



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
MONTAJE Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS.

AUTORES

OSCAR JAVIER HERRERA CASTILLO - 91473552
JUAN CARLOS CASTRO PACHECO - 1096208323

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA EN INGENIERIA ELECTROMECHANICA
Fecha de Presentación: (23-04-2020)
Barrancabermeja, Santander



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
MONTAJE Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS.

AUTORES

OSCAR JAVIER HERRERA CASTILLO - 91473552
JUAN CARLOS CASTRO PACHECO - 1096208323

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electromecánico

DIRECTOR

LEIDYS MARLEYN RODRÍGUEZ CASTRO

Proyecto de investigación- DIANOIA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA EN INGENIERIA ELECTROMECHANICA

Fecha de Presentación: (23-04-2020)

Barrancabermeja, Santander

Nota de Aceptación

Trabajo de grado titulado: DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS.

Presentado por: OSCAR JAVIER HERRERA CASTILLO, JUAN CARLOS CASTRO PACHECO Rueda. Para optar el título de Ingeniero Electromecánico.

Firma del jurado

Firma del Jurado

Dedicatoria

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar a cumplir tan anhelado logro y haberme dado salud y sabiduría para lograr cada uno de mis objetivos, además de su infinita bondad, paciencia y amor. A mi madre y padre, por su apoyo en todo momento, por sus consejos, fundamentos, valores y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona responsable.

OSCAR JAVIER HERRERA CASTILLO

Dedicatoria

Agradezco primeramente a Dios que siempre está a mi lado, por permitirme superar cada obstáculo a lo largo de mi carrera, llenarme día a día de sus grandes bendiciones, a mis familiares, en especial a mis padres que gracias a su apoyo, consejos y confianza pude culminar esta etapa de mi vida, de igual modo a mis hermanos, amigos y compañeros de estudio que siempre estuvieron para brindarme su amistad en los momentos más difíciles.

JUAN CARLOS CASTRO PACHECO

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a directora de proyecto la ingeniera Leidy Rodríguez por su esfuerzo, apoyo incondicional, tiempo, y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación transmitida que fueron de mucha ayuda en todo momento de nuestra carrera, debido a que siempre estuvo para orientarnos en las dificultades que se nos fueron presentando en el trayecto del desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN EJECUTIVO	14
INTRODUCCIÓN	15
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	19
2. MARCOS REFERENCIALES	23
2.1. MARCO HISTÓRICO	23
2.2. MARCO TEÓRICO	25
2.3. MARCO CONCEPTUAL	32
2.4. MARCO LEGAL	43
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	46
3.1. ENSAMBLAR LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS TENIENDO EN CUENTA LA UBICACIÓN GEOMÉTRICA DEL DISEÑO EN SOLIDWORKS	47
3.1.1. Diseño del banco de pruebas	47
3.1.2. Ensamble de los componentes del banco de pruebas	49
3.2. DISEÑAR UN SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE FLUIDO A TRAVES DE BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA. 60	
3.2.1. Medidor de flujo K24	60

3.2.2. Valvula de apertura y cierre	61
3.2.3. Sensor de flujo	61
3.2.4. Indicador de presión	62
3.2.5. Plano de la instrumentación del banco de pruebas	62
3.3. VISUALIZAR LA SIMULACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE LA VERSIÓN DEMO DEL SOFTWARE LABORATORY VIRTUAL INSTRUMENT ENGINEERING WORKBENCH (LABVIEW) PARA LA COMPARACIÓN DE LOS DATOS SIMULADOS CON LOS DE OPERACIÓN.	64
3.4. GENERAR TRES GUÍAS PRÁCTICAS PARA LA COMUNIDAD EDUCATIVA CONSIDERANDO LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA.....	72
3.4.1. Indicadores de seguridad y utilización	73
3.4.2. Prácticas para realizar	73
4. RESULTADOS.....	74
5. CONCLUSIONES	75
6. RECOMENDACIONES	76
7. BIBLIOGRAFÍA	78
8. ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Balance de energía	26
Figura 2. Efecto venturi	29
Figura 3. Flujo laminar.....	30
Figura 4. Flujo turbulento y laminar	31
Figura 5. Válvula de compuerta.....	33
Figura 6. Válvula de globo.....	34
Figura 7. Válvula de bola.....	35
Figura 8. Válvula de mariposa.....	35
Figura 9. Flujo viscoso y no viscoso	39
Figura 10. Sistema de control en lazo abierto	41
Figura 11. Sistema de control en lazo cerrado	42
Figura 12. Banco de pruebas análisis de pérdidas de carga en tubería y accesorios	48
Figura 13. Estructura del banco de pruebas.....	49
Figura 14. Banco de pruebas inicial	50
Figura 15. Tuberías del banco desmontado.....	51
Figura 16. Alargamiento de la estructura	52
Figura 17. Acondicionamiento para pintar la estructura	53
Figura 18. Estructura pintada	54
Figura 19. Acondicionamiento de las líneas de tubería.....	55
Figura 20. Ubicación de accesorios y tubería.....	55
Figura 21. Medidor y contador de flujo	56
Figura 22. Manómetros del diferencial de 0 a 60 psi.....	57
Figura 23. Electrobomba instalada.....	58
Figura 24. Dimensiones de tubería	59
Figura 25. Banco final instalado	59
Figura 26. Diseño de la instrumentación del banco de pruebas.....	62

Figura 27. Sensor de flujo	64
Figura 28. Conexión del sensor con Arduino.....	65
Figura 29. Diagrama de bloques	67
Figura 30. Ventana principal.....	68
Figura 31. Configuración de la comunicación y ruta de archivo	68
Figura 32. Ventana de gráfico	69
Figura 33. Configuración de puerto COM.....	70
Figura 34. Lectura de datos.....	70
Figura 35. Visualización del comportamiento de los datos Caudal Vs Tiempo	71
Figura 36. Lista de componentes	91
Figura 37. Señalización de componentes banco de pruebas.....	91

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 2. Ficha Técnica de la electrobomba.....	58
Tabla 3. Datos técnicos.....	60
Tabla 4. Código arduino.....	66
Tabla 5. Practica 1. Medición de flujo en la línea 1 galvanizado 1”.....	99
Tabla 6. Datos de prueba de la línea 1 material galvanizado 1”.....	100
Tabla 7. Datos de prueba de la línea 1 material galvanizado 1”.....	100
Tabla 8. Practica 2. Medición de flujo en la línea 2 galvanizado 1”.....	101
Tabla 9. Datos de prueba de la línea 2 material galvanizado 1”.....	102
Tabla 10. Datos de prueba de la línea 2 material galvanizado 1”.....	102
Tabla 11. Practica 1. Medición de flujo en la línea 3 galvanizado 1”.....	103
Tabla 12. Datos de prueba de la línea 3 material galvanizado 1”.....	104
Tabla 13. Datos de prueba de la línea 3 material galvanizado 1”.....	104
Tabla 14. Practica 4. Medición de flujo en la línea 4 Aluminio 7/16”.....	105
Tabla 15. Datos de prueba de la línea 4 material aluminio 7/16”.....	106
Tabla 16. Datos de prueba de la línea 4 material aluminio 7/16”.....	106
Tabla 17. Practica 5. Medición de flujo en la línea 5 material galvanizado ½”.....	107
Tabla 18. Datos de prueba de la línea 5 material galvanizado ½”.....	108
Tabla 19. Datos de prueba de la línea 5 materia galvanizado ½”.....	108
Tabla 20. Practica 6. Medición de flujo en la línea 6 Inoxidable ½”.....	109
Tabla 21. Datos de prueba de la línea 6 material inoxidable ½”.....	110
Tabla 22. Datos de prueba de la línea 6 material Inoxidable ½”.....	110
Tabla 23. Practica 7. Medición de flujo en la línea 7 Cobre 3/8”.....	111
Tabla 24. Datos de prueba de la línea 7 material cobre de 3/8”.....	112
Tabla 25. Datos de prueba de la línea 7 material cobre 3/8”.....	112
Tabla 26. Practica 8. Medición de flujo en la línea 8 Venturi 1”.....	113
Tabla 27. Datos de prueba de la línea 8 material Venturi 1”.....	114
Tabla 28. Datos de prueba de la línea 8 materia Venturi 1”.....	114
Tabla 29. Practica 9. Medición de variables de las líneas.....	115

Tabla 30. Datos de pruebas de las líneas.	116
Tabla 31. Datos tomados en el módulo de prueba	116
Tabla 32. Datos tomados en el módulo de prueba	117
Tabla 33. Datos tomados en el módulo de prueba	117

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Pruebas en la medición de presión	80
Anexo 2. Pruebas de medición caudal	80
Anexo 3. Ficha técnica de Manómetro	81
Anexo 4. Ficha técnica de Tubería PVC	81
Anexo 5.. Ficha técnica de tubería de acero galvanizado	82
Anexo 6. Ficha técnica de tubería de cobre	82
Anexo 7. Ficha técnica de tubería de aluminio	83
Anexo 8. Ficha técnica del acero inoxidable	83
Anexo 9. Plano eléctrico del motor	84
Anexo 10. Plano Instrumentación.....	85
Anexo 11. Ficha técnica medidor y contador de flujo	86
Anexo 12. Indicador de presión.....	87
Anexo 13. Electrobomba	88
Anexo 14. Sensor de flujo	89

RESUMEN EJECUTIVO

El modulo existente en la institución consta de un mueble metálico para soportar todo el sistema; una serie de líneas de tuberías y accesorios que constan de diferentes materiales, como, PVC, hierro galvanizado y acero inoxidable, un sistema eléctrico para el accionamiento y protección de la electrobomba; por último, un tanque de almacenamiento fabricado en fibra de vidrio. A partir del módulo intervenido, la adecuación del mismo se efectuó mediante la construcción de siete circuitos hidráulicos teniendo en cuenta las variables de pérdidas de carga, se ensamblaron los componentes del banco de pruebas y accesorios teniendo en cuenta la ubicación geométrica del diseño en Solidworks.

El sistema cuenta con una electrobomba y una distribución de válvulas que permiten variar el caudal, para la medición de estos últimos se implementó el uso de manómetro tipo bourbon los cuales fueron modificados por presentar rangos de presión superior al del sistema. De dicha manera se pudieron obtener los dos factores en los cuales se basan los cálculos para las pérdidas de carga. Para dichos cálculos el sistema consta de un termómetro con bulbo en la entrada del sistema para identificar la temperatura del fluido en el momento de la prueba, ya que las características del agua varían ante los cambios de temperatura.

Se diseñó un sistema para el control de la velocidad de fluido a través del banco de pruebas de pérdidas de carga que es simulado y visualizado mediante la versión DEMO del software Labview para la comparación de los datos simulados con los de operación. Se hizo entrega de un manual de mantenimiento y tres (3) guías instructivas para prácticas de laboratorio de la asignatura mecánica de fluidos, con el objetivo de brindar a la institución una herramienta que permita el uso didáctico y pragmático del banco presentado.

Palabras Claves: Módulo, Hidráulico, Pérdidas, Carga, Simulación

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la implementación de sistemas de medición que permitan el registro exacto de cada una de las variables arrojadas por los equipos se ha vuelto una herramienta indispensable para las industrias, las cuales buscan frecuentemente un sistema eficiente y factible que facilite el diagnóstico de cada una de las variables requeridas, para dar el cumplimiento óptimo de cada una de sus actividades diarias. Es así como la implementación de nuevos parámetros que conlleven al cumplimiento de estos se ha convertido en un tema para los campos ingenieriles encargados de analizar cada uno de estos sistemas.

El proyecto abarca el uso de una metodología descriptiva. De acuerdo a las actividades realizadas se anexa un manual de operación encargado de explicar minuciosamente el paso a paso de cada una de las actividades elaboradas para la construcción del banco de pruebas, asimismo se establecen las indicaciones necesarias para hacer uso óptimo del módulo y una serie de parámetros que deben ser analizados por el docente para su respectiva explicación al estudiantado, en el que se exponen temas para la prevención de fallas, riesgos físicos en el estudiante y mantenimiento para la conservación de la vida útil del equipo.

La implementación del banco de fluidos permite fortalecer las temáticas implantadas actualmente en las áreas de laboratorio de instrumentación industrial y control de procesos automatizados, generando la oportunidad al estudiante de ampliar las capacidades e incrementar notoriamente las habilidades de trabajo, necesarias al momento de ingresar al área laboral. Del mismo modo la institución adquiere una herramienta pragmática que beneficia la columna de bancos encontrados actualmente en las instalaciones y favorece el desarrollo de actividades impuestas por los docentes en las respectivas clases.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las Unidades Tecnológicas de Santander regional Barrancabermeja emplea en el área de ingeniería electromecánica una serie de asignaturas compuestas por mecánica de fluidos, instrumentación industrial y máquinas hidráulicas, las cuales permiten ofrecer el fortalecimiento del estudiante en el ámbito académico, de igual forma la formación requerida para efectuar diseños, optimizar y controlar los diferentes procesos de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías hallados en la producción de una empresa, basándose en las teorías y cálculos que rigen los fluidos (Martin & Rodriguez, 2011).

Actualmente la institución cuenta con un banco de fluidos para la realización de pruebas de pérdidas que permite de manera práctica observar el comportamiento de los fluidos. Sin embargo, pese a que el equipo es de carácter indispensable en la asignatura, se ha evidenciado que este no cuenta con las dimensiones, materiales y circuitos suficientes, sin dejar de lado, que los equipos de medición y/o indicadores se instalaron con valores que superan la presión del sistema y por ende cuando se requiere regular presión, estos manómetros no reflejan las variables indicadas.

La elaboración del proyecto investigativo da cabida al surgimiento de una interrogante en cuanto a ¿Cómo realizar el montaje y simulación de un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El montaje, simulación y/o adecuación del banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios permite a los estudiantes del área electromecánica fomentar la creación de nuevos diseños prácticos de laboratorio, que ayudan a fortalecer el conocimiento de los estudiantes y a fomentar el uso de nuevas herramientas prácticas en la institución.

El estudio acerca de los principios básicos de la mecánica de fluidos, es esencial en el análisis y diseño de cualquier sistema en el cual el fluido es el elemento de trabajo, por tal motivo las Unidades Tecnológicas de Santander, contará con un banco en el que se evaluará las pérdidas de carga en el flujo de fluidos a través de tuberías de diferentes diámetros y materiales, así como las pérdidas generadas en diferentes tipos de accesorios. El banco de pruebas está estructurado bajo supervisión de personal calificado, para garantizar la seguridad de los estudiantes al poner en marcha el sistema. La realización del proyecto investigativo permite reforzar los conocimientos adquiridos en áreas como: instrumentación industrial, termodinámica, mecánica de fluidos y control de procesos automatizados.

En la estructuración del documento final se detalla minuciosamente el paso a paso de la construcción y/o adecuación del módulo de pruebas, la elaboración de un manual de operación, mantenimiento y guías prácticas de laboratorio de la asignatura de mecánica de fluidos. Con el fin de ayudar a reforzar las actividades efectuadas en el laboratorio de la institución, logrando así ofrecer al estudiantado un mecanismo en el que pueda plasmar los conocimientos teóricos aprendidos durante el ciclo profesional, a fin de mejorar sus habilidades técnicas a través de la ejecución de prácticas en compañía del docente.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Construir un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios basado en las especificaciones técnicas del diseño en Solidworks.

1.3.2. Objetivos específicos

- Ensamblar los componentes del banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios teniendo en cuenta la ubicación geométrica del diseño en Solidworks.
- Diseñar un sistema para el control de la velocidad de fluido a través del banco de pruebas de pérdidas de carga.
- Visualizar la simulación del banco de pruebas mediante la versión DEMO del software Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (Labview) para la comparación de los datos simulados con los de operación.
- Generar tres guías prácticas para la comunidad educativa considerando la operación y mantenimiento del banco de pruebas de pérdidas de carga.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

A continuación, se presentan algunos trabajos relacionados con el tema de simulación de pruebas para el análisis de pérdidas de carga, los cuales serán de gran ayuda al aportar ideas y servir como referencia para la realización de la presente investigación.

Montserrat (2015) presentó el estudio de las pérdidas de carga para fluidos no newtonianos de ley de potencia en régimen laminar. Logró identificar los mecanismos físicos que gobiernan la deposición de partículas en el fondo de conductos cerrados para algunos tipos de líquidos con comportamiento no newtoniano.

En el diseño, construcción y puesta en marcha de la instalación experimental formada por un sistema de tuberías cerrado por el cual escurre una mezcla compuesta por partículas y un fluido no newtoniano (Montserrat, 2015). Determinó la pérdida de carga a lo largo de una tubería para mezclas sólidos líquido hiper-concentradas. En el que encontró una expresión validada experimental que permitió conocer las pérdidas de carga y la velocidad de depósito para mezclas sólidos líquido no newtonianas.

Montserrat (2015) Los experimentos que realizó en laboratorio, mostraron que para las mezclas sólidos líquido no newtonianas, los sólidos se mantienen en suspensión en regímenes laminares incluso a Reynolds ~ 100 . Lo cual dio pie, a un cambio en los objetivos iniciales indicados en su proyecto, pues no se han encontrado en la literatura estudios relacionados a este fenómeno para partículas no cohesivas ni coloidales. El fenómeno, fue explicado mediante flujos de difusión hidrodinámica en donde las partículas se mueven de zonas de mayor a menor concentración, viscosidad y esfuerzo de corte.

Calderón (2011) expuso para el diseño y la construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación, para el control de las variables. Diseñó un sistema basado en la técnica del estrangulamiento con la ayuda de una válvula manual.

La adquisición de datos lo realizó observando los diferentes manómetros ubicados en cada tramo, tomando una temperatura aproximada de 20°C para obtener las propiedades físicas del agua, como la viscosidad y la densidad. El caudal se lo toma directamente del rotámetro (Calderón & Pozo, 2011). Asumiendo la posibilidad de controlar dos variables: caudal y presión. Para el control del caudal y de la presión implementó un sistema de lazo cerrado, en el cual el agua circula desde y hacia el tanque de reserva, utilizando un rotámetro para la medición del caudal, la medición de presión la realizó por medio de los manómetros.

Calderón (2011) mencionó que para cumplir con su objetivo, diseñó un banco de pruebas que cuenta con sistemas de tuberías por el que circula agua impulsada por una bomba. Siendo funcional y útil para el aprendizaje de quienes realizan prácticas en el laboratorio.

Rolando & Xavier (2012) menciona en su proyecto de grado el cual tiene como objetivo proveer un laboratorio de fluidos de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios, que sea funcional y útil para el aprendizaje de quienes realizan prácticas en este laboratorio. Para cumplir el objetivo, se diseñó un banco de pruebas que cuenta con sistemas de tuberías por el que circula agua impulsada por una bomba. Se tiene la posibilidad de controlar dos variables: caudal y presión. Para el control del caudal y de la presión se implementó un sistema de lazo cerrado, en el cual el agua circula desde y hacia el tanque de reserva, se utiliza un rotámetro para la medición del caudal, la medición de presión se la realiza por medio de los manómetros.

El control de las variables de diseño un sistema basado en la técnica del estrangulamiento con la ayuda de una válvula manual. La adquisición de datos se lo realiza observando los diferentes manómetros ubicados en cada tramo (Rolando & Xavier, 2012). Establece que se tomó una temperatura aproximada de 20°C para obtener las propiedades físicas del agua, como la viscosidad y la densidad. El caudal se lo toma directamente del rotámetro

El proyecto fue diseñado y construido para proporcionar un sistema funcional, flexible y capaz de incrementar los conocimientos a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica sobre el cálculo de pérdidas de carga en tuberías y accesorios. La construcción fue diseñada de tal manera que sus elementos puedan ser analizados, siendo así útil para realizar la comparación entre diferentes tipos de tuberías y accesorios (Rolando & Xavier, 2012).

Está demostrado que el aprendizaje en las personas se hace más fácil cuando se enseña, no sólo la teoría, sino también con ayudas didácticas como por ejemplo experimentos o prácticas de laboratorio, que permitan comprobar las teorías expuestas en las aulas de la clase (Santos, 2013). Explica que “más que enseñar ciencias, como paquetes dogmáticos ya hechos, se trata de enseñar a hacer ciencia, a producir y reproducir críticamente los conocimientos, a apropiarlos y a elaborarlos”.

El proyecto está enfocado al estudio de las válvulas de control hidráulico, principalmente las válvulas reductoras de presión utilizadas en los sistemas de abastecimiento, es decir, en conducciones cerradas. Como señala León (2004), las conducciones forzadas se estudian en laboratorios empleando bancos de pruebas de tuberías y accesorios que hacen que el estudiante pueda asimilar, mediante la investigación, las leyes que rigen el movimiento del líquido en conductos a presión, adquirir experiencias con la manipulación de válvulas, bombas, aforar gastos, medir presiones, para así poder llegar a sus propias conclusiones (Santos, 2013).

Santos (2013) concluye que las válvulas de control hidráulico son dispositivos de gran importancia en los sistemas de abastecimiento de agua potable por lo que el banco de pruebas construido será útil en el proceso de aprendizaje de los ingenieros civiles de la Pontificia Universidad Javeriana. Empleando el banco de pruebas construido se elaboraron las guías del estudiante, las cuales pueden emplearse en la asignatura de Laboratorio de Hidráulica de la Carrera de Ingeniería Civil.

En el año de 1999 la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander realizó un proceso de auto evaluación propuesto por el Sistema Nacional de Acreditación, con el fin de alcanzar una mayor calidad en el programa que ella ofrece, encontrándose como una de las principales debilidades en el ámbito de los procesos académicos la obsolescencia, desactualización y operación inadecuada del 50% de sus Laboratorios.

La tesis de grado consta de varias fases, Presupuesto de materiales, Soldadura de los sistemas del banco de pruebas, Ensamble de los sistemas del banco de pruebas, Soporte del banco de pruebas dentro del laboratorio, Limpieza del banco de pruebas, Realización de las prácticas en el banco de pruebas.

Se construyó un Banco de pruebas para el estudio del flujo de fluidos en Tuberías, válvulas y accesorios, bombas funcionando en serie y paralelo, el cual permite variar todos los parámetros, tales como velocidad de flujo, diámetro, rugosidad, longitud de tubería y tipo de válvula o accesorio. La configuración del banco se realizó según diseño operando entre los parámetros de $P_{max} = 150$ psi y $Q_{max} = 50$ GPM

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO HISTÓRICO

Escalante (2004), fundamenta que hacia el final de la Edad Media e inicio de la Edad Moderna (entre el siglo XV y el siglo XVIII) cuando afamados científicos e ingenieros como Da Vinci, Mariotte, Pascal, Newton, Euler, Bernoulli, Navier, Darcy y Manning, realizaron grandes aportaciones teóricas y experimentales para el desarrollo de la hidráulica y la hidrodinámica, con un corte teórico, y la hidráulica con una orientación práctica y aplicada. Ambas son antecedentes de la mecánica de fluidos, con enfoques diferentes.

Fue durante el Renacimiento cuando el genio italiano Leonardo da Vinci (1452-1519) enfatizó la importancia de la observación de la Naturaleza, por lo que, en relación con la hidráulica, describió detalladamente fenómenos de chorro, ondas y de turbulencia y sugirió un diseño de maquinaria hidráulica. Fue el primero en formular correctamente el principio de continuidad (la velocidad de un flujo varía en forma inversamente proporcional al área de la sección transversal del mismo).

El primero en realizar un experimento para demostrar que la presión atmosférica determina la altura a la cual se eleva el fluido, en un tubo invertido sobre dicho material. “Este concepto condujo al desarrollo del barómetro fue Evangelista Torricelli (1608 - 1647), También probó que para un tanque, la descarga en un orificio es proporcional a la raíz cuadrada de la altura del líquido sobre el orificio” (Escalante, 2004, pág. 19).

En Francia, el científico Edme Mariotte (1620-1684) realizó un gran número de experimentos relacionados con los fluidos. Se destacaron la utilización de un túnel de viento, las mediciones hidrológicas sobre el río Sena y sus estudios sobre la elasticidad del aire. En la misma época, Blas Pascal (1623-1662) se interesó en los trabajos de Torricelli sobre presión atmosférica, clarificando los principios del barómetro y de la distribución de presiones.

“A la fecha, este último principio (la presión en un punto para un fluido en reposo o en movimiento es independiente de la dirección, siempre y cuando no se presenten esfuerzos tangenciales) se conoce como la Ley de Pascal” (Escalante, 2004, pág. 22).

El científico inglés de la época, Isaac Newton (1642-1727), quien estableció. La Ley de Gravitación Universal", que sostiene: "Los cuerpos se atraen con fuerzas proporcionales al producto de sus masas e inversamente al cuadrado de las distancias entre ellos, realizó diversos experimentos sobre la resistencia que se presenta en los cuerpos en movimiento, debido a la viscosidad, la inercia y la elasticidad de los fluidos; también descubrió la contracción de los chorros en descarga libre. (Escalante, 2004, pág. 23)

Escalante (2004) establece que, Daniel Bernoulli fue el segundo hijo de Johan y contemporáneo e íntimo amigo de Leonhard Euler, con quien trabajó en colaboración; aun cuando sus primeros estudios los realizó en medicina, posteriormente se dedicó a las matemáticas y a la física, especialmente a la hidrodinámica y fue él quien acuñó el término. Sus trabajos más importantes fueron presentados en su libro Hidrodinámica, publicado en 1738, en el cual planteaba las bases para un gran número de desarrollos posteriores, como la teoría cinética-molecular de los gases y la ley de la conservación de la energía.

Leonhard Euler (1707-1783), suizo de nacimiento, fue uno de los escritores más prolíficos en el campo de las matemáticas de esa época; fue alumno de Johan Bernoulli y amigo de Daniel Bernoulli. Aunque sus aportaciones principales fueron en las matemáticas puras, también realizó aportaciones a la hidrodinámica, tales como la descripción de la presión en el flujo de los fluidos, la formulación de las ecuaciones básicas del movimiento de los mismos que, posteriormente, serían conocidas como el teorema de Bernoulli; también introdujo el concepto de cavitación y algunos principios asociados a la turbo maquinaria. (Escalante, 2004, pág. 26)

Gómez (2004) indica que la medición de caudales es una ciencia cuya práctica se remonta a la Antigüedad, hacen historia la medición efectuada en babilonia, para determinar los escurrimientos de los ríos Éufrates y Tigris, así como los surtidores de Roma; descrito por el comisionado de aguas Frontinuos 310 años AC, el cual estableció un ejemplo para los futuros administradores de agua, por la decisión y honestidad de las obligaciones en las obras que desarrollo, además de su carácter enérgico para la realización de las actividades.

El problema más serio consistía en la determinación de la velocidad del agua dentro de las corrientes liquidas, tanto en flujo de canales abiertos o en tubos cerrados, limitándose a efectuar comparaciones en corrientes de agua únicamente por el área de sección transversal, omitiéndose las cargas y las velocidades de las corrientes. “Se considera la hidrométrica como una de las partes más importantes de la hidráulica, debido que se efectúan medida de tirantes, variaciones del nivel del agua, secciones de escurrimiento, presiones, velocidades y caudales” (Gómez, 2004, pág. 7).

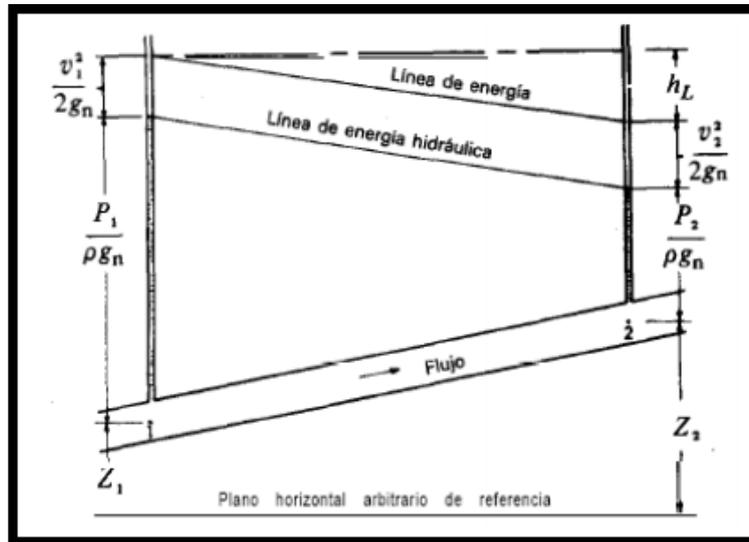
2.2. MARCO TEÓRICO

Ecuación general de energía teoría de bernoulli

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. (Rolando & Xavier, 2012, pág. 22) menciona que la energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad, es decir:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H \quad \text{Ecuación 1}$$

Figura 1. Balance de energía



Fuente: CAIDERON, Jaime. Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Quito, 2012, Pág. 23.

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aporta o se toma ninguna energía del sistema de tuberías (bombas o turbinas), la altura total H en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía puede escribirse para dos puntos del fluido, según se indica en el ejemplo de la figura 1. Nótese que la pérdida por rozamiento en la tubería desde el punto uno al punto dos (h_L) se expresa como la pérdida de altura en metros de fluido (pies de fluido). La ecuación puede escribirse de la siguiente manera:

$$\frac{p_1}{\rho_1 g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho_2 g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad \text{Ecuación 2}$$

Todas las fórmulas prácticas para el flujo de fluidos se derivan del teorema de Bernoulli, con modificaciones para tener en cuenta las pérdidas debidas al rozamiento.

- **Medida de presión:** la relación entre las presiones absoluta y manométrica. El vacío perfecto no puede existir en la superficie de la Tierra, pero es, sin embargo, un punto de referencia conveniente para la medición de la presión.
- **Presión barométrica:** Es el nivel de la presión atmosférica por encima del vacío perfecto.
- **Presión atmosférica normalizada:** Es 1.01325 bar (14.696 libras/pulg²) o 760 mm de mercurio.
- **Presión manométrica:** Es la presión medida por encima de la atmosférica, mientras que la presión absoluta se refiere siempre al vacío perfecto.
- **Vacío:** Es la depresión por debajo del nivel atmosférico. La referencia a las condiciones de vacío se hace a menudo expresando la presión absoluta en términos de altura de columna de mercurio o de agua. Las unidades utilizadas normalmente son milímetros de mercurio, micras de mercurio, pulgadas de agua y pulgadas de mercurio.

La construcción del banco de pruebas permite el análisis y el cálculo de pérdidas de carga debido a la fricción en tuberías y accesorios, la importancia del estudio del comportamiento de los flujos a través de tuberías y accesorios de diferentes tipos de materiales, teniendo en cuenta el estudio de las leyes del movimiento de los fluidos, teniendo en cuenta las diferentes teorías y ecuaciones expuestas a lo largo de los años.

Efecto Venturi.

Una manera de medir el caudal de un flujo en una tubería consiste en intercalar un estrechamiento, o garganta, a dicho estrechamiento, de extremos ahusados a fin de mantener el régimen estacionario, se le llama tubo de Venturi. La menor

sección del tubo de Venturi hace que aumente la velocidad del fluido. La presión de acuerdo con la ecuación de Bernoulli (Gromer, 2006).

La caída de presión que sufre el fluido al atravesar el tubo de Venturi se denomina efecto Venturi. Tiene muchas aplicaciones en ingeniería, en un medidor de Venturi, las presiones (p y p') en la tubería principal y en el tubo de Venturi se miden con instrumentos adecuados, tales como los manómetros. Gromer (2006) señala que la diferencia de presiones ($p - p'$) está relacionada con la diferencia de (h) de altura del fluido en los manómetros por:

$$p - p' = \rho gh \quad \text{Ecuación 3.}$$

El caudal (Q) es el mismo en la tubería principal que en el tubo de Venturi:

$$Q = Av = A'V' \quad \text{Ecuación 4}$$

“Donde A y A' son las áreas de las secciones rectas de la tubería principal y del tubo de Venturi, respectivamente” (Gromer, 2006, pág. 236). De dicha ecuación se obtiene:

$$V' = \frac{A}{A'} V \quad \text{Ecuación 5}$$

Que al sustituir:

$$\frac{1}{2} \rho \left(\frac{A}{A'} \right)^2 V^2 + P' = \frac{1}{2} \rho v^2 + p \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

$$V^2 = \frac{P - P'}{\frac{1}{2} \rho \left(\frac{A^2}{A'^2} - 1 \right)} \quad \text{Ecuación 7}$$

Así pues, la velocidad del fluido en la tubería principal será de:

$$V = \sqrt{\frac{P-P_1}{\frac{1}{2}\rho \left(\frac{A^2}{A_1^2}\right) - 1}}$$

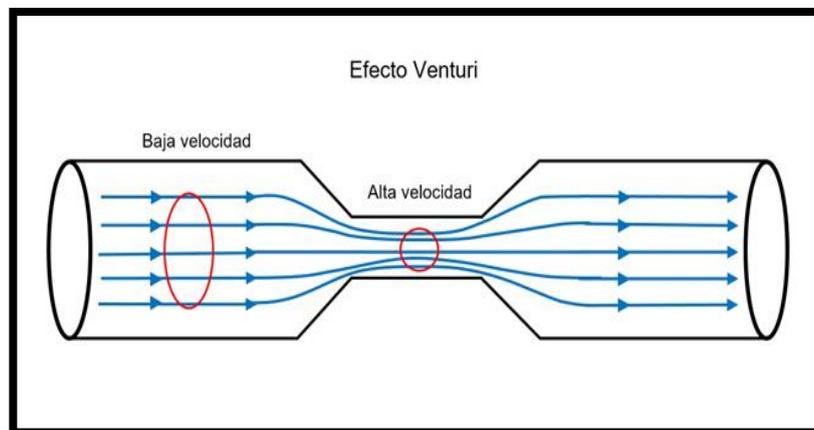
Ecuación 8

Y el caudal será:

$$Q = Av = A \sqrt{\frac{P-P_1}{\frac{1}{2}\rho \left(\frac{A^2}{A_1^2}\right) - 1}}$$

Ecuación 9

Figura 2. Efecto venturi

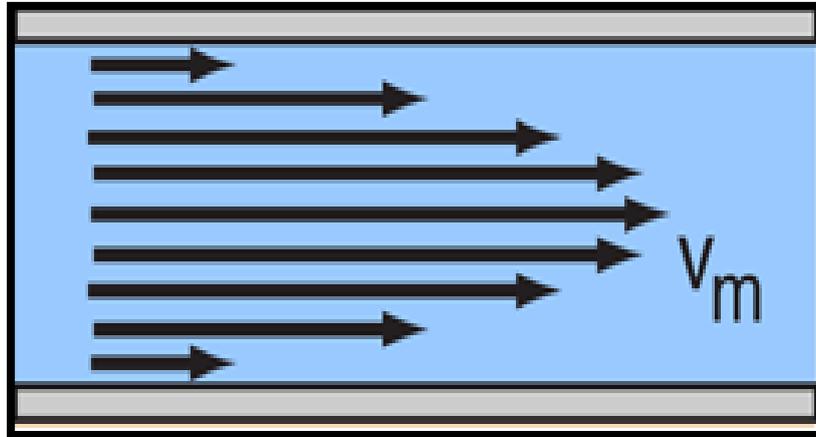


Fuente: GROMER A. Física en la ciencia y en la industria. Barcelona: Mc Graw Hill, 2006, p. 235.

La ley de regímenes.

Está definido por la combinación del efecto de gravedad y del efecto de viscosidad. “Régimen laminar de un flujo cuando tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en línea paralela, sin que se produzca mezcla de materia entre las distintas capas” (Burbano, 2005, pág. 280).

Figura 3. Flujo laminar



Fuente: ERCILLA. Burbano. Física general. España: Tébar, 2005. p. 280.

“Régimen turbulento o Venturi es movimiento de fluido es turbulento cuando el flujo presenta un movimiento desordenado con mezclas intensivas entre las distintas capas” (Burbano, 2005, pág. 280).

$$h_L = \left(f * \frac{L}{D} \right) * \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 10}$$

Al introducir el valor del factor de fricción para un flujo laminar

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad \text{Ecuación 11}$$

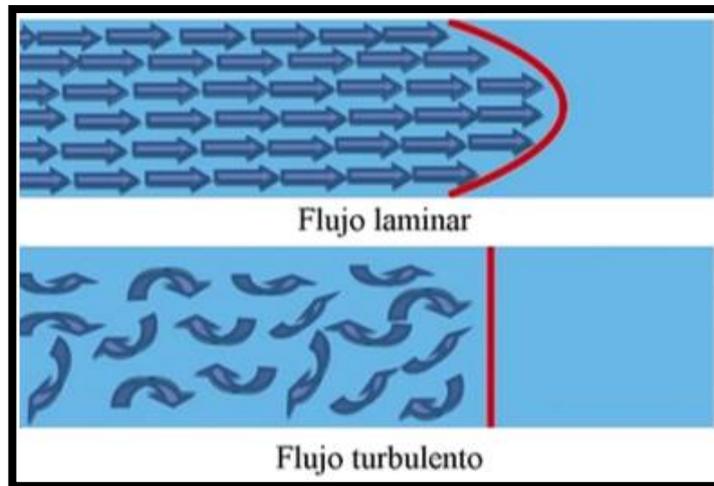
Reemplazando

$$h_L = \left(\frac{64}{\text{Re}} * \frac{L}{D} \right) * \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 12}$$

L= Longitud de tubería en metros (pies)

D= Diámetro interior de tubería en metros (pies)

Figura 4. Flujo turbulento y laminar



Fuente: ERCILLA. Burbano. Física general. España: Tébar, 2005. p. 280.

Velocidad media de flujo: El término “velocidad”, a menos que se diga lo contrario, se refiere a la velocidad media o promedio de cierta sección transversal dada por la ecuación de continuidad para un flujo estacionario (Burbano, 2005).

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$A = \frac{\pi}{4}(D)^2 \quad \text{Ecuación 14}$$

V = Velocidad en metros por segundo m/s

Q = Caudal en metros cúbicos por segundo m^3/s

A = Área en metros cuadrados m^2

D = Diámetro interno del tubo en metros m

Número de Reynolds.

Afirma que las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. El valor numérico de una combinación adimensional de

estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. Factor de fricción para condiciones de flujo laminar ($Re < 2000$) es función sólo del número de Reynolds; mientras que para el flujo turbulento ($Re > 4000$) es también función del tipo de pared de la tubería. (Burbano, 2005, pág. 280)

Así se define el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \text{Ecuación 15}$$

Dónde:

U_s = Velocidad característica del fluido.

D = Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema.

ν = Viscosidad cinemática del fluido

Q = caudal

$\pi = 3.14159$

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Válvulas de control para fluidos

Rolando & Xavier (2012) Mencionan que las válvulas de control, son los elementos finales de control más frecuentes utilizados en el control de procesos que se comportan como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada. Es un elemento mecánico que puede abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

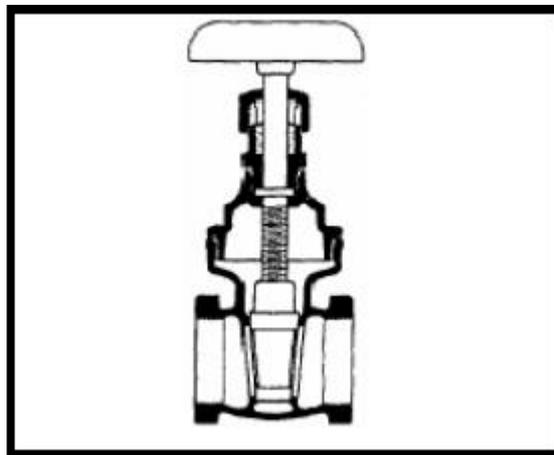
Tipos de válvulas

No existe una válvula universal ya que los requisitos en la industria son muy variables, pero se han desarrollado con el paso de los años innumerables diseños (Rolando & Xavier, 2012). Indican que casi todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas machos, válvulas de retención y válvulas de desahogo (alivio).

Válvula de Compuerta

La válvula es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.

Figura 5. Válvula de compuerta



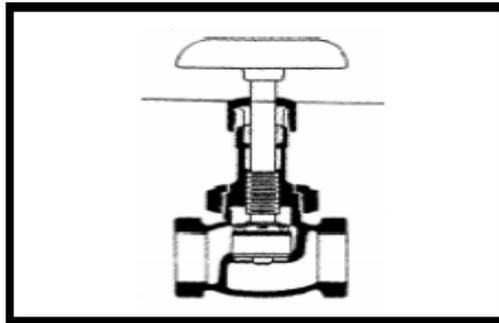
Fuente: CAIDERON, Jaime. Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Quito, 2012, Pág. 10.

La válvula tiene una resistencia mínima a la circulación y es recomendada para la función de todo o nada o para regular sin estrangulación y en usos pocos frecuentes. Se las aplica en servicio general, aceites y petróleo, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos. (Rolando & Xavier, 2012, pág. 10)

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 6. Válvula de globo



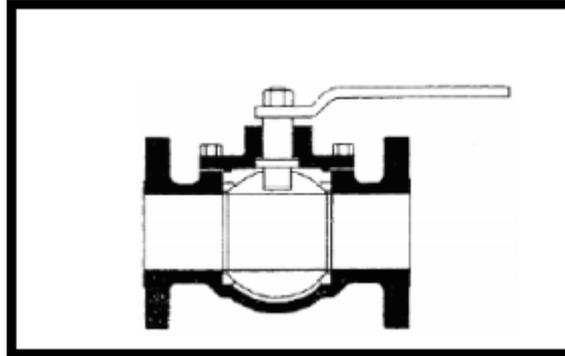
Fuente: CAIDERON, Jaime. Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Quito, 2012, Pág. 10.

La válvula realiza un control preciso de la circulación, aunque presenta cierta resistencia a la misma. Se la recomienda para regular la circulación de un fluido por estrangulación y en accionamientos frecuentes. Se las utiliza para servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos, pastas semilíquidas (Rolando & Xavier, 2012).

Válvula de bola

Las válvulas de bola son de 1/4 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 (Rolando & Xavier, 2012).

Figura 7. Válvula de bola



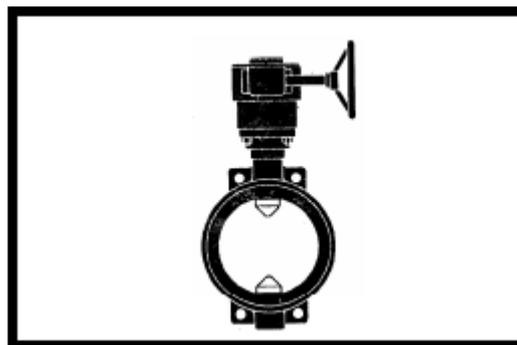
Fuente: CAIDERON, Jaime. Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Quito, 2012, Pág. 11.

Se recomienda en aplicaciones que requieran apertura rápida con resistencia mínima a la circulación, a temperaturas moderadas. Se las utiliza en servicio general y en aplicaciones de pastas semilíquidas (Rolando & Xavier, 2012).

Válvula de mariposa

Rolando & Xavier (2012) comunica que la válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación.

Figura 8. Válvula de mariposa



Fuente: CAIDERON, Jaime. Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Quito, 2012, Pág. 12.

Rolando & Xavier (2012) comunica que la válvula tiene una capacidad con baja caída de presión. Se la recomienda en accionamiento frecuente, en servicio de

control por estrangulación o en función todo o nada y cuando se requiere corte positivo del fluido. Son aplicadas para servicio general con líquidos y gases, en pastas semilíquidas, y líquidos con sólidos en suspensión.

Antonio Crespo (2006), la característica fundamental de los fluidos se denomina fluidez. Un fluido cambia de forma de manera continua cuando está sometido a un esfuerzo cortante, por muy pequeño que sea este, es decir, un fluido no es capaz de soportar un esfuerzo cortante sin moverse durante ningún intervalo de tiempo. Unos líquidos se moverán más lentamente que otros, pero ante un esfuerzo cortante se moverá siempre. La medida de la facilidad con que se mueve vendrá dada por la viscosidad, con la acción de fuerza de rozamiento.

Descripción de un fluido.

Se define que, para la descripción del movimiento de un fluido se recurre a las leyes de generales de la mecánica (leyes de newton, leyes de la conservación de la cantidad de movimiento y la energía), junto con relaciones específicas condicionadas por la fluidez. A escala microscópica la materia, y en particular un fluido se encuentra compuesto de moléculas a cierta distancia promedio con espacio vacío entre ellas. Estas moléculas están continuamente moviéndose y colisionando entre sí. Un análisis exacto del problema debería tener en cuenta la acción de cada molécula o grupos de moléculas en el fluido. (Crespo, 2006, pág. 350)

El procedimiento, con algunas simplificaciones importantes es el que adopta la teoría cinética y en mecánica estática, pero es aún demasiado complejo para utilizarlo en el trabajo diario de hidráulica (Crespo, 2006). En la mayor parte de los cálculos hidráulicos, el interés está realmente centrado en manifestaciones macroscópicas promedio que resultan de la acción conjunta de una gran cantidad de moléculas, manifestándose como la densidad, la presión o la temperatura.

En la práctica es posible hacer una simplificación importante, suponer que todas las manifestaciones son el resultado de la acción de una hipotética distribución continua de materia, a la que se denomina el continuo, o el medio continuo, en lugar de estudiar el conglomerado real de las moléculas discretas, de mucha mayor complejidad (Crespo, 2006). De dicha forma a la hora de estudiar problemas se surtirá la materia real por este medio continuo ficticio, cuya propiedad varía de forma continua y reflejan las propiedades macroscópicas del medio real.

El concepto del medio continuo permite una gran simplificación en el análisis. Po supuesto, el enfoque debe utilizarse únicamente cuando arroje resultados razonablemente correctos. Por ejemplo, no pueden utilizarse cuando el recorrido libre medio de las moléculas es del orden de las magnitudes características del problema. “En estas condiciones, la acción de cada molécula individual es significativa y debe estudiarse individualmente” (Crespo, 2006, pág. 352).

Propiedades de un fluido.

La solución de cualquier problema de flujo de fluidos requiere un conocimiento previo de las propiedades físicas del fluido en cuestión.

Densidad: “Se define como la masa por unidad de volumen. Sus unidades en el sistema internacional son [kg/m³]” (Crespo, 2006, pág. 350).

m= masa

V= volumen

$$P = \frac{m}{V}$$

Ecuación 19

Peso específico: “se define como el peso por unidad de volumen. En el sistema internacional sus unidades son [N/m³]” (Crespo, 2006, pág. 350).

$$r = \frac{P}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = p \cdot g \quad \text{Ecuación 20}$$

Siendo,

Y = el peso específico

P = el peso de la sustancia

V = el volumen de la sustancia

P = la densidad de la sustancia

m = la masa de la sustancia

g = la aceleración de la gravedad

Volumen específico: “Se denomina volumen específico al volumen ocupado por unidad de masa. Sus unidades en el sistema internacional son [m³/kg]” (Crespo, 2006, pág. 351).

$$V = \frac{V}{m} = \frac{1}{P} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde,

V = es el volumen

m = es la masa

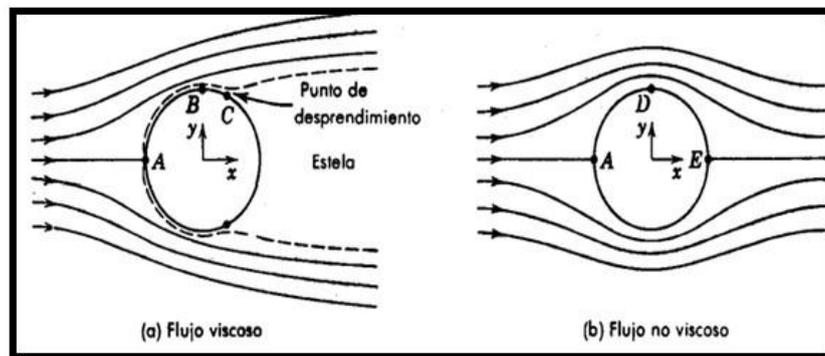
P = es la densidad del material

La viscosidad refleja la resistencia al movimiento del fluido y tiene un papel análogo al del rozamiento en el movimiento de los sólidos. La viscosidad está siempre presente en mayor o menor medida tanto en fluidos compresibles como incompresibles, pero no siempre es necesario tenerla en cuenta. En caso de los fluidos perfectos o no viscosos su efecto es muy pequeño y no se tiene en cuenta, mientras que en el caso de los fluidos reales o viscosos su efecto es importante y no es posible despreciable. (Crespo, 2006, pág. 355)

Flujo viscoso / no viscoso.

El flujo es viscoso cuando aparece en él fluido es importantes debido que las fuerzas de rozamiento que no se pueden despreciar. Como consecuencia de las diferentes fuerzas de rozamiento aparecen unas fuerzas tangenciales entre las capas del fluido en movimiento relativo y hay una disipación de energía mecánica (Mott, 1996). Por el contrario, se dice que el flujo no es viscoso cuando las fuerzas de rozamiento son muy pequeñas o bien no se tienen en cuenta.

Figura 9. Flujo viscoso y no viscoso



Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de fluidos aplicada. México: Pearson, 1996. p. 245.

Medidores de volumen.

Los medidores de volumen y caudal de fluidos han sido clasificados de diversas formas; en el sistema de clasificación más general, los medidores se separan en medidores de cantidad (totalizadores) y medidores de caudal, otra forma de clasificarlos es dividiéndolos según su principio de operación. A pesar de que este sistema describe razonablemente las dos clases de medidores, en la práctica los medidores de caudal son a menudo usados como medidores de cantidad (vórtex, torificio), y los medidores de cantidad son usados en ocasiones como medidores de caudal. (Coulson, 1979, pág. 124)

Para propósitos de calcular el caudal o el volumen total del fluido, se conoce la clasificación de los medidores en: medidores de raíz cuadrada (generadores de presión diferencia) y medidores lineales, la clasificación es más conveniente

puesto que, en general, todos los medidores para los cuales el caudal no es una función de la raíz cuadrada de la presión diferencial son en esencia medidores de escala lineal (Coulson, 1979).

Densidad (Símbolo ρ (Rho)):

“La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen. La unidad de densidad en el SI es el kilogramo por metro cúbico o libras por pie cúbico” (CRANE, 2006, pág. 10).

$$\rho = \frac{1}{V}$$

Ecuación 22

Otras unidades métricas que también se usan son:

Gramo por centímetro cúbico (g/cm^3)

O

Gramo por mililitro (g/ml)

$$g/cm^3 = g/ml = 1000 kg/m^3$$

Volumen específico (Símbolo \bar{V})

“La unidad correspondiente en el sistema SI para volumen específico es el inverso de la densidad, es el metro cúbico por kilogramo (m^3/kg) o (pie³/libra)” (CRANE, 2006, pág. 10).

$$\bar{V} = \frac{1}{\rho}$$

Ecuación 23

A menudo también se usan las siguientes unidades para volumen específico:

Litro por kilogramo ($litro/kg$)

O

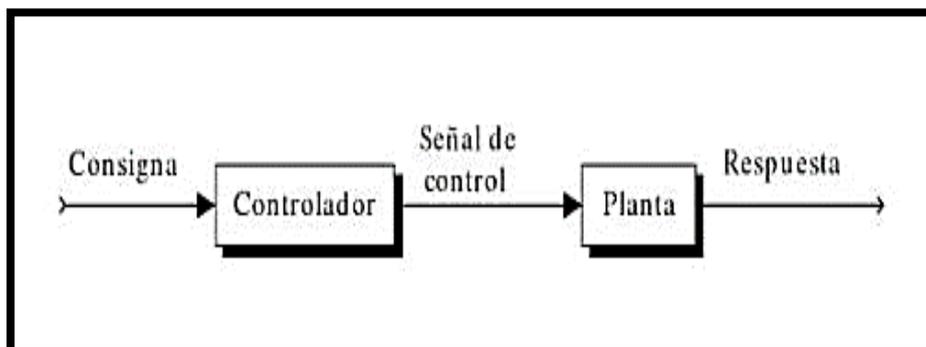
Decímetro cúbico por kilogramo (dm^3/kg)

$$(litro/kg) = (dm^3/kg) = 0.001m^3/kg$$

Sistema de control en lazo abierto

Es aquel esquema de control en el que la salida del proceso a controlar no afecta a la acción de control, por lo que el control en lazo abierto es muy sensible a perturbaciones y variaciones (Bahón & Giner, 2004). Requiere un conocimiento preciso del proceso a controlar y la garantía del correcto funcionamiento del controlador, que no tiene acceso a la salida de proceso, PV. En la figura 10 puede observarse un diagrama de bloques simple representativo de este tipo de control.

Figura 10. Sistema de control en lazo abierto



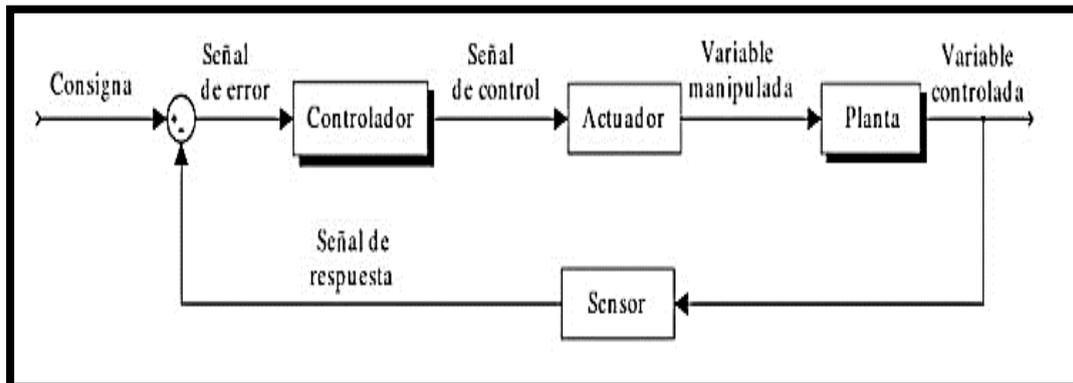
Fuente: Bahón C. & Cristóbal G. Tecnología de sistemas de control, Ediciones UPC,(2016). Pág. 34

Sistema de control en lazo cerrado o realimentado

Bahón& Giner (2004) “El control en lazo cerrado, realimentado o feedback es el mecanismo básico que se utiliza en los procesos, ya sean mecánicos, eléctricos o biológicos, para mantener su equilibrio” (pág. 34). Puede definirse como el uso de una diferencia de señales, determinada comparando el valor real de la variable de proceso y el deseado, como medio para controlar un sistema. La

salida del proceso es utilizada para regular la amplitud de su entrada, razón por la que se denomina sistema de control en lazo cerrado.

Figura 11. Sistema de control en lazo cerrado



Fuente: Bahón C. & Cristóbal G. Tecnología de sistemas de control, Ediciones UPC,(2016). Pág. 103.

Autómata programable

El autómata programable PLC (ProgrammableLogicController), también denominado API (Autómata Programable Industrial), es un conjunto de elementos industriales que constituyen un equipo electrónico a naves del cual pueden controlarse a tiempo real procesos secuenciales para aplicaciones industriales de muy diversos tipos (Viloria, 2011). El autómata programable ha supuesto una innovación tecnológica muy importante en el campo de los automatismos eléctricos. Sustituyendo a las funciones lógicas, que ha sido durante un cuarto de siglo la base de los automatismos industriales.

Sensor

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar señales de determinadas magnitudes (variables o señales de entrada), y transformarlas en otras magnitudes (variables o señales de salida) que usualmente son señales de tensión o corriente y que pueden ser entendidas por un controlador (Monzó, 2014). Las variables de un proceso industrial son aquellas magnitudes que van

a ser controladas y supervisadas, pues afectan directa o indirectamente al comportamiento del sistema automático.

Banco de prueba.

Todo banco de pruebas tiene sus especificaciones dependiendo el trabajo y el flujo que se maneja, ya sea con un (API) alto o bajo según la viscosidad con que se trabaje. Los bancos de prueba traen ciertas características particulares de prueba que son: Los mecanismos de accionamiento de la bomba deben tener velocidades variables. También determinan flujo, presiones, temperaturas y caudal en sus distintas partes del sistema. Estos bancos por diseño deben tener un cuerpo rígido por la presión que pueden presentar. Y se deben utilizar elementos de mucha precisión y exactitud adecuada para todo tipo de pruebas. (Gonzalez, 2009, pág. 12)

2.4. MARCO LEGAL

Art 4. Medición del caudal de fluidos en conductos cerrados.

Normalizar los términos y símbolos apropiados y no conservar términos inadecuados debido a que hayan sido utilizados en el pasado, eliminar cualquier término o símbolo que es utilizado con diversos significados en diferentes países, o por diferentes personas o, incluso, por las mismas personas en diferentes épocas, y reemplazarlo por un término o símbolo que tenga un significado inequívoco (NTC 2062-1, 2013).

Norma ASME-MFC-14M-2001.

La norma limita a dispositivos que se instalan entre la fuente de presión y el elemento sensor de presión y se utilizan para minimizar el efecto de los picos de presión en los instrumentos de detección de presión positiva y negativa. Las válvulas limitadoras están diseñadas únicamente para evitar el paso de presión

excesiva a los instrumentos de detección de presión aguas abajo (ASME 14M, 2001).

Según la ASME 14M (2001) la determinación del ΔP_p en $kg/m^2 s^2$ mediante la lectura del ΔH_p en metros Hg (metros de mercurio) se lleva a cabo mediante:

$$\Delta P_p = \rho_{Hg} * g * \Delta H_p * \left(1 - \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{Hg}} \right) \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde,

ΔP_p = Caída de presión en manómetro de la platina en $kg/m^2 s^2$

ΔH_p = Delta de altura en el medidor de presión diferencial en U en la platina de orificio (metros de mercurio). “Determinación del caudal mediante Bernoulli aplicado a la platina. Teniendo ΔP_p se remplaza en la siguiente formula” (ASME 14M, 2001, pág. 13).

$$Q_{ip} = A_d * \sqrt{\frac{2 * \Delta P_p}{\rho_{H_2O} * \left(1 - \left(\frac{A_d}{A_D} \right)^2 \right)}} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$Q_{ip} = \frac{Q_m}{\rho} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

Q_m = Caudal másico en kg/s

Q_{ip} = caudal ideal (Bernoulli) en platina en m^3/s

$A_d = \frac{\pi * d^2}{4}$: Área del orificio en metros cuadrados m^2

$A_D = \frac{\pi * D^2}{4}$: Área del tubo en metros cuadrados m^2

D= Diámetro interno del tubo

d= Diámetro del orificio

“Determinación del caudal ajustado (Q_p) mediante coeficiente de descarga para platina (C_p). El valor del coeficiente de descarga (C_p) se puede determinar de dos formas la primera mediante formula dada en la norma ASME-MFC-14M-2001” (ASME 14M, 2001, pág. 14).

Caudal ajustado (Q_p): hallado mediante las formula dada en la norma ASME-MFC-14M-2001 es igual

$$Q_p = C_p * Q_{ip}$$

Ecuación 27

Caudal ajustado (Q_p)

$$Q_p = C_p * Q_{ip}$$

Ecuación 28

$$C_p = C * \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}$$

Ecuación 29

ISO 5167. Medición de caudal de fluidos mediante aparatos de presión diferencial.

Cubre la geometría y el método de uso (instalación y funcionamiento, condiciones) de placas de orificio, boquillas y tubos Venturi cuando se insertan en un conducto que se extiende por completo a determinar la tasa de flujo del fluido que fluye en el conducto.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja cuenta con un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tubería y accesorios. Pese a que el equipo es de carácter indispensable en la asignatura, junto a la docente de cátedra se ha evidenciado que este no cuenta con las dimensiones, materiales y circuitos suficientes para dinamizar el estudio del comportamiento de fluidos, sin dejar de lado, que los equipos de medición y/o indicadores se instalaron con valores que superan la presión del sistema y por ende cuando se requiere regular el nivel de presión, estos manómetros no reflejan las variables indicadas.

Considerando lo anterior, para el rediseño del banco de pruebas se tuvo en cuenta la estructura, ya que esta tiene como objetivo soportar todo el sistema de líneas de tuberías y accesorios que constan de diferentes materiales tales como, PVC, hierro galvanizado, cobre, aluminio y de acero inoxidable; al igual, un sistema eléctrico para el accionamiento y protección de la electrobomba. Por último, un tanque de almacenamiento que permite la distribución y recolección del agua que retorna del circuito. A partir de este módulo, se obtuvieron todos los recursos necesarios para el análisis y cálculo del estudio de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.

Uno de los conceptos que se encuentran son los de pérdidas primarias y secundarias, así también la teoría necesaria para comprender el flujo de un fluido en una tubería, las características y propiedades, las diferentes fórmulas para calcular las pérdidas de carga cuando el fluido pasa por la tubería o cuando atraviesa un accesorio como codos, válvulas, té, universales, entrada y salida del tanque, expansiones, contracciones bruscas y graduales.

3.1.ENSAMBLAR LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS TENIENDO EN CUENTA LA UBICACIÓN GEOMÉTRICA DEL DISEÑO EN SOLIDWORKS.

3.1.1. Diseño del banco de pruebas

Teniendo en cuenta que el banco existente en la Uts fue construido de forma limitada, debido a que solo se conformaba por dos tipos de materiales se consideró la adecuación y ampliación del mismo con relación al número de tramos, tipo de material, longitud y diámetro de tubería, permitiendo al estudiante el estudio del comportamiento de un fluido a diferentes condiciones de trabajo.

La variación del diámetro y longitud se efectuó teniendo en cuenta que a partir de estas condiciones de observa un cambio en las perdidas de presión. Además, que se logra configurar la apertura de las válvulas limitadoras del fluido que atraviesa el ducto, y cuando el área de sección transversal disminuye la velocidad la velocidad del fluido aumenta, manteniendo constante el caudal de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$Q = V * A \qquad \text{Ecuación 30}$$

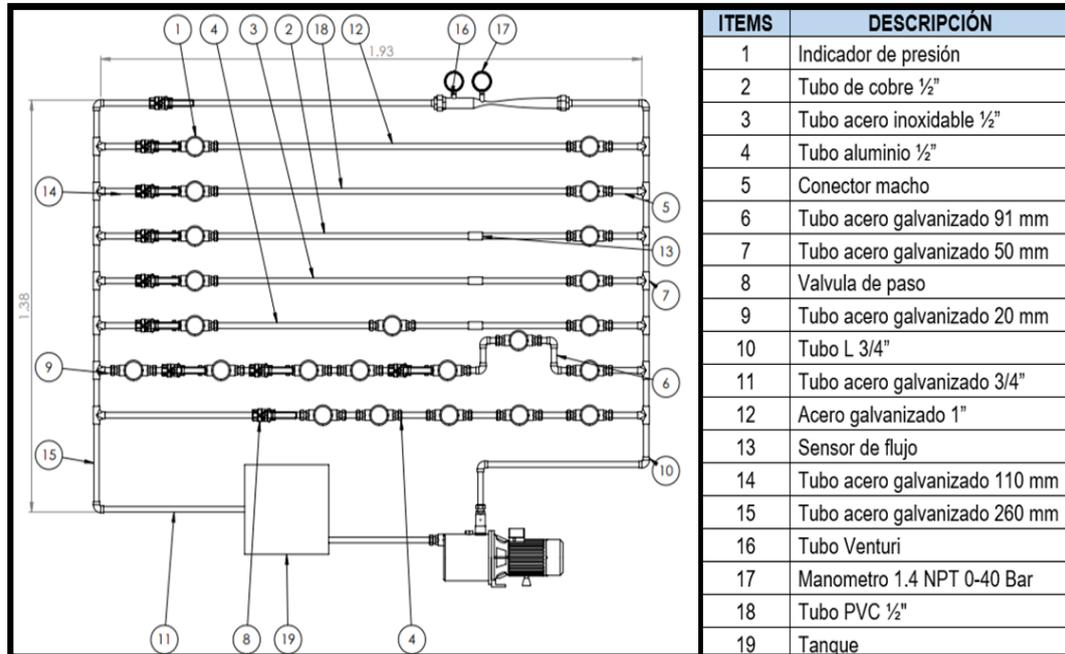
Q= Caudal

V= Velocidad

A= Área sección transversal

El diseño del banco de pruebas fue ejecutado por estudiantes de ingeniería electromecánica, quienes brindaron la herramienta necesaria a los autores del presente proyecto para poder realizar el montaje y ensamble de los nuevos componentes, teniendo en cuenta la ubicación geométrica prevista en los planos derivados del software SolidWorks.

Figura 12. Banco de pruebas análisis de pérdidas de carga en tubería y accesorios

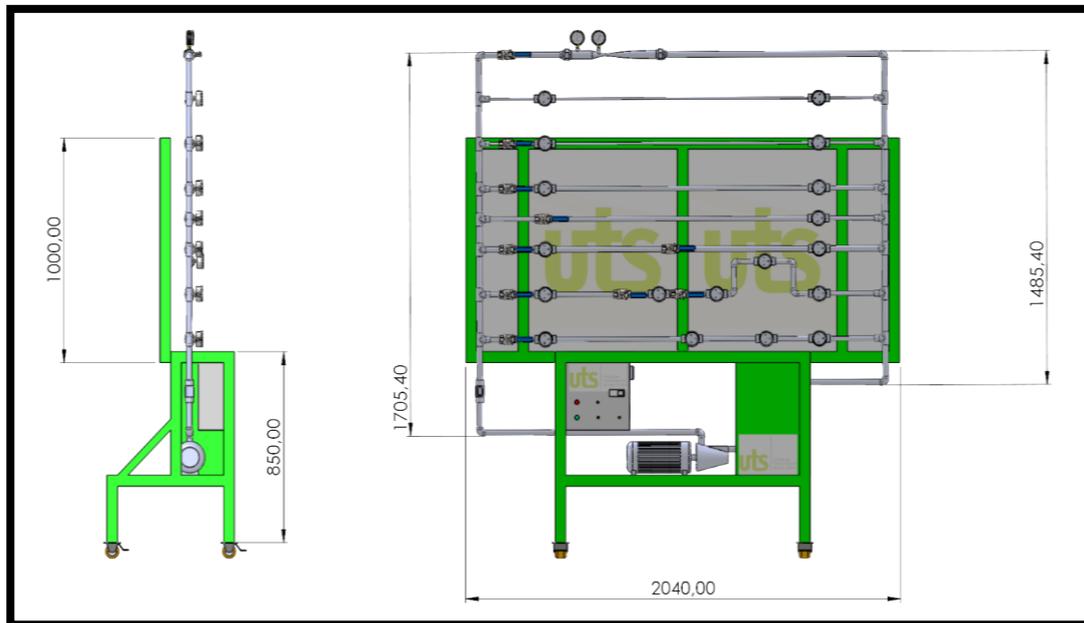


Fuente: Jonatán Silva Rueda & Miguel Cerra Lizarazo. Diseño de banco de pérdidas de carga. Barrancabermeja: Uts, 2020.

La Figura 12 permite conocer las especificaciones de diseño de cada tramo de tubería. Se utilizaron cinco tipos de materiales como lo es acero inoxidable, aluminio, cobre, PVC y acero galvanizado. La selección estuvo dada por los materiales más comunes utilizados para el estudio del comportamiento de fluidos e instalación de sistemas de transporte de fluidos en el sector industrial.

A medida que se adopte menor diámetro, la pérdida de carga continua será mayor y se precisará mayor potencia de motor; e inversamente, a mayor diámetro corresponderá menor potencia, pero mayor coste de materiales. Adicional a lo anterior, la variación de los materiales, longitud y el diámetro de cada tubería considerando que el caudal se mantiene constante, permitió estudiar como varía la pérdida de carga en el equipo a diferentes condiciones.

Figura 13. Estructura del banco de pruebas



Fuente: Autor

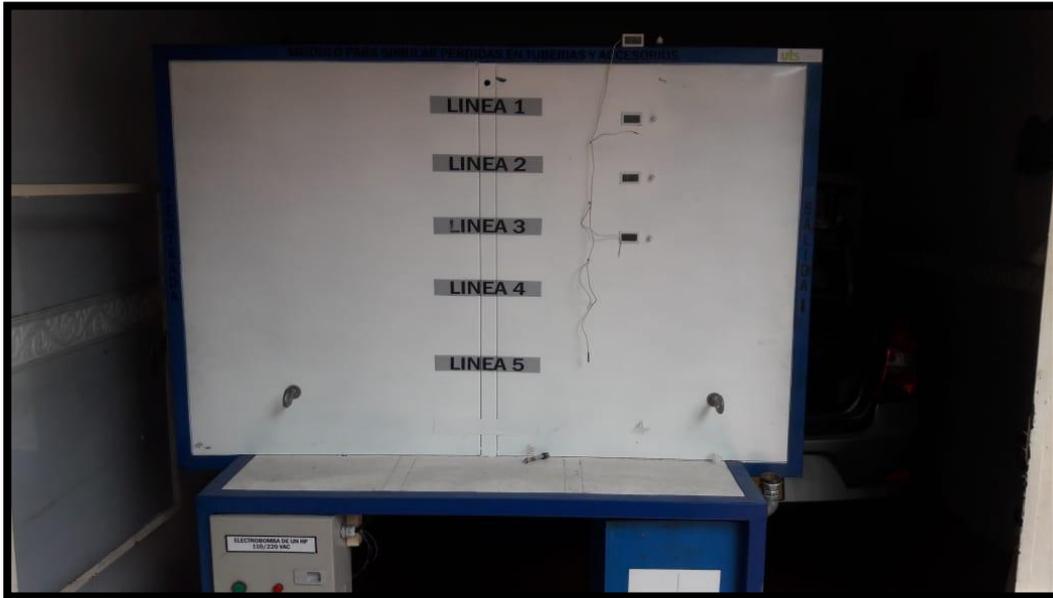
La Figura 13 ilustra las dimensiones geométricas de la estructura metálica, definidas de acuerdo a investigaciones realizadas en el proyecto DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANALISIS DE PERDIDAS DE CARGA EN TUBERIAS Y ACCESORIOS direccionado por los autores Jonatán Silva Rueda y Miguel Cerra Lizarazo (2020). Para el acondicionamiento del banco se amplió el ancho a un valor de 2.40 m y una altura de 1.85 m. La adaptación realizada permitió el acople de la tubería con medidas de 1.93m x 1.70 m como se observa en la imagen.

3.1.2. Ensamble de los componentes del banco de pruebas

El banco de pruebas inicial entregado por parte de las unidades tecnológicas de Santander se encuentra fuera de servicio, en la inspección realizada se pudo constatar que la electrobomba se encontraba con un alistamiento bajo y por tal razón cuando se realizaron las pruebas de funcionamiento se verificó que la presión que generaba el equipo estaba por debajo de los 5 psi en la descarga de la electrobomba, por otro lado la corriente que consumida es de 10 amperios,

encontrándose por encima de la corriente nominal del equipo. Es por tal razón que se decide hacer el cambio de la electrobomba en función de realizar pruebas que se puedan variar la presión del sistema.

Figura 14. Banco de pruebas inicial



Fuente: Autor

De igual forma la pintura muestra un estado del banco de pruebas deteriorado, en partes con oxidación como se observa en la figura 14, se decidió retirar todas las líneas del sistema para la ejecución de la reconstrucción del banco.

Figura 15. Tuberías del banco desmontado



Fuente: Autor

En la figura 15 se puede evidenciar las tuberías del banco desmontado para ejecutar de manera detallada la limpieza necesaria y la expansión de esta, por lo que se realizaron una serie de acciones como el cambio de la cinta PTFE (teflón) para evitar que existan fugas de fluido, además se cambiaron las válvulas y los manómetros para luego ajustarlos adecuadamente, luego se dio paso al proceso de pintado para darle mejor aspecto y evitar la corrosión.

Figura 16. Alargamiento de la estructura



Fuente: Autor

Una vez desmontado la tubería el paso a seguir es alargar o expandir la estructura, se soldó una solapa de lámina en cada costado resultando con un máximo de dos metros (2m) de lado a lado para que el banco de pruebas actualizado encaje sin ningún inconveniente. Una vez esto, se liberó de impurezas con el uso de herramientas como la pulidora y lija, se retiraron los rótulos que indicaban el orden de cada una de las líneas, como se observa en la Figura 16.

Figura 17. Acondicionamiento para pintar la estructura



Fuente: Autor

Con la estructura elaborada se inicia el trabajo de pintura; inicialmente utilizada pintura anticorrosiva de color gris con el disolvente, para ello se utilizó brochas de 2 pulgadas. La aplicación del anticorrosivo fue de una sola capa. El proceso total del secado de la pintura anticorrosiva fue de 36 horas. Más adelante se procede a pintar el módulo con esmalte rápido color verde y blanco; para la preparación de la pintura se utilizó como disolvente de pinturas (Thinner). La aplicación se realizó utilizando brochas 2 pulgadas fue necesario la aplicación de dos capas de pintura; el secado de dicha pintura fue de 48 horas, como lo muestra la figura 17.

Figura 18. Estructura pintada



Fuente: Autor

Para el ensamble de la estructura, se utilizó soldadura revestida 6013 de 3/32” eléctrico manual. La aplicación de la soldadura se basa en puntos continuos que dan forma al cordón encargado de soportar y mantener la estructura en pie. Para el desplazamiento de la estructura, se cuenta con cuatro rodachines, dos de ellos con sistema de seguridad para dar mayor refuerzo a la estructura y evitar desplazamientos inesperados con la capacidad de soportar por encima el total del banco de prueba terminado, la capacidad de los rodachines es de cuarenta kilos (40 Kg) C/U. El acabado desarrollado en la estructura (pintura), deriva al terminado en pintura electrostática en esmalte blanca como se visualiza en la Figura 18.

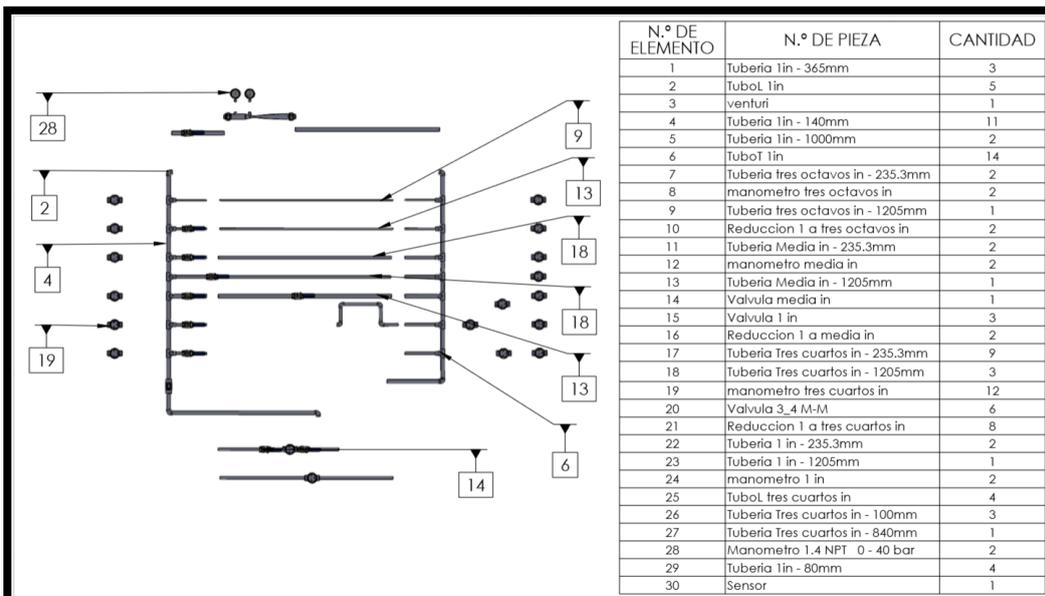
Figura 19. Acondicionamiento de las líneas de tubería



Fuente: Autor

En la figura 19 se puede observar la conexión mecánica que se realizan a las tuberías, se utiliza una llave para tubo de 8 pulgadas para el apriete entre ellas.

Figura 20. Ubicación de accesorios y tubería



Fuente: Autor

En dicha instancia los cambios van de acuerdo con lo establecido en el diseño guía (Ver Figura 20), las líneas fueron reconstruidas con medidas de 1,93 metros cada una, por lo cual se puede garantizar un recorrido mayor al fluido y de esa manera conocer de mejor forma las variables contempladas en el sistema, una de ellas es el flujo laminar que ayuda en la toma de datos de los medidores de presión por la distancia recorridas.

Figura 21. Medidor y contador de flujo



Fuente: Autor

Para una medición clara y registro frecuente del comportamiento del caudal de producto (Agua) que circula por las diferentes líneas de proceso del banco de fluidos, se emplea un instrumento de medición denominado rotámetro de marca Hedland EZ-VIEW del tipo de área anular variable, con un rango lineal de operación de 0 A 65 Litros por minuto o de 0 a 18 Galones por minuto, con una precisión de 5%, instalado en línea con una tubería de diámetro de 1, pulgadas, fabricado en material de termoplástico, el cual fue seleccionado debido a que ofrece una medición exacta y confiable necesarias al momento de dar inicio a la

ejecución de prácticas e identificar las variables medidas. Este sistema consta de un tubo transparente cómo se logra evidenciar en la Figura 21.

Figura 22. Manómetros del diferencial de 0 a 60 psi



Fuente: Autor

El resultado que se obtuvo al implementar los manómetros de cero (0) a sesenta (60) psi reflejados en la Figura 22, en dirección de entrada del fluido que es de derecha a izquierda (manómetro) el cual para este dispositivo consiste en medir la reducción en la sección de flujo del fluido en la tubería, de manera en que represente y/o produzca una caída de presión a consecuencia de la velocidad generada en el banco de tubería. Para el desarrollo de la investigación, hay que tener en cuenta que la medición del flujo es la variable más importante en la operación del banco. Puesto que, sin dicha disposición de medida a la consecución de la prueba, el control efectuado y la operación del banco en su proceso continuo sería imposible realizar cualquier experimento.

Tabla 1. Ficha Técnica de la electrobomba

CONTI CLEAR WATER PUMP			
BOMBA 1.5 HP		N° 41543	
Q: 20 G/min		H: 65 m	
H Max: 45m		Q. Max: 75 L/min	
1 motor	V. 110	Hz. 60	rpm 3450
KW. 0,75	HP. 1,0	In. 9.8 A	1078 W. Max
C. 27 μ F	VL. 450V.	I.C.I B	IP. 44

Fuente: Autor

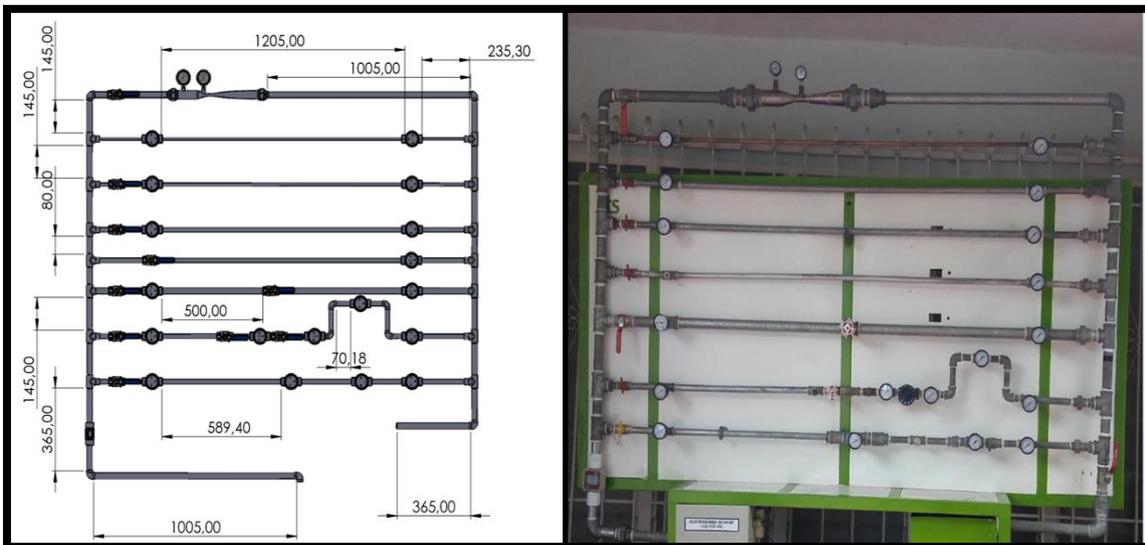
Figura 23. Electrobomba instalada



Fuente: Autor

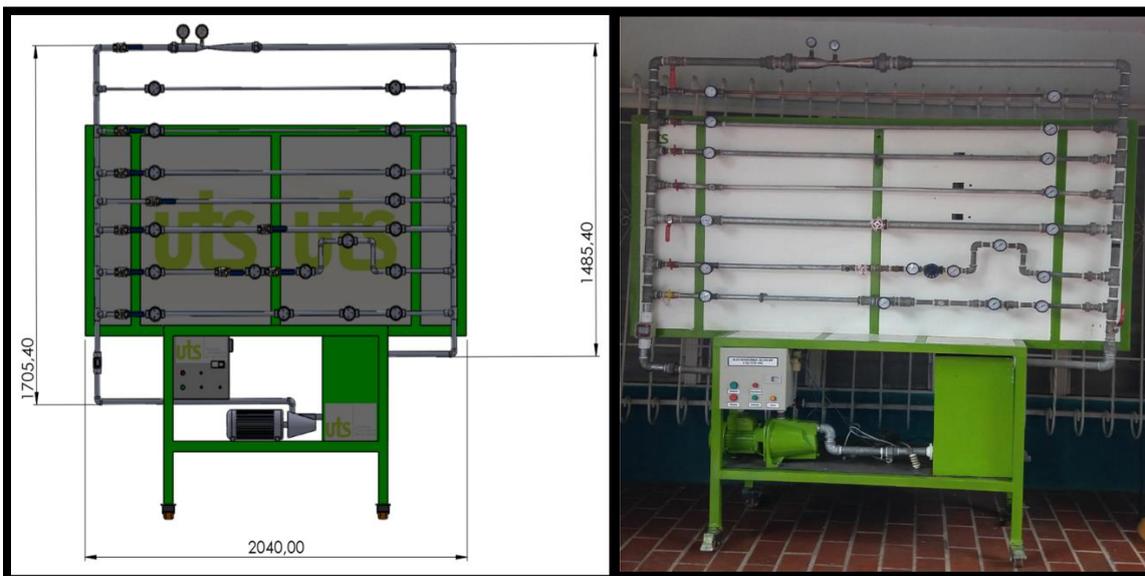
La electrobomba seleccionada debe cumplir con las necesidades de bombeo de una cantidad de agua específica contenida en un tanque de almacenamiento suficiente para suplir las líneas de tubería de prueba y la altura dinámica de bombeo para el sistema hidráulico. La electrobomba seleccionada (Ver características en la tabla 1) es monofásica a 110 V de 1 HP de potencia con caudal de 20 G/min y una altura de 65 m. El anexo 9 permite evidenciar las conexiones eléctricas del motor.

Figura 24. Dimensiones de tubería



Fuente: Autor

Figura 25. Banco final instalado



Fuente: Autor

El banco que se muestra en la figura 24 y 25 es el resultado final del proceso de reconstrucción con el cual se realizan las pruebas operación de la transferencia de fluido, en el banco de pruebas fueron instalados 24 manómetros 60 psi y un medidor-contador de flujo de 20 galones por minuto una electrobomba de 1.5 hp.

3.2. DISEÑAR UN SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE FLUIDO ATRAVÉS DE BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA.

La instrumentación implementada en el banco de pruebas de pérdidas de carga para el control de la velocidad del fluido y monitoreo del comportamiento del mismo en cada tramo de tubería estuvo basado en los siguientes componentes:

- Medidor de flujo K24
- Valvular de apertura y cierre
- Sensor de flujo
- Indicador de presión

3.2.1. Medidor de flujo K24

El panel de control del medidor de flujo K 24 permite el conteo total del flujo de agua que atraviesa el equipo reflejando una medición en unidades de medida de L, Gal, Pts & Qts con rangos de 10 a 120 L/min.

Tabla 2. Datos técnicos

MEDIO	AGUA
Tamaño de salida y entrada	1"
Presión de medición	±1%
Repetición	±0.5%
Presión máxima de trabajo	20BAR
Tensión de trabajo	2.3-3.3v
Rango de caudal	10-120L/min
Cuenta total	0.00-999999.9
Unidad de medida	L, GAL, PTS, QTS

Fuente: Autor

Bajo el estado de espera o la pantalla de carga actual, presione el botón de MENÚ y REINICIAR al mismo tiempo durante S segundos. Ingrese la configuración de conversión de la unidad y presione el botón RESET, elija la unidad de medida por turno de acuerdo con el orden de LTR -GAL — PT — QT

— LTR, mientras que la cantidad de carga acumulada se reproducirá en función de la conversión de la medición actual conversión de unidades. Luego presione el botón MENÚ durante 3 segundos para salir del ajuste de conversión de la unidad.

- **Calibración del coeficiente de error**

Bajo el estado de espera o la pantalla de carga actual, presione el botón MENÚ durante 3 segundos, ingresando el estado de calibración del coeficiente de error. Mientras tanto, cuando aparezca el primer parpadeo digital, presione el botón MENÚ, luego la tecla numérica (desplazamiento del parpadeo digital), presione el botón RESTABLECER, modifique la figura parpadeante actual, de 0 a 9, luego vuelva a 0. La capacidad de la bomba de aceite es Menos cuando se incrementa lo digital; viceversa. Presione el botón MENÚ durante 3 segundos para salir de la calibración del coeficiente de error.

3.2.2. Válvula de apertura y cierre

Para controlar la velocidad del fluido se utilizaron válvulas de paso, ya que estas permiten variar el porcentaje de apertura ya sea un 25%, 50%, 75% o 100%. A partir de cada variación se logra influir en el área de sección transversal afectando directamente el comportamiento del fluido. Esto significa que a menor diámetro se aumenta la velocidad y disminuye la presión. Mientras que a mayor diámetro desciende la velocidad y aumenta la presión.

3.2.3. Sensor de flujo

El objetivo de la instalación del sensor de flujo en la tubería fue determinar cuándo está circulando el fluido. El caudal es la cantidad de líquido o fluido (volumen) que circula a través de una tubería por unidad de tiempo. El sensor posee tres cables: rojo (VCC: 5VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos

del sensor de efecto Hall). Con la ayuda de este sensor se logra monitorear el flujo de agua y realizar la transmisión de datos a un ordenador.

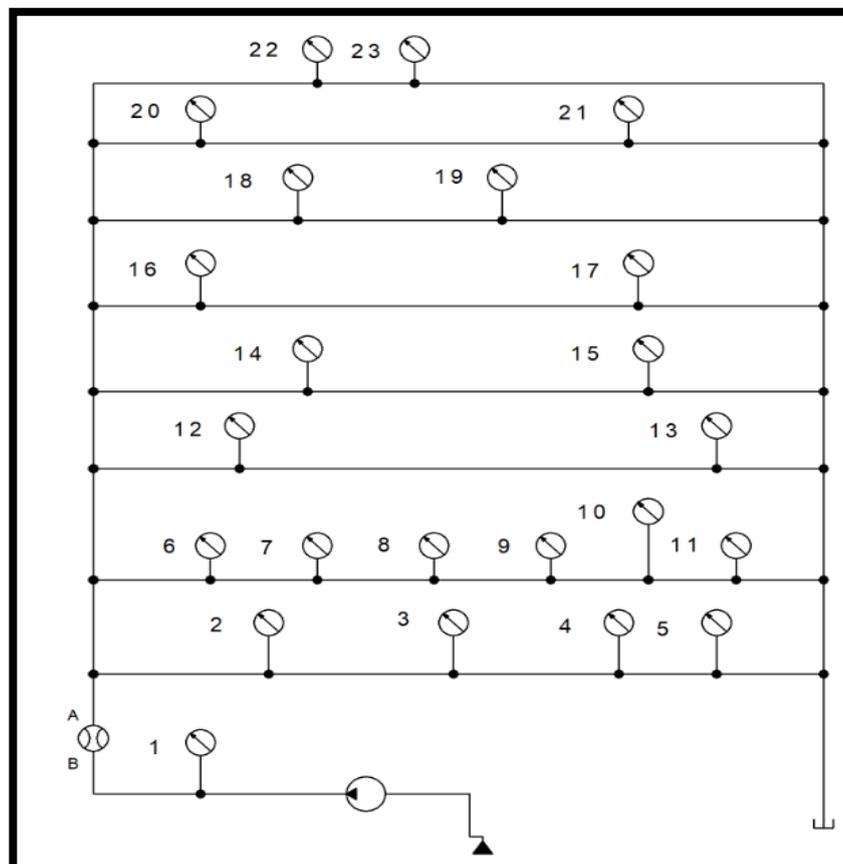
3.2.4. Indicador de presión

Se utilizaron manómetros como instrumento de medida de la presión obtenida en cada tramo de la tubería una vez puesto en marcha el equipo y configurados los porcentajes de apertura de cada válvula.

3.2.5. Plano de la instrumentación del banco de pruebas

A continuación, se describe un plano de la ubicación de los instrumentos que conforman el banco de pruebas:

Figura 26. Diseño de la instrumentación del banco de pruebas



Fuente: Autor

En la Figura 26 se denota el diseño de los equipos de medición, como lo son medidores de presión de 0-60 psi, que se encuentran distribuidos en las líneas, destinados para conocer las pérdidas de presión que se presentan en las tuberías dependiendo el tipo de material y el diámetro, para ello se dispusieron de 23 manómetros, los cuales miden la presión del sistema, cabe aclarar que cuando los manómetros marcan cero, quiere decir que está midiendo la presión atmosférica la cual se aproxima a 14.7 psi.

Por otro lado, se encuentra el medidor y contador de flujo, que está entre el rango de 10 – a 120 litros por minuto, instalado en la descarga de la bomba para conocer el comportamiento del fluido en cada tramo de la tubería. El diseño aquí presentado fue posible utilizar el Software de diseño fluidsims, quien permitió conocer el proceso de simulación del sistema del fluido

3.3. VISUALIZAR LA SIMULACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE LA VERSIÓN DEMO DEL SOFTWARE LABORATORY VIRTUAL INSTRUMENT ENGINEERING WORKBENCH (LABVIEW) PARA LA COMPARACIÓN DE LOS DATOS SIMULADOS CON LOS DE OPERACIÓN.

Mediante el entorno de desarrollo gráfico Labview se llevó a cabo la creación de la simulación del banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tubería y accesorios. La comunicación es realizada a partir de la instalación de un sensor (Ver Figura 27), el cual envía está configurado para enviar las señales al arduino y posteriormente ser captadas por el ordenador (Computador).

Figura 27. Sensor de flujo



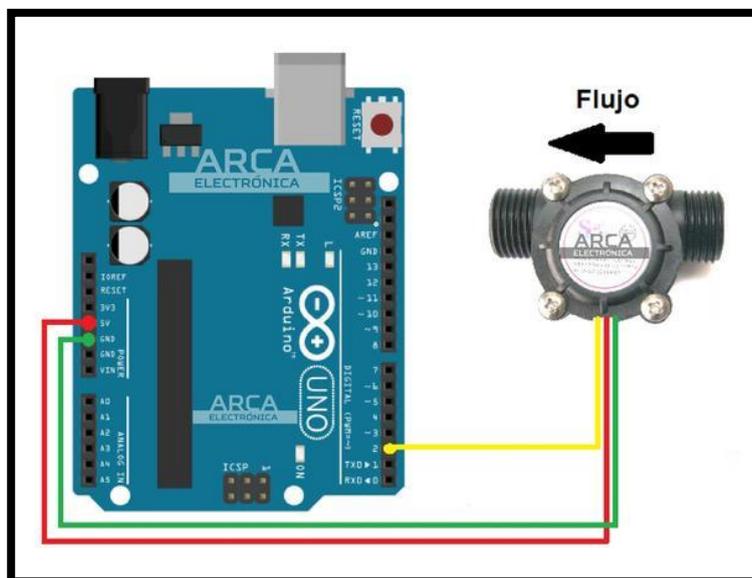
Fuente: <http://www.innovatronics.com.co> [sitio web]. Consultado: 28 octubre 2019

El sensor internamente tiene un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las paletas y con ello el movimiento del rotor, se envía los pulsos por uno de los cables, los pulsos deberán ser convertidos posteriormente a flujo lo cual ya es tarea del Arduino implementado (Calderón & Pozo, 2011).

La salida de pulsos es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) varía entre modelos y depende de la presión, densidad e incluso del mismo caudal.

- Rojo y negro= Alimentación
- Amarillo= Salida de los pulsos

Figura 28. Conexión del sensor con Arduino



Fuente: Conexión arduino medidor de flujo. Disponible en: <https://naylorlampmechatronics.com> [Sitio web] Consultado: 31 octubre 2019

De acuerdo a fuentes bibliográficas consultadas se logró realizar la configuración del arduino y sensor como se puede observar en la figura 28, donde se ilustra el cable amarillo va conectado directamente al pin 2 del Arduino, se utiliza este pin porque en el programa se va a usar la interrupción externa. Se puede usar la misma conexión si se está trabajando con un Arduino Nano, Mini, Mega o Micro, puesto que todas estas placas tienen interrupción externa en el pin 2.

A continuación, se muestra el código utilizado en arduino:

Tabla 3. Código arduino

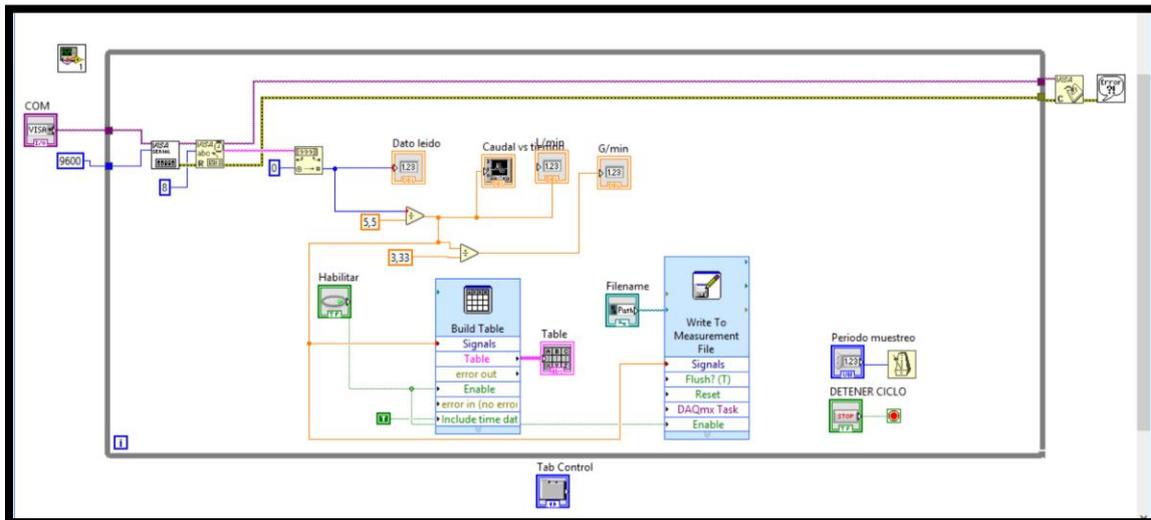
1	<pre> volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos int PinSensor = 2; //Sensor conectado en el pin 2 float factor_conversion=7.5; //para convertir de frecuencia a caudal //---Función que se ejecuta en interrupción----- void ContarPulsos () { NumPulsos++; // Se incrementa la variable de pulsos } //---Función para obtener frecuencia de los pulsos----- int ObtenerFrecuencia() </pre>
2	<pre> { int frecuencia; NumPulsos = 0; //Se coloca a 0 el número de pulsos interrupts(); // Se habilita las interrupciones delay(1000); //muestra de 1 segundo noInterrupts(); //Se deshabilita las interrupciones frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo) return frecuencia; } </pre>
3	<pre> void setup() { Serial.begin(9600); pinMode(PinSensor, INPUT); attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING); //(Interrupcion 0(Pin2),funcion,Flanco de subida) } </pre>
4	<pre> void loop () { float frecuencia=ObtenerFrecuencia(); // Se obtienela Frecuencia de los pulsos en Hz float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; // Se calcula el caudal en L/m float caudal_L_h=caudal_L_m*60; //Se calcula el caudal en L/h //----Se envia por el puerto serie----- Serial.print ("FrecuenciaPulsos: "); Serial.print (frecuencia,0); Serial.print ("Hz\tCaudal: "); Serial.print (caudal_L_m,3); Serial.print (" L/m\t"); Serial.print (caudal_L_h,3); Serial.println ("L/h"); } </pre>

Fuente: Conexión arduino medidor de flujo. Disponible en: <https://naylorlampmechatronics.com>
[Sitio web] Consultado: 31 octubre 2019

Si la medición no es correcta una forma de corregir es aumentar o disminuir el factor de conversión hasta lograr una medición más precisa.

Por otra parte, las señales captadas por el arduino son enviadas al computador, el cual mediante el software Labview permite observar de forma gráfica el comportamiento de los datos registrados.

Figura 29. Diagrama de bloques

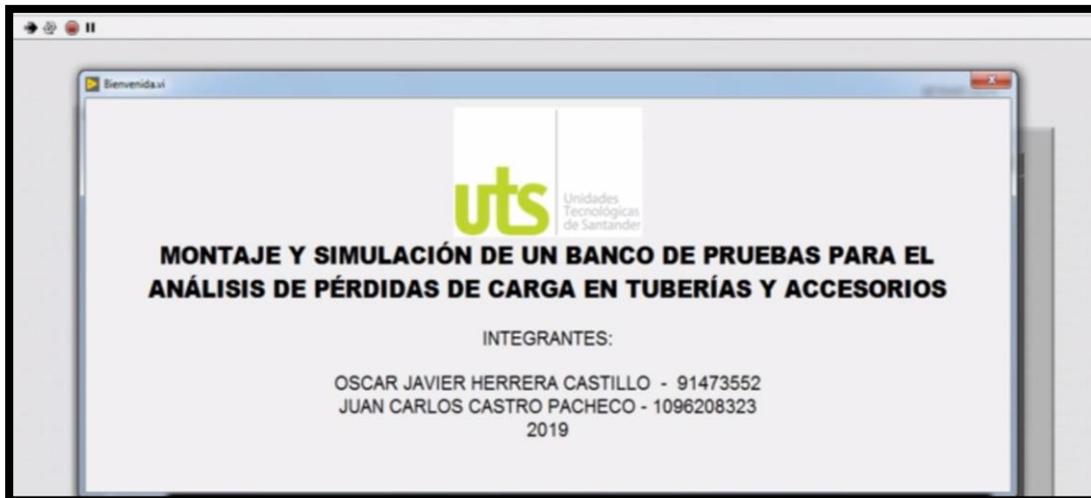


Fuente: Autor

La Figura 29 ilustra el diagrama de bloques del programa, realizado a partir de la paleta de controles la cual contiene los indicadores requeridos para diseñar el panel frontal. Dicha ventana está dividida por categorías orientadas a la transmisión de entradas y recibir salidas de acuerdo a la interfaz gráfica de usuario. Los controles permiten el uso de botones y secuencias, simular dispositivos de entrada, suministrar datos mediante diagramas y finalmente los indicadores son secuencias de estado.

Los objetos utilizados en el diagrama de bloques incluyen terminales, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales se encargan de transferir datos junto con otros objetos del diagrama de bloques. A partir de la creación de la ventana del panel frontal, se ingresa el código utilizando representaciones graficas que permitan el control de los objetos.

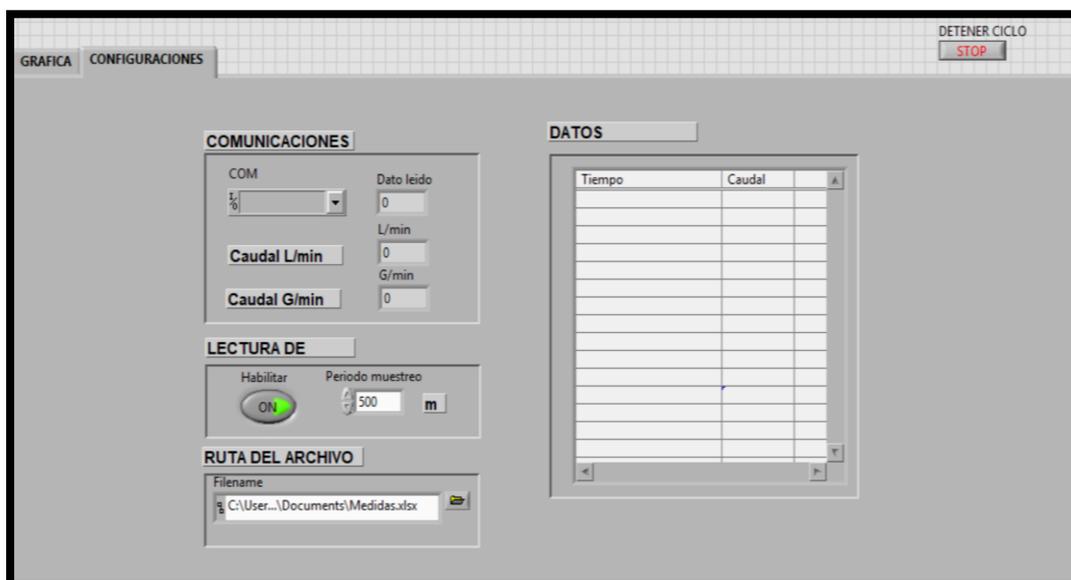
Figura 30. Ventana principal



Fuente: Autor

Una vez abierto la aplicación, se selecciona en la parte superior izquierda la opción de la flecha (→) correr, surgiendo la ventana evidenciada en la Figura 30 donde se ilustra el título e integrantes del proyecto.

Figura 31. Configuración de la comunicación y ruta de archivo



Fuente: Autor

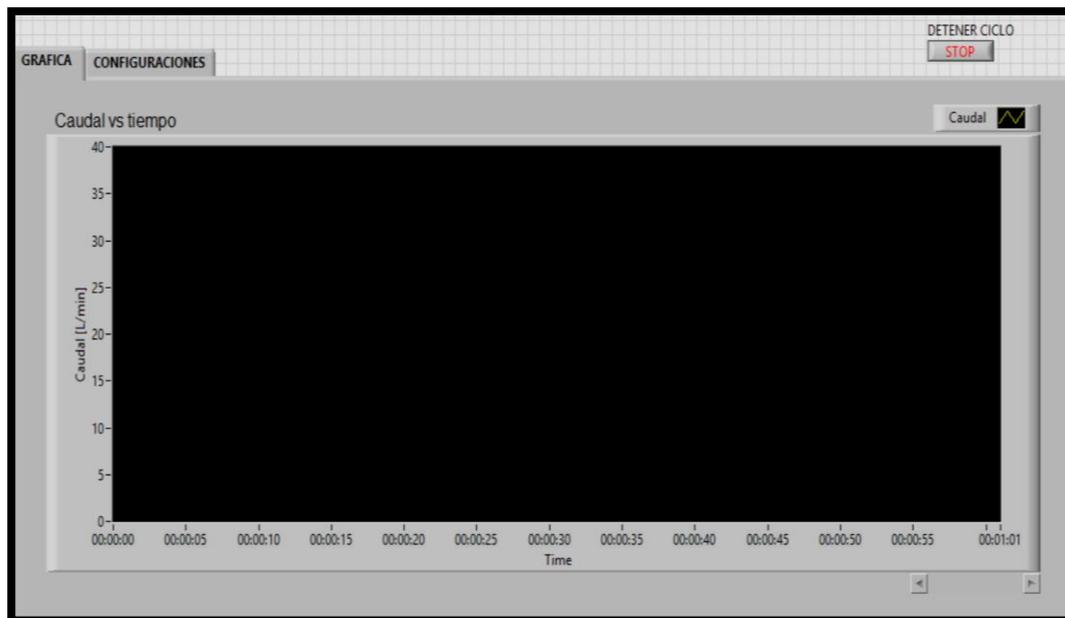
Posteriormente, se observa la ventana con dos opciones. **GRÁFICA Y CONFIGURACIONES.**

La opción de configuraciones se compone de los siguientes items:

- COM: Puerto de comunicaciones
- Datos leídos
- Caudal LPM
- Caudal GPM
- Habilitar Lectura
- Ruta del archivo
- Cuadro de datos leídos

Por otro lado, la opción de Grafica se compone de (Ver Figura 31)

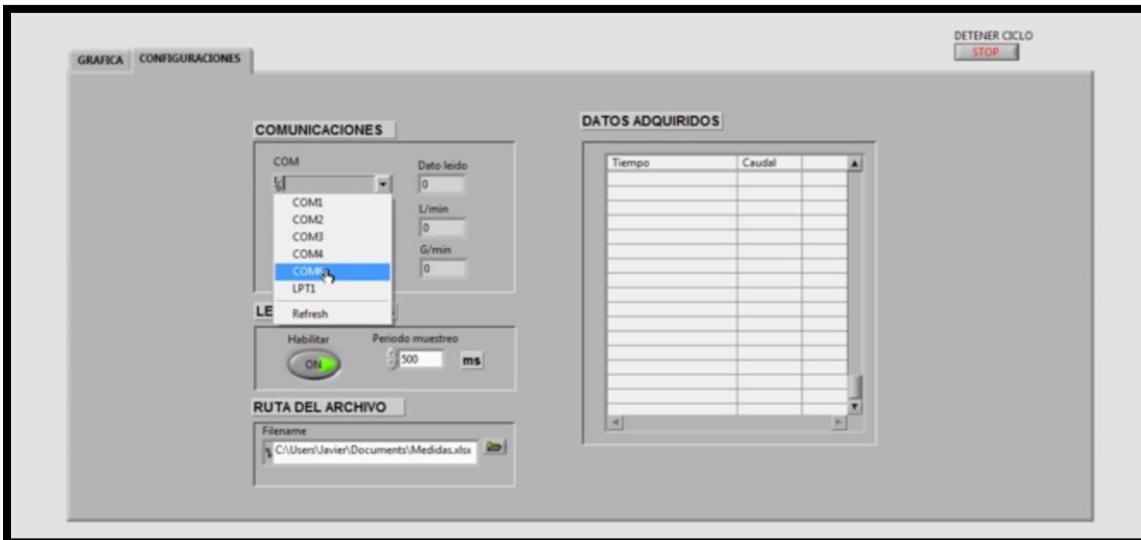
Figura 32. Ventana de gráfico



Fuente: Autor

La ventana de gráfica evidenciada en la Figura 32 permite ilustrar el comportamiento de los datos registrados de caudal (L/min) vs tiempo. Dicha ventana es la interfaz de usuario.

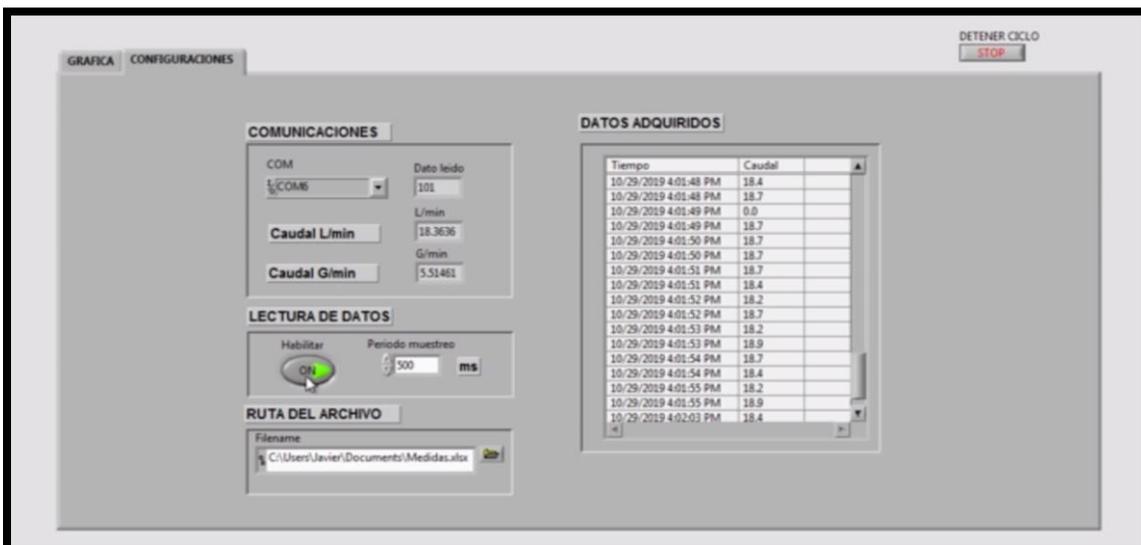
Figura 33. Configuración de puerto COM



Fuente: Autor

El puerto de comunicaciones es un factor elemental al momento de accionar el programa ya que este permite verificar el serial de conexión de la computadora con un dispositivo periférico como lo es el arduino. En este caso, se trabajó con el COM6 como se observa en la Figura 33.

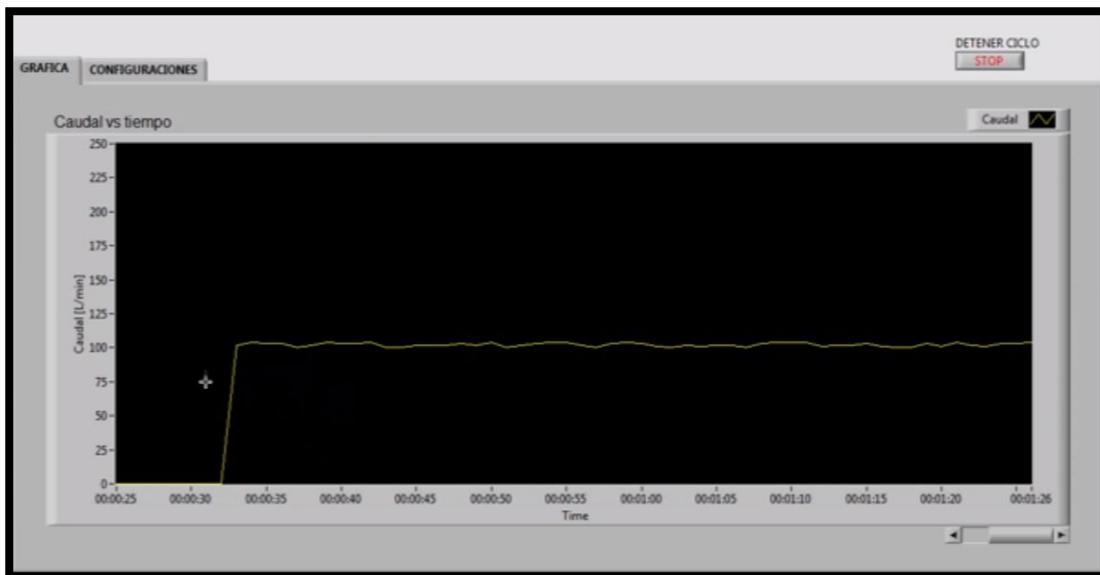
Figura 34. Lectura de datos



Fuente: Autor

La opción habilitar permite que el usuario tenga la opción de visualizar o no los datos registrados. Asimismo, se permite la generación de reportes, lo cual se efectúa a partir de la selección de un archivo EXCEL donde se muestra el caudal calculado en Lpm y G/min. La información recopilada permite ser exportada a programas como Matlab.

Figura 35. Visualización del comportamiento de los datos Caudal Vs Tiempo



Fuente: Autor

3.4.GENERAR TRES GUÍAS PRÁCTICAS PARA LA COMUNIDAD EDUCATIVA CONSIDERANDO LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA.

El presente objetivo se establece un paso a paso que se deben seguir para el desarrollo de las diferentes actividades. Los elementos que usualmente forman una instalación hidráulica son las tuberías encargadas de transportar el fluido y los denominados accesorios (codos, válvulas, tee, contracciones y expansiones bruscas y graduales) cuya misión es separar, cambiar la dirección o regular de alguna forma el flujo.

Comúnmente se separa el estudio de las pérdidas de carga en conductos denominadas también perdidas primarias o de fricción de aquellas que se producen en los accesorios denominadas pérdidas secundarias. Las primeras son debidas a la fricción y cobran importancia cuando las longitudes de los conductos son considerables. Las segundas por el contrario se producen en una longitud relativamente corta con relación a la asociada con las pérdidas por fricción y se deben a que el flujo en el interior de los accesorios es complejo produciéndose una gran disipación de energía para que el flujo vuelva a la condición normal.

La realización de estos estudios es motivada por la convicción de los fabricantes de que los datos existentes desde hace décadas sobre rugosidad y pérdidas de carga de los tubos de acero galvanizados, inoxidable, cobre, PVC, aluminio entre otros son en la actualidad ampliamente mejorados como consecuencia de la progresiva implantación a lo largo del tiempo de métodos, tecnología y sistemas de calidad sensiblemente optimizados. Con el fin de mejorar las características hidráulicas de los tubos y realizar una valoración comparativa En la actualidad predominan a nivel comercial e industrial una gran variedad de tuberías y accesorios de diferentes características, diámetros y material.

Este manual contiene la información necesaria para que el estudiante desarrolle de una manera organizada y técnica las diferentes guías facilitadas por el profesor, teniendo en cuenta la información de diferentes bibliografías especializadas en el tema. Muestra además de una descripción de los componentes del módulo didáctico, así como los diferentes procedimientos experimentales para un correcto y adecuado uso del banco, donde la toma de datos se debe realizar de una forma organizada.

3.4.1. Indicadores de seguridad y utilización

El indicador de seguridad permite determinar y hacer seguimiento, al compromiso de la dirección, en cuanto a seguridad de la información, en lo relacionado con la asignación de los estudiantes y responsabilidades relacionadas a la seguridad de la información al interior de la entidad.

- **Manual de operación**

La estructura del manual de operación se logra evidenciar a partir del Anexo 15.

3.4.2. Prácticas para realizar

A partir del Anexo 16, se establecen las 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. Luego se ejecutan diagramas de las curvas donde se comparan las variables y se determina el funcionamiento de un sistema hidráulico.

4. RESULTADOS

Se determinó el circuito hidráulico y eléctrico para el banco de pruebas, evaluando las pérdidas en el sistema. Además de los distintos conceptos físicos matemáticos necesarios para comprender las ecuaciones que rigen el comportamiento de las redes a presión, determinar las variables de estudio que más influyen en el equilibrio hidráulico de la red, definir los términos y símbolos.

Asimismo, se adecuó el banco de pruebas con los materiales, ampliación de las dimensiones, incorporación de medidor de flujo y equipos indicadores de presión. Se seleccionaron los materiales, partes y equipos para el circuito hidráulico y eléctrico del banco de pruebas, definió el tipo de material de los siete circuitos por el cual se conducirá el fluido, clasificaron las partes del sistema de acuerdo a la funcionalidad de cada área y necesidades del sistema.

Una vez verificados los componentes se procedió al ensamble teniendo en cuenta la guía del diseño. Se realizaron instructivos para el banco de pruebas con el fin de hacer buen uso y mantenimiento del mismo. Finalmente, las realizaciones de pruebas permitieron establecer los parámetros de uso del banco, comprobar el estado de las conexiones eléctricas y de tubería PVC, para comprobar las conexiones eléctricas de la bomba se verifica que no hallan cables sueltos y la bomba se encuentre a nivel, la tubería PVC debe ser inspeccionada para eliminar el riesgo de posibles fugas de agua.

5. CONCLUSIONES

Se realizó el ensamble de los componentes del banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios teniendo en cuenta la ubicación geométrica del diseño en Solidworks.

Se concluye el diseño de un sistema para el control de la velocidad de fluido a través del banco de pruebas de pérdidas de carga. Los instrumentos utilizados son: indicador de presión, sensor de flujo, medidor de flujo K24 y Valvula de apertura y cierre. Para visualizar la simulación del banco de pruebas se realizó la programación mediante la versión DEMO del software Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (Labview) permitiendo así, la comparación de los datos simulados con los de operación.

Se realizaron guías de operación para la comunidad educativa considerando la operación y mantenimiento del banco de pruebas de pérdidas de carga. De acuerdo a las practicas realizadas se concluyó que las pérdidas de presión que se generan en los diferentes diámetros de tubería aumentan cuando se reducen el área de sección transversal de igual forma el caudal disminuye, como también disminuye el volumen transferido, los accesorios generan u aumento en las perdidas.

En la realización de las pruebas al final de cada tubería al estar la válvula abierta la presión en los manómetros de llegada se veía reflejado con un valor de 0 psi, debido que la presión se trata de igual a la presión atmosférica. Las diferencias pérdidas de presión entre las tuberías, estuvo en la tubería del material de cobre donde se evidenció hasta los 62 psi con un porcentaje de apertura del 25 %, casi llegando la presione de descarga a válvula cerrada. El modulo aporta prácticas que pueden enriquecer el conocimiento de los estudiantes de los programas de ingenierías en áreas como: Mecánica de Fluidos, Estática, Instrumentación Industrial y Mecánica de Materiales.

6. RECOMENDACIONES

Para mejorar el banco de pruebas se recomienda la instalación de un sistema de calentamiento al fluido, que permita al estudiante la realización de prácticas bajo condiciones de diferentes temperaturas. La utilización de otro tipo de fluido de diferentes propiedades físicas (viscosidad, densidad), permitirá la comparación de los resultados obtenidos con el agua, utilizado como fluido patrón. Además de la implementación de otro tipo de bomba que de acceso al estudiante a efectuar y establecer nuevos cuadros comparativos de las curvas de funcionamiento entre las diferentes clases de bombas.

La importancia de automatizar el banco proviene principalmente de lograr una mejor respuesta y mejorar el estándar de calidad y así mismo mayor eficiencia en las pruebas realizadas. Es por ello que se recomienda completar el proyecto con la recolección automática de datos y de otras funciones del proceso las cuales no fueron incluidas en el alcance del proyecto de tal forma que las lecturas no sean análogas si no digitales, permitiendo así obtener una mayor precisión en los resultados esperados.

Asimismo, la inclusión de un sistema a través de sensores y dispositivos de detección y control para la transmisión a un software que permita la lectura de presión en cada tramo de la tubería. También, el uso de un variador que permita regular la velocidad, y a partir de la apertura y cierre de las válvulas poder graduar la cantidad de caudal que atraviesa la tubería considerando la ecuación $Q = V * A$.

Se sugiere que el banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios posea un control de nivel y flujo a través del uso de un controlador lógico programable (PLC) y una pantalla HMI y mediante la configuración del software TIA Portal V13 ejecutar la adquisición de datos y visualizar el proceso del banco, teniendo en cuenta la manipulación de los

valores de las variables que determinan el comportamiento del mismo. Eso es importante ya que, a nivel industrial se considera indispensable el conocer frecuentemente lo que sucede en la planta, logrando la predicción de fallas, optimización y seguridad del proceso intervenido.

Se hace la invitación a las unidades tecnológicas de Santander divulgar la importancia de aumentar la construcción de bancos de pruebas para el aprendizaje del comportamiento de los fluidos, e implementar nuevos sistemas que permitan profundizar este tipo de investigaciones, con el fin de incrementar el número de equipos de prueba en el ente educativo, lo cual conlleva a crear un ambiente de trabajo más agradable, fortalecer las bases pragmáticas actuales y evitar el sobre cupo en el equipo, que genera el desaprovechamiento de las prácticas desarrolladas por el estudiantado en cada laboratorio.

Antes de usar el banco de pruebas, se recomienda al docente estudiar e implementar correctamente los parámetros establecidos, en cuanto a la conservación, uso y cuidado del módulo, con el fin de prevenir el surgimiento de inconsistencias en el sistema, y llevar a cabo un óptimo funcionamiento de las actividades teórica-prácticas, dando cumplimiento a los objetivos definidos en cada clase.

Finalmente, después de usar el banco de pruebas se sugiere inspeccionar el circuito del banco de fluidos, con el fin de conservar los elementos incorporados en el banco de pruebas como manómetro, equipo de medición de flujo, motor y bomba, se sugiere a la institución establecer un control rutinario en el que se incluya la calibración de equipos en caso de ser necesario.

7. BIBLIOGRAFÍA

ASME 14M. (2001). Medición del flujo de fluido usando medidores de orificio de precisión de orificio pequeño. Colombia: sd.

Bahón, C., & Giner, C. (2004). Tecnología de sistemas de control. Barcelona: Edicions UPC.

Burbano, E. (2005). Física general. España: Tébar.

Calderón & Pozo. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Quito: Universidad Politécnica Salesiana, UPS.

Coulson. (1979). Ingeniería química, flujo de fluidos. Madrid: Reverte.

CRANE. (2006). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: Mc Graw Hill.

Crespo, A. (2006). Mecánica de fluidos. España: Paraninfo.

Duarte, A. (2004). Introducción a la mecánica de fluidos . Bogotá: Colección.

Escalante, E. (2004). Mecánica de fluidos, antecedentes y actualidad. Mexico: Yucatan.

Gómez, R. (2004). Medición de caudal. Arequipa: sd.

Gonzalez, P. (2009). Diseño de un banco de pruebas experimental de bombeo de flujo. Agosto: sd.

Gromer. (2006). Física en la ciencia y en la industria. Barcelona: Mc Graw Hill.

Montaño, J. (2016). La calidad es mas que ISO 9000. Estados Unidos: sd.

Montserrat, G. (2015). Estudio experimental de las pérdidas de carga en tuberías con flujos de mezclas sólidos líquido no-newtoniano en régimen laminar. Santiago de Chile: Universidad de Chile, UC.

Monzó, R. S. (2014). Automatismos Industriales. Conceptos y procedimientos.
Valencia: Nau Llibres.

Mott, R. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Pearson.

NTC 2062-1. (2013). Estadística. Vocabulario y simbolos. Colombia: Norma
Tecnica Colombiana.

Viloria, J. (2011). Automatismos insdustriales. Madrid, España: Editorial
paraninfo.

8. ANEXOS

Anexo 1. Pruebas en la medición de presión



Fuente: Autor

Anexo 2. Pruebas de medición caudal



Fuente: Autor

Anexo 3. Ficha técnica de Manómetro

Rango de presión		División		Subdivisión		Subdivisión mínima		Código de rango
kg/cm ²	(PSI) lb/pulg ²	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	
0 - 1	0 - 15	0.1	1	0.05	X	0.01	0.25	1
0 - 2	0 - 30	0.2	2	0.1	X	0.02	0.50	2
0 - 4	0 - 60	0.5	5	X	X	0.1	1	4
0 - 7	0 - 100	0.5	10	X	X	0.1	2	7
0 - 11	0 - 160	1	10	0.5	X	0.1	2	11
0 - 14	0 - 200	1	20	X	X	0.2	5	14
0 - 21	0 - 300	2	50	1	X	0.25	10	21
0 - 28	0 - 400	2	50	X	X	0.5	10	28
0 - 42	0 - 600	5	50	X	X	1	10	42
0 - 70	0 - 1000	10	100	5	X	1	20	70
0 - 105	0 - 1500	10	250	5	125	1	25	105
0 - 140	0 - 2000	10	200	X	X	2.5	40	140
0 - 210	0 - 3000	20	500	10	X	2.5	100	210
0 - 280	0 - 4000	40	400	20	X	5	80	280
0 - 350	0 - 5000	50	500	25	X	5	100	350
0 - 700	0 - 10000	100	1000	50	X	10	200	700

Fuente: MOLECOR. Tubería para la aplicación de presión. Chile UPD. [Sitio web]. Disponible en <http://molecor.com/sites/default/files/technicalreportes.pdf>.

Anexo 4. Ficha técnica de Tubería PVC

OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	Unidades	Valor
Densidad	Kg/dm ³	1,35 - 1,46 ⁽¹⁾
Valor k resina de PVC	-	> 64
Dureza Shore D a 20 °C	-	81 – 85
Coefficiente de Poisson	-	0,35 - 0,41
Temperatura Vicat	°C	> 80
Coefficiente de dilatación lineal	°C ⁻¹	0,8·10 ⁻⁴
Conductividad térmica	Kcal/mh°C	0,14 - 0,18
Calor específico a 20 °C	cal/g°C	0,20 - 0,28
Rigidez dieléctrica	kV/mm	20 – 40
Constante dieléctrica a 60 Hz	-	3,2 - 3,6
Resistividad transversal a 20 °C	Ω/cm	> 10 ¹⁶
Rugosidad absoluta (ka)	mm	0,007
Rugosidad C (Hazen-Williams)	-	150
Coefficiente de rugosidad de Manning (n)	-	0,009

Fuente: COLECTOR. Tubería y características. México: UPD. [Sitio web]. disponible en: http://www.tigre.cl/sites/tigre.cl/files/productos/catalogos/tuberia_colector.pdf

Anexo 5.. Ficha técnica de tubería de acero galvanizado

DIÁMETRO CÉDULA	DIÁMETRO EXTERIOR NOMINAL		ESPESOR NOMINAL		PRESIÓN HIDROSTÁTICA			PESO			EMPAQUE		
	pulg	pulg	mm	mm	lb/in ²	kg/cm ²	lb/pie	kg/m	kg x 6,40m	lb x 21 pie	kg x atado	tubos x atado	
1/2	40	0,840	21,34	0,109	2,77	700	49	0,85	1,27	8,11	17,887	1030,36	127
	80	0,840	21,34	0,147	3,73	850	60	1,09	1,62	10,37	22,869	1317,33	127
3/4	40	1,050	26,67	0,113	2,87	700	49	1,13	1,68	10,78	23,769	1369,19	127
	80	1,050	26,67	0,154	3,91	850	60	1,48	2,20	14,05	30,976	1784,32	127
1	40	1,315	33,40	0,133	3,38	700	49	1,68	2,50	16,01	35,291	1456,64	91
	80	1,315	33,40	0,179	4,55	850	60	2,17	3,24	20,70	45,649	1884,14	91
1 1/4	40	1,660	42,16	0,140	3,56	1200	84	2,27	3,39	21,67	47,771	1971,76	91
	80	1,660	42,16	0,191	4,85	1800	126	3,00	4,46	28,57	62,987	1742,71	61
1 1/2	40	1,900	48,26	0,145	3,68	1200	84	2,72	4,05	25,91	57,127	2357,91	91
	80	1,900	48,26	0,200	5,08	1800	126	3,63	5,41	34,62	76,327	2111,78	61
2	40	2,375	60,33	0,154	3,91	2300	162	3,66	5,44	34,83	76,783	2124,42	61
	80	2,375	60,33	0,218	5,54	2500	176	5,03	7,48	47,88	105,561	1771,53	37
2 1/2	40	2,875	73,03	0,203	5,16	1950	137	5,80	8,63	55,23	121,767	2043,50	37
	NX	2,875	73,03	0,156	3,96	2500	176	4,53	6,75	43,19	95,221	1598,00	37
	80	2,875	73,03	0,218	5,54	2500	176	5,03	7,48	47,88	105,561	1771,53	37
3	40	3,500	88,90	0,216	5,49	2200	155	7,58	11,29	72,23	159,241	1372,31	19
	NX	3,500	88,90	0,170	4,32	1930	136	6,05	9,01	57,64	127,084	1095,18	19
4	40	4,500	114,30	0,237	6,02	1900	134	10,80	16,07	102,87	226,809	1954,60	19
	NX	4,500	114,30	0,188	4,78	1500	105	8,67	12,90	82,54	181,984	1568,31	19
6	40	6,625	168,28	0,280	7,11	1500	105	18,99	28,27	180,90	398,829	1808,96	10
	80	6,625	168,28	0,219	5,56	1190	84	15,00	22,32	142,85	314,940	1428,47	10

Fuente: COLECTOR. Tubería y características. México: UPD. [Sitio web]. Disponible en: http://www.tigre.cl/sites/tigre.cl/files/produos/catalogos/tuberia_colector.pdf

Anexo 6. Ficha técnica de tubería de cobre

Diámetro exterior	Diámetro exterior	Espeor de pared	Presión máxima permitida		Peso aproximado
pulg	mm	mm	kg/cm ²	lbs/pulg ²	kg/m
1/8	3,18	0,76	250	3,554	0,051
3/16	4,76	0,76	154	2,198	0,085
1/4	6,35	0,76	112	1,589	0,119
5/16	7,94	0,81	94	1,334	0,162
3/8	9,53	0,81	77	1,095	0,198
1/2	12,70	0,81	57	807	0,270
5/8	15,90	0,89	49	704	0,374
3/4	19,10	1,07	50	704	0,540
7/8	22,22	1,14	45	642	0,673

Fuente: COLECTOR. Tubería y características. México: UPD. [Sitio web]. Disponible en: http://www.tigre.cl/sites/tigre.cl/files/produos/catalogos/tuberia_colector.pdf

Anexo 7. Ficha técnica de tubería de aluminio

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS							
No. de producto	Diámetro		Peso aprox. por tubo 10(3.05 m) de largo incluyendo cople	Diámetro exterior		Espesor de pared	
	mm	pulg		mm	pulg	mm	pulg
95201	12,7	1/2	1,338	21,34	0,840	2,77	0,109
95211	19,0	3/4	1,784	26,67	1,050	2,87	0,113
95221	25,0	1	2,656	33,40	1,315	3,38	0,133
95231	31,5	1 1/4	3,595	42,16	1,660	3,56	0,140
95241	38,0	1 1/2	4,312	48,26	1,900	3,68	0,145
95251	50,5	2	5,804	60,33	2,375	3,91	0,154
95261	63,0	2 1/2	9,253	73,03	2,875	5,16	0,203
95271	76,0	3	12,184	88,90	3,500	5,49	0,216
95431	88,9	3 1/2	14,823	101,60	4,000	5,74	0,226
95281	101,0	4	17,351	114,30	4,500	6,02	0,237
95441	127,0	5	23,943	141,30	5,563	6,53	0,257
95451	152,4	6	30,988	168,30	6,625	7,06	0,278

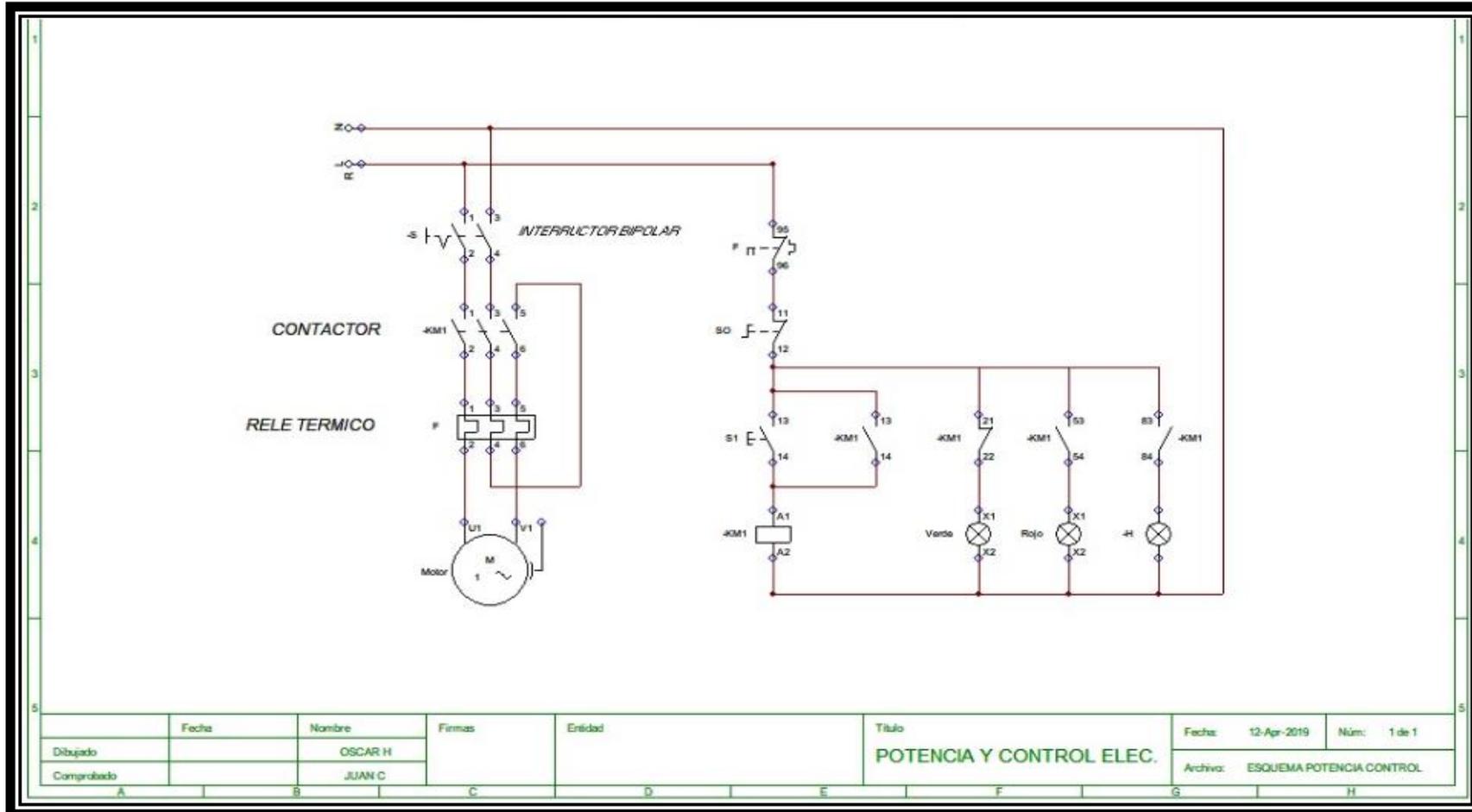
Fuente: MOLECOR. Tubería para la aplicación de presión. Chile UPD. [Sitio web]. Disponible en <http://molecor.com/sites/default/files/technicalreportes.pdf>.

Anexo 8. Ficha técnica del acero inoxidable

ACERO INOXIDABLE UNE 19.049/97					
DIAMETRO	DIAMETRO	ESPESOR	D. INTERIOR	CONT. AGUA	PESO
mm	EXTERIOR	mm	mm	l/m	kg/m
DN 12	15,0	1,0	13,0	0,13	0,333
DN 15	18,0	1,0	16,0	0,20	0,410
DN 20	22,0	1,2	19,6	0,30	0,624
DN 25	28,0	1,2	25,6	0,51	0,790
DN 32	35,0	1,5	32,0	0,80	1,240
DN 40	42,0	1,5	39,0	1,19	1,503
DN 50	54,0	1,5	51,0	2,04	1,972
DN 65	76,1	2,0	72,1	4,08	3,550
DN 80	88,9	2,0	84,9	5,66	4,150
DN 100	108,0	2,0	104,0	8,49	5,050

Fuente: MOLECOR. Tubería para la aplicación de presión. Chile UPD. [Sitio web]. Disponible en <http://molecor.com/sites/default/files/technicalreportes.pdf>

Anexo 9. Plano eléctrico del motor



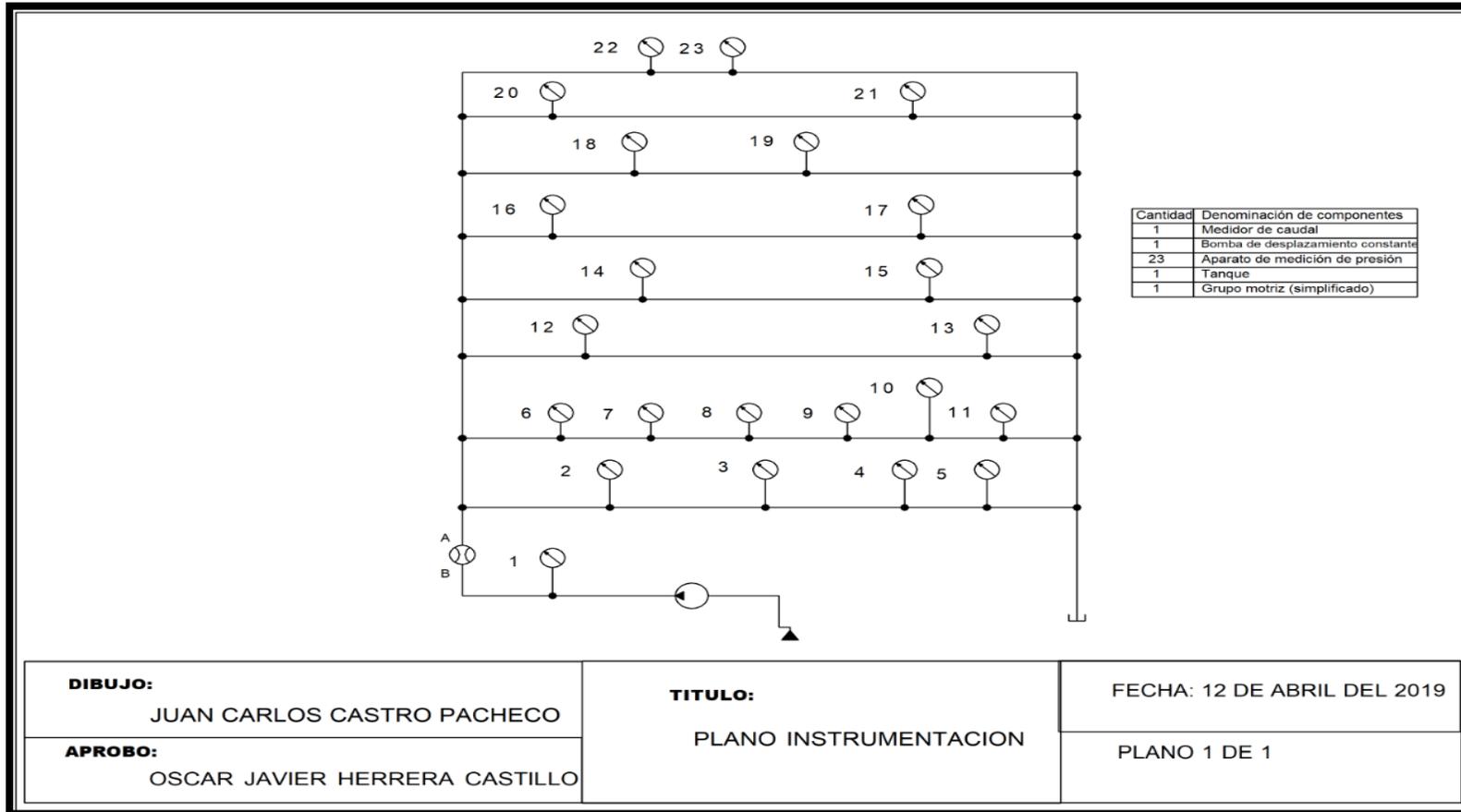
Fuente: Autor

REVISADO POR:
 soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
 FECHA APROBACION:

ELABORADO POR:
 Oficina de Investigaciones

Anexo 10. Plano Instrumentación



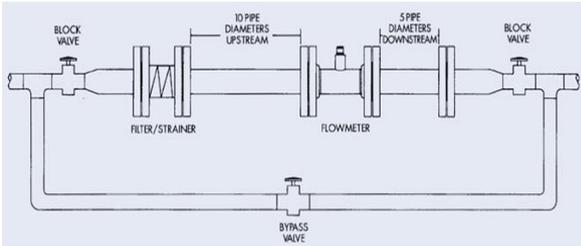
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

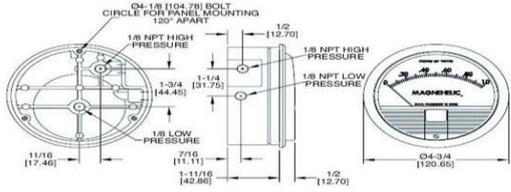
APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Anexo 11. Ficha técnica medidor y contador de flujo

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER		SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES					
Nombre:	Medidor y contador de flujo			FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	Sentec				
Modelo:	CH8010				
Laboratorio	Mecánica de fluidos				
Nº Equipos iguales	1				
Ubicación	Banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios				
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS					
Tensión:	2.3-3.3 V DC		Posición de trabajo:	Vertical	
Clase:			otra:	Corriente Directa	
Tipo de instrumento:	Medidor digital				
SPAN:	0.2 A				
Tensión de prueba:	2.3-3.3 V DC				
USOS O APLICACIONES					
Ofrece una medición exacta y confiable necesarias al momento de dar inicio a la ejecución de prácticas e identificar las variables medidas.					
MODO DE CONEXIÓN					
			<p>Instale el contador con la flecha orientada al sentido del flujo del agua. Es fundamental garantizar la correcta instalación del conjunto del contador. Deje el espacio adecuado en el conjunto de las tuberías según la longitud del contador. Las conexiones de las tuberías aguas arriba y aguas abajo deben estar alineadas y las superficies de sellado paralelas. Asegúrese igualmente de que el conjunto de tuberías aguas arriba y aguas abajo está bien sujeto. Utilice piezas de conexión de tuberías de polímero.</p>		
RECOMENDACIONES DE USO:			Se recomienda que para mejores resultados hay que calibrar el medidor al menos una vez por semana, si se utiliza para líquidos muy ácidos o básicos, también en líquidos que cambian de básicos a ácidos con brusquedad, y por último cada vez que se sustituya el electrodo.		
Ubicación del manual:			Sin manual		

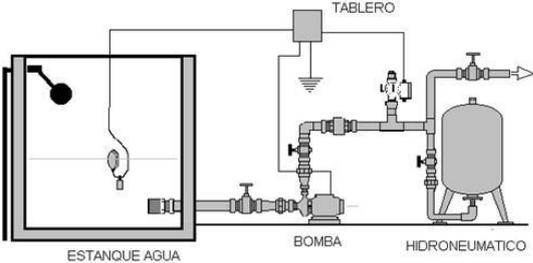
Fuente: Autor

Anexo 12. Indicador de presión

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER		 Unidades Tecnológicas de Santander	
SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Manómetros diferencial		FOTO DEL EQUIPO 
Marca:	HI- TECH		
Modelo:	0 a 60 psi		
Laboratorio	Mecánica de fluidos		
Nº Equipos iguales	23		
Ubicación	Banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:		Posición de trabajo:	Horizontal
Clase:	Indicador	otra:	
Tipo de instrumento:			
SPAN:			
Tensión de prueba:			
USOS O APLICACIONES			
Medir la reducción en la sección de flujo del fluido en la tubería, de manera en que represente y/o produzca una caída de presión a consecuencia de la velocidad generada en el banco de tubería.			
MODO DE CONEXIÓN			
 <small>Dimensions, Standard Series 2000 Magnetic® Pressure Gages. (Slightly different on medium and high pressure models)</small>		Inserte el manómetro con el adaptador a tubo integral Swagelok en un racor. Alinee la esfera del manómetro en la posición deseada.	
RECOMENDACIONES DE USO:		Se recomienda que estén distribuidos en las líneas, destinados para conocer las pérdidas de presión que se presentan en las tuberías dependiendo el tipo de material y el diámetro.	
Ubicación del manual:		Sin manual	

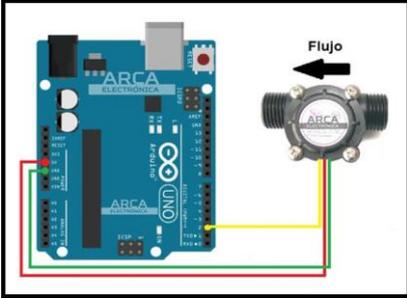
Fuente: Autor

Anexo 13. Electrobomba

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Electrobomba	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	CONTI CLEAR WATER PUMP		
Modelo:	QB60		
Laboratorio	Mecánica de fluidos		
Nº Equipos iguales	1		
Ubicación	Banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	110 V	Posición de trabajo:	Horizontal
Clase:	01479	otra:	Corriente alterna
Tipo de instrumento:	Succión y descarga de Fluidos		
SPAN:	9.8 A		
Tensión de prueba:	110 V		
USOS O APLICACIONES			
Bombeo de una cantidad de agua específica contenida en un tanque de almacenamiento suficiente para suplir las líneas de tubería de prueba y la altura dinámica de bombeo para el sistema hidráulico			
MODO DE CONEXIÓN			
 <p style="text-align: center;">ESTANQUE AGUA BOMBA HIDRONEUMATICO</p>		<p>En la instalación de una bomba en su emplazamiento deberán tomarse ciertas precauciones, algunas de las más importantes son: estabilidad, altura, base, limpieza de tubería, ajuste de acoples, entre otros.</p>	
Ubicación del manual:	Sin manual		

Fuente: Autor

Anexo 14. Sensor de flujo

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER			
SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Sensor de flujo	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	Seª		
Modelo:	Yf-s201 Arduino		
Laboratorio	Mecánica de fluidos		
Nº Equipos iguales	1		
Ubicación	Banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	5V-18V	Posición de trabajo:	Horizontal
Clase:	VIS1138	otra:	Corriente alterna
Tipo de instrumento:	Determinar cuándo está circulando un líquido.		
SPAN:	15mA		
Tensión de prueba:	5V-18V		
USOS O APLICACIONES			
Este equipo está configurado para enviar las señales al arduino y posteriormente ser captadas por el ordenador.			
MODO DE CONEXIÓN			
		<p>Se puede insertar fácilmente en un sistema de tuberías estándar, cuenta con un rotor de agua, conformado por un pequeño molino de viento, este tiene un pequeño imán atado y hay un sensor magnético de efecto Hall en el otro lado del tubo que registra cada vuelta dada por el molino de viento, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo.</p>	
RECOMENDACIONES DE USO:		<p>Se recomienda que el diseño del sensor contemple un tubo de referencia atmosférica sin contacto con la electrónica y sin posibilidad de circulación de aire, de modo que si existe condensación se forme una gota que por capilaridad no tenderá a bajar hasta el sensor. Por otra parte, para evitar que la condensación entre los intersticios del cable sumergible dañe la electrónica, es recomendable que toda la electrónica del sensor esté protegida en un gel de silicona u otro material inerte y estanco, que evite en gran medida la humidificación de esta, interponiendo una barrera física.</p>	
Ubicación del manual:		Sin manual	

Fuente: Autor

Anexo 15. Manual de operación

Operación del módulo de medición de flujo por presión diferencial.

Por el sistema montado según norma ASME-MFC-14M-2001. Se utilizó un tanque de aforo de una capacidad de 45 litros y a partir de la estrangulación de la válvula de control de flujo ubicada en la descarga de la bomba centrífuga, se controlan los caudales a través de la platina de orificio, el diferencial de presión y el tiempo de llenado del tanque de aforo es controlado por un cronometro digital.

Este manual de operación para banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios, se realiza con la finalidad que establecer parámetros claros de operación y estudio de las pruebas a realizar en dicho banco, dentro de este se encuentran aspectos como los materiales utilizados para el banco de pruebas, disposición de cada uno de los elementos, pautas de manipulación, procedimientos de operación entre otros.

Objetivo

Establecer un procedimiento específico que determine los pasos adecuados para la correcta operación en la ejecución de las pruebas a realizar en el banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios.

Objetivos generales

1. Identificar los competentes instalados.
2. Describir el procedimiento operativo.

Desarrollo

Listado de componentes dispuestos en el banco de pruebas ver figura 36 y 37.

Figura 36. Lista de componentes

N.º DE PIEZA	CANTIDAD
Tubería 1in - 365mm	3
TuboL 1in	5
venturi	1
Tubería 1in - 140mm	11
Tubería 1in - 1000mm	2
TuboT 1in	14
Tubería tres octavos in - 235.3mm	2
manometro tres octavos in	2
Tubería tres octavos in - 1205mm	1
Reduccion 1 a tres octavos in	2
Tubería Media in - 235.3mm	2
manometro media in	2
Tubería Media in - 1205mm	1
Valvula media in	1
Valvula 1 in	3
Reduccion 1 a media in	2
Tubería Tres cuartos in - 235.3mm	9
Tubería Tres cuartos in - 1205mm	3
manometro tres cuartos in	12
Valvula 3_4 M-M	6
Reduccion 1 a tres cuartos in	8
Tubería 1 in - 235.3mm	2
Tubería 1 in - 1205mm	1
manometro 1 in	2
TuboL tres cuartos in	4
Tubería Tres cuartos in - 100mm	3
Tubería Tres cuartos in - 840mm	1
Manometro 1.4 NPT 0 - 40 bar	2
Tubería 1in - 80mm	4
Sensor	1

Fuente: Autor

Figura 37. Señalización de componentes banco de pruebas





Fuente: Autor

Procedimiento operativo

El banco de pruebas se debe operar de la siguiente forma:

- a. Realizar una inspección visual de cada componente, asegurando la correcta disposición del área de operación.
- b. Verificar el condicionamiento óptimo del fluido (agua) en el tanque de almacenamiento.
- c. Verificar el estado de apertura (ON) de las válvulas para asegurar correcta recirculación del sistema.
- d. Identificar el cable de alimentación eléctrica de la caja de control eléctrico.
- e. Energizar la caja de control eléctrico, conectando la alimentación eléctrica a un toma corriente.
- f. Identificar en la parte frontal de la caja de control eléctrico, los pulsadores de ON-OFF para el correcto encendido de la electrobomba.
- g. Pulsar el contacto ON, para encendido del sistema.

- h. Realizar nuevamente una inspección visual del banco ya en funcionamiento, asegurando que no se encuentren fugas del fluido a lo largo del sistema.
- i. Se inspecciona la presión inicial marcada en cada uno de los manómetros instalados en el sistema y se registran los datos adquiridos.
- j. Se inspecciona el medidor contador de flujo y se registra el dato proporcionado.
- k. Posteriormente a todo lo anterior, se manipulan las válvulas en los diferentes tramos de tubería, con el fin de individualizar las pruebas por cada zona de tubería.
- l. Para la prueba en cada tramo de tubería, se asegura que todas las válvulas se encuentren OFF, a excepción del tramo de tubería a estudiar.
- m. Una vez ubicados en el tramo de tubería objeto de estudio, se realiza la apertura de la válvula en tres posiciones respectivamente; a un 30%, 60% y 100%.
- n. Para cada posición de la válvula en el tramo objeto de estudio, se deben observar las variaciones indicadas en los manómetros dispuestos para este tramo de tubería y registrar dichos datos.
- o. En cada prueba realizada a cada tramo de tubería se debe recopilar el dato del sensor contador de flujo.
- p. Una vez terminada cada una de las pruebas realizadas, se sugiere regresar todas las válvulas a su posición inicial en estado ON.
- q. Seguido a esto, se debe pulsar el contacto OFF en la caja de control eléctrico.
- r. Desenergizar el sistema de la fuente de alimentación eléctrica.

- s. Por último, realizar inspección de las condiciones finales luego de utilizar el banco de pruebas, garantizado su correcto uso y entrega en óptimas condiciones.

Conclusión

La operatividad del banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios, se debe hacer bajo la supervisión de un personal calificado en la materia, con el fin de garantizar el correcto uso y el seguimiento del procedimiento anteriormente descrito.

Este banco se obtienen bondades educativas significativas, el cual aporta herramientas fundamentales de estudio al educando, donde interactúa directamente con los elementos, colocando en práctica cada uno de los fundamentos teóricos dando lugar al análisis y comparación de variables indispensables en cualquier lugar de acción.

• Manual de mantenimiento

Se realizan las siguientes recomendaciones con el fin de darle un buen uso al banco de pruebas y cumplimiento de vida útil.

1. Se recomienda poner el funcionamiento el sistema mínimo cada 30 días para que el motor no se pegue los rodamientos y no pierda aislamiento eléctrico.
2. Según las horas de trabajo se debe realizar revisión de la bomba y el motor eléctrico cada año, que comprenda la revisión de bujes, conexiones eléctricas, desgaste del rotor y fugas. De cada revisión se deberá generar un informe sobre el estado del equipo y acciones ejecutadas.
3. El resto del banco no requiere un mantenimiento periódico, solo una revisión rutinaria para poder detectar fugas o daños causados por el uso.

4. Si el equipo va a permanecer por más de 15 días sin funcionamiento se recomienda vaciar el agua del tanque y de las tuberías, abriendo las válvulas del circuito.

- **Cuidado básico**

Las Bombas son equipos utilizados para transferir un líquido de un recipiente a otro, mediante la conversión de energía externa en energía hidráulica de un líquido.

1. En primer lugar, se tiene un impulsor en la carcasa (voluta). Cuando el impulsor gira, el líquido es forzado hacia la voluta. La curva de las aspas va en sentido opuesto a la dirección de rotación.

2. De acuerdo con el ejemplo del agua y de la gasolina, la bomba desarrolla el mismo nivel hidrostática para la misma velocidad, pero la bomba que maneja agua desarrolla más presión que la que maneja gasolina. Cuando más presión se desarrolla, más trabajo se realiza.

3. Puesto que los dos impulsores giran a la misma velocidad, los dos líquidos salen del impulsor a la misma velocidad y, por lo tanto, pueden ser movidos a la misma distancia o a la misma altura. En cambio, la presión desarrollada y la potencia requerida varían directamente con el peso específico del líquido bombeado. Un cambio en la gravedad específica dará lugar a un cambio de presión y de potencia. Cuando más pesado sea el líquido, mayor será la presión para la misma velocidad.

- **Píldoras del cuidado básico**

Nunca permita que el motor se moje, y se debe evitar forrar el motor con plástico que impida la circulación de aire a través de él para su enfriamiento.

- **Fallas más frecuentes**

Generación de cavitación por falta de Presión que empuje el Fluido en la Succión, bajo nivel en el tanque de suministro, el cual debe tener un nivel mínimo de llenado del 95%, para evitar la pérdida de succión de la bomba en las prácticas a máximo flujo y con el tanque aforado lleno. Si se tiene bajo nivel en el tanque se generan burbujas a la entran al ojo del impulsor y estallan cuando se aumenta la presión, liberando gran cantidad de energía, en forma de ruido y calor.

Si el impulsor gira sin líquido, se producen esfuerzos severos sobre el impulsor y otros componentes debido a la diferencia de presiones entre lados opuestos, en caso de nuestra bomba se pueden quemar los sellos de carbón por falta de líquido.

- **Acciones a seguir**

1. Restringir válvula de control de la descarga.
2. Aumentar NPSH disponible llenando el tanque de suministro.
3. Disminuir las pérdidas en la succión.
4. Revisar que no halla obstrucción en la succión de la bomba.
5. Apagar la bomba.

- **Falla el suministro de líquido al tanque aforado**

1. Válvulas de descarga cerradas.
2. Bajo nivel del tanque acumulador.
3. Bomba no está alimentada.
4. Insuficiente velocidad.
5. Pasajes del impulsor parcialmente obstruidos.
6. No está energizado el motor.
7. Defectos mecánicos.
8. Succión obstruida.

- **Insuficiente presión**

1. Velocidad demasiado baja.
2. Aire en el líquido.
3. Defectos mecánicos e impulsor dañado.

- **Capacidad insuficiente**

1. Pasajes del impulsor parcialmente obstruidos.
2. Defectos mecánicos.
3. Impulsor gastado o dañado.
4. Pérdidas internas debido a defectos del empaque.
5. Succión obstruida por suciedad o Bajo nivel del tanque acumulador.

- **Perdida de líquido después del arranque**

1. Fugas en la línea de succión

- **Vibración**

1. Impulsor parcialmente tapado que causa desequilibrio.
2. Defectos mecánicos.
3. Elementos rotativos fuera de su posición.

- **La bomba se sobrecalienta**

1. La bomba no está cebada.
2. Succión obstruida por suciedad
3. Operación de la bomba con válvula de descarga cerrada
4. Operación de la bomba por debajo del flujo mínimo.

- **Generalidades**

Especificaciones de los instrumentos utilizados en el banco de prueba teniendo en cuenta la marca, la capacidad, y cada una de las características.

- **Utilización**

Este banco fue diseñado y construido con fines académicos, para realización de diferentes prácticas.

- **Tanques**

Se construyeron en lámina galvanizada calibre 20 de forma cúbica. El tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en la parte inferior tiene unas dimensiones de 60 cm, por 50 cm. por 40 cm. Con la capacidad de 120 litros y el, tanque aforado de 50cm por 40cm por 35 cm.

- **Tubería del sistema**

Se empleó tubería de galvanizada de 1" pulgada de diámetro nominal en la succión, y tubería en PVC en la descarga, Fabricante Pavco Colombia, todos los accesorios son de PVC, Válvula de PVC de 1", Universales de 1". codos de 1", Uniones, Adaptador macho de 1".

- **Tenga en cuenta lo siguiente**



NIVEL DEL TANQUE DE SUMINISTRO: Este nivel mínimo de llenado del 95%, para evitar la pérdida de succión de la bomba en las prácticas a máximo flujo y con el tanque aforado lleno. Para evitar que la bomba pierda cabeza de succión y Cavite.



PRESION DE DESCARGA DE LA BOMBA: la presión mínima de funcionamiento de la bomba es 14 psi.



LIMPIEZA DEL TANQUE: Antes de poner en servicio la bomba el tanque debe estar limpio para evitar que partículas sólidas lleguen hacia la toma de presión de la platina y las aristas del rotámetro se lleguen a tapan.

Anexo 16. Desarrollo de practicas

Tabla 4. Practica 1. Medición de flujo en la línea 1 galvanizado 1”

MEDICIÓN DE FLUJO LINEA 1 galvanizado 1”	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo con el medidor y contador de flujo, controlando la apertura porcentual de la válvula de descarga para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula del sistema utilizando el medidor y contador de flujo del banco de pruebas, También se puede comparar lo medido en el tanque aforado contra lo que muestra el equipo de medición con los datos tomados en el banco de pruebas.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de control de descarga se encuentre abierta en el % requerido.
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula globo con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

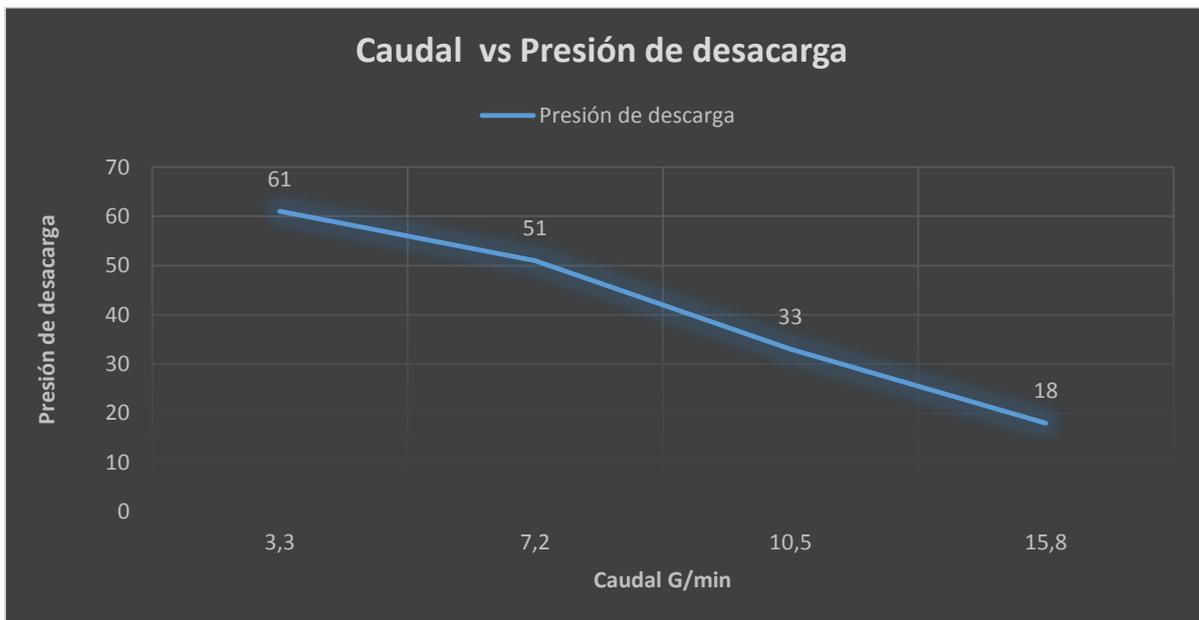
Fuente: Autor

Tabla 5. Datos de prueba de la línea 1 material galvanizado 1”

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS											
% Apertura de la válvula de la Línea 1	Presión de manómetros					Caudal		Volumen transferido		Corriente	Tiempo
	MD psi	M1 psi	M2 psi	M3 psi	M4 psi	G/min	L/min	Gal	Lt	A	seg
25	61	48	40	27	13	3.3	11.8	8.8	32	12.3	136
50	51	34	31	12	8	7.2	25.9	16.3	60	11.4	136
75	33.	23	21	11	5	10.5	38.3	24.4	93	10.7	136
100	26	18	16	9	4	15.8	58.5	31.1	116	10.5	136

Fuente: Autor

Tabla 6. Datos de prueba de la línea 1 material galvanizado 1”



Fuente: Autor

Tabla 7. Practica 2. Medición de flujo en la línea 2 galvanizado 1”

MEDICIÓN DE FLUJO LINEA 2 diámetro 1” galvanizado	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo con el medidor y contador de flujo, controlando la apertura porcentual de la válvula de descarga para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula del sistema utilizando el medidor y contador de flujo del banco de pruebas, También se puede comparar lo medido en el tanque aforado contra lo que muestra el equipo de medición con los datos tomados en el banco de pruebas.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de control de descarga se encuentre abierta en el % requerido.
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula globo con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

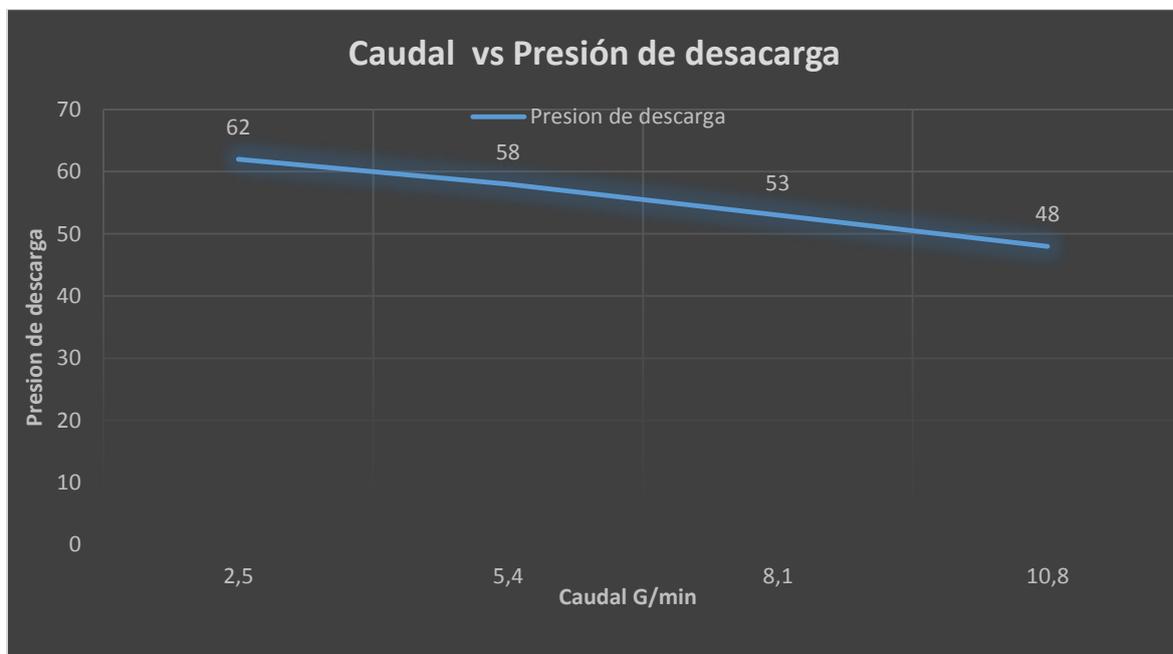
Fuente: Autor

Tabla 8. Datos de prueba de la línea 2 material galvanizado 1”

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS												
% Apertura de la válvula de la Línea 1	Presión de manómetros						Caudal		Volumen transferido		Corriente	Tiempo
	MD psi	M1 psi	M2 psi	M3 psi	M4 psi	M5 psi	G/min	L/min	Gal	Lt	A	seg
25	62	57	54	43	24	20	2.5	9.4	4.70	17.76	12.3	120
50	58	49	42	28	12	10	5.4	20.4	9.41	35.56	11.7	120
75	53	41	33	18	8	6	8.1	30.6	14.12	53.37	11.2	120
100	48	34	26	14	6	5	10.8	40.8	18.83	71.17	10.7	120

Fuente: Autor

Tabla 9. Datos de prueba de la línea 2 material galvanizado 1”



Fuente: Autor

Tabla 10. Practica 1. Medición de flujo en la línea 3 galvanizado 1”

MEDICIÓN DE FLUJO LINEA 3” galvanizado 1”	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo con el medidor y contador de flujo, controlando la apertura porcentual de la válvula de descarga para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula del sistema utilizando el medidor y contador de flujo del banco de pruebas, También se puede comparar lo medido en el tanque aforado contra lo que muestra el equipo de medición con los datos tomados en el banco de pruebas.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de control de descarga se encuentre abierta en el % requerido.
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula globo con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

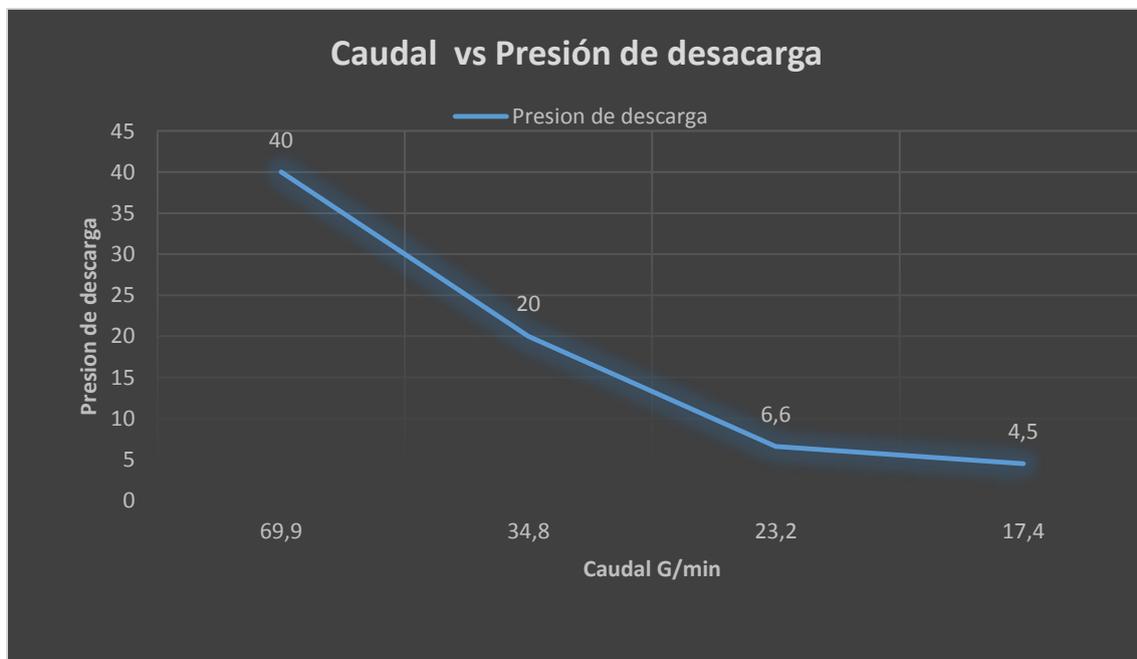
Fuente: Autor

Tabla 11. Datos de prueba de la línea 3 material galvanizado 1”

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS										
% Apertura de la válvula de la Línea 1	Presión de manómetros				Caudal		Volumen transferido		Corriente	Tiempo
	MD psi	M1 psi	M2 psi	M3 psi	G/min	L/min	Gal	Lt	A	seg
25	40	20	0	0	69.6	263	117.8	445.2	11.5	120
50	20	10	0	0	34.8	131.5	58.9	222.6	10.9	120
75	13.3	6.6	0	0	23.2	87.6	39.2	149.6	10.4	120
100	10	5	0	0	17.4	65.7	29.45	111.3	10	120

Fuente: Autor

Tabla 12. Datos de prueba de la línea 3 material galvanizado 1”



Fuente: Autor

Tabla 13. Practica 4. Medición de flujo en la línea 4 Aluminio 7/16”

MEDICIÓN DE FLUJO LINEA 4 MATERIAL ALUMINIO 7/16”	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo con el medidor y contador de flujo, controlando la apertura porcentual de la válvula de descarga para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula del sistema utilizando el medidor y contador de flujo del banco de pruebas, También se puede comparar lo medido en el tanque aforado contra lo que muestra el equipo de medición con los datos tomados en el banco de pruebas.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de control de descarga se encuentre abierta en el % requerido.
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula globo con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

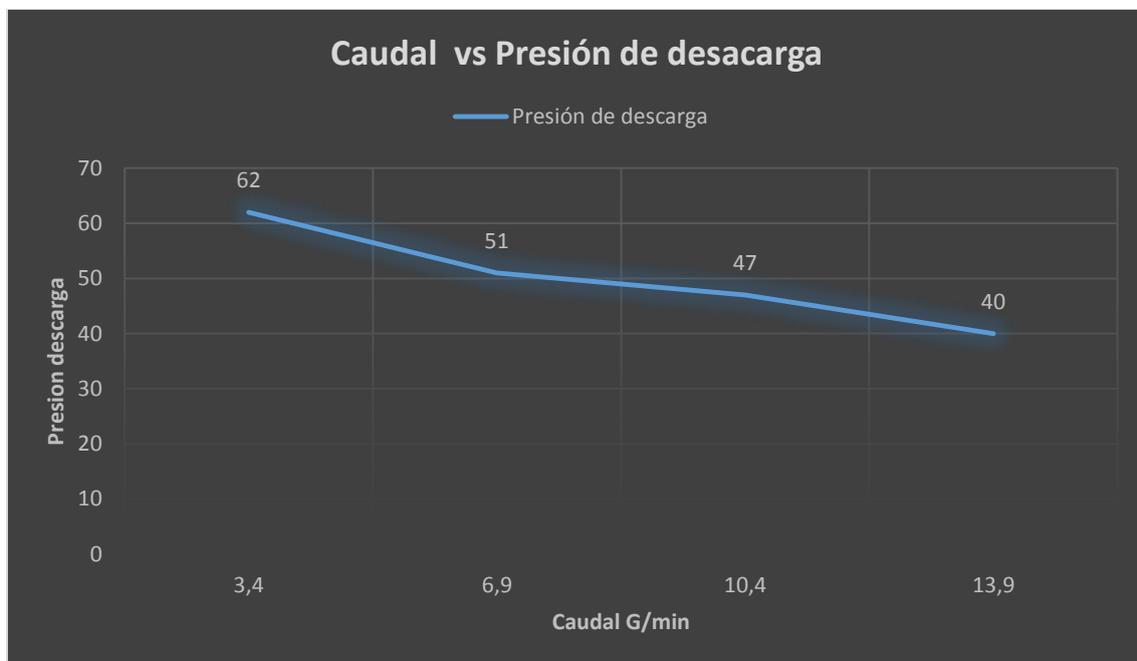
Fuente: Autor

Tabla 14. Datos de prueba de la línea 4 material aluminio 7/16”

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS									
% Apertura de la válvula de la Línea 4	Presión de manómetros lbs			Caudal		Volumen transferido		Corriente (a)	Tiempo seg
	MD (psi)	M1 (psi)	M2 (psi)	G/min	L/min	Galones	Litros		
25	62	47	25	3.4	12.8	2.9	10.9	12.4	60
50	51	36	18	6.9	26	5.9	22.3	11.7	60
75	47	28	12	10.4	39.3	8.2	30.9	11.2	60
100	40	22	9	13.9	52.5	11.84	44.7	10.8	60

Fuente: Autor

Tabla 15. Datos de prueba de la línea 4 material aluminio 7/16”



Fuente: Autor

Tabla 16. Practica 5. Medición de flujo en la línea 5 material galvanizado 1/2"

MEDICIÓN DE FLUJO LINEA 5 MATERIAL GALVANIZADO 1/2"	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo con el medidor y contador de flujo, controlando la apertura porcentual de la válvula de descarga para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula del sistema utilizando el medidor y contador de flujo del banco de pruebas, También se puede comparar lo medido en el tanque aforado contra lo que muestra el equipo de medición con los datos tomados en el banco de pruebas.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de control de descarga se encuentre abierta en el % requerido.
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula globo con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

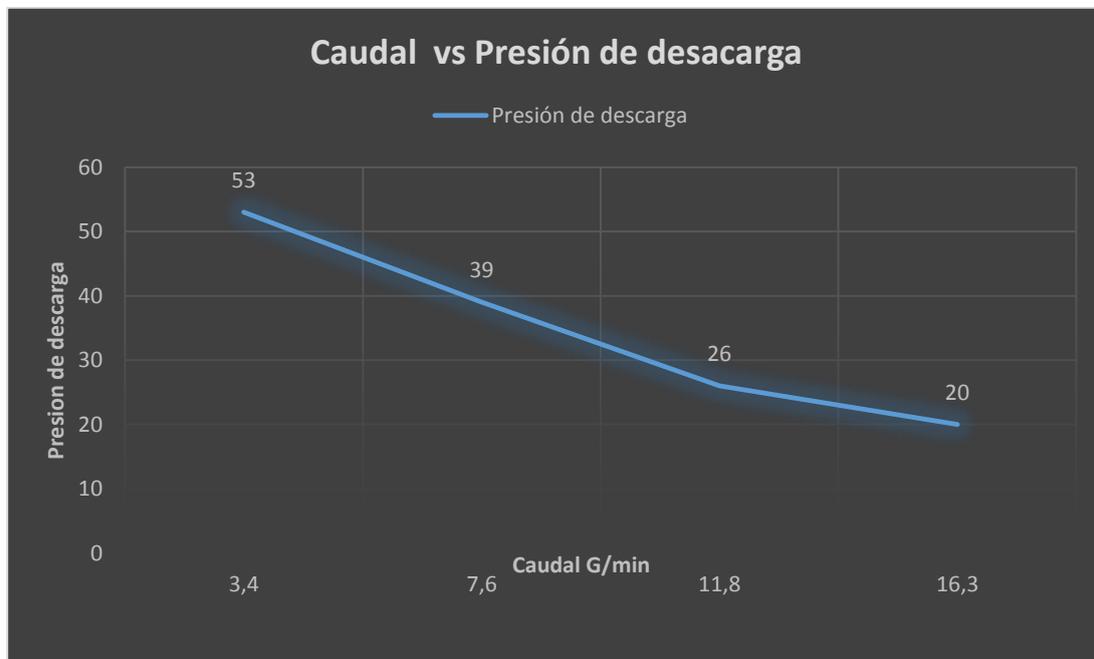
Fuente: Autor

Tabla 17. Datos de prueba de la línea 5 material galvanizado ½”

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS									
% Apertura de la válvula de la Línea 4	Presión de manómetros lbs			Caudal		Volumen transferido		Corriente (a)	Tiempo seg
	MD (psi)	M1 (psi)	M2 (psi)	G/min	L/min	Galones	Litros		
25	53	27	0	3.4	9.9	3.15	10	12.1	60
50	39	19	0	7.6	22.7	6.23	24	11.3	60
75	26	12	0	11.8	37.6	10.12	37	10.7	60
100	20	10	0	16.3	60.8	13.78	51	10.4	60

Fuente: Autor

Tabla 18. Datos de prueba de la línea 5 materia galvanizado ½”



Fuente: Autor

Tabla 19. Practica 6. Medición de flujo en la línea 6 Inoxidable ½”

MEDICIÓN DE FLUJO LINEA 6 MATERIAL INOXIDABLE DE ½”	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo con el medidor y contador de flujo, controlando la apertura porcentual de la válvula de descarga para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula del sistema utilizando el medidor y contador de flujo del banco de pruebas, También se puede comparar lo medido en el tanque aforado contra lo que muestra el equipo de medición con los datos tomados en el banco de pruebas.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de control de descarga se encuentre abierta en el % requerido.
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula globo con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

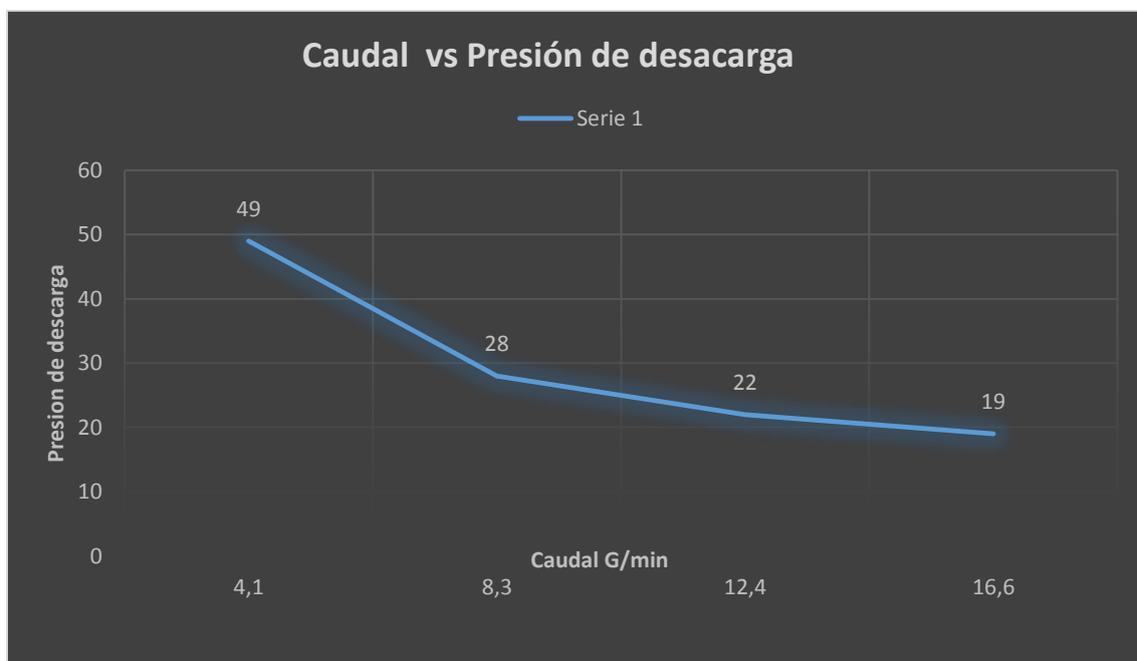
Fuente: Autor

Tabla 20. Datos de prueba de la línea 6 material inoxidable ½”

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS									
% Apertura de la válvula de la Línea 4	Presión de manómetros lbs			Caudal		Volumen transferido		Corriente (a)	Tiempo seg
	MD (psi)	M1 (psi)	M2 (psi)	G/min	L/min	Galones	Litros		
25	49	16	0	4.1	15.4	6.9	26	12.1	60
50	28	8	0	8.3	31.3	13.9	52.5	11.4	60
75	22	5	0	12.4	46.8	20.9	79	10.7	60
100	19	4	0	16.6	62.7	27.9	105	10.3	60

Fuente: Autor

Tabla 21. Datos de prueba de la línea 6 material Inoxidable ½”



Fuente: Autor

Tabla 22. Practica 7. Medición de flujo en la línea 7 Cobre 3/8”

MEDICIÓN DE FLUJO LINEA 7 MATERIAL COBRE 3/8”	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo con el medidor y contador de flujo, controlando la apertura porcentual de la válvula de descarga para determinar flujo mínimo y máximo dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula.	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula del sistema utilizando el medidor y contador de flujo del banco de pruebas, También se puede comparar lo medido en el tanque aforado contra lo que muestra el equipo de medición con los datos tomados en el banco de pruebas.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de control de descarga se encuentre abierta en el % requerido.
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula globo con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

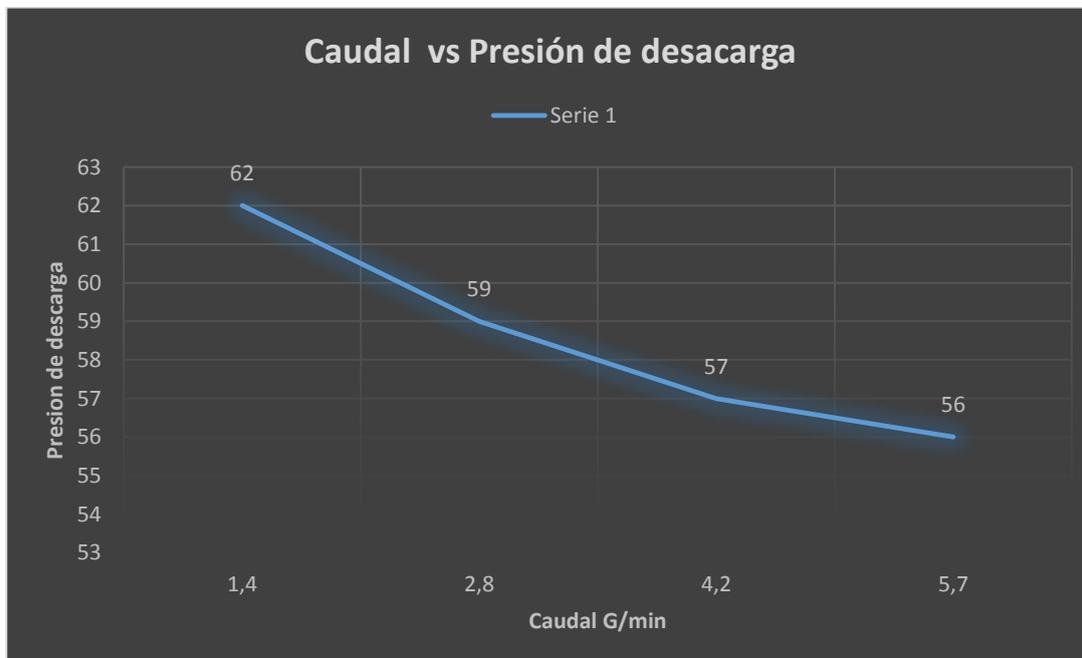
Fuente: Autor

Tabla 23. Datos de prueba de la línea 7 material cobre de 3/8"

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS									
% Apertura de la válvula de la Línea 4	Presión de manómetros lbs			Caudal		Volumen transferido		Corriente (a)	Tiempo seg
	MD (psi)	M1 (psi)	M2 (psi)	G/min	L/min	Galones	Litros		
25	62	39	0	1.4	1.4	1.29	65	21.1	60
50	59	32	0	2.8	2.8	2.59	39.1	11.6	60
75	57	27	0	4.2	28.7	3.88	26	10.9	60
100	56	24	0	5.7	21.5	5.18	19.5	10.6	60

Fuente: Autor

Tabla 24. Datos de prueba de la línea 7 material cobre 3/8"



Fuente: Autor

Tabla 25. Practica 8. Medición de flujo en la línea 8 Venturi 1”

PERDIDA DE PRESIÓN POR TUBO VENTURI REGULANDO LA VÁLVUVA DESCARGA LINEA 8 MATERIAL VENTURI 1”	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la medición de flujo mediante el sistema venturi, realizar comparación con el tanque aforado, controlando con la apertura porcentual de la válvula de succión para determinar flujo mínimo y máximo. Observando el comportamiento del ojo del cambio del impulsor a la electrobomba	Realizar curva Caudal contra apertura de la válvula de succión. Curva perdida de presión entre manómetro 2 y manómetro 3.
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de corte de la entrada de la línea 8 esté abierta en su totalidad y la válvula descarga se encuentre abierta un 100%
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas de apertura de la válvula descarga con una apertura del 25 %, 50%, 62.5%, 75%, 100%, y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

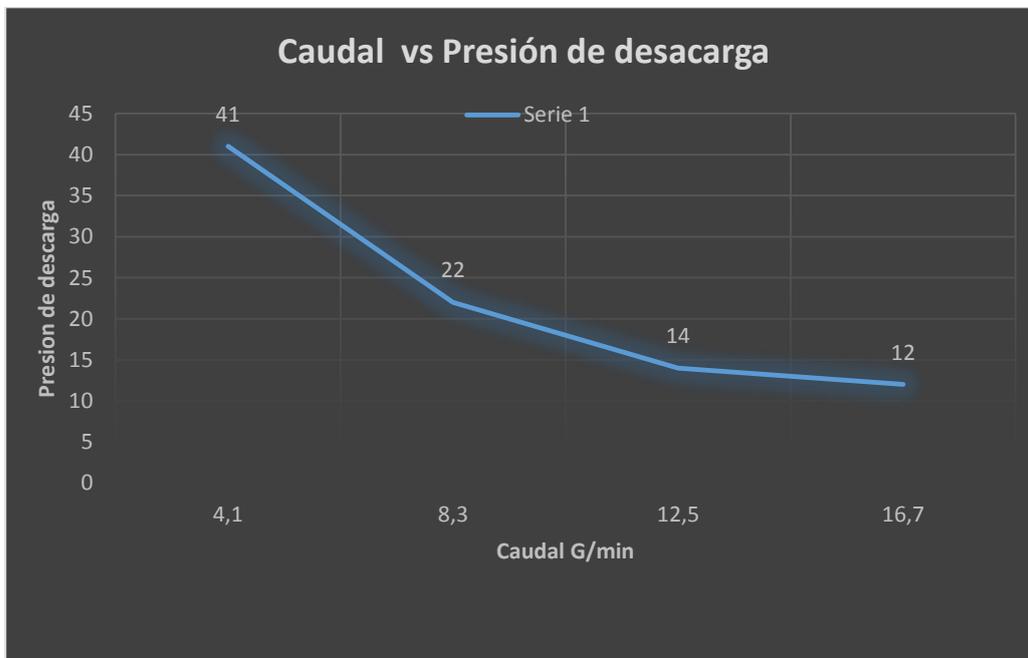
Fuente: Autor

Tabla 26. Datos de prueba de la línea 8 material Venturi 1”

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS									
% Apertura de la válvula de la Línea 8	Presión de manómetros lbs			Caudal		Volumen transferido		Corriente (a)	Tiempo seg
	M1 (psi)	M2 (psi)	M3 (psi)	G/min	L/min	Galones	Litros		
25	41	36	0	4.1	15.4	3.51	13.2	11.2	60
50	22	19	0	8.3	31.3	7.02	36.5	10.7	60
75	14	12	0	12.5	47.2	10.53	39.8	10.3	60
100	12	10	0	16.7	63.1	14.04	53.1	10.0	60

Fuente: Autor

Tabla 27. Datos de prueba de la línea 8 materia Venturi 1”



Fuente: Autor

Tabla 28. Practica 9. Medición de variables de las líneas

COMPARACIÓN DE VARIABLES ENTRE LINEAS TENIENDO EN CUENTA PRESIÓN DIÁMETROS Y MATERIAL.	
ACTIVIDAD	OBJETIVO
Realizar la operación de transferencia de fluido, para conocer el comportamiento de las variables del sistema, debido a los diferentes cambios que se obliga hacer el recorrido del fluido	Realizar Curva Caudal vs Altura Curva Caudal vs Potencia Curva Caudal vs Eficiencia
PROCEDIMIENTO	
1.	Cierre todas las válvulas de los diferentes circuitos o lazos del banco de medición.
2.	Verifique que la válvula de corte de la entrada de la línea 1 esté abierta en su totalidad y la válvula descarga se encuentre abierta un 100%
3.	Verifique que la válvula de corte de entrada a la línea 1 se encuentra abierta en su totalidad y alineado con el sistema hasta el tanque de almacenamiento.
4.	Encienda la electrobomba activando el botón ON ubicado al frente del banco.
5.	Repita los pasos los pasos (1-2-3-4) para realizar las pruebas a las líneas 2,3,4,5,6,7,8 y observe el comportamiento de las diferentes variables.
6.	Terminado de recoger los datos apagar la electrobomba con el BOTON OFF que está al frente del banco.

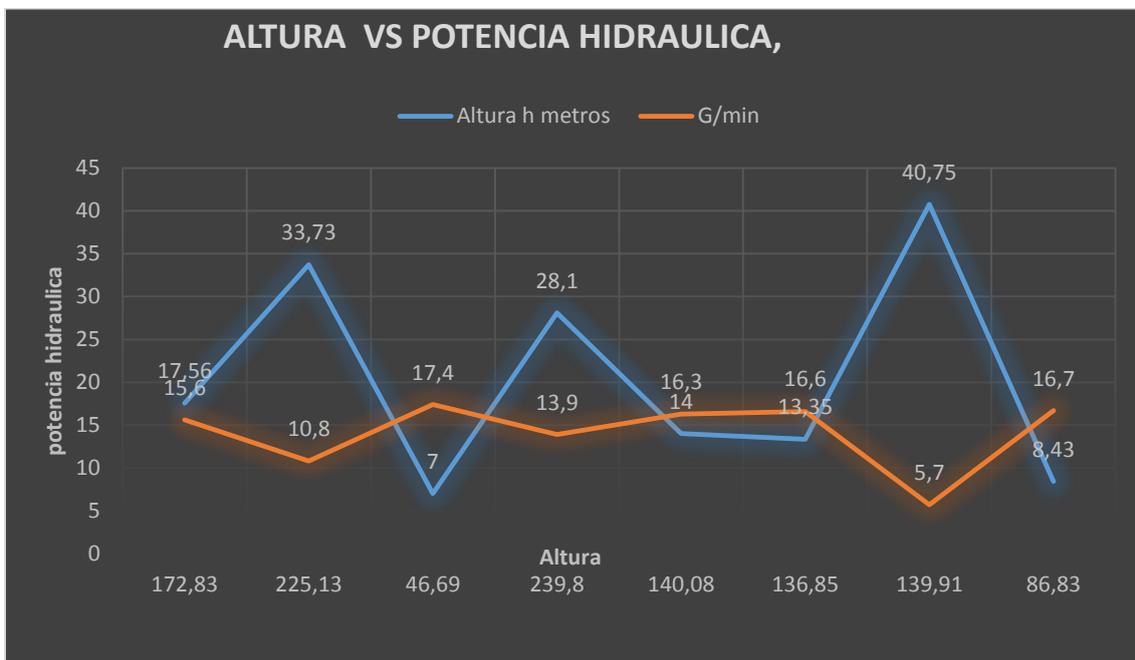
Fuente: Autor

Tabla 29. Datos de pruebas de las líneas.

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS			
Descripción	Altura h metros	Potencia hidráulica W	G/min
Línea 1 Galvanizado 1"	17.56	172.83	15.8
Línea 2 Galvanizado 1"	33.73	225.13	10.8
Línea 3 Galvanizado 1"	7	46.69	17.4
Línea 4 Aluminio 7/16"	28.10	239.8	13.9
Línea 5 Galvanizado 1/2"	14	140.08	16.3
Línea 6 Inoxidable 1/2"	13.35	136.85	16.6
Línea 7 Cobre 3/8"	40.75	139.91	5.7
Línea 8 Venturi 1"	8.43	86.83	16.7

Fuente: Autor

Tabla 30. Datos tomados en el módulo de prueba



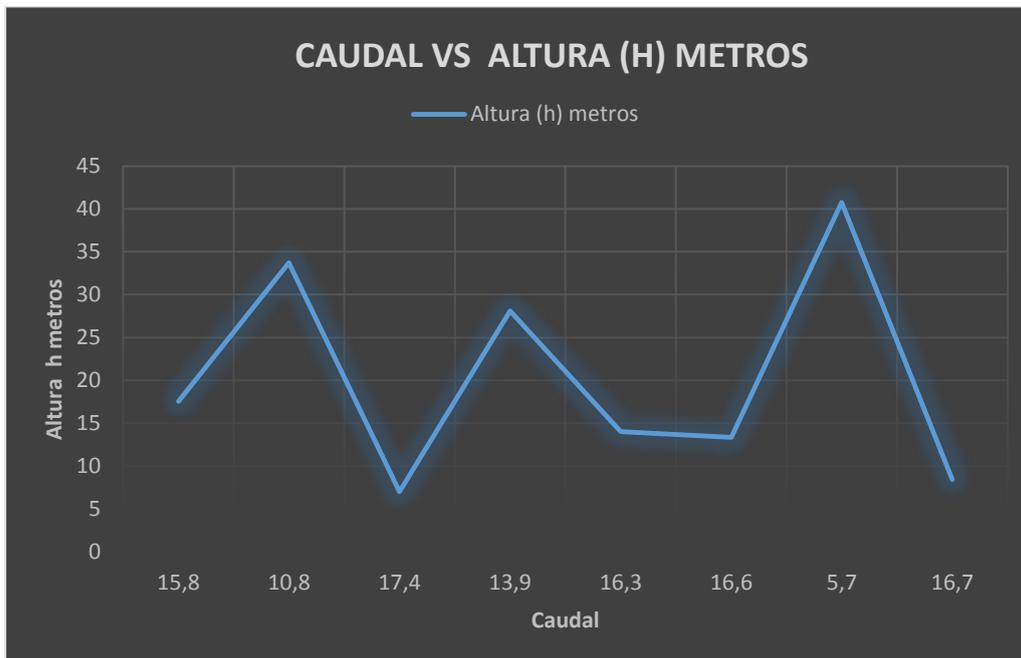
Fuente: Autor

Tabla 31. Datos tomados en el módulo de prueba

DATOS TOMADOS EN EL MODULO DE PRUEBAS			
Descripción	Atura (h) metros	Caudal	
		G/min	M ³ /seg
Línea 1 Galvanizado 1"	17.56	15.8	9.954
Línea 2 Galvanizado 1"	33.73	10.8	
Línea 3 Galvanizado 1"	7	17.4	
Línea 4 Aluminio 7/16"	28.10	13.9	
Línea 5 Galvanizado ½"	14	16.3	
Línea 6 Inoxidable ½"	13.35	16.6	
Línea 7Cobre 3/8"	40.75	5.7	
Línea 8 Venturi 1"	8.43	16.7	

Fuente: Autor

Tabla 32. Datos tomados en el módulo de prueba



Fuente: Autor