modificaría de manera proporcional de acuerdo a la ecuación 4 al valor de la densidad. Por esta razón la velocidad en el punto 2, queda expresada como:

$$V_2 = V_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} \tag{1.11}$$

Si la presión disminuye, más pequeño será el valor de la densidad en dos y por consiguiente más alto será el valor de la velocidad en este punto. Sin embargo, la velocidad no aumenta de manera indefinida.

La condición límite para la elevación de la velocidad se consigue, cuando el gas alcanza la velocidad del sonido, la cual por definición es la derivada parcial de la presión con respecto de la densidad a entropía constante.

$$V_s = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)} \tag{1.12}$$

Esta misma ecuación (1.12) se utiliza para gases en donde la velocidad se representa de la siguiente manera:

$$V_s = \sqrt{(\gamma * RT)/M} \tag{1.13}$$

Donde:

γ = coeficiente de dilatación adiabático (coeficiente entre el calor específico a presión constante (C_p) y el calor específico a volumen constante (C_v) del fluido.

R = constante universal de los gases.

T = temperatura en kelvin aguas arriba de la perturbación

M = masa molar del gas

La ecuación (1.13) demuestra que la velocidad del sonido en un gas es una función de su temperatura. En el flujo de un gas a través de una tubería, la velocidad del sonido generalmente cambia de una sección a otra, lo mismo que la temperatura varía por los cambios de densidad y rozamiento.

2.3 Número de Mach

Con frecuencia para referir cuan cerca o lejos se está de la condición de flujo sónico, se utiliza una relación entre la velocidad y la velocidad del sonido a las mismas condiciones. A esta nueva variable se le denomina número de Mach.

$$N_{Ma} = V / V^* \quad (1.14)$$

$N_{Ma} < 1$ Flujo subsónico

$N_{Ma} = 1$ Flujo sónico

$N_{Ma} > 1$ Flujo supersónico

Cuando el flujo alcanza las condiciones de la velocidad del sonido, se dice que se está bajo condiciones de flujo sónico.

2.4 Generación de la turbulencia

Desde el punto de vista físico, el valor del número de Re (Reynolds) determina en gran medida el comportamiento cualitativo del flujo. En efecto, si Re es pequeño, el flujo se desarrolla de forma regular, describiendo capas paralelas que no se entremezclan, no se producen variaciones bruscas de las variables que determinan el movimiento y además las pequeñas perturbaciones son amortiguadas por el efecto de la viscosidad.

En este caso, se dice que el flujo se desarrolla en régimen laminar. Conforme Re, crece, los efectos de transporte van predominando sobre los de difusión y va aumentando la inestabilidad del flujo. Para valores de Re suficientemente grandes el flujo evoluciona de forma completamente irregular, tanto en espacio como en tiempo.

Se considera:

- $Re < 2300$ El flujo sigue un comportamiento laminar.
- $2300 < Re < 4000$ Zona de transición de laminar a turbulento.
- $Re > 4000$ El fluido es turbulento.

La observación de las magnitudes asociadas al flujo muestra un comportamiento totalmente caótico, a la vez que las pequeñas perturbaciones son rápidamente amplificadas, generando estructuras de gran complejidad tanto a pequeña como a gran escala que interaccionan entre sí. En este caso, se dice que el flujo se desarrolla en régimen turbulento.

En efecto, desde el punto de vista teórico, se puede decir que, la inestabilidad crece con el número de Reynolds debido a que los efectos regularizadores de los términos viscosos no son suficientes para controlar la no linealidad de los términos de convección. Según Díaz (2010) “este carácter inestable hace que estos flujos sean muy sensibles a pequeñas perturbaciones de las condiciones iniciales y de contorno”. Curvas, codos, válvulas, etc. también pueden producir una perturbación en el flujo, conocida como rotación.

El patrón de flujo en un fluido atravesando una curva es complicado, esto origina un movimiento de rotación en el flujo interno de la tubería recta aguas abajo de la curva, sobreponiéndose al desplazamiento del fluido que se mueve hacia adelante, esta superposición resulta en un patrón de flujo compuesto. Los efectos nocivos del remolino pueden, si se requieren, atenuarse instalando los llamados rectificadores de flujo aguas arriba del medidor de caudal. Hay varios parámetros de la tubería que influyen en la pérdida de carga del flujo, el material a partir del cual se fabrica el tubo, el método de fabricación, el diámetro, el acabado superficial y la edad de la tubería. La utilización frecuente de válvulas, filtros, curvas, codos, reducciones, etcétera, provoca caídas adicionales de presión, denominadas en este caso pérdidas de carga singulares.

Los principales elementos medidores de caudal por presión diferencial son: Placas de orificio, toberas, tubos Venturi, codos, orificios integrales, cuñas, tubo Pitot y Annubar.

2.5 Presión Diferencial

El flujo se mide por la aplicación de la conservación mecánica a través de la conversión de la velocidad del fluido a presión (Teorema de Bernoulli) y el principio de la continuidad.

$$(1.15) \text{ Ecuación de Bernoulli} \quad \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2}$$

$$(1.16) \text{ Ecuación de la continuidad} \quad Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

(1.17) Relación de diámetros β

$$\beta = \frac{d}{D}$$

Operando las ecuaciones anteriores obtenemos:

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}} \quad y \quad E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \quad \Delta p = p_1 - p_2 \quad (1.18)$$

$$v_2 = E \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (1.19)$$

El caudal en volumen es:

$$Q_v = A_2 v_2 = E \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (1.20)$$

El caudal en masa es:

$$Q_m = E \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho} \quad (1.21)$$

2.6 Pérdidas menores

Otra forma de pérdidas de energía que se asocia en el sistema son debido a la resistencia que producen accesorios como son codos, té, válvulas, etc., a las que denominan pérdidas menores o pérdidas por accesorios.

Estas pérdidas de presión se producen por varios factores como la fricción del aire a pasar por los accesorios, el cambio de dirección y el tipo de flujo. Las pérdidas se establecen experimentalmente y son directamente proporcionales a la velocidad del fluido dependiendo también de un factor de corrección denominado coeficiente de resistencia o K, este es propio de cada accesorio y depende básicamente de sus dimensiones.

2.6.1 Coeficiente de resistencia de carga K.

Representa una constante proporcionalidad entre la pérdida de carga y la carga de velocidad en un accesorio por lo tanto en un número adimensional (Connor, 2019)..

Este número adimensional (K) se puede incorporar a la ecuación de Darcy-Weisbach de una manera muy similar al método de longitud equivalente. En lugar de datos de longitud equivalente en este caso, el número adimensional (K) se utiliza para caracterizar el accesorio sin vincularlo a las propiedades de la tubería (Connor, 2019).

El valor K representa el múltiplo de las cabezas de velocidad que se perderán por el fluido que pasa a través del accesorio. La ecuación para el cálculo de la pérdida de presión del elemento hidráulico es, por lo tanto:

$$h_L = K \cdot \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \tag{1.22}$$

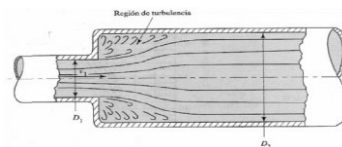
la ecuación para el cálculo de la pérdida de presión de todo el sistema hidráulico es:

$$h_L = \left(\frac{f \cdot L}{D} + \sum k \right) \cdot \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \tag{1.23}$$

2.6.2 Ampliación brusca

Conforme un fluido pasa de una tubería pequeña a otra más grande a través de una ampliación brusca, su velocidad disminuye de manera abrupta, lo que ocasiona turbulencia que genera una pérdida de energía como se muestra en el siguiente gráfico.

Figura 2-2 Ampliación brusca [2]



Fuente: Pardo, Luis. (2009)

La cantidad de turbulencia y por consiguiente, la cantidad de pérdida de energía, depende del cociente entre los diámetros de los conductos (D_2 / D_1). La pérdida menor se calcula con la ecuación:

$$hm = k \frac{v_1^2}{2g} \quad (1.24)$$

v_1 = Velocidad promedio del flujo en la tubería de menor diámetro

Al hacer algunas suposiciones simplificadoras sobre el carácter de la corriente de flujo, es posible predecir de manera analítica el valor de k , con la siguiente ecuación. (Mott, pág. 281)

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \quad (1.25)$$

Dónde:

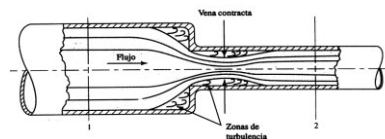
D_1 = Diámetro de la sección más pequeña de tubería

D_2 = Diámetro de la sección más grande de tubería

2.6.3 Contracción Brusca

El mecanismo mediante el cual se pierde energía debido a una contracción brusca es bastante complejo. Conforme las líneas de corriente se acercan a la contracción; adoptan una trayectoria curva y durante cierta distancia la corriente en su conjunto sigue después del angostamiento.

Figura 2-3 Contracción brusca [3]



Fuente: Lugans, David. (2012)

Así, la sección transversal mínima efectiva del flujo es más pequeña que la de la tubería menor. La sección en que ocurre esta área mínima de flujo se denomina vena contracta, lo cual ocasiona que la corriente desacelere y expanda de nuevo para llenar la tubería. El coeficiente de resistencia k depende de la relación de los tamaños de las dos tuberías y de la velocidad de flujo. La pérdida menor se calcula a partir de la ecuación:

$$hm = k \frac{v_2^2}{2g} \quad (1.26)$$

Dónde:

D_1 = Diámetro de la sección más grande de tubería
 D_2 = Diámetro de la sección más pequeña de tubería
 V_2 = Velocidad promedio del flujo en la tubería de menor diámetro
 k = Se encuentra en la tabla N° 3-3.

Tabla 2-2. Coeficiente de resistencia-contracción brusca [2]

k	D_1/D_2
0,08	1,2
0,17	1,4
0,26	1,6
0,34	1,8
0,37	2,0
0,41	2,5
0,43	3,0
0,45	4,0
0,46	5,0

Autor: Autores

2.7 Válvulas

A continuación, se describen las 3 válvulas más utilizadas en los circuitos hidráulicos, esta descripción busca ofrecer una ayuda a los autores para la correcta elección de la válvula a implementar en el laboratorio de pérdida de presión en accesorios.

2.7.1 Válvulas de Compuerta

La válvula de compuerta es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla. (Mott, pág. 294).

Figura 2-4. Válvula de compuerta [4]



Fuente: Rojas, Amanda. (2014)

Ventajas:

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.

- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

Desventajas:

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarse.
- Produce cavitación con baja caída de presión.
- Debe estar cubierta o cerrada por completo.

2.7.2 Válvula de globo

Una válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio del disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería.

Figura 2-5. Válvula globo [5]



Fuente: SC Fluids. (2021)

Ventajas:

- Son capaces de lograr regular bien al flujo.
- Realizan un cierre hermético cuando cuenta con un asiento flexible.
- Existen con varios orificios.
- Actúan rápidamente.

Desventajas:

- Al detener cierta parte del fluido para regularlo, generan una caída de presión dentro de la línea lo que debe de ser considerado en los cálculos técnicos para que esta clase de válvulas y otras circunstancias que hay dentro de la línea no impidan que el fluido deba de llegar hasta donde se requiere.
- Son más costosas

Las válvulas de globo se usan para servicios on-off y pueden servir para realizar paradas de emergencia, regulando el flujo y garantizando una prolongada vida útil en servicio con

mínimas necesidades de mantenimiento. El disco de una válvula de globo puede apartarse totalmente de la ruta del flujo o puede cerrar el flujo por completo. El principio fundamental del funcionamiento de las válvulas de globo es el movimiento perpendicular del disco en relación con el asiento. Esto garantiza que el espacio en forma de anillo situado entre el disco y el asiento se cierre gradualmente a medida que se cierra la válvula. (Mott, pág. 294).

2.7.3 Válvula de bola

Las válvulas de bola son de un cuarto de vuelta, pues la bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.

Figura 2-6. Válvula de bola [6]



Fuente: Rojas, Amanda. (2014)

Una válvula de bola también se le conoce como válvula de corte, porque permite cortar o abrir totalmente el paso de un fluido. La regulación de la válvula es operada por una palanca y el movimiento de un cuarto de vuelta. La palanca o manilla indicará el estado de la válvula: si está abierta o cerrada. Se recomienda su uso donde se necesite una llave que se encuentre en una de las dos posiciones por periodos largos. En instalaciones donde se necesita apertura o cierre rápido con una resistencia mínima a la circulación. Por ejemplo, se utilizan para el abastecimiento de agua o gas y están antes y después del contador. (ARCO, 2019)

Ventajas:

- Circulación en línea recta
- Pocas fugas
- Se limpia por sí misma
- Poco mantenimiento

Desventajas:

- Alta torsión para accionarla
- Susceptible al desgaste de sellos
- Vulnerable a la cavitación

La válvula de bola son herramientas muy útiles y versátiles que logran adaptarse con mucha facilidad a las distintas necesidades de las industrias. Las válvulas ofrecen un sellado excelente, un mantenimiento sencillo y una baja pérdida de presión en relación al tamaño del orificio. Además, las válvulas permiten diseños de varias vías, diseños con asientos blandos y metal-metal, se puede emplear en vapor, agua, aceite, gas, aire, petróleo y fluidos corrosivos, por lo tanto, es necesario analizar las válvulas indicadas anteriormente para la selección de la válvula a utilizar en el banco de pruebas por medios de las ventajas, desventajas y métodos de empleo.

2.8 Compresores

Los compresores pueden ser usados para aumentar la presión o flujo de un gas (aire, amoníaco, GNC, Nitrógeno, CO₂, etc.). A veces esto es intermitente (un taller, restaurante, planta procesadora pequeña, etc.) a veces continuo (bombeo de gasoductos, embotelladoras de gaseosas o cerveza, sopladores de bolsas y envases plásticos, etc.). Cada tipo de compresor tiene ventajas para aplicaciones específicas, y los materiales utilizados en su construcción son compatibles con ciertos gases y/o aceites. Los compresores en general son similares a bombas que utilizamos para bombear líquidos. (Widman & Linares, 2009)

Los compresores utilizan muy poca energía eléctrica y se alimentan del aire de la atmósfera por lo que es una herramienta muy económica que beneficia a la industria y a las actividades domésticas, por otro lado, es una forma muy ecológica para surtir de aire a diferentes objetos como neumáticos, al existir varios modelos de compresores puedes ser utilizados tanto en el hogar como en las diferentes industrias para surtir de aire a una enorme variedad de objetos y herramientas, los compresores tienen una respuesta inmediata no hay que esperar que se calienten, ni tampoco hay que hacer nada previo a su uso, solo es necesario conectarlo para que comience su proceso de compresión de aire sin mencionar que estos equipos son sencillos de transportar.

Se puede concluir que los compresores son equipos versátiles por su amplia gama de modelos y usos en el campo industrial, además de ser equipos seguros porque, al no

utilizar combustible evita que se puedan producir incendios o explosiones, esto significa que pueden ser utilizados con seguridad en cualquier ambiente, además de ser herramientas muy potentes debido a que estas herramientas son utilizadas como auxiliares para el uso de maquinaria como pistolas de pintura, de agua a presión, taladros, rotomartillos, atornilladores, sierras eléctricas entre otras.

3.Propuesta de Diseño

Una vez se ha recopilado y analizado la información sobre investigaciones anteriores, para la creación de la propuesta es necesario disponer de una caracterización de los materiales que el banco utilizara, las condiciones de uso y las dimensiones, por lo tanto, se espera que estas investigaciones sean una referencia útil para la creación del diseño estructural y la selección de equipos.

3.1 Descripción del diseño banco de pruebas

En primer lugar, se establece la consulta de tres investigaciones con el fin de comparar y seleccionar el diseño geométrico de la estructura e identificación de elementos que conforman el banco de pruebas.

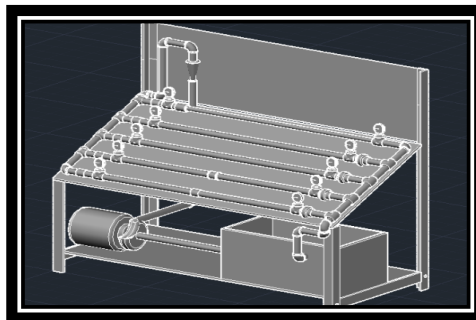
Estas investigaciones fueron seleccionadas por su objetivo de investigación, es decir estas investigaciones en común desarrollaron bancos hidráulicos para determinar las pérdidas de energía en diferentes materiales, por lo tanto se identifican como referencias bibliográficas claves, que permiten analizar los diversos materiales, el diseño estructural y los diferentes resultados pero con un objetivo en común, esto le proporciona a los autores una vista más clara para el desarrollo y construcción del banco propuesto en este proyecto.

3.1.1 Investigación 1. Banco de pruebas para fluidos

Es una metodología no aplicable en la industria sino en las áreas de desarrollo como universidades. Permite realizar pruebas de fluidos, haciendo variaciones de presión y temperatura, análisis de pérdidas en el sistema de el banco, medidas de caudal y viscosidad (Montaño & Prieto, 2014).

En la presente investigación se diseñó y construyó un banco de prueba de fluidos para lograr a un conocimiento básico en el comportamiento de estos y desarrollar habilidades que permitan un mejor desempeño a la hora de realizar diseños y/o mantenimientos en el área de mecánica de fluidos. En la imagen se muestra un banco de prueba para el estudio detallado de las pérdidas de carga de fricción de un fluido.

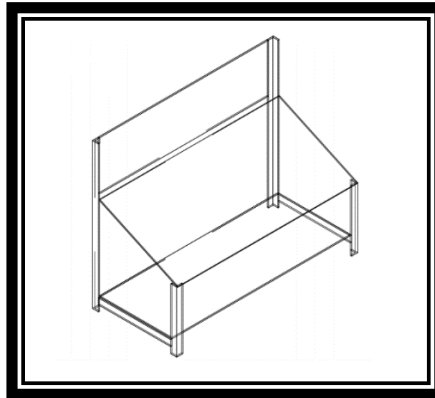
Figura 3-7. Banco de pruebas 3D [7]



Fuente: MONTAÑO, Pedro & PRIETO, Edwin. Banco de pruebas para fluidos. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2014. p.14.

En el diseño se quiso implementar más variedad de tubería para ampliar los resultados prácticos del banco como también se diseñó la estructura de una forma que sea más fácil realizar el manejo de instrumentos y practicidad de la presentación. Se puede evidenciar un cambio de altura en cada circuito de tubería gracias a la inclinación de la estructura, la bomba tanto como el tanque se ubicaron en una plataforma debajo de las secciones de tubería debido a el espacio y la eficiencia de estos al trabajar en ese punto, a continuación, un diseño final de la estructura del banco de pruebas para fluidos (Montaño & Prieto, 2014). El banco desarrollado en la investigación 1 tiene un diseño estructural simple pero organizado, cabe mencionar que la variedad de materiales utilizados fortalece la versatilidad del banco, esta versatilidad y distribución en el diseño es una herramienta útil para la selección de diversos materiales y tamaño estructural que pueden ser implementados en el actual proyecto, con el fin ampliar los resultados prácticos y presentar un banco equilibrado y organizado. Una posible mejora sería eliminar la inclinación del banco, esto permitiría una mejor distribución de los elementos, implementando los equipos en un solo espacio de trabajo y una mejor visualización de éstos.

Figura 3-8. Diseño estructura base para el banco [8]



Fuente: MONTAÑO, Pedro & PRIETO, Edwin. Banco de pruebas para fluidos. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2014. p.22.

En la Figura 3-8, se observa la base para el banco presentado en la investigación 1, en esta base se instaló la estructura hidráulica y los accesorios, como se mencionó anteriormente una mejora propuesta para esta estructura es una superficie plana en el cual se permita puede instalar todos los equipos juntos, permitiendo observar los componentes en el mismo espacio de trabajo.

En la investigación 1 se utilizó materiales como acero, polipropileno y PVC en las tuberías, con el fin de observar las pérdidas de presión en cada uno de ellos, a pesar que el banco de la investigación posee diversidad de materiales, como elemento diferenciador se utilizó el material de acero galvanizado y se seleccionó el material de acero inoxidable de 1/2” presente en la investigación, los factores que influyen en estos materiales deben tenerse en cuenta, por lo tanto, a continuación, se observa una clasificación de tuberías con sus respectivos factores K y medidas utilizadas en la investigación 1.

Tabla 3- 3. Clasificación de tuberías con su respectivo factores K y medidas [3]

Tipo de tubería	Diámetro interno (in)	Diámetro exterior (in)	Grosor-pared (in)
Acero SCH 40 1/2”	0.622	0.840	0.109
Acero SCH 40 3/8”	0.493	0.675	0.091
Polipropileno SCH 80 1/2”	0.625	0.84375	0.125
PVC SCH 40 3/4”	0.8120	1.0208	0.833

Fuente: MONTAÑO, Pedro & PRIETO, Edwin. Banco de pruebas para fluidos. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2014. p.25.

Instrumentos usados:

- Rotámetro
- Codos 90°
- Uniones T
- Reductores
- Adaptador para tanque
- Válvula de bola
- Válvula de cortina

En la tabla 3-4, se muestra los diferentes parámetros utilizados en la investigación 1, donde se describe los elementos utilizados en el diseño.

Tabla 3- 4. Características del banco de pruebas para fluidos [4]

Parámetros	Descripción
Circuitos	5
Tubería	Acero, Polipropileno y PVC
Caudal	40 litros/min
Longitud	Longitud 2135 mm, ancho 1000 mm, altura 3050 mm
Capacidad de la bomba	0.4 kW
Componentes	Un tanque de agua (16 Litros), una bomba eléctrica, rotámetro, tubería y 6 manómetros.

Fuente: MONTAÑO, Pedro & PRIETO, Edwin. Banco de pruebas para fluidos. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2014. p.52.

Este banco planteado en la investigación 1 tiene su planteamiento teórico en las pérdidas de energía que tiene un fluido de trabajo debido a la fricción en tuberías y accesorios presentes en la red de funcionamiento. Mediante la toma de datos tales como caudal, presiones manométricas y longitudes los autores calcularon los coeficientes de pérdida prácticos y se comparó con los proporcionados teóricamente. Se concluye que los coeficientes deben ser tomados en cuenta a la hora de la realización de una red hidráulica, así como en la elección de bombas y equipos a los cuales deben considerar dichas pérdidas para su buen funcionamiento.

A manera de conclusión el diseño de la investigación 1 implemento tres tipos de materiales (acero inoxidable, polipropileno y PVC), el banco se diseñó con 5 trayectorias rectas para ampliar los resultados prácticos del banco, se realizó un cambio de altura en cada circuito de tubería gracias a la inclinación de la estructura, la bomba tanto como el tanque se

ubicaron en una plataforma debajo de las secciones, por lo tanto, se identificó que a este banco le falta curvas de fluido en las trayectorias, esto podrá mejorar el estudio de pérdidas de presión en las tuberías, por ende se identificó utilizar una trayectoria recta y 3 trayectorias con curvas por medio de codos y uniones, con diferentes tramos para un mejor estudio de las pérdidas, con un total del 4 trayectorias a desarrollar en el actual proyecto.

3.1.2 Investigación 2. Banco para determinar las pérdidas de energía en tuberías PVC.

El banco para determinar la pérdida de energía en tuberías PVC diseñado por Omar Montoya en la universidad Católica de Colombia en Bogotá, este permite realizar pruebas para comprender con claridad las caídas de presión a diferentes temperaturas la cual transita por tuberías CPVC (policloruro de vinilo clorado) identificando la variación de estas pérdidas de presión al variar la temperatura, el banco permite hacer varias mediciones para cada diámetro, de esta forma se obtienen diferentes datos, que son tabulados así poder establecer el comportamiento de la pérdida de presión (Montoya, 2017).

Figura 3-9. Banco de pruebas [9]



Fuente: MONTOYA, Omar. Diseño y construcción de banco hidráulico para determinar las pérdidas de energía en tuberías CPVC. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2017. p.70.

En la figura 3-9, se muestra el diseño implementado en la investigación 2, según especificaciones técnicas para el mismo, el cual está fabricado en tubería estructural A-36 cuadrada de $1\frac{1}{2}$ * 1.5mm de espesor, tiene una longitud horizontal de 2.60m, una altura total de 1.50m y un ancho de 0.80m, cuenta con tres bastidores verticales cuya función es dar rigidez al banco y soportar las líneas de tubería, para evitar la deflexión de los tubos debido a que a mayor temperatura el material CPVC se deflacta con mayor facilidad, para los ensayos de laboratorio, en la parte inferior lleva un espacio donde se ubica el tanque

de almacenamiento con una capacidad de 40 litros, una bomba centrífuga de 1 HP, un tablero de control eléctrico de la temperatura del fluido y un arrancador eléctrico especial para la bomba El acabado de la estructura es en pintura esmalte, la estructura metálica fue analizada mediante el programa de Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones(ETABS). (Montoya, 2017).

Tabla 3- 5.Características del banco hidráulico [5]

Parámetros	Descripción
Circuitos	4
Tubería	PVC
Caudal	101 L/min
Dimensiones	2600 mm x 1500 mm x 800 mm
Capacidad de la bomba	0.74 kW
Componentes	Deposito (40L), flujo metro o caudal metro, manómetro, mirilla, pirómetro y un tablero de control eléctrico de la temperatura.

Fuente: MONTOYA, Omar. Diseño y construcción de banco hidráulico para determinar las pérdidas en tuberías CPVC. Bogotá: Universidad Católica Colombia, 2017. p.70.

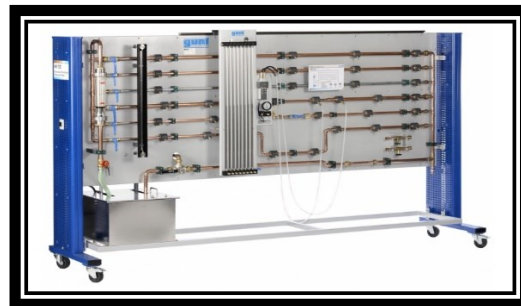
Con el desarrollo del trabajo, la investigación 2, realizó un banco hidráulico con una estructura de acero SA-36 (36000 psi), según resultados del análisis estructural llevado a cabo mediante el programa ETABS, este banco fue fabricado en tubería de 40mm*40mm*1.5mm según los cálculos estructurales. A partir de los cálculos hidráulicos el banco cuenta con un depósito de almacenamiento con un volumen aproximado de 40 litros fabricado en acero inoxidable con un diámetro de 0.36m y una altura de 0.50m, una bomba centrífuga 1 HP para un caudal mínimo de 10 l/min y un caudal máximo de 100 l/min, con una presión entre 34mca y 19mca respectivamente, flujómetro de 1" que está diseñado para un caudal entre 4GPM y 28GPM con una temperatura de hasta 121°C, resistencia eléctrica tubular de diámetro 7/16" y una disipación de 3000 W a 220 V bifásica, una flauta con cuatro tuberías de diferentes diámetros (1/2, 3/4, 1 y 1 1/2") fabricadas en CPVC (PAVCO), junto con sus respectivos accesorios, válvulas, acoplamientos, dispositivos de toma de presión manómetros análogos de glicerina 2" de carátula y los tableros eléctricos de manejo y control del sistema. (Montoya, 2017).

Este banco posee 4 trayectorias rectas en material PVC a diferentes alturas, tiene un diseño bien estructurado y dimensiones proporcionales pero no permite observar las variables en diferentes materiales, debido a que solo se utiliza el material PVC, por ende como un punto diferenciador, el banco desarrollado del actual proyecto posee tres tipos de materiales (Acero Galvanizado, cobre y PVC) con 4 trayectorias, 1 de ellas es recta y las 3 restantes serán trayectos con curvas por medio de codos y uniones a diferentes alturas para un mejor estudio de las pérdidas de presión en tuberías.

3.1.3 Investigación 3. Banco de pérdidas de cargas en tuberías

El conocimiento de las pérdidas de carga en distintos elementos de tuberías desempeña un papel importante en el diseño de sistemas de tuberías. El banco de ensayos permite determinar experimentalmente estos coeficientes importantes y estudiar el desarrollo de presión en secciones de tubo típicas (GUNT, 2018).

Figura 3-10.Banco de pérdidas de cargas [10]



Fuente: GUNT. HM 122 pérdidas de cargas en tuberías. [sitio web]. Alemania: Gunt Hamburg. (consulta: 27 septiembre 2018).

Tres (3) secciones de tubo rectas, longitud de medición: 2,5m

- Cobre, diámetro: 28x1mm, 22x1mm
- Acero, diámetro: 1/2"

Sección de tubo con codo

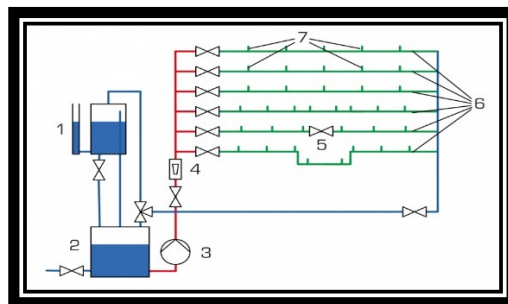
- Cobre, diámetro: 22x1mm

Sección de tubo con contracción/expansión

- Cobre
- Contracción, diámetro: 18x1mm
- Expansión, diámetro: 28x1mm

El banco de ensayos creado en la investigación 3 contiene tres secciones de tubo rectas de distintos materiales y con diámetros diferentes. Además, contiene: una sección de tubo con codo, una sección de tubo con contracción y expansión y una sección de tubo con robineterías intercambiables. Debido a la gran longitud de las secciones de tubo de 2,5m y al equipamiento de cada sección con cinco puntos de medición de presión como mínimo, pueden realizarse mediciones muy precisas y determinarse la caída de presión lineal en una tubería. Para las mediciones de referencia y calibración se incluye un rotámetro y un recipiente graduado volumétrico. (GUNT, 2018).

Figura 3-11. Diseño del banco de pérdidas de cargas [11]



Fuente: GUNT. HM 122 pérdidas de cargas en tuberías. [sitio web]. Alemania: Gunt Hamburg. (consulta: 27 septiembre 2018).

1. Recipiente graduado volumétrico.
2. Depósito de reserva.
3. Bomba sumergible y Rotámetro.
4. Robineterías intercambiables.
5. Secciones de tubos diferentes.
6. Puntos de medición de presión.

Tabla 3- 6.Características del banco de pérdidas de cargas [6]

Parámetros	Descripción
Circuitos	6
Tubería	Cobre y Acero
Caudal	80 L/min
Dimensiones	3260 mm x 790 mm x 1930 mm
Capacidad de la bomba	0.45 kW
Componentes	Rotámetro, recipiente graduado volumétrico, deposito (110Lts) y manómetros.

Fuente: GUNT. HM 122 pérdidas de cargas en tuberías. [sitio web]. Alemania: Gunt Hamburg. (consulta: 27 septiembre 2018).

Como característica especial, los puntos de medición de presión se han diseñado como cámaras anulares para una medición de la presión precisa. Un panel de manómetros móvil ahorra espacio y permite un acceso óptimo. El banco de ensayos contiene un circuito de agua cerrado con depósito y bomba centrífuga de dos etapas. De este modo, el banco de ensayos es independiente del suministro del laboratorio. (GUNT, 2018).

A continuación, se realiza la comparación de los tres bancos investigados:

Tabla 3-7. Comparación de la información obtenida de los bancos comerciales.

Banco	Circuitos	Tubería	Caudal	Dimensiones (mm)	Capacidad de bomba	Componentes
1	4	Acero, polipropileno y PVC	138 L/min	1500 x 3500 x 1000	0.55 kW	Venturi, orificio, Pitot, medidor de corriente, Electrobomba, deposito (40Lts), manómetros, represa de cresta ancha, represa de Crump, canal de flujo en 'H' y canal de flujo Washington.
2	4	CPVC	101 L/min	2600 x 1500 x 800	0.74 kW	Deposito (40Lts), flujo metro o caudalímetro, manómetro, mirilla, pirómetro, Electrobomba y un tablero de control eléctrico de la temperatura.
3	6	Cobre y Acero	80 L/min	3260 x 790 x 1930	0.45 kW	Rotámetro, Electrobomba, recipiente graduado volumétrico, deposito (110Lts) y manómetros.

Fuente: Elaboración propia

En la mayoría de las empresas que transportan líquidos de un lado a otro por ductos ya que este medio no es contaminante, se puede transportar grandes cantidades y es económico, a la hora de implementar este transporte se implementan múltiples diseños de tuberías para lograr la menor pérdida de líquidos basados en los parámetros de la empresa. Bancos con tuberías largas ayudan a los estudiantes a una mejor captación de las pérdidas de líquido por fricción por lo que son valores más significativos. Los bancos con mayor número de tuberías son los bancos de pérdidas por fricción ya que las pérdidas de energía varían en cada tipo de material debido a la fricción que hay entre el líquido y la pared de la tubería. Las prácticas en estos tipos de bancos normalmente van de la mano con los cálculos teóricos para demostración de datos registrados en los manómetros y demostración de ecuaciones ya preestablecidas para las pérdidas por fricción.

Según la información obtenida en la tabla se puede concluir que muchos de los bancos de comerciales y de universidades se encuentran diseñados con un tipo de material por lo que la práctica sería poco aprovechable al no conocer cómo se comporta un fluido en diferentes tipos de materiales basados en la estructura de este.

Para la construcción del laboratorio virtual, se realizó la toma de elementos o planos presentes en las tres investigaciones, es decir, en la investigación 1 se seleccionó la base estructural planteada con la mejora de una estructura plana para una mejor ocupación del espacio de trabajo, la investigación 2 se optó por el material utilizado (tuberías PVC) se tendrá en cuenta la caracterización planteada en la investigación, de la misma manera los accesorios utilizados en la investigación 3 se seleccionó tubería de material Cobre y galvanizado, se tendrá a consideración los factores relevantes presentados en la investigación, así mismo los accesorios de flujo y medición.

3.2 Consideraciones generales de los elementos seleccionados para la construcción del laboratorio virtual

El diseño desarrollado para el banco de pruebas permite el análisis y el cálculo de pérdidas de carga debido a la fricción en tuberías y accesorios. Las dimensiones para el diseño del banco han sido desarrolladas con base a la distribución que presentan los modelos planteados en las investigaciones del marco referencial, permitiendo una distribución de espacio apta para el desarrollo de las diferentes pruebas teóricas.

De la misma manera bajo los parámetros investigados en el marco referencial se estudiaron los diseños de varios prototipos para el análisis de pérdidas de carga algunos de placas, de flujo cruzado, tipo carcaza, con tubos concéntricos, pero todos con el mismo componente en común como fluido de trabajo el aire, se utilizó el aire como fluido debido a que se puede conseguir simplemente tomándolo de la atmósfera, lo que no implica costos y existen pocos riesgos de accidentes, porque no posee propiedades explosivas. Por lo cual se determinó que el equipo utilizado es un compresor con el fin de garantizar un paso constante de flujo de aire el cual es distribuido por las líneas de tubería y

posteriormente visualizadas en los indicadores de presión y temperatura con el fin de visualizar las variaciones de temperatura y presión

En la tabla 3-8, se puede evidenciar los parámetros considerados al comparar el uso de flujo de aire y flujo de agua como fluido de trabajo en el banco de pruebas, definiendo las ventajas y desventajas de los fluidos a diferentes condiciones tomando en consideración el tipo de material (PVC y metal) de la tuberías de transporte de flujo a diferentes temperaturas dando como resultado la selección del agua como sustancia de trabajo ya que el prototipo es de sistema simple y pequeño para economizar en costos, además, que permite el estudio experimental a diferentes temperaturas.

A continuación, se observa las variables comparativas de los flujos de trabajo del agua y el aire, que son herramienta clave para la selección del flujo de trabajo para el laboratorio virtual.

Tabla 3-8. Variables Comparativas de Flujos Aire-Agua [8]

Análisis Comparativo de bancos de prueba con Fluidos Aire-Agua para el análisis de pérdidas de carga				
Variables Comparativas	Aire		Agua	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Transferencia de Calor	Requiere menos mantenimiento, estructuras más simples y pocos equipos. No necesita de almacenamiento de fluido ni captación de una fuente específica de flujo.	Su capacidad de transferencia de energía y enfriamiento es menor por lo cual requiere mayor tiempo para lograr apreciar parámetros de medición	Poseen mayor capacidad de enfriamiento, es decir, mantienen una elevada tasa de transferencia de energía	Puede presentar problemas de corrosión o incrustaciones por el agua y mayor en gastos de mantenimiento, requiere estructuras más complejas y almacenamiento del líquido.

38 Diseño de un laboratorio virtual para la enseñanza para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías para la UAN Sede Neiva

Análisis Comparativo de bancos de prueba con Fluidos Aire-Agua para el análisis de pérdidas de carga				
Costos	Gastos en instalación y mantenimiento es menor debido a la simplicidad del sistema y uso de pocos equipos	Simplicidad del sistema por lo que la instrumentación se ve limitada	Disminución en los costos de flujo de agua	Requiere mayor gasto en instalación, operación y mantenimiento, así como un sistema complejo de equipos e instrumentos
Diseño	Su estructura es pequeña y más simple, no requiere de tanta operación	Permite un estudio más detallado del sistema	Su estructura es más compleja y de mayor tamaño, necesitando diversos equipos e instrumentos	La instrumentación y accesorios de conexión incrementan
Variables Comparativas	Aire		Agua	
	Ventajas		Desventajas	
Convección (h)	Coefficiente de convección incrementa	El coeficiente de convección es menor y la cuantificación de esta propiedad depende del tiempo de influencia del flujo sobre la superficie y la obtención de los datos es más lenta	El coeficiente de convección es entre 10 y 100 veces mejor, cuantifica la influencia de las propiedades del fluido de la superficie y del flujo	La conducción de la temperatura se ve afectada en un determinado tiempo con relación a la longitud
Ruido	No posee ventaja la presencia de ruido	Son más ruidosos los equipos debido a las turbinas o ventiladores utilizados	La unidad de bombeo y otros dispositivos requeridos para el movimiento del líquido a través de todo el sistema son más silenciosos	Se produce vibración
Propiedades de las Sustancias	Sus propiedades son simples y su captación es inmediata y local.	Los elementos para el control de la sustancia son complicados	Uso de instrumentos permiten un control fácil de la sustancia	Se debe tener en cuenta pH, acidez, alcalinidad, dureza, fuente de obtención, volumen disponible y costo.

Análisis Comparativo de bancos de prueba con Fluidos Aire-Agua para el análisis de pérdidas de carga				
Eficiencia	Sistemas pequeños y más simples	Menor eficiencia y vida de operación debido a la baja tasa de transferencia de energía	Mayor eficiencia debido a la mayor capacidad de transferencia térmica	Sistemas más grandes y de mayor espacio requerido

Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. Reno: Mc Graw Hill, 2007. p, 810.

Para poder elegir los equipos adecuados para diseñar el laboratorio virtual del banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga se debe tener en cuenta factores importantes que mejor se adapten al proyecto y a las condiciones requeridas de trabajo según las necesidades del proceso como: temperatura, tipo de tubería, flujo de trabajo entre otros.

Por tanto, en la tabla 3-9, se describe las condiciones de trabajo a tener en cuenta con el fin de contemplar las variables presentes en la pérdida de energía en las diferentes tuberías del laboratorio virtual.

Tabla 3-9. Condiciones de trabajo [9]

1	Temperatura ambiente, de evaporación y condensación
2	Condiciones especiales (Contaminación, polvo, zona, ambiente, entre otros)
3	Tipo de fluido
4	Flujo de aire
5	Carga térmica a disipar
6	Temperatura de entrada y salida del fluido refrigerado
7	Carga térmica del refrigerante
8	Tipo de tubería
9	Pérdidas de carga

Fuente: Autor

Se puede diferenciar una gran cantidad de criterios para clasificar los equipos siendo las más comunes características como:

- La clasificación según la trayectoria del fluido
- La forma en que el calor es transferido o disipado
- Dependiendo de la aplicación del dispositivo o proceso
- Dependiendo del número de fluidos involucrados

En la tabla 3-10, se observa un resumen de las características resistivas de los tres materiales a utilizar en el banco de pruebas, estas características serán de utilidad para la selección de los medidores de temperatura y presión necesarios en el circuito hidráulico. Las características resistivas presentes en la tabla 3-10, se refiere a la capacidad de los materiales seleccionados para resistir presiones aplicadas y temperaturas sin adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.

Tabla 3- 10.Características de resistencia en materiales [10]

Tipo de material	Temperatura máxima de trabajo	Punto de fusión	Presión máxima admisible
Acero galvanizado	95°C	1.540°C	3741,9 PSI
Cobre	100°C	1.083°C	725,1 PSI
PVC	80°C	110°C	127,63 PSI

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, después de analizar todos los factores característicos en los tres materiales seleccionados, se determinó que el equipo utilizado es un compresor con el fin de garantizar un paso constante de flujo de aire el cual es distribuido por las líneas de tubería y posteriormente visualizadas en los indicadores de presión y temperatura con el fin de visualizar las variaciones de temperatura y presiones. Con los materiales ya planteados es posible la selección de accesorios y equipos complementarios y esenciales para el laboratorio de pérdidas de presión correspondiente al proyecto actual.

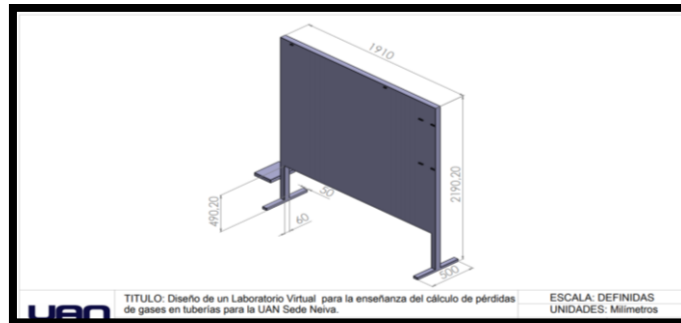
3.3 Materiales y accesorios

Para el cumplimiento de los objetivos trazados en el proyecto de investigación, se da inicio con el diseño del banco donde contenga el plano estructural. Luego se estableció la toma de medidas para los cálculos del banco que está encargado de efectuar las pruebas mecánicas de fluido con el fin de analizar las cargas, de esta manera observar y analizar las teorías utilizadas como el teorema de Bernoulli, para calcular el factor de transferencia de fluidos, entre la entrada y salida del fluido de modo experimental en el proceso.

3.3.1 Selección de equipos y accesorios

A continuación, se observa el diseño creado por medio del software SolidWorks, esto se realizó con el fin de identificar los tipos de materiales, para el análisis de pérdidas de carga para ello se seleccionó materiales como acero galvanizado, cobre, y PVC.

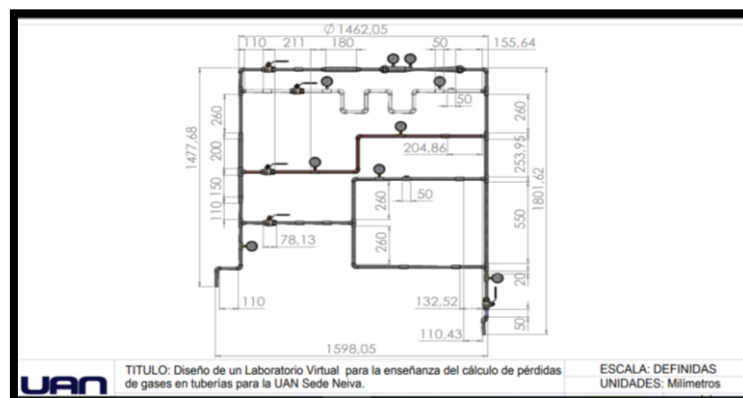
Figura 3-12. Dimensiones de estructura [12]



Fuente: Diseño de autores

La figura 3-12, se detalla las dimensiones estructurales en milímetros del banco de pruebas, esta estructura es de 2190,20 mm de alto y 1,910 mm de ancho soportara los tramos hidráulicos con sus diferentes materiales y accesorios.

Figura 3-13. Dimensiones del circuito de tuberías [13]

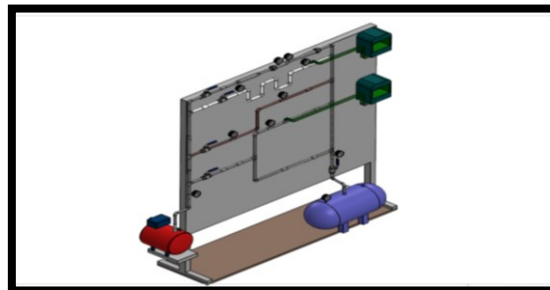


Fuente: Diseño de autores

En la figura 3-13, se observa las dimensiones en milímetros del banco de pruebas donde se detalla la altura de los accesorios, la separación en la unión, la forma y tamaño de cada trayectoria y la posición estratégica de las válvulas y manómetros del circuito para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías para la universidad UAN Sede Neiva.

En la figura 3-14, se observa el plano de diseño del banco de pruebas en base a la investigación 1, con la mejora de una estructura plana que mejore la observación de los componentes en un mismo espacio de trabajo, debido a que se considera el más adecuado para el estudio de las pérdidas de carga en los sistemas de tuberías y sus correspondientes accesorios

Figura 3-14. Diseño seleccionado [14]



Fuente: Diseño de autores en base a la investigación 1

El banco constará de un circuito principal que será el de alimentación a los diferentes circuitos y descargue al tanque sellado que contará con una válvula de alivio. En la tabla 3-11, se muestra los tipos de tubería y los diferentes accesorios implementados en el diseño del banco de pruebas con flujo compresible.

Tabla 3-11. Tipos de material de tubería y accesorios [11]

N° DEL ELEMENTO	DESCRIPCION DEL ELEMENTO	CANTIDAD
1	Tubo de acero galvanizado de 1/2in-110mm	20
2	Sensor de flujo	7
3	Tubo L acero galvanizado de 3/4 in	8
4	Válvula de 3/4 in	5
5	Manómetro	10
6	Tubo de PVC de 1/2in-110mm	11
7	Tubo T de 3/4 in	7
8	Tubo PVC para manómetro de 3/4 in-50mm	2
9	Tubo L PVC de 3/4 in	8
10	Tubo de PVC de 1/2in-188.74mm	1
11	Tubo de cobre de 1/2in -110mm	1

Tabla 3-12.(Continuación)

12	Tubo de acero galvanizado de 1 in-200mm	1
13	Tubo de cobre de 1/2in -200mm	5
14	Tubo de cobre de 1/2in -205mm	1
15	Tubo de acero galvanizado de 1/2in-260mm	5
16	Tubo de acero galvanizado de 1 in-150mm	1
17	Tubo de acero galvanizado de 1/2 in-270mm	3
18	Tubo de acero galvanizado de 1/2 in-132.52mm	1
19	Tubo de acero galvanizado de 1/2 in-563.05mm	1
20	DRUM	1
21	Base para tubería	1
22	Indicador	2
23	Cable #18	2
24	Compresor	1

Fuente: Autores

Los materiales tabulados son los aplicados en las diferentes trayectorias para el diseño del banco, para el diseño se implementó tres tipos de materiales (Acero galvanizado, cobre, PVC), la selección de estos materiales se basó en las 3 investigaciones previamente señaladas debido a que muchos de los bancos de comerciales y de universidades utilizaban uno o dos materiales, por lo que la práctica sería poco aprovechable al no conocer cómo se comporta un fluido en diferentes tipos de materiales basados en la estructura del mismo y en las ventajas que tienen para el flujo de fluidos compresibles. Por lo tanto, es interesante analizar las diferencias en el coeficiente de resistencia de los materiales (K) que depende de parámetros adicionales, tales como el número de Reynolds, rugosidad relativa, relaciones geométricas y del tipo de singularidad o accesorio hidráulico que se esté utilizando.

De acuerdo a los componentes que conforman el banco, se da la constante (K) de los accesorios que se deben considerar para la realización de los cálculos.

Figura 3-15.Valores de diseño de la rugosidad de tubos [15]

Material	Rugosidad (m)	Rugosidad (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$	$9,8 \times 10^{-7}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$	$7,9 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Acero Remachado	$1,8 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-4}$

Fuente: GROMER A. Física en la ciencia y en la industria. Barcelona: Mc Graw Hill, 2006, p. 235.

Para definir los diámetros de cada tubería se tuvieron en cuenta los rangos que tienen mayor facilidad de ser adquiridos comercialmente como lo son 1", ¾", ½" y ⅜".

Tabla 3- 13.Conversión de unidades de diámetro [12]

Línea	Unidad (in)	Unidad (m)
Trayectoria 1	1 in	0.0254 m
Trayectoria 2	¾ in	0.019 m
Trayectoria 3	½ in	0.0127 m
Trayectoria 4	⅜ in	0.00952 m

Fuente: Autor

En la tabla 3-12, se puede observar la conversión del valor en pulgadas (in) a metros(m) correspondiente al diámetro de cada trayectoria, esta conversión se realiza dividiendo la longitud en in por 39,37 para lograr la longitud en metros. Las trayectorias descritas en la tabla 3-12, poseen un diámetro nominal, este diámetro se refiere al diámetro interior de un tubo. Cada vez que indicamos el diámetro nominal de un tubo estamos definiendo igualmente la presión nominal, la clase de material y todas las medidas concernientes al tubo, siempre debe tenerse en cuenta que el diámetro interior real muchas veces difiere en varios milímetros de diámetro nominal. Esto quiere decir que los tubos de diferentes fabricantes sólo podrán combinarse, si el DN (diámetro nominal) indicado hace referencia a la misma norma DIN (diámetro interior nominal). A continuación, se observa la tabla que indica el diámetro nominal en las tuberías.

Figura 3-16. Diámetro interior nominal [16]

Presión		Diámetro interior nominal de la tubería										
bar	kPa	6 mm	8 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm
0,4	40	0,3	0,6	1,4	2,6	4	7	15	25	45	69	120
0,6	60	0,4	0,9	1,9	3,5	5	10	20	30	60	90	160
1,0	100	0,5	1,2	2,8	4,9	7	14	28	45	80	130	230
1,6	160	0,8	1,7	3,8	7,1	11	20	40	60	120	185	330
2,5	250	1,1	2,5	5,5	10,2	15	28	57	85	170	265	470
4,0	400	1,7	3,7	8,3	15,4	23	44	89	135	260	410	725
6,3	630	2,5	5,7	12,6	23,4	35	65	133	200	390	620	1 085
8,0	800	3,1	7,1	15,8	29,3	44	83	168	255	490	780	1 375
10,0	1 000	3,9	8,8	19,5	36,2	54	102	208	315	605	965	1 695
12,5	1 250	4,8	10,9	24,1	44,8	67	127	258	390	755	1 195	2 110
16,0	1 600	6,1	13,8	30,6	56,8	85	160	327	495	955	1 515	2 665
20,0	2 000	7,6	17,1	38	70,6	105	199	406	615	1 185	1 880	3 315

Fuente: Israel, L. G., & Rodrigo, A. L. (2014). Diseño, Construcción y pruebas de un chiller para el laboratorio de transferencia de calor. RioBamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

Para el desarrollo de los planos del banco de pruebas con el fin de determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías conociendo su diámetro nominal, se estableció inicialmente cuatro trayectorias de recorrido preliminar, de las cuales 1 trayectoria es recta y las trayectorias restantes son curvilíneas, se seleccionó de esta manera debido a que sería poco aprovechable, implementar un laboratorio de perdidas en tuberías donde todas las trayectorias fueran rectas como en las investigaciones mencionadas, por lo tanto se busca dar un punto diferenciador con trayectorias distintas y diferentes materiales en cada recorrido, por lo tanto el banco actual para la universidad UAN,sede de Neiva tendrá los siguientes materiales y equipos:

Tabla 3- 14.Especificación de materiales y cantidad [13]

Equipo	Característica	Cantidad
Compresor	Marca MPC – 1.5 Hp / 182 lpm	1
Indicador temperatura	Marca Dewit – 0/150°C	4
Indicador presión	Marca Winters – 0/100 Psi	4
Resistencia	Marca BSD 483 A – 100 W	1
Conectores Tee	Marca Moligh Doll	13
Tubería de 1 in	Acero galvanizado	1
Tubería de ½ in		1
Tubería de 3/8 in		1
Tubería de ¾ in		1
Válvula de Bola	Marca ITAP	7
Codos de 90° de 1 in		2
Codos de 90° de 3/8 in		2

Fuente: Autores

Los materiales descritos en la tabla 3-13, hacen parte del circuito hidráulico que posee 4 trayectorias, el fluido de trabajo es transportado por el compresor de aire, por lo tanto, es

necesario tener en cuenta algunas propiedades termodinámicas importantes del aire (ver tabla 3-14) para el cálculo de pérdidas de energía en las tuberías.

Tabla 3-15.Propiedades del Aire [14]

Tabla de Propiedades Termodinámicas del Aire (Tabla A-15) y (Cengel, 2007)	
Propiedad	Aire a T=30°C
Densidad (ρ)	1.164 kg/m ³
Viscosidad Dinámica (μ)	1.872x10 ⁻⁵ kg/m*s
Conductividad Térmica (k)	0.02588 W/m*K
Calor Esp. a P=Cte (C_p)	1007 J/kg*K

Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. Reno: Mc Graw Hill, 2007. p, 854, 860.

Las propiedades termodinámicas del aire son de suma importancia ya que permite estudiar cómo obtener energía o trabajo basados en las propiedades de esta, mediante la modificación de magnitudes como la presión y la temperatura.

Con la cantidad de materiales identificados y las propiedades termodinámicas a tener en cuenta (ver tabla 3-14) es posible la selección de equipos y accesorios para la implementación de estos en el laboratorio virtual, con el fin de desarrollar un laboratorio virtual apto para la enseñanza del cálculo de pérdidas de presión en tuberías para la UAN Sede Neiva.

A manera de conclusión, se determina que el banco a desarrollar utilizara tres tipos de materiales (acero, cobre y PVC) bajo el análisis de las tres investigaciones anteriormente estudiadas, por otro lado, se implementarán dos (2) Sensores de flujo, cinco (5) Válvulas de 3/4", cinco (5) Manómetros, un (1) compresor, un (1) drum y una estructura donde se acoplara todo el circuito. La variedad de materiales tiene el fin de conocer el comportamiento de un fluido en diferentes tipos de materiales basados en la estructura de este y en las ventajas que tienen para el flujo de fluidos compresibles.

Los elementos de medición mencionados anteriormente fueron seleccionados en base a los indicadores usados en las tres investigaciones y la cantidad fue seleccionada por el número de trayectorias y recorridos de este. A continuación, se describe los elementos de medición y accesorios implementados por los cuatro (4) circuitos del laboratorio virtual.

4. Parámetros y Elementos de Medición

4.1 Descripción de los elementos de medición, accesorios y equipos para el laboratorio virtual

Se establece la descripción de los componentes y dispositivos presentes en el diseño del banco de pruebas basado en las investigaciones descritas en el actual trabajo, con los cuales se trabajará en las prácticas, teniendo en cuenta la identificación, nombre técnico, marca referencia, características y funcionamiento.

Tabla4- 16. Descripción de equipos [15]



Indicador de temperatura análogo 0 – 150 °C	
	<p>Para la selección del indicador de temperatura se consideran parámetros constantes como el material de tuberías y accesorios, el diámetro y longitud de tramos de tuberías, las propiedades del agua y temperatura ambiente de la ciudad de Neiva, además se tuvo en cuenta las características resistivas de estos materiales presentes en la tabla 10 para un funcionamiento óptimo del sistema, este indicador de temperatura permite observar la temperatura en un visualizador estos tienen la capacidad de percibir las variaciones de temperatura de manera lineal.</p>
Manómetro análogo 0 – 100 psi	
	<p>Para la selección del indicador de presión se consideran la presión máxima admisible por los materiales de las tuberías que se utilizara que fueron nombradas con anterioridad (ver tabla 10) el manómetro Permite observar la presión que circula en cada tramo de la tubería.</p>
Valvula de Bola (1in, ¾ in, ½ in, 3/8 in)	

Tabla4- 17.(Continuación)




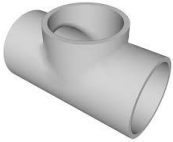



	<p>Es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza por tener un mecanismo esferico en el interior para permitir el paso o restriccion de fluido.</p>
<p>Tee</p>	
	<p>Es un componente empleado para el acompañamiento en la unión o conexión de tubería por las cuales circula un fluido.</p>
<p>Tuberías de 1in, ½ in, 3/8 in y ¼</p>	
	<p>Una tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. También sirven para transportar materiales que, si bien no son propiamente un fluido, se adecuan a este sistema: hormigón, cemento, cereales, documentos encapsulados, etcétera.</p>
<p>Unión T</p>	
	<p>La Unión en Tes una pieza que nos permite conectar varios circuitos dentro nuestro sistema hidraulico. Une dos tubos a una sola salida con la unión en T.</p>
<p>Drum</p>	
	<p>El tanque de aire es un almacenamiento de aire comprimido sirve para evitar las variaciones de presión que vienen del compresor, que son causadas principalmente por compresores de pistones y para almacenar una cantidad suficiente de aire para hacer frente a la demanda de este.</p>
<p>Compresor</p>	

Tabla4- 18.(Continuación)

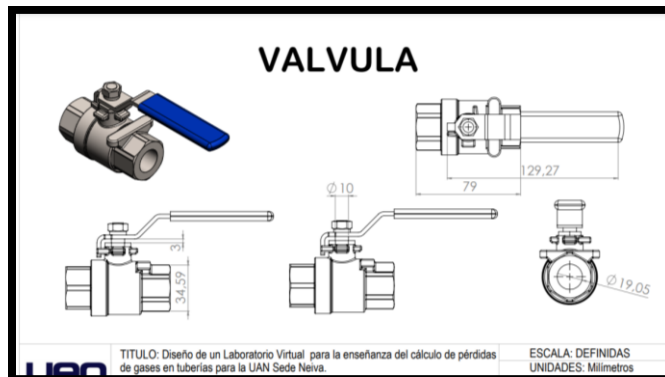
	<p>Un compresor es una máquina térmica diseñada para aumentar la presión de cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. La compresión se realiza mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo realizado por el compresor es transferido al fluido aumentando su presión y energía cinética impulsándole a fluir.</p>
<p>Indicador de temperatura digital</p>	
	<p>El indicador de temperatura es un instrumento de instalación que puede procesar la señal de sensores de temperatura e indicarlos en pantalla.</p>

Fuente: Autores

A continuación, se observa los planos 2D representado en las diferentes vistas de los indicadores, accesorios y equipos presentes en la tabla 4-15, estos diseños serán implementados en el laboratorio virtual para el estudio de pérdidas de presión.

La figura 4-17 representa la válvula diseñada por medio de software SolidWorks, este diseño fue necesario para su posterior implementación en el laboratorio virtual, en la figura se describe sus dimensiones en milímetros por medios de las diferentes vistas en el plano del dibujo, de la misma manera se puede observar de cerca el plano isométrico de la válvula que será implementada en el diseño final.

Figura 4-17 .Válvula de bola [17]

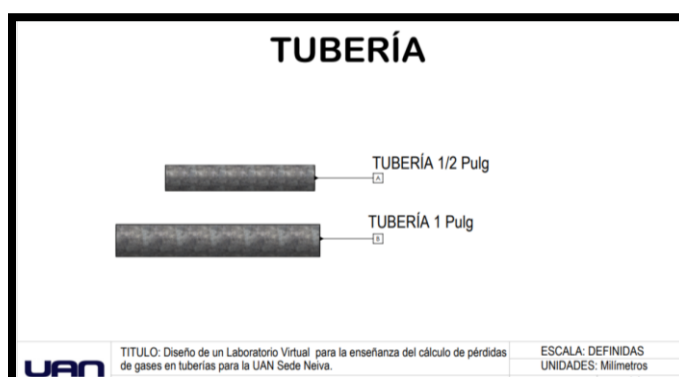


Fuente: Diseño en SolidWorks

Estas válvulas estarán distribuidas en las cuatro (4) trayectorias del circuito, las válvulas de bola abrirán el paso del fluido de trabajo, este fluido se transportará por medio de las tuberías con los tres tipos de materiales (acero, cobre y PVC) y sus diámetros correspondientes a $\frac{1}{2}$ in y 1 in. Por lo tanto, se representa el diseño 2D de las tuberías a utilizar en el laboratorio virtual (ver figura 4-18).

Para el transporte adecuado del flujo de trabajo en el circuito hidráulico desde el punto de salida propuesto hasta el punto de llegada pasando por los diferentes indicadores es necesario que el circuito tenga una unión de los tubos a una sola salida en T, por lo tanto, se utiliza las uniones que permiten la conexión de las cuatro (4) trayectorias, esta unión igual que los tubos tendrá tres tipos de materiales (acero, cobre y PVC).

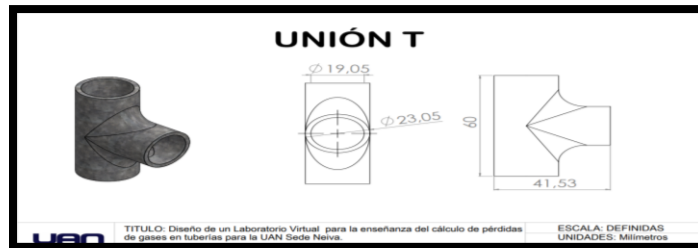
Figura 4-18.Tubería [18]



Fuente: Diseño en SolidWorks

En la Figura 4-19 se ilustra las dimensiones de la Unión T utilizada para realizar las conexiones del circuito de tuberías del banco de pruebas, con las trayectorias establecidas por medio de los tubos y las uniones es necesario realizar la distribución estratégica de los manómetros en las trayectorias, estos manómetros son los encargados de tomar los datos variables de presión y temperatura que se presenta en el paso del fluido de trabajo por las tuberías.

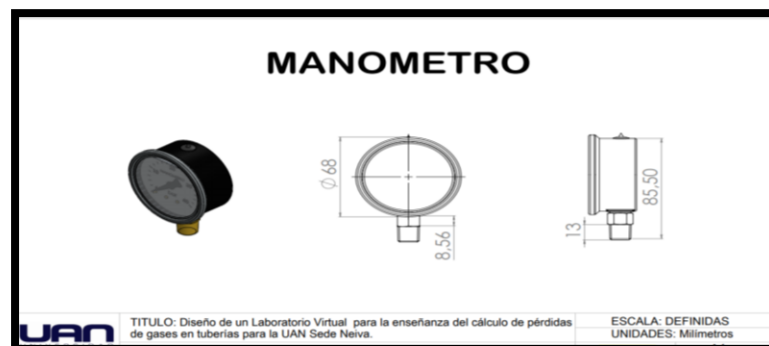
Figura 4-19. Unión T [19]



Fuente: Diseño en SolidWorks

En la figura 4-20, se observa el diseño de un manómetro que corresponde a 100 psi, en base al rango comercial, siendo este el que manifiesta la presión requerida. Este es un instrumento de medición para la presión de los fluidos contenidos en los recipientes instalados. La característica que lo representa es la medición del nivel de referencia y diferencia entre la presión real y absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor presión manométrica. Los manómetros que se utilizan en las tuberías se utilizan de rangos de 30 a 60 psi para observar la caída de presión.

Figura 4-20. Manómetro [4]

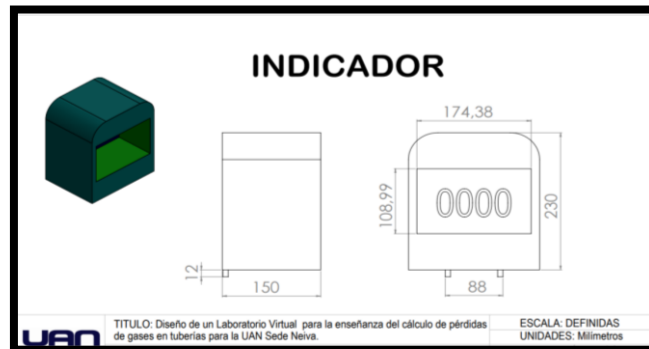


Fuente: Diseño en SolidWorks

En el laboratorio virtual, se utilizó manómetros análogos de presión (ver figura 4-20), además se implementó otro tipo de indicador digital para medir la temperatura, este instrumento se instaló en la trayectoria 2 y 4, con el fin de visualizar el comportamiento del

fluido en el sistema. Este indicador consiste en el procesamiento de señales provenientes de sensores internos, estos datos son indicados por medio de una pantalla, su diseño se ve representado en la figura 4-21.

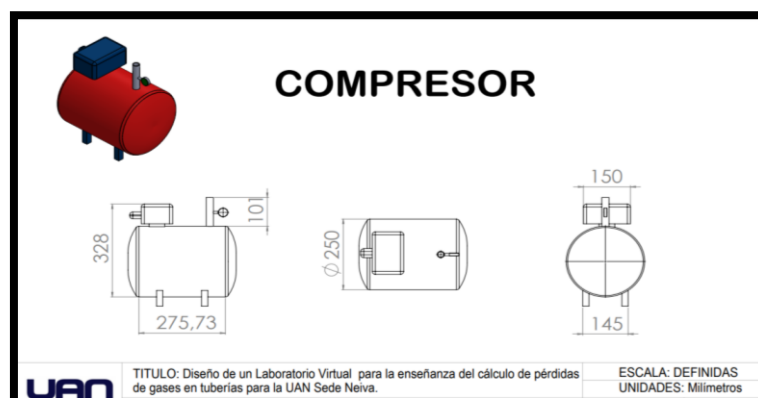
Figura 4-21. Indicador [21]



Fuente: Diseño en SolidWorks

Con los 4 trayectos definidos y el posicionamiento estratégico de los indicadores y manómetros se ubica el compresor al principio del circuito, esto debido a que el compresor debe aumentar la presión del fluido compresible, mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo realizado por el compresor es transferido al fluido aumentando su presión y energía cinética impulsándole a fluir por la trayectoria que este abierta al paso del mismo, el diseño del compresor se observa a continuación en la figura 4-22.

Figura 4-22. Compresor [22]



Fuente: Diseño en SolidWorks

Criterios para la selección del compresor:

- Longitud(m): para determinar la longitud de la trayectoria se suman las medidas en mm de la trayectoria proporcionadas en los planos del banco y posterior a su suma, se convirtieron a metros se dividiendo el resultado entre 1000.

$$\text{Trayectoria 1: } 4741 \text{ mm} \times 1000 = 4.741 \text{ m}$$

- Para el caudal máximo se utilizó 240 l/min: por lo tanto, se utilizó la fórmula para convertir los litros por minuto(l/min) a metros cúbicos (m^3/h) el resultado se convertiría nuevamente de metros cúbicos por hora a metros cúbicos sobre segundos (divide el valor de volumen m^3/h / entre 3600).

$$240 \times 0.22712470704 = 0.4542 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$0.4542 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} / 3600 = 0.004 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

El circuito que más pérdidas genera es el número 1, esto se conoce debido a la extensión dinámica de tramo que es representada por 4.741m de longitud, por ende, este tramo se utiliza como base para calcular la velocidad máxima de trabajo del compresor se estableció por medio de la siguiente formula:

$$H(m) = 4.741m$$

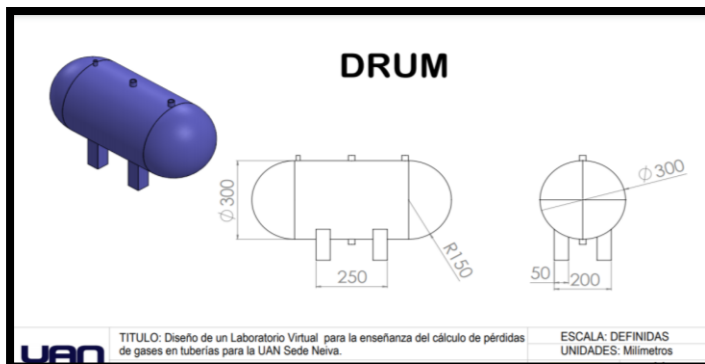
(1.27)

$$Q_{max} = 0.004 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 240 \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}$$

El cálculo el flujo máximo que manejara el compresor para el sistema dio como resultado 240 l/min, Con este valor se realizaron los cálculos de las pérdidas en cada uno de los circuitos. Esta información del tramo dinámico se tomará como base para seleccionar el compresor adecuada para el sistema, ya que es el valor del circuito crítico. El compresor se seleccionó revisando las curvas de rendimiento de compresores de diferentes proveedores, se seleccionó un compresor con una potencia de 1.5 HP de 3450 rpm con un flujo de aire de 182 l/min debido a que cumple con las especificaciones de selección.

Con el compresor definido, seleccionar y ubicar el drum, este drum se posicionó al final de todas las trayectorias debido a que el tanque de aire sirve para evitar las variaciones de presión que vienen del compresor, que son causadas principalmente por compresores y para almacenar una cantidad suficiente de aire para hacer frente a la demanda de este.

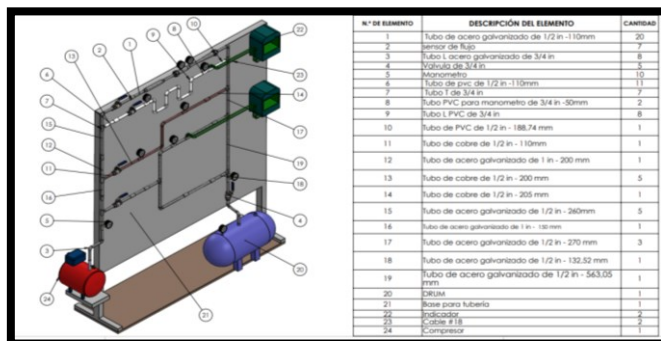
Figura 4-23. Drum [23]



Fuente: Diseño en SolidWorks

En la figura 4-24, se observa el posicionamiento de todos los elementos seleccionados para el banco hidráulico, con la distribución anteriormente mencionada, con el fin de tener una vista más clara sobre su construcción para el laboratorio virtual.

Figura 4-24. Posicionamiento de accesorios y equipos seleccionados para el laboratorio virtual [24]



Fuente: Diseño en SolidWorks

Los equipos identificados para el diseño del laboratorio virtual se encuentran mencionados en la figura 4-24, a manera de resumen se realizará una descripción de las trayectorias con los implementos, equipos y accesorios anteriormente mencionados que está basado en el posicionamiento final de la figura 4-24.

4.2 Descripción de las trayectorias

En total se dispone de 4 líneas de trabajo según los planos evidenciados (ver figura 4-24), las cuales contienen los elementos que serán objeto de estudio, donde el sentido del flujo es desde la salida del compresor hacia las diferentes trayectorias del banco donde su punto final es el tanque de almacenamiento. Se diseñan cuatro (4) trayectorias con tres tipos de materiales (acero, cobre y PVC) debido a que brindan una mejor opción para hallar las pérdidas en dichos materiales.

A continuación, se explica los diferentes accesorios que componen cada trayectoria, material de la tubería con sus respectivos diámetros; y que válvulas se deben cerrar para que el flujo solo ingrese por la trayectoria que es objeto de estudio.

4.2.1 Trayectoria 1

En la trayectoria mostrada (ver figura 4-24) su punto inicial desde la salida del compresor pasando por los diferentes accesorios y diámetros de la tubería tipo acero galvanizada donde su punto final es la llegada al tanque de almacenamiento.

Para utilizar esta trayectoria y que el flujo compresible solo pase por este tramo se deben cerrar las válvulas (V1, V2, V3).

Este tramo está constituido en su totalidad por tubería en acero galvanizado igual que sus accesorios; su punto inicial a la salida del compresor encontramos un codo de 90° de 3/4" para direccionar el tramo hacia arriba.

4.2.2 Trayectoria 2

Para utilizar este tramo se abre la válvula V1, y se cierran V2, V3 y V4, este tramo está constituido por tubería de acero galvanizado con el mismo material de la trayectoria 1 pero con diferente recorrido, es decir, la trayectoria 1 posee un recorrido recto a diferencia de la trayectoria 2 que posee una trayectoria con curvas por medio de codos y uniones al igual que las trayectorias siguientes.

4.2.3 Trayectoria 3

Para utilizar esta trayectoria se abre la válvula (V2), y se cierra V1, V3 y V4, este tramo está constituido por tubería de cobre de 1/2".

4.2.4 Trayectoria 4

Para la utilización de este tramo se da apertura a la válvula (V3), y se cierra V1, V2 y V4, este tramo en su totalidad es de tubería PVC de ½”.

Estas 4 trayectorias desarrolladas tienen el propósito de estudiar el comportamiento de las variables de pérdida de presión en los diferentes tramos con diversos materiales (acero, cobre y PVC) debido a que brindan una mejor opción para hallar las pérdidas en dichos materiales de la misma manera resulta más provechoso para su entendimiento, con el fin de brindar una herramienta útil para el estudiante.

Debido a que se conocer la cantidad de accesorios, las medidas de cada sistema, la altura desde el ojo del impulsor hasta el punto más alto es posible realizar el cálculo de la pérdida de carga en un circuito de fluido. Este cálculo es esencial, ya que permite diseñar el diámetro de las tuberías de forma correcta para que cada aparato consumidor reciba el caudal requerido para su proceso productivo.

4.2.5 Cálculos de pérdida de carga en un circuito de fluido

El cálculo es necesario para poder realizar una selección adecuada de la bomba de recirculación principal de la instalación o de las bombas de circuitos secundarios, cabe recordar que la pérdida de carga en una tubería o canal es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

Por lo tanto, para realizar el cálculo de pérdidas se debe: Conocer la cantidad de accesorios, las medidas de cada sistema, la altura desde el ojo del impulsor hasta el punto más alto. Se establece el caudal y los diámetros de succión y descarga. Una vez definidos los parámetros hidráulicos, se procede al diseño, el cual comprende una estructura base que soporta los circuitos del banco, acoplar cada uno de los accesorios de diferentes materiales como son: tuberías, codos, uniones, Tee, drum, manómetros, soportes internos, válvulas, entre otros.

Cabe resaltar que el cálculo de las pérdidas en un fluido se basa en el análisis de la Ecuación General de la Energía (1.29), la cual tiene en cuenta las pérdidas generadas por la rugosidad del material, los accesorios, la velocidad del fluido, la altura, por mencionar algunas variables.

Ecuación general de energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_B - h_R = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (1.28)$$

h_B = Es la cabeza de energía agregada por un dispositivo mecánico como una bomba.

h_R = Es la cabeza de energía entregada a un motor de fluido.

h_L = Es la cabeza de energía pérdida por unidad de masa debida a la fricción y expresada como pérdida o caída de presión.

Z = Altura

V = Velocidad

P = Presión

γ = Gravedad específica

Como se mencionó anteriormente para determinar la pérdida de energía es necesario conocer la cantidad de accesorios los materiales y las medidas de cada sistema por lo tanto a continuación se describe los materiales y accesorios a utilizar.

En las 4 trayectorias (ver figura 4-24) se conoce la cantidad de accesorios, las medidas de cada sistema, la altura desde el ojo del impulsor hasta el punto más alto. Entre otros factores claves para realizar los cálculos de pérdida de presión. Cabe resaltar que el cálculo de las pérdidas en un fluido se basa en el análisis de la ecuación general de la Energía (ver ecuación 1.28), la cual tiene en cuenta las pérdidas generadas por la rugosidad del material, los accesorios, la velocidad del fluido, la altura, por mencionar algunas variables. Para el cálculo de las pérdidas de presión es necesario conocer datos como el área por tramos, la altura, además de la lectura de los manómetros.

4.2.5.1 Cálculo del área

El área puede ser definida como la medida de la superficie, y se descubre partir de multiplicar la base por la altura.

Fórmula general:

$$A = \frac{\pi(\theta)^2}{4} \quad (1.29)$$

Cálculos por tramos:

$$\text{Área tramo 1} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 1} = \frac{\pi(0.0254)^2}{4} = 5.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Área tramo 2} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 2} = \frac{\pi(0.019\text{m})^2}{4} = 2.83 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Área tramo 3} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 3} = \frac{\pi(0.0127\text{m})^2}{4} = 1.266 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Área tramo 4} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 4} = \frac{\pi(0.00952 \text{ m})^2}{4} = 7.08 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Área del tramo 1 = Área del tramo 5 = Área del tramo 6

Resumen de resultados:

Tabla 4- 19 Áreas por trayectoria [16]

Área trayectoria 1	$5.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Área trayectoria 2	$2.83 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Área trayectoria 3	$1.266 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Área trayectoia 4	$7.08 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

Fuente: Autores

La altura de los manómetros es otro dato clave para determinar las pérdidas de presión en accesorios, la altura del manómetro se define a partir de la salida del compresor hasta el punto de ubicación de cada uno, esta información está representada en la figura 3-13 y se resume a continuación en la tabla 4-17 de la siguiente manera:

- **Altura de manómetros**

Altura manómetro 1= 240 mm= 9.44 in

Altura Manómetro 2 = 370mm=14.5 in

Atura Manómetro 3 = 1090mm = 42.91 in

Altura Manómetro 4= 1477.8mm = 55 in

Altura Manómetro 5= 1090mm = 42.91 in

Altura Manómetro 6 = 830mm = 32.6 in

Altura Manómetro 7= 630mm = 24.8 in

Altura Manómetro 8= 90mm= 3.54 in

Resumen de resultados:

Tabla 4- 20.Altura de manómetros [17]

Manómetro	mm	in
Manómetro 1	240	9.44
Manómetro 2	370	14.5
Manómetro 3	1090	42.91
Manómetro 4	1477.8	55
Manómetro 5	1090	42.91
Manómetro 6	830	32.6
Manómetro 7	630	24.8
Manómetro 8	90	3.54

Fuente: Autores

4.2.5.2 Cálculo de pérdidas de presión en accesorios

Con la información del área y la altura de los manómetros es posible desarrollar el cálculo de pérdidas de presión en accesorios con la siguiente fórmula general:

$$\text{Pérdida de Presión} = 1 - \text{peso específico del aire} * \frac{\text{Altura}_2 - \text{Altura}_1}{\text{presión atmosférica}} \quad (1.30)$$

$$\text{Peso específico del aire} = 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$$

$$\text{Presión atmosférica} = 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$$

La fórmula de pérdidas de presión señalada y reemplazando los datos del área y la altura en ella, se puede determinar las pérdidas de presión en los manómetros desde la salida de la tubería de aire comprimido hacia cada manómetro, de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida de presión manómetro 1} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{9.44 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.9999717 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Pérdida de presión manómetro 2} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{14.5 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.9999563 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Pérdida de presión manómetro 3} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{42.91 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.999870 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Pérdida de presión manómetro 4} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{55 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.9999834 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Pérdida de presión manómetro 5} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{42.91 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.9999870 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Pérdida de presión manómetro 6} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{32.6 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.9999018 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Pérdida de presión manómetro 7} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{3.54 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.9999894 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Pérdida de presión manómetro 8} = 1 - 0.00004427 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} * \frac{24.8 \text{ pulgadas}}{14.7 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}} = 0.9999253 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

Resumen de resultados:

Tabla 4-21.Perdidas por Manómetro [18]

Pérdida de presión manómetro 1	$0.9999717 \frac{Lb}{in^2}$
Pérdida de presión manómetro 2	$0.9999563 \frac{Lb}{in^2}$
Pérdida de presión manómetro 3	$0.999870 \frac{Lb}{in^2}$
Pérdida de presión manómetro 4	$0.9999834 \frac{Lb}{in^2}$
Pérdida de presión manómetro 5	$0.9999870 \frac{Lb}{in^2}$
Pérdida de presión manómetro 6	$0.9999018 \frac{Lb}{in^2}$
Pérdida de presión manómetro 7	$0.9999894 \frac{Lb}{in^2}$
Pérdida de presión manómetro 8	$0.9999253 \frac{Lb}{in^2}$

Fuente: Autores

Con la pérdida de presión en cada manómetro es necesario calcular el caudal de salida del compresor, este con lleva a un caudal de 240 l/min es debido a que el recipiente del compresor equivale a 24 litros, y por ende la presión del sistema comprimido depende, al volumen de diseño multiplicado con la presión requerida de trabajo, sin embargo, que esto dependerá del material, para este caso. Se utiliza un máximo $147.5 \frac{Lb}{in^2}$

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza los cálculos para saber la pérdida por altura en la tubería, la pérdida de presión en la altura se define como el caudal dividido por la capacidad del tanque.

4.2.5.3 Cálculos para las pérdidas presión en el sistema:

Presión salida del tanque=

$$Caudal \left(\frac{l}{min} \right) / capacidad \text{ del tanque} * 14.7 \frac{Lb}{in^2}$$

(1.31)

Capacidad del tanque= 24 litros (Caudal máximo= 240 litros/ minuto)

Con esta fórmula se puede calcular las pérdidas de presión teniendo en cuenta la distancia de los manómetros.

$$\text{Lectura de manómetro 1} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.9999717 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.0000283 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro 2} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.9999563 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.0000437 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro 3} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.999870 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.00013 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro 4} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.9999834 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.0000166 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro 5} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.9999870 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.000013 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro 6} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.9999018 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.0000982 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro 7} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.9999253 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.0000747 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro 8} = \frac{240 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} - 0.9999894 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 146.000106 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

Resumen de resultados:

Tabla 4- 22.Lectura de Manómetros [9]

Lectura de manómetro 1	$146.0000283 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$
Lectura de manómetro 2	$146.0000437 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$
Lectura de manómetro 3	$146.00013 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$
Lectura de manómetro 4	$146.0000166 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$
Lectura de manómetro 5	$146.000013 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$
Lectura de manómetro 6	$146.0000982 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$

Lectura de manómetro 7	146.0000747 $\frac{Lb}{in^2}$
Lectura de manómetro 8	146.000106 $\frac{Lb}{in^2}$

Fuente: Autores

Finalmente se suman las lecturas de los manómetros que posee cada tramo y esta será la pérdida de energía en el circuito total.

Después de la descripción de las ecuaciones y datos relevantes que serán implementados en el software de programación LabVIEW y con el circuito hidráulico diseñado con todos los accesorios, equipos e indicadores, además de los cálculos indicados para el desarrollo de las pérdidas de presión, es posible diseñar prácticas de estudio para observar el funcionamiento del laboratorio virtual de igual manera verificar la eficiencia y veracidad del mismo, por lo tanto, a continuación, se formula tres prácticas de pérdida de presión con los materiales definidos para la evaluación del funcionamiento comparando los cálculos analíticos vs los cálculos proporcionados por el laboratorio virtual.

5. Formulación de Prácticas de pérdidas de presión

Se establece una guía de laboratorio (ANEXO A) y las siguientes prácticas que se ejecutan teniendo en cuenta los objetivos propuestos donde se entregan resultados en tablas organizadas como pérdidas de presión, caudal, altura y tiempo.

5.1 Práctica N°1 Cálculo de pérdidas de presión por recorrido

La práctica 1 tiene el objetivo calcular las pérdidas de presión que se presentan en cada una de las trayectorias de acuerdo al tipo de material y realizar un análisis en base a los resultados obtenidos.

Tabla 5-23. Práctica 1. Pérdidas de presión por recorrido [20]

UNIDAD ACADEMICA:	
ASIGNATURA:	
UNIDAD TEMATICA:	
PRÁCTICA N° 1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR TRAYECTORIA
ACTIVIDAD.	OBJETIVO.
Cálculo de pérdidas de presión por trayectoria	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar las pérdidas de presión por recorrido para los diferentes tipos de material • Comprobar la fórmula de Darcy-Weisbach para cálculo de pérdidas por fricción • Comparar la curva de las diferentes tuberías en un diagrama de Moody con los datos experimentales obtenidos
PROCEDIMIENTO	
1.	Para cada trayectoria abrir la válvula correspondiente, cerrando las válvulas de las trayectorias a no utilizar
2.	Encender el compresor y enviar directamente el flujo a la trayectoria
3.	Monitorear la presión indicada en los manómetros de la trayectoria de estudio

4.	Determinar el área para los diferentes diámetros de tuberías							
5.	Calcular los flujos máximos para cada diámetro de tuberías							
6.	Determinar el coeficiente de fricción (f)							
7.	Registrar los resultados en la tabla							
8.	Análisis de Resultados							
Trayectoria	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Caudal máximo (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Rugosidad € (mm)	Factor de fricción	Pérdida de presión
1								
2								
3								
4								

Fuente: Autores

Ejemplo:

- Longitud(m): para determinar la longitud de la trayectoria se suman las medidas en mm de la trayectoria proporcionadas en los planos del banco y posterior a su suma, se convirtieron a metros se dividiendo el resultado entre 1000.

$$\text{Trayectoria 1: } 4741 \text{ mm} \times 1000 = 4.741 \text{ m}$$

- Para el caudal máximo se utilizó 240 l/min: por lo tanto, se utilizó la fórmula para convertir los litros por minuto(l/min) a metros cúbicos (m³/h) el resultado se convertiría nuevamente de metros cúbicos por hora a metros cúbicos sobre segundos (divide el valor de volumen m³/h / entre 3600).

$$240 \times 0.22712470704 = 0.4542 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$0.4542 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} / 3600 = 0.004 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

- La velocidad de circulación de un líquido o de un gas es proporcional a su caudal e inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de la tubería.

$$v = Q/S$$

Por lo tanto, para hallar las velocidades dividimos caudal por el diámetro nominal de la tubería.

• El coeficiente de fricción y de rugosidad fueron proporcionados en base a la tabla 4-12 y 4-13, teniendo en cuenta el material de las trayectorias planteadas en la práctica, como resultado podemos observar las pérdidas de presión registradas en las 4 trayectorias del circuito.

$$1 - \text{peso específico del aire} * \frac{\text{Altura}_2 - \text{Altura}_1}{\text{presión atmosférica}} \tag{1.30}$$

Es necesario usar las fórmulas descritas para la resolución de la práctica y de esta manera determinar las caídas de presión en la tubería.

5.2 Práctica N° 2. Medición de flujo

La práctica dos tiene como objetivo calcular el caudal que se presentan en cada trayectoria teniendo en cuenta el porcentaje de apertura de las válvulas, dichos resultados serán analizados a manera de conclusión.

Tabla 5-24.Práctica 2. Medición de flujo [21]

PRÁCTICA N° 2		MEDICIÓN DE FLUJO
ACTIVIDAD.		OBJETIVO.
Realizar la medición de flujo controlando la apertura porcentual de la válvula para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.		Calcular el caudal teniendo en cuenta la apertura de la válvula del sistema y graficarla.
PROCEDIMIENTO		
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.	
2.	Verifique que la válvula V2 de control de caudal se encuentre abierta un 25 % de vuelta.	
3.	Verifique que la válvula V4 se encuentra abierta en su totalidad	
4.	Encienda el compresor y enviar flujo a la trayectoria.	
5.	Repita los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula con una apertura del 25%, 50%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.	
6.	Con base a los datos recopilados de la prueba, rellenar la Tabla de acuerdo a los parámetros solicitados.	
% Apertura de la válvula 2		Medidor de presión

	LPM	GPM

Fuente: Autores

La práctica dos pretende observar las variaciones en la presión con diferentes grados de apertura de la válvula 2 en el tramo 1, por lo tanto, será necesario observar el comportamiento de la presión indicada por el medidor análogo y posteriormente analizar los resultados.

5.3 Práctica N°3 Cálculo de pérdidas de presión en accesorios

La práctica 3 tiene como objetivo determinar las pérdidas de presión en los accesorios de los cuatro (4) tramos, mediante la observación de las lecturas proporcionadas por los indicadores de presión (manómetros).

Tabla 5-25 .Práctica 3. Cálculo de pérdidas de presión en accesorios [22]

PROCEDIMIENTO	
1.	Para cada trayectoria abrir la válvula correspondiente, cerrando las válvulas de las trayectorias a no utilizar
2.	Encender el compresor y enviar directamente el flujo a la trayectoria
3.	Monitorear la presión indicada en los manómetros de la trayectoria de estudio
4.	Determinar las pérdidas de fricción en accesorios

RESULTADOS

MANÓMETROS	PÉRDIDAS [PSI]
M1	

M2	
M3	
M4	
M5	
M6	
M7	
M8	

Fuente: Autores

Las tres (3) prácticas analíticas mencionadas son el punto de partida, donde se busca desarrollar el recurso al sentido lógico para intentar responder las incógnitas planteadas por medio de las fórmulas previamente establecidas, que será desarrollado de forma coherente por el estudiante, para finalmente realizar un análisis comprobando si los resultados son correctos o se implementaron las fórmulas de manera errónea

6.Simulación de Prácticas

Las siguientes prácticas son desarrolladas para contrastar la cercanía entre los datos entregados por el software y los datos realizados de forma analítica, para así garantizar la confiabilidad del programa realizado en la herramienta de diseño y programación LabVIEW, o de manera correctiva mejorar el programa para que entregue datos más acordes a los reales.

6.1 Resultados analíticos de las prácticas

La práctica 1 tiene el objetivo de calcular las pérdidas de presión en el sistema de forma analítica, utilizando las fórmulas mencionadas con anterioridad y los datos del sistema hidráulico, de esta manera efectuar el cálculo por recorrido y finalmente realizar un análisis en base a los resultados obtenidos.

- **Práctica N°1.** Cálculo de pérdidas de presión por recorrido

PROCEDIMIENTO								
1.	Para cada trayectoria abrir la válvula correspondiente, cerrando las válvulas de las trayectorias a no utilizar							
2.	Encender el compresor y enviar directamente el flujo a la trayectoria							
3.	Monitorear la presión indicada en los manómetros de la trayectoria de estudio							
4.	Determinar el área para los diferentes diámetros de tuberías							
5.	Calcular los flujos máximos para cada diámetro de tuberías							
6.	Determinar el coeficiente de fricción (f)							
7.	Registrar los resultados en la tabla							
8.	Análisis de Resultados							
Trayectoria	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Caudal máximo (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Rugosidad € (mm)	Factor de fricción	Pérdida de presión (psi)
1	4.741	25	0.004	3,09	1,004	0,0024	0,42	5,468
2	4.641	20	0.004	4,82	1,004	0,0024	0,42	5.462

3	3.921	15	0.004	8,58	1,004	0,0015	0,10	1,092
4	3.507	10	0.004	19,29	1,004	0,0015	0,06	1.092

- Longitud(m): para determinar la longitud de la trayectoria se sumaron las medidas en mm de la trayectoria proporcionadas en los planos del banco y posterior a su suma, se convirtieron a metros se dividiendo el resultado entre 1000.

$$\text{Trayectoria 1: } 4741 \text{ mm} \times 1000 = 4.741 \text{ m}$$

$$\text{Trayectoria 2: } 4641 \times 1000 = 4.641 \text{ m}$$

$$\text{Trayectoria 3: } 3921 \text{ mm} \times 1000 = 3.921 \text{ m}$$

$$\text{Trayectoria 4: } 3.507 \times 3.507 = 3.507 \text{ m}$$

- Para el caudal máximo se utilizó 240 l/min: por lo tanto, se utilizó la fórmula para convertir los litros por minuto(l/min) a metros cúbicos (m^3/h) el resultado se convertiría nuevamente de metros cúbicos por hora a metros cúbicos sobre segundos (divide el valor de volumen m^3/h / entre 3600).

$$240 \times 0.22712470704 = 0.4542 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$0.4542 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} / 3600 = 0.004 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

- La velocidad de circulación de un líquido o de un gas es proporcional a su caudal e inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de la tubería.

$$v = Q/S$$

Por lo tanto, para hallar las velocidades dividimos caudal por el diámetro nominal de la tubería.

- El coeficiente de fricción y de rugosidad fueron proporcionados en base a la tabla 4-12 y 4-13, teniendo en cuenta el material de las trayectorias planteadas en la práctica, Como resultado podemos observar las pérdidas de presión registradas en las 4 trayectorias del circuito.

$$1 - \text{peso específico del aire} * \frac{\text{Altura}_2 - \text{Altura}_1}{\text{presión atmosférica}}$$

(1.30)

Como conclusión, se puede observar cómo cambian las velocidades en los trayectos que son proporcionales a los diámetros de las tuberías, a pesar de tener el mismo flujo de caudal, es decir entre menor diámetro nominal más velocidad hay en el flujo, la caída de presión en la tubería se presentó por la pérdida de presión, debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas se registraron debido a la presencia de las válvulas.

- **Práctica N° 2. Medición de flujo**

La práctica dos tiene como objetivo observar el comportamiento de la presión indicada por el medidor cuando la válvula del tramo seleccionado cambia su grado de apertura, dichos resultados serán analizados a manera de conclusión.

PROCEDIMIENTO		
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.	
2.	Verifique que la válvula de control de caudal se encuentre abierta un 25 % de vuelta.	
3.	Verifique que la válvula V4 se encuentra abierta en su totalidad	
4.	Encienda el compresor y enviar flujo a la trayectoria.	
5.	Repita los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula con una apertura del 25%, 50%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.	
6.	Con base a los datos recopilados de la prueba, rellenar la Tabla de acuerdo a los parámetros solicitados.	
% Apertura de la válvula	Medidor de presión	
	LPM	GPM
25%	22.73	5
50%	45.46	10
100%	90.92	20

En la práctica dos se analizó las variaciones del medidor de presión en el tramo dependiendo el grado de apertura de la válvula seleccionada como resultado se puede afirmar que entre mayor sea el grado de apertura más velocidad hay en el fluido y se presenta mayor pérdida de la presión en el trayecto.

• **Práctica N°3.** Cálculo de pérdidas de presión en accesorios

PROCEDIMIENTO	
1.	Para cada trayectoria abrir la válvula correspondiente, cerrando las válvulas de las trayectorias a no utilizar
2.	Encender el compresor y enviar directamente el flujo a la trayectoria
3.	Monitorear la presión indicada en los manómetros de la trayectoria de estudio
4.	Determinar las pérdidas de fricción en accesorios

CÁLCULOS:

$$\text{Lectura de manómetro M1} = 0.9999717 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{-22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,923 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro M2} = -0.9999563 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,923 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro M3} = -0.99987 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,922 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro M4} = -0.99998334 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,921 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro M5} = -0.999987 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,922 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro M6} = -0.9999018 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,922 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro M7} = -0.9999253 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,922 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Lectura de manómetro M8} = -0.9999894 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \frac{22.73 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{24 \text{ litros}} * 14.7 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = -12,921 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

RESULTADOS

MANÓMETROS	PÉRDIDAS [PSI]
------------	----------------

M1	12,923
M2	12,923
M3	12,922
M4	12,921
M5	12,922
M6	12,922
M7	12,922
M8	12,921

Se logro satisfactoriamente determinar las pérdidas de presión en los manómetros de cada tramo, mediante la observación de las lecturas proporcionadas por lo indicadores y por los cálculos mencionados con anterioridad que permiten hallar el resultado esperado para cada manómetro.

Las tres prácticas planteadas se desarrollaron con éxito de manera analítica por medio de las fórmulas matemáticas necesarias, que fueron planteadas y evaluadas a lo largo del proyecto, se desea desarrollar las mismas prácticas en el software creado por medio de la herramienta de programación LabVIEW, con el fin de observar la variación de resultados de las dos formas experimentales.

6.2 Resultados de las prácticas mediante el laboratorio virtual

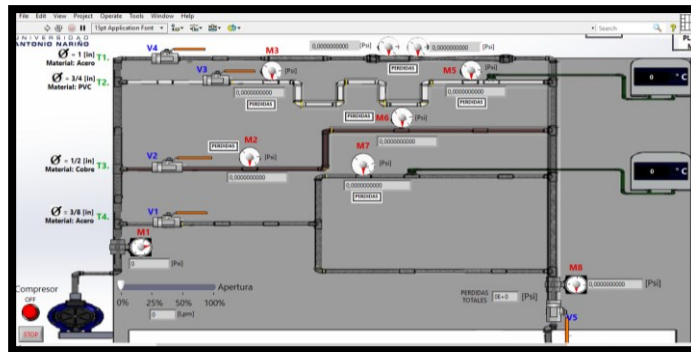
En el diseño realizado por la herramienta LabVIEW, se tiene en cuenta los siguientes parámetros: el programa desarrollado debe obtener los valores de diámetro, caudal, presión y el grado de apertura de la válvula, con lo mencionado anteriormente, se opta por etiquetar cada una de las variables, a fin de conocer la medida en los diversos puntos del equipo, estas etiquetas corresponden a las letras

- T (Tramo),
- V (Válvula)
- M (Manómetro).

El software LabVIEW se encuentra dividido en dos paneles, panel frontal y panel de programa respectivamente, el primero se encarga de mostrar en pantalla la apariencia física del diseñado (indicadores, menú, controles, gráficas, etc.).

El segundo panel es el encargado de recibir las variables y generar el respectivo lenguaje C gráfico, para realizar las diferentes subrutinas que componen el proceso. La siguiente imagen corresponde al panel frontal y de bloques respectivamente.

Figura 6-25. Panel frontal [25]



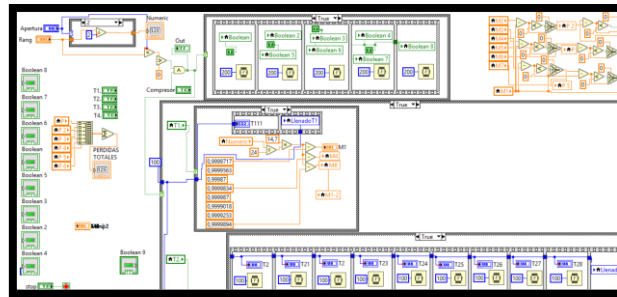
Fuente: Autor

En la figura 6-25, se observa el panel frontal del laboratorio virtual para la enseñanza del cálculo de pérdidas de presión en tuberías, este panel está conformado por los 4 tramos conductores del fluido, estos tramos tienen sus respectivos accesorios y válvulas de paso, se puede contemplar los indicadores de presión y las pérdidas calculadas por el software de cada manómetro, este programa solo corre cuando el compresor esta encendido y la válvula de paso este abierta de otra manera el circuito no indicara ningún dato.

El panel frontal funciona por medio del segundo panel que es el encargado de recibir las variables y generar el respectivo lenguaje C gráfico, para realizar las diferentes subrutinas que componen el proceso. La siguiente imagen corresponde al panel de bloques respectivamente.

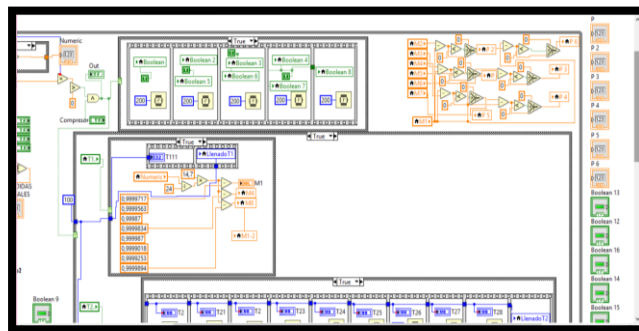
El primer paso es abrir el programa LabVIEW y hacer clic en file>new VI, en el panel frontal se pulsa clic derecho del mouse, para obtener el respectivo menú de funciones de dicho panel, seguidamente se despliega el submenú "Num Inds" y se selecciona el indicador para visualizar los valores de presión. Para el caso del programa diseñado, se seleccionan siete indicadores de presión.

Figura 6-26. Programación LabVIEW [26]



Fuente: Autores

Figura 6-27. Continuación Programación LabVIEW [27]



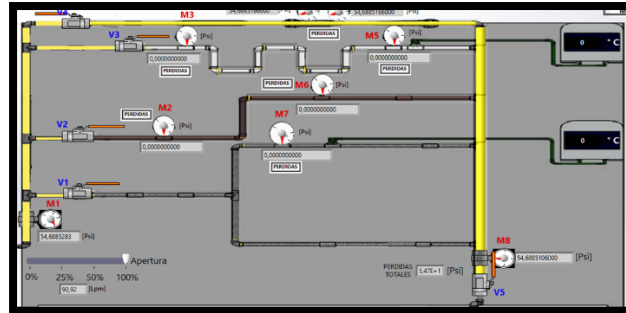
Fuente: Autores

En la figura 6-26 y 6-27 se representa la programación del laboratorio virtual para las pérdidas de presión en tuberías, este programa solo corre cuando el compresor este en estado “ON” y este abierta la válvula de paso, cuando estas condiciones se cumplen el programa evalúa donde está transportándose el fluido basado en él toma del manómetro realiza la respectiva formula e indica la pérdida de presión en el manómetro del tramo en el que está circulando el fluido, también el programa representa las pérdidas totales todo el tramo en que se esté trabajando, como adicional este programa cuenta con un indicadores de temperatura y botón que señala los planos del diseño estructural en la herramienta SolidWorks. Para lograr realizar esta acción en LabVIEW, se recomienda que se coloque una condición. Si se está hallando caudal, no se debe colocar presión y, viceversa. La programación del laboratorio virtual se diseñó por medio de la herramienta virtual LabVIEW y los planos estructurales se realizaron por medio de la herramienta de diseño SolidWorks, para determinar las pérdidas de presión en tuberías, este programa se debe cambiar el estado del botón de inicio de OFF a ON y como segundo paso es

necesario abrir la válvula de paso para que el fluido pueda circular por la estructura, este programa automáticamente me brinda los resultados de las pérdidas de presión por accesorio y por recorrido total, así mismo los indicadores señalan los datos proporcionados por los accesorios y los indicadores de temperatura en el programa.

- **PRÁCTICA N°1.** Cálculo de pérdidas de presión por recorrido

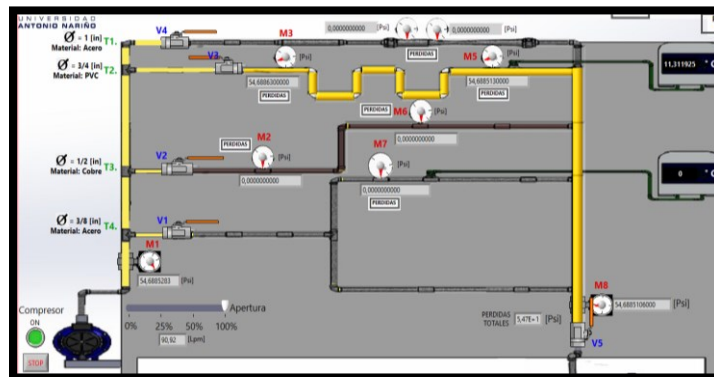
Figura 6-28. Pérdidas de presión del tramo 1 [28]



Fuente: Autores

En la figura 6-28, se observa el paso de fluido por el primer tramo, para realizar esta simulación se debe cerrar las demás válvulas de los tramos que no se utilizaran, como segundo paso es necesario encender el compresor y darle un rango en este caso fue de 90,92 l/min finalmente se obtuvo pérdida total del tramo 1 calculada por el software LabVIEW con un valor correspondiente a $5,47 \frac{Lb}{in^2}$

Figura 6-29. Pérdidas de presión del tramo 2 [29]

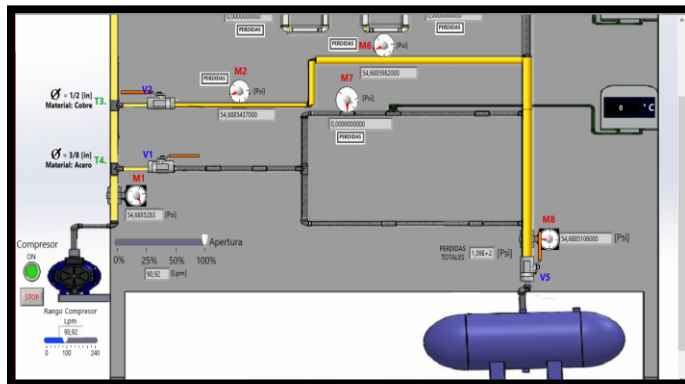


Fuente: Autores

En la figura 6-29, se observa el paso de fluido por el segundo tramo, para realizar esta simulación se debe cerrar las demás válvulas de los tramos que no se utilizaran, como

segundo paso es necesario encender el compresor y darle un rango en este caso fue de 90,92 l/min, finalmente se obtuvo pérdida total del tramo 2 calculada por el software LabVIEW con un valor correspondiente a $5,47 \frac{Lb}{in^2}$

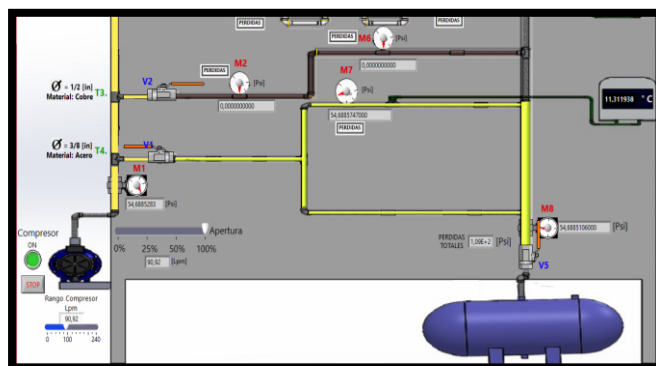
Figura 6-30. Pérdidas de presión del tramo 3 [30]



Fuente: Autores

En la figura 6-30, se observa el paso de fluido por el tercer tramo, para realizar esta simulación se debe cerrar las demás válvulas de los tramos que no se utilizaran, como segundo paso es necesario encender el compresor y darle un rango en este caso fue de 90,92 l/min, finalmente se obtuvo pérdida total del tramo 3 calculada por el software LabVIEW con un valor correspondiente a $1,09 \frac{Lb}{in^2}$

Figura 6-31. Pérdidas de presión del tramo 4 [31]



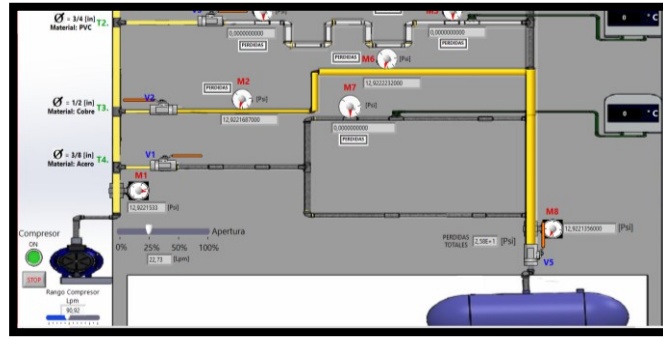
Fuente: Autores

En la figura 6-31, se observa el paso de fluido por el cuarto tramo, para realizar esta simulación se debe cerrar las demás válvulas de los tramos que no se utilizaran, como

segundo paso es necesario encender el compresor y darle un rango en este caso fue de 90,92 l/min finalmente se obtuvo pérdida total del tramo 4 calculada por el software LabVIEW con un valor correspondiente a $1,09 \frac{Lb}{in^2}$

- **PRÁCTICA N° 2.** Medición de flujo

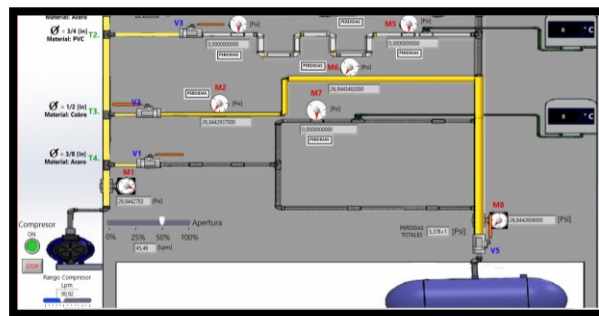
Figura 6-32.Apertura de la válvula 2 al 25% [32]



Fuente: Autores

En la figura 6-32, se puede observar el paso del fluido por el tramo dos, para esta práctica era necesario abrir la válvula 2 con una apertura del 25% como se muestra en la figura y cerrar las demás válvulas de los trayectos que no eran necesarios, finalmente observar los datos proporcionados por el cálculo del software en LabVIEW.

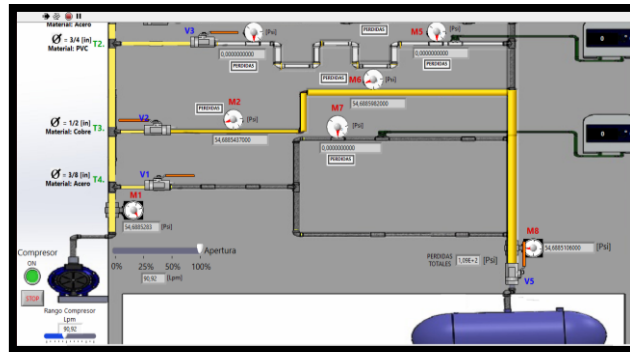
Figura 6-33.Apertura de la válvula 2 al 50% [33]



Fuente: Autores

En la figura 6-33, se puede observar el paso del fluido por el tramo dos, para esta práctica era necesario abrir la válvula 2 con una apertura del 50% como se muestra en la figura y cerrar las demás válvulas de los trayectos que no eran necesarios, finalmente observar los datos proporcionados por el cálculo del software en LabVIEW.

Figura 6-34. Apertura de la válvula 2 al 100% [34]

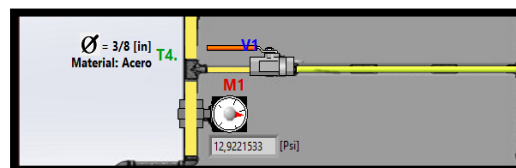


Fuente: Autores

En la figura 6-34, se puede observar el paso del fluido por la trayectoria dos, para esta práctica era necesario abrir la válvula 2 con una apertura del 100% como se muestra en la figura y cerrar las demás válvulas de los trayectos que no eran necesarios, finalmente observar los datos proporcionados por el cálculo del software en LabVIEW.

PRÁCTICA N°3. Cálculo de pérdidas de presión en accesorios

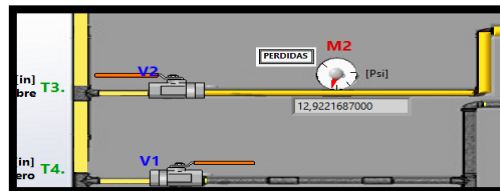
Figura 6-35. Pérdida en el accesorio M1 [35]



Fuente: Autores

En la figura 6-35, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M1 con un valor de $12,9221533 \frac{Lb}{in^2}$

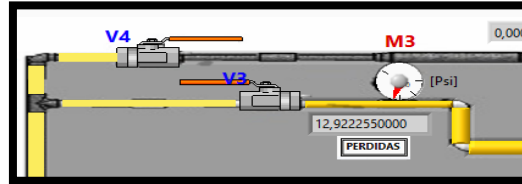
Figura 6-36. Pérdida en el accesorio M2 [36]



Fuente: Autores

En la figura 6-36, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M2 con un valor de $12,9221687000 \frac{Lb}{in^2}$

Figura 6-37.Pérdida en el accesorio M3 [37]



Fuente: Autores

En la figura 6-37, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M3 con un valor de $12,922255000 \frac{Lb}{in^2}$

Figura 6-38.Pérdida en el accesorio M4 [38]



Fuente: Autores

En la figura 6-38, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M4 con un valor de $12,9221416000 \frac{Lb}{in^2}$

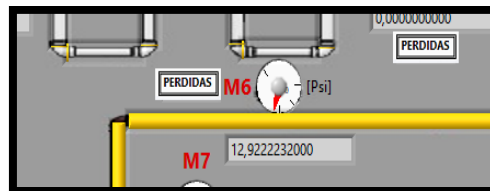
Figura 6-39.Pérdida en el accesorio M5[39]



Fuente: Autores

En la figura 6-39, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M5 con un valor de $12,922138000 \frac{Lb}{in^2}$

Figura 6-40.Pérdida en el accesorio M6 [40]

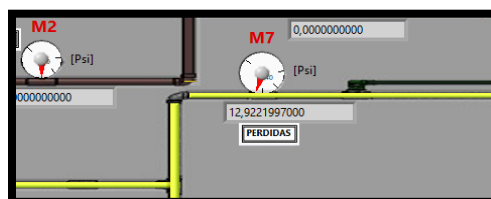


Fuente: Autores

En la figura 6-40, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M6 con un valor de 12,9222232000

$$\frac{Lb}{in^2}$$

Figura 6-41.Pérdida en el accesorio M7 [41]

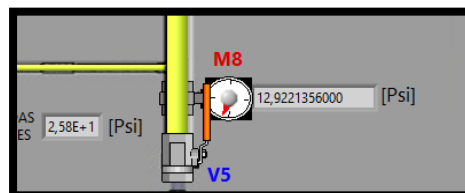


Fuente: Autores

En la figura 6-41, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M7 con un valor de 12,9221997000

$$\frac{Lb}{in^2}$$

Figura 6-42.Pérdida en el accesorio M8 [42]



Fuente: Autores

En la figura 6-42, se muestra el cálculo realizado por el software LabVIEW, que corresponde a la pérdida de presión en el accesorio M8 con un valor de 12,9221356000

$$\frac{Lb}{in^2}$$

En la práctica 3 se determinó las pérdidas de presión en los manómetros de cada trayectoria, mediante la observación de las lecturas proporcionadas por los indicadores en software y por los cálculos observados en el panel frontal.

6.3 Comparación de resultados analíticos vs resultados del laboratorio virtual

Los laboratorios estudiados en las 3 investigaciones no brindan mucha información sobre el software o el programa de diseño que implementaron, sin embargo, se conoce que la investigación 1, utilizó el programa de diseño SolidWorks, la investigación 2 implementó el programa de análisis tridimensional extendido de edificaciones (ETABS) finalmente la última investigación no reportó información al respecto. El proyecto actual se realizó el diseño por medio del programa SolidWorks y la programación se ejecutó por medio del software LabVIEW.

A continuación, se puede observar un análisis comparativo de los resultados obtenidos a partir de la ejecución de los cálculos analíticos y ejecución en el software según el problema planteado. Asimismo, se define el porcentaje de error obtenido a partir de la diferencia entre ambas variables.

Tabla 6-23. Comparación de la pérdida de presión [23]

Trayectoria	Pérdidas por presión (PSI)		
	Medidas analíticas	Medidas por medio del laboratorio	Margen de error (%)
1	5,468	5,47	0,003
2	5,462	5,47	0,0024
3	1,092	1,09	0,0014
4	1,092	1,09	0,012

Fuente: Autores

En la tabla 6-23, se observa los resultados proporcionados de las pérdidas de presión por medio de las prácticas desarrolladas de manera analítica vs el laboratorio virtual para esto se realizó un margen de error en base a la muestra tomada y la muestra esperada.

Tabla 6-24. Comparación la pérdida de la válvula 2 [24]

Apertura de la Válvula 2			
Porcentaje (%)	Medidas analíticas	Medidas por medio del laboratorio	Margen de error (%)
25	22,73	22,74	0
50	4,46	45,47	0
100	90,92	90,93	0

Fuente: Autores

En la tabla 6-24, se observa los resultados proporcionados de las pérdidas de presión en la válvula 2 con diferentes grados de apertura (25%,50%,100%) por medio de las prácticas desarrolladas de manera analítica vs el laboratorio virtual para esto se realizó un margen de error en base a la muestra tomada y la muestra esperada.

Tabla 6-25. Comparación la pérdida en los accesorios [25]

ACCESORIOS	PÉRDIDAS (PSI)		
	Medidas Analíticas	Medidas por medio del laboratorio	Margen de error (%)
Manómetros			
M1	12,923	12,9241	0,0023
M2	12,923	12,9222	0,0034
M3	12,922	12,9224	0,0018
M4	12,921	12,9213	0,0023
M5	12,922	12,9222	0,0015
M6	12,922	12,9222	0,0015
M7	12,922	12,9222	0,0015
M8	12,921	12,9222	0,0015

Fuente: Autores

En la tabla 6-25, se observa los resultados proporcionados de las pérdidas de presión en los 8 accesorios distribuidos por las cuatro (4) trayectorias del circuito hidráulico, por medio de las prácticas desarrolladas de manera analítica vs el laboratorio virtual para esto se realizó un margen de error en base a la muestra tomada y la muestra esperada.

Análisis de resultados

A manera de conclusión general el comparativo de los resultados analíticos vs los resultados del programa no arrojan diferencias significativas sobre los resultados reales, esto debido a que la expresión decimal varía un poco los datos y crea cierto margen de error admisible para el usuario del laboratorio como conclusión se afirma la confiabilidad del programa creado en el software LabVIEW y permite el implemento a futuro de esta herramienta para los estudiantes de la UAN en la Sede de Neiva.

7. Conclusiones y recomendaciones

y

7.1 Conclusiones

- El estudio característico de los bancos de pruebas estudiados en las tres investigaciones indica que es común usar trayectorias rectas, en estos bancos dos de las tres investigaciones utilizan solo un material, la última investigación a diferencia de las otras investigaciones utilizó tres materiales.
- El nuevo diseño del laboratorio virtual incorpora materiales como son el cobre, acero y PCV, el aire como sustancia de trabajo, así como trayectorias rectas y curvas, que permiten ampliar los estudios sobre las pérdidas de presión en tuberías, donde se permite la variación de la velocidad de flujo, con ello mejorar la comprensión de los conceptos estudiados, que indican una solución parcial al desarrollo de los laboratorios físicos, que no se encuentran disponibles en la Universidad Antonio Nariño sede Neiva.
- El software LabVIEW permite al estudiante interactuar con el banco además de proporcionar una herramienta tecnológica en línea con el cual se podrá obtener datos experimentales de las tres prácticas propuestas en el laboratorio virtual, siendo su característica más importante comprobar el diseño y garantizar la alta confiabilidad de la programación en LabVIEW.
- El software SOLIDWORKS ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del laboratorio ya que ofrece la posibilidad de crear, diseñar y simular datos del proceso de diseño, permitiendo al estudiante tener una visión más clara del laboratorio si se implementara en físico.
- El nuevo diseño de laboratorio permite realizar tres prácticas donde el estudiante puede ingresar de manera remota con ayuda en línea, y desarrollar los conceptos de pérdidas de presión por trayectoria, medición de flujo por porcentajes de apertura de válvulas y cálculo de pérdidas de presión en los accesorios.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda usar las herramientas con las unidades y la presión sometida, de lo contrario será imposible efectuar las medidas correctas.
- Se recomienda desarrollar los cálculos analíticos de cada práctica de laboratorio, las cuales están incluidas en el proyecto, para una mejor comparación de los datos.
- Antes de usar el laboratorio virtual, se recomienda al docente aclarar las actividades teórica-prácticas, dando cumplimiento a los objetivos definidos en clase.

A. Anexo: Guía de laboratorio

Objetivo

Establecer un procedimiento específico que determine los pasos adecuados para la correcta operación en la ejecución de las pruebas a realizar en el módulo virtual:

Objetivos generales

1. Determinar la abreviatura de los competentes instalados.
2. Expresar las posibles pruebas a realizar en el módulo
3. Enumerar cada paso para la correcta ejecución de cada prueba

Abreviatura de los distintos componentes.


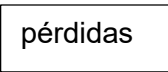

Componente	Abreviatura
Unidad de compresión	Comp
Válvula trayectoria 4	V1
Válvula trayectoria 4	V5
Válvula trayectoria 3	V2
Válvula trayectoria 2	V3
Válvula trayectoria 1	V4
Indicador de presión línea de ingreso	M1
Indicador de presión trayectoria 4 línea superior	M7
Indicador de presión entrada trayectoria 3	M2
Indicador de presión salida trayectoria 3	M6
Indicador de presión trayectoria 2	M3
Indicador de presión trayectoria 2	M5
Indicador de presión trayectoria 1	M4
Indicador de presión línea de salida	M8

Fuente: Autor

1. Pruebas a realizar en el banco.

- Variación de presión en cada trayectoria
- Regulación del porcentaje de apertura de la válvula
- Relación de caudal ingresado Vs apertura de válvula
- Pérdida de presión en cada trayectoria

Para la ejecución de las pruebas se establece que,

1. Energizar la unidad compresora “OFF COMPRESOR”.
2. Determinar porcentaje de caudal a ingresar al circuito de 0-24 l/min permitiendo el flujo de aire.
3. Abrir V1 para paso de aire
4. Establecer porcentaje de apertura de válvula
5. Cerrar o asegurarse del cierre en cada trayectoria según lo requerido para evitar el flujo de aire en puntos alternos.
6. Realizar apertura de válvula V1, V2, V3, y V4 según la práctica a realizar.
7. Una vez ejecutado el programa en el icono de la flecha se evidencia la presión en cada trayectoria. 
8. En la parte inferior de cada indicador de presión aparece el recuadro que indica las cuales permiten observar el valor de pérdidas generadas en ese punto de acuerdo al caudal y porcentaje de apertura accionado. 
9. Para conocer la dimensión y diámetro del circuito se oprime en la parte superior derecha el cual permite observar dichas medidas de cada trayectoria de tubería. 
10. Al final del circuito, se logra evidenciar el recuadro de pérdidas totales el cual permite concluir el sumatorio equivalente de pérdidas en el circuito.

Bibliografía

- Barreto, J. (2008). Diseño y montaje de un equipo hidráulico para la experimentación de pérdidas por fricción y pérdidas localizadas en las tuberías. Colombia: Corporación universitaria minuto de Dios.
- Betancurt, M. A. (2011). Determinación experimental y predicción del coeficiente de transferencia de calor alrededor del bulbo de un termómetro de vidrio. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.
- Cengel, Y. A. (2007). Transferencia de Calor y Masa 3 Edición. Reno: Mc Graw Hill.
- Connor, N. (2019). ¿Qué es el Método del coeficiente de resistencia? México. Obtenido de <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-metodo-del-coeficiente-de-resistencia-metodo-k-exceso-de-carga-definicion/#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20coeficiente%20de%20resistencia,por%20un%20n%C3%BAmero%20adimensional%20%E2%80%93%20K%20>.
- Constantino, L. (1994). Física. México: Editorial progreso.
- Córdoba, G., & Velásquez, Y. (2013). Diseño, construcción y calibración de un banco de pruebas para verificar el momento de momentum perteneciente al laboratorio de mecánica de fluidos. Colombia: Universidad de Nariño.
- Córdova, J., & Pozo, X. (2011). Diseño de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Crane. (2000). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: McGRAW-HILL.
- Creus, A. (2005). Instrumentación industrial. España: Marcombo.
- García, A., & García, L. (2009). Diseño y montaje del laboratorio de hidráulica de tuberías, para banco de pruebas tubo Venturi. México: Universidad universitaria de México.
- GUNT. (2018). Pérdidas de cargas en tuberías. Alemania: Gunt Hamburg.
- Hewitt, P. (1998). Física conceptual. México: Pearson Educación.
- Hibbeler. (2006). Mecánica de materiales. México: Pearson Educación.
- Kane, J. (2007). Física. España: Reverte.

- Khouri, E. (2004). Apuntes de hidraulica para exploraciones forestales. Mexico: Universidad de Oviedo.
- Lara, L., & Pineda, J. (2011). Diseño y construccion de un banco de pruebas para la medicion de caudal y caida de presion en tuberias paralelas. Mexico: Universidad tecnologica.
- Lugans, D. (2012). Relación entre presión vs flujo. Argentina. Obtenido de <http://naturaprocesos.blogspot.com/>
- Mariano, S. (1956). Manual de fisica y elementos de quimica. España: Editorial catalyna.
- Mendez, V. (2007). Tuberias de presion en los sistemas de abastecimiento de agua. Venezuela: Ediciones polar.
- Montaño, P., & Prieto, E. (2014). Banco de Pruebas para fluidos. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Montoya, O. (2017). Diseño y construccion de banco hidraulico para determinar las pérdidas de energia en tuberias CPVC. Bogotá: Universidad Catolica de Colombia.
- Morales, R. (2015). Diseño de un anco didactico para prácticas de mecanica de fluidos apoyado en un PLC. Risaralda: Universidad tecnologica de pereira.
- Mott, R. (s.f.). Pearson.
- NTC 2587. (2005). TUBOS, RACORES Y ACCESORIOS DE HIERRO DÚCTIL Y SUS JUNTAS, PARA AGUA O GAS. 2011: NTC.
- Pardo, L. (2009). Flujo en tuberias. Mexico. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jesusfbf/flujo-tuberias-cap-3-y-4>
- Reyes, D., & Salas, A. (2014). Diseño de un banco para el sistema de tuberias de direccion hidraulica. Barranquilla: Universidad Autonoma del Caribe.
- Rojas, A. (2014). Accesorios para tuberías. Colombia. Obtenido de <https://es.slideshare.net/acazro/accesorios-para-tuberias>
- Sambrano, J. A. (2013). Diseño de un banco de pruebas para la determinacion del coeficiente de transferencia de calor por convencion forzada, en chorros de agua que impactan sobre la superficie metalica calentada . Guayaquil: Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- Sanchez, A. (2006). Instrumentacion y control avanzado de procesos. España: Editorial Dias de santos.

SC Fluids. (2021). Válvulas de Globo. Mexico. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_globo_de_globo.html