

Diseño de un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga  
en tuberías y accesorios.

VERSIÓN: 01



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

**AUTORES**

MIGUEL ALBERTO CERRA LIZARAZO – 1.096.219.706  
JHONATAN SILVA RUEDA - 1.092.708.999

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
PROGRAMA EN INGENIERIA ELECTROMECHANICA  
Fecha de Presentación: (13-11-2019)

Diseño de un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga  
en tuberías y accesorios.

VERSIÓN: 01



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

**AUTORES**

MIGUEL ALBERTO CERRA LIZARAZO - 1.096.219.706  
JHONATAN SILVA RUEDA - 1.092.708.999

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
Ingeniero Electromecánico

**DIRECTOR**

LEIDYS MARLEYN RODRÍGUEZ CASTRO  
MSc. Ingeniera Química

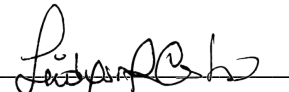
**Proyecto de investigación- DIANOIA**

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
PROGRAMA EN INGENIERIA ELECTROMECHANICA  
Fecha de Presentación: (13-11-2019)

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: MIGUEL ALBERTO CERRA,  
LIZARAZO JHONATAN SILVA RUEDA. Para  
optar el título de Ingeniero Electromecánico.

  
Firma del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

## **Dedicatoria**

La realización de esta investigación fue posible especialmente gracias a la ayuda de Dios, el cual permitió que este proceso fuera efectivo y lograra el impacto y los alcances deseados, agradezco de forma especial a todas aquellas personas que contribuyeron a la ejecución de este estudio, los cuales a través de sus conocimientos y experiencias hicieron un aporte valioso a este proyecto que hoy puede darse por terminado exitosamente conforme al esfuerzo, dedicación y la entrega empleadas en su elaboración.

**MIGUEL ALBERTO CERRA LIZARAZO**

### **Dedicatoria**

La realización de este proyecto investigativo está dedicada primordialmente a Dios quien me dio la fortaleza suficiente para seguir adelante en todo momento. A mi familia por brindarme su amor y cariño incondicional, por ser el pilar fundamental que ha sostenido mi vida llenándome de amor y comprensión. A mis amigos y compañeros de trabajo por brindarme parte de sus conocimientos y apoyo incondicional.

**JHONATAN SILVA RUEDA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le damos gracias a Dios por permitirnos vivir tan optima experiencia dentro de las Unidades Tecnológicas de Santander, gracias a esta universidad por darnos la posibilidad de alcanzar esta meta de llegar a ser profesionales en lo que tanto nos apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto terminado este grupo de graduados, y como recuerdo y prueba viviente en la historia: esta tesis, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

Finalmente agradecemos a quien lee este apartado de nuestra tesis, por reconocer nuestras experiencias, investigaciones y conocimiento, de aprendizaje.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN EJECUTIVO .....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3. OBJETIVOS .....	21
1.3.1. Objetivo general .....	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	22
2. MARCOS REFERENCIALES .....	28
2.1. MARCO HISTÓRICO .....	28
2.1.1. Historia del teorema de Bernoulli .....	28
2.1.2. Aforos por medidor venturi.....	28
2.2. MARCO TEÓRICO .....	30
2.2.1. Teoría del flujo de fluidos en tubería.....	30
2.2.2. Regímenes de flujo de fluidos en tubería.....	30
2.2.3. Régimen laminar .....	30
2.2.4. Pérdidas de energía por fricción y análisis de pérdidas localizadas en tuberías 31	
2.2.5. Flujo laminar en tuberías de presión de sección circular.....	31
2.2.6. Ecuación de Darcy-Weisbach.....	32
2.2.7. Coeficiente de fricción .....	32

2.2.8. Número de Reynolds .....	33
2.2.9. Diagrama de Moody .....	33
2.2.10. Pérdidas menores .....	33
2.2.11. Expansión brusca .....	34
2.2.12. Contracción brusca.....	34
2.2.13. Pérdidas por dilatación gradual .....	34
2.2.14. Principio de pascal .....	35
2.2.15. Presión por fuerzas externas en tubería .....	35
2.2.16. Presión lateral .....	35
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	36
2.3.1. Manómetro .....	36
2.3.2. Rotámetro.....	36
2.3.3. Válvulas de compuerta .....	36
2.3.4. Válvula de globo .....	36
2.3.5. Válvula de Bola o esférica .....	37
2.3.6. Codos.....	37
2.3.7. Tee .....	37
2.3.8. Mecánica de fluidos .....	37
2.3.9. Numero de Reynolds.....	38
2.3.10. El tubo Venturi.....	38
2.3.11. Presión .....	38
2.4. MARCO LEGAL.....	40
2.4.1. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 2887. Tubos, racores y accesorios de hierro dúctil y sus juntas para agua o gas. ....	40
2.4.2. Norma ASME-MFC-14M-2001.....	40
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....	41



3.1. RECOPIRAR INFORMACIÓN ACERCA DE BANCOS COMERCIALES PARA PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA CON EL PROPÓSITO DE ADQUIRIR CONOCIMIENTO SOBRE EL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	41
3.1.1. Banco de pruebas para fluidos .....	41
3.1.2. Banco hidráulico para determinar las pérdidas de energía en tuberías PVC44	
3.1.3. Banco de pérdidas de cargas en tuberías.....	45
3.2. DETERMINAR LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA CALCULAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	49
3.2.1. Calculo de pérdidas por recorrido o circuito a la descarga de la bomba con los diferentes materiales .....	54
3.3. REALIZAR LOS TRAZADOS DE LOS CIRCUITOS A DISEÑAR PARA EL BANCO DE PRUEBAS, DEFINIENDO DIÁMETROS DE TUBERÍAS, ACCESORIOS, MATERIALES ETC.....	87
3.3.1. Trazado circuito 1 del material PVC.....	88
3.3.2. Trazado circuito 2 del material hierro galvanizado. ....	88
3.3.3. Trazado circuito 3 del material cobre. ....	89
3.3.4. Trazado circuito 4 del material acero inoxidable. ....	89
3.3.5. Trazado circuito 5 del material aluminio.....	89
3.3.6. Trazado circuito 6 del material hierro galvanizado. ....	89
3.3.7. Trazado circuito 7 del material hierro galvanizado .....	90
3.4. DISEÑAR LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL BANCO DE PRUEBAS A TRAVÉS DE DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA.....	94
4. RESULTADOS .....	98
5. CONCLUSIONES .....	100
6. RECOMENDACIONES .....	101

BIBLIOGRAFÍA ..... 102

ANEXOS ..... 104

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Unidades de la presión.....	39
Figura 2. Banco de pruebas 3D. ....	41
Figura 3. Diseño estructura base para el banco .....	42
Figura 4. Banco hidráulico.....	44
Figura 5. Banco de pérdidas de cargas.....	46
Figura 6. Diseño del banco de pérdidas de cargas. ....	47
Figura 7. Banco de pruebas de mecánica fluidos Actual .....	49
Figura 8. Distribución de accesorios y diámetros de tubería .....	52
Figura 9. Descripción de accesorios, tipo de material y diámetros .....	52
Figura 10. Valores de diseño de la rugosidad de tubos .....	53
Figura 11. Circuito 1 material PVC .....	59
Figura 12. Circuito 2 material hierro galvanizado. ....	63
Figura 13. Circuito 3 material cobre .....	67
Figura 14. Circuito 4 material inoxidable. ....	71
Figura 15. Circuito 5 material aluminio .....	74
Figura 16. Circuito 6 material hierro galvanizado .....	78
Figura 17. Circuito 7 material hierro galvanizado .....	82
Figura 18. Plano estructural .....	88
Figura 19. Banco de prueba diseñado. ....	90
Figura 20. Electrobomba .....	91
Figura 21. Tubo Venturi .....	91
Figura 22. Equipo de medición Manométrica .....	92
Figura 23. Banco de prueba diseñado con medidas .....	93
Figura 24. Soporte base de la estructura. ....	95
Figura 25. Soporte de las líneas de tubería.....	96

Figura 26. Estructura final para el banco de pruebas ..... 97

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de tuberías con su respectivo factores K y medidas. ....	43
Tabla 2. Características del banco de pruebas para fluidos. ....	43
Tabla 3. Características del banco hidráulico. ....	45
Tabla 4. Características del banco de pérdidas de cargas. ....	47
Tabla 5. Comparación de la información obtenida de los bancos comerciales. ....	48
Tabla 6. Ecuaciones y variables de diseño .....	51
Tabla 7. Constante de accesorios .....	53
Tabla 8. Constante de accesorios en la succión .....	57
Tabla 9. Accesorios PVC .....	58
Tabla 10. Accesorios hierro galvanizado .....	62
Tabla 11. Accesorios cobre .....	66
Tabla 12. Accesorios acero inoxidable. ....	70
Tabla 13. Accesorios aluminio. ....	74
Tabla 14. Accesorios hierro galvanizado .....	78
Tabla 15. Accesorios hierro galvanizado .....	82
Tabla 16. Accesorios banco de fluidos .....	87

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Buje.....	104
Anexo 2. Tee.....	104
Anexo 3. Rodachines .....	105
Anexo 4.soporte base .....	105
Anexo 5. Plano esquemático del banco de pruebas.....	106
Anexo 6. Estructura banco de pruebas .....	107
Anexo 7. Plano estructura lateral derecho.....	108
Anexo 8. Estructura Plano frontal medidas lateral izquierda.....	109
Anexo 9. Estructura Plano frontal medidas lado superior .....	110
Anexo 10.Estructura Plano lateral izquierdo.....	111

## RESUMEN EJECUTIVO

Las Unidades Tecnológicas de Santander, Barrancabermeja, cuenta con un banco didáctico de fines académico para determinar pérdidas de carga en tuberías y accesorios. No obstante, a pesar de encontrarse fuera de servicio, fue construido de manera limitada, ya que sólo se podían realizar dos prácticas por contar con dos tipos de material de tubería. Se planteó realizar el diseño de un banco de pruebas conformado por siete líneas de tubería con diferente diámetro y material, donde el estudiante logre interactuar de forma intuitiva con el desplazamiento de fluidos a diferentes condiciones.

De acuerdo a los cambios desarrollados, se realizó el análisis de carga, basado en variables como presión, caudal y de acuerdo al diámetro y propiedades de cada material se realizó el cálculo de rugosidad, velocidad de flujo, densidad, pérdidas de carga por accesorios, número de Reynolds, entre otros. Así que a través de la lectura de este documento se logra obtener bases de una metodología descriptiva la cual expone técnicas y parámetros que guían a la construcción del banco de pruebas según las condiciones y modificaciones requeridas para el cálculo de pérdidas de un sistema de tuberías de diferentes materiales con la multiplicidad de escenarios que posibilita la realización de variadas simulaciones a los estudiantes de las UTS Barrancabermeja.

El proyecto se planteó en tres fases. En la primera, se comparó los diferentes bancos de pruebas comerciales de pérdidas de carga a través de un sistema de tuberías de diferentes materiales y accesorios. Posteriormente, se ejecutó el modelo matemático mediante teorías de mecánica de fluidos. Y, en última medida, se elaboró un diseño robusto y completo del sistema de pérdida de carga por tubería a través de SolidWorks, con base a los datos arrojados por el modelo matemático.

**Palabras claves:** Fluidos, diseño, pérdidas, investigación.

## INTRODUCCIÓN

Se planteó el diseño de un banco de pruebas didáctico. En el diseño se encuentra la elaboración en plano de las líneas de tuberías con los accesorios respectivos, el tanque de almacenamiento y los cálculos necesarios para asegurar el suministro constante de agua al sistema, la selección de la electrobomba y el circuito de potencia y de control para la misma y por último el diseño del mueble en el cual estará soportado todo el sistema. El trabajo comprendió una debida organización, que fue de gran importancia las acciones y conocimiento de los estudiantes de ingeniería.

De igual manera son variadas las labores que debe afrontar un ingeniero electromecánico entre las cuales está el diseñar diagramas de flujos. Independientemente de cuál sea el proceso, los cálculos se basaron en las pérdidas de carga del fluido cuando pasa por tuberías con diámetros y materiales diferentes, así también como su comportamiento ante las variables asociadas.

Conforme a lo anterior, se presentó por medio del siguiente informe un análisis de la teoría concerniente a la conducción de un fluido, en las cuales se simula por medio de un módulo didáctico las pérdidas de energía primarias y secundarias basando los cálculos en formulas empíricas desarrolladas por personajes a lo largo de la historia.

Además, se estableció las pautas que se deben seguir para el desarrollo de las diferentes actividades en el laboratorio de mecánica de fluidos de las Unidades Tecnológicas de Santander. Los elementos que comúnmente forman una instalación hidráulica son las tuberías encargadas de transportar el fluido y los denominados accesorios (codos, válvulas, té, contracciones y expansiones



bruscas y graduales) cuya misión es separar, cambiar la dirección o regular de alguna forma el flujo.

Para finalizar se separó el estudio de las pérdidas de carga en conductos denominadas también pérdidas 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 en 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.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bancos de pruebas son mecanismos o sistemas que combinan una serie de instrumentación y equipos que se utilizan para realizar comprobaciones prácticas de conceptos teóricos, generalmente son diseñados de manera que se puedan modificar de acuerdo con la finalidad de las pruebas que se requieran hacer y los campos de aplicación, por ejemplo, motores, fluidos, electricidad, etc. Igualmente permiten a los estudiantes o personal de investigación y desarrollo de las empresas que emplean estos tipos de laboratorios, diseñar o mejorar procesos de manera que no se utilice los mecanismos y sistemas reales, pero que sí que representen a escala dichos procesos.

Actualmente las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja cuenta con un módulo de pruebas para el análisis de pérdidas de carga, que fue construido por estudiantes de tecnología en operación y mantenimiento electromecánico con el fin de conocer pérdidas de presión en tuberías con dos tipos de materiales, el banco de pruebas actualmente no se encuentra en uso debido al subdimensionamiento del mismo. Por tal razón se establece la necesidad de un diseño que represente la construcción de un banco completamente nuevo, amplio, robusto y completo del sistema de pérdidas de carga por tuberías con diferentes tipos de materiales y accesorios, con el fin que el estudiante del área de electromecánica identifique las variables analíticas relacionadas con el cálculo de las pérdidas de energía. Por consiguiente se plantea la siguiente pregunta problema en cuanto a: ¿cómo diseñar un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el desarrollo profesional de los estudiantes de cualquier institución educativa parte de la posibilidad de enfrentar problemas de la vida real a los que posiblemente ejecutará en su profesión, muchas de estas universidades proveen al estudiante laboratorios modernos y tecnológicos, que de acuerdo al área de conocimiento, pueden ser más o menos complejos, sin embargo, la relación de esta idea es poner en contexto la necesidad de las universidades locales de ofertar espacios de la realidad soportada en la aplicación de los conceptos vistos en asignaturas teórico-prácticas, con el fin de aportar al mejoramiento de los procesos de las industrias desde la academia.

Actualmente las industrias luchan incansablemente en el control de sus pérdidas, lo que supone para ellas innovación, renovación y estudio de las estrategias utilizadas para la obtención más alta de su eficiencia y esa búsqueda de ideas, que reduzcan y expliquen detenidamente las causas y efectos que generan el surgimiento de fallas, por ende nacen los convenios interinstitucionales con universidades, las cuales en su seno de ciencia y conocimiento pueden abordar estas problemáticas y en muchos casos han hecho evolucionar las técnicas establecidas para dar origen a nuevas formas de ver los procesos productivos, llevando a la ampliación de los sistemas de monitoreo, control continuo de los procesos efectuados y ensayos preventivos, enfocándose en la producción, origen de la calidad y mejora continua de las actividades.

El estudiante del área electromecánica en las Unidades Tecnológicas de Santander regional Barrancabermeja debe estar en capacidad de analizar e interpretar normas, especificaciones, manuales, diagramas de tipo eléctrico y mecánico; en este orden de ideas se justifica el desarrollo de este proyecto con la necesidad de rediseñar un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios,

con el fin de que se generen documentos guías o antecedentes para las futuras construcciones o adecuaciones de los bancos existentes en la UTS Barrancabermeja, de esta manera se logra dos alcances: La aplicación de conocimientos teórico-prácticos por parte del futuro graduado y el desarrollo de mejoras que beneficien el crecimiento profesional de los estudiantes que lleguen al programa de electromecánica.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un banco de pruebas a través de dibujo asistido por computadora para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios en las Unidades Tecnológicas de Santander, regional Barrancabermeja

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Recopilar información mediante fuentes secundarias acerca de bancos comerciales para pruebas de pérdidas de carga con el propósito de adquirir conocimiento sobre el procedimiento de diseño.
- Determinar los parámetros que intervienen en el diseño del banco de pruebas mediante la resolución de ecuaciones hidráulicas para el cálculo de las pérdidas de carga en un sistema de tuberías y accesorios.
- Realizar los trazados de los circuitos a diseñar para el banco de pruebas mediante Solidworks, definiendo diámetros de tuberías, accesorios, materiales etc.
- Diseñar la estructura de soporte del banco de pruebas a través de dibujo asistido por computadora para la identificación de los componentes que lo conforman con sus respectivas dimensiones.

#### **1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES**

Córdoba y Velásquez (2013) realizan el diseño, construcción y calibración de un banco de pruebas para verificación de los sistemas de fluidos en la Universidad de Nariño. El propósito principal de este proyecto es contribuir al mejoramiento de los laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica para el programa de ingeniería. El diseño propuesto permite analizar con facilidad, el fenómeno físico del momento angular y la comprobación de las ecuaciones de los fluidos que lo reglamentan. Así mismo las ecuaciones tienen múltiples usos en la ingeniería experimental, como a manera de ejemplo, el diseño de distribuidores rotatorios de caudal, bombas y turbinas, donde se enfatizan la importancia de los torques. Para el diseño del proyecto se plantean aspersores y distribuidores rotatorios que son dispositivos que se emplean para la repartición de agua sobre la superficie y el fin de los aspersores son sistemas de riego rotatorios que dispersan un flujo líquido a presión.

La aplicación de los aspersores de fluidos de distribución rotativos, son elementos estándar en el proceso de trabajo, porque garantizan una fiabilidad y facilidad a la hora de un mantenimiento, este tipo de distribuidor de fluidos puede ser impulsado por un motor eléctrico o por la reacción dinámica del agua residual que es descargada por las boquillas (Cordoba & Velasquez, 2013). Este tipo de aspersores se puede utilizar en tanques elevados de alimentación o recirculación, que tiene como objeto asegurar el caudal de trabajo mínimo, que será suficiente para la operación del distribuidor de agua residual.

Córdoba y Velásquez (2013), declaran que para el diseño de los componentes del sistema hidráulicos se tuvo en cuenta el cabezal constante del vertedero de excesos y la tolva, y se evidenció la pérdida de energía por carga de velocidad del fluido. Para el diseño del tubo principal se permite analizar las disposiciones del caudal en el sistema y la cantidad de energía disponible que se pierde, por ejemplo; si el valor

de la energía es alto, los diámetros del tubo principal deben ser pequeños para elevar el valor de las pérdidas en la tubería. Se logró determinar para los datos finales del diseño y construcción del dispositivo, donde se comprueba que la ecuación de momento de momentum, que es la cantidad de movimiento angular de un fluido, se pudo evidenciar su aplicación de una manera adecuada respecto a los cálculos planteados en el diseño del proyecto.

Reyes y Salas (2014) , presentan en su tesis de grado, el diseño de un banco para el sistema de tuberías de dirección hidráulica, de automóviles, con el fin de determinar el mejoramiento en los tiempos de entrega. Se establecen los datos del banco para determinar las condiciones de trabajo, donde se definen las características del banco de prueba y el desarrollo del diseño conceptual. Se utilizan herramientas como soporte en el diseño experimental, las cuales son un software CAD, que genera una simulación para las pruebas del banco en las bombas y el sistema hidráulico.

La metodología propuesta para el desarrollo de este proyecto, abarca la obtención de datos y el análisis de toda la información obtenida, la cual permite la verificación de todos los componentes del banco hidráulico, con el fin de direccionar la investigación y hacerla asertiva a la hora de hacer las pruebas en el laboratorio. Las fuentes de información para este proyecto fueron por medio de catálogos y manuales de fabricantes, estos manuales especifican el caudal de las bombas, tuberías hidráulicas y las presiones hidráulicas, lo que define la base del banco y así poder realizar las medidas correspondientes de las pruebas.

La selección de los elementos en cuanto a los sistemas hidráulicos que se van a intervenir en el diseño del banco, es la reparación de las bombas, tuberías y botellas de dirección hidráulica, además de tener sistemas de dirección hidráulica comunes por lo que la mayoría de equipos podrían ser evaluados con base a los sistemas de estos. Las características de presión de trabajo enviada por las bombas hidráulicas de los diferentes

productos son los siguientes: bombas de dirección hidráulica, desplazamiento de flujo nominal, presión máxima, velocidades de rotación de trabajo, flujo de salida, dirección de rotación tuberías de alimentación y tuberías de descarga. (Reyes & Salas, 2014, pág. 33)

Se pudo concluir que en cuanto al análisis del comportamiento del fluido dentro del sistema realizado de forma específica y con el análisis proporcionado por el software que se implementó, se logró establecer las condiciones del fluido dentro del sistema hidráulico y ayudo con la selección de los componentes óptimos para evitar fallos en el diseño del banco de pruebas (Reyes & Salas, 2014).

Morales (2015), presenta el diseño de un banco didáctico, para prácticas de mecánica de fluidos apoyando en un PLC, presentado para la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de obtener el título de tecnólogo en mecánica.

La finalidad primordial de esta investigación es que se obtuvo un banco para pruebas de mecánica de fluidos, con el fin de que pueda obtener un control de nivel, el cual no sea controlado por una persona, si no específicamente desde un centro de mando asistido por un computador el cual envié las señales de control.

Como primera medida se definen las necesidades donde va a ir ubicado el banco para su instalación, luego se realiza un diseño estructural de la instalación hidráulica, con el fin de realizar una representación a escala real de la tubería, implementada en el banco. Este tipo de instalación tiene como propósito el ubicar los dispositivos, elementos y equipos necesarios para realizar las pruebas posteriores con todos los parámetros de mecánica de fluidos, ya que en el laboratorio de la universidad no tienen los medios posibles para establecer las pruebas correspondientes. La importancia de este proyecto radica en tener nuevas bases, al momento de escoger todos los accesorios e instrumentos necesario para su instalación (Morales, 2015).



Los alcances con el método propuesto en este proyecto es entregar al lector y diseñador la manera de cómo construir una distribución hidráulica que satisfaga las necesidades las cuales son influyentes a la hora de escoger parámetros definitivos como elección de componentes vitales para ser incorporados en la instalación a la hora de plasmar un banco hidráulico como este, además de esquematizar los posibles cambios de energía del fluido de trabajo a través de la red construida en cualquier material (podría ser acero inoxidable). Y se determinan métodos diferentes para el tratamiento de fluidos de trabajo y poder establecer una interfaz hombre-máquina para un control de automatismo total a la hora de monitorear parámetros esenciales en un laboratorio de mecánica de fluidos, además de interactuar en tiempo real con lo que acontece en la configuración de las necesidades hidráulicas en una instalación de red de tuberías. (Morales, 2015, pág. 56)

García y García (2009) indican en su trabajo de investigación un diseño y montaje del laboratorio de hidráulica de tuberías, para banco de pruebas tubo Venturi, para optar por el título de ingeniería electromecánica. El objeto de este trabajo, radica como primera medida recopilar información acerca del tubo Venturi, con el propósito de conseguir un conocimiento amplio del sistema planteado y así poder crear bases sólidas en los procedimientos de diseño. Se realiza un diseño estructural a través de dibujo asistido por un software (Solidword), esto con el fin de establecer las dimensiones necesarias que asumirá el montaje real del banco de pruebas con el tubo Venturi que se desea implementar para las pruebas de fluido.

La instalación general de las tuberías consiste en una conducción en la que se encuentran intercalados diferentes medidores de caudal y por la que se hace circular agua gracias al empleo de una bomba centrífuga. El caudal puede variarse utilizando la válvula de regulación situada a la salida de la conducción. Esta válvula ha sido calibrada por el fabricante de manera que el caudal puede calcularse en función del número de vueltas de la maneta y la pérdida de presión. (Garcia & Garcia, 2009, pág. 12)

Se denota como resultado en primera medida que se hizo necesario conocer el caudal real que circula en cada momento y que pasa por la instalación de líneas de

tubería, que mediante una gráfica de calibrado de las válvulas de regulación se pudo visualizar el valor del caudal entrando por la escala de pérdida de carga, hasta la línea siguiente de descarga (Garcia & Garcia, 2009).

Se implementa un diseño de un banco de tuberías para pruebas de presión hidrostática, sus objetivos de diseño son; identificar los criterios y restricciones de diseño del sistema de la red de tuberías hidráulicas, el cual tiene como finalidad inyectar agua en el interior de la tubería y llevarlo a una presión constante, verificando la respectiva prueba de hermeticidad, de modo que se pueda establecer si posee algún tipo de anomalía o por el contrario está en condiciones óptimas de uso (Sierra & Garcia, 2015).

Se diseñará todo el sistema de distribución de tubería. “Dicho diseño comprende los cálculos para seleccionar la tubería adecuada que soporte presiones de trabajo, teniendo presente lo que indica las normas, definición de rutas de tubería del sistema, selección con criterio técnico de la bomba y accesorios del sistema hidráulico” (Sierra & Garcia, 2015, pág. 19).

El planteamiento metodológico para esta investigación establece unos parámetros, referentes a las actividades establecidas en la toma de decisiones al momento de realizar el diseño del banco. Se concluye que se organizó toda la información de los cálculos de los datos de diseño de la red de tubería hidráulica, para llevar a cabo la correcta selección de la tubería. Luego se verificaron los cálculos de pérdidas al sistema de tubería, debido a la fricción del fluido y pérdidas que se presenten por los elementos de las acometidas con el fin de estimar la potencia necesaria que debe tener las líneas de presión (Sierra & Garcia, 2015).

Se realiza un diseño de un banco de pruebas para la medición de caudal y caída de presión en tuberías paralelas, el cual es presentado por los estudiantes de ingeniería mecánica que son Luis Lara y José pineda. Los objetivos del diseño son

el diseño de un banco de pruebas para el desarrollo de actividades correspondientes al transporte de fluidos en líneas de presión variable, se analiza el estado de los fluidos por medio de redes de tuberías paralelas con diferentes materiales y se verifican la pérdida en distintos puntos de los accesorios de la tubería. Y se crea un manual donde se establezca la operación del banco de pruebas (Lara & Pineda, 2011).

Las tuberías se construyen en diversos materiales en función de consideraciones técnicas y económicas, y que pueden presentar varias clases de uso como el doméstico y el industrial, entre otros. Los sistemas de tuberías pueden presentar varias clases de uso como el doméstico y el industrial. Y con respecto al uso doméstico y de desagües, actualmente los materiales más comunes con los que se fabrican tubos para la conducción de agua, por la buena conducción que se presenta y por su economía son: cobre, PVC, acero, hierro fundido y soportan altas presiones, toda esta información permitió que se llevara a cabo el diseño del banco y así establecer parámetros de registro. (Lara & Pineda, 2011, pág. 22)

Al hacer las prácticas con el banco con las diferentes pruebas se concluyó que la altura en la que se encuentran las tuberías es de esencial importancia para que el caudal fluya correctamente independientemente del diámetro de la tubería. Al realizar el cálculo teórico esto no se tiene en cuenta. “Y la caída de presión en el banco de pruebas siguiente confirma que las pérdidas en un sistema de tuberías en paralelo es la misma en cada uno de los tramos del mismo sin importar la configuración ni el número de accesorios presentes en el tramo” (Lara & Pineda, 2011, pág. 89).

## **2. MARCOS REFERENCIALES**

### **2.1. MARCO HISTÓRICO**

#### **2.1.1. Historia del teorema de Bernoulli**

Según González, Ortiz y Martín (2007), La historia comienza en 1598 cuando Benedetto Castelli refutó la forma de medir el flujo en los ríos por parte de Giovanni Fontana, afirmando tomar en cuenta la sección y la velocidad. También aclaró que, en la medición en orificios, debía considerarse la carga y el tamaño del orificio. En 1625, Castelli estableció la ecuación que lleva su nombre ( $Q = AV$ ). Galileo Galilei (1638), propuso que los cuerpos experimentan una aceleración uniforme al caer en el vacío.

En 1641, Evangelista Torricelli demostró que la forma de un chorro al salir de un orificio es una hipérbola de 4º orden. Isaac Newton (1686), argumentó que el agua tiene una caída efectiva en el interior de un tanque y que el orificio tiene encima una carga real del doble de la altura del tanque. “Daniel Bernoulli (1738), aclaró el enigma de la doble columna y finalmente Johann Bernoulli, basado en los trabajos de su hijo Daniel, presentó una mejor explicación del escurrimiento en un orificio y logró una clara deducción de la ecuación de una línea de corriente” (González, Ortiz, & Martín, 2007, pág. 40).

#### **2.1.2. Aforos por medidor venturi**

Fue inventado por el ingeniero Clemens Herschel en 1887, quien lo denominó Venturi, en honor al investigador italiano que realizó profundos estudios sobre boquillas convergentes. Según Gómez (2004), se compone esencialmente a dos troncos de cono, el primero convergente y segundo divergentes que debe ser lo más largo posible evitándose grandes pérdidas de carga, reunidos por una sección estrecha con la colocación de un elemento cilindro.

En el conjunto se intercala en la tubería cuyo diámetro sea el mismo que el de las dos secciones mayores de los troncos de cono, dos tubos piezómetros o dos manómetros quedan colocados el primero inmediatamente aguas arriba del primer tronco de cono y el segundo en el elemento más estrecho cilíndrico, el eje del aparato es horizontal (Gómez Silva, 2004).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Teoría del flujo de fluidos en tubería**

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma. Para llevar a cabo un buen diseño de tubería, se deberá tener en conocimiento las pérdidas por fricción y los cambios de energía potencial, ya que de estas pérdidas será posible llevar a cabo la selección de la bomba (Crane, 2000).

### **2.2.2. Regímenes de flujo de fluidos en tubería**

“En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías, juegan un papel discriminante dos factores: el que la tubería sea lisa o rugosa y que el régimen de corriente sea laminar o turbulento” (Cordova & Pozo, 2011, pág. 5).

### **2.2.3. Régimen laminar**

“En este régimen el flujo tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en líneas paralelas (en capas), sin que se produzca mezcla de materia entre las distintas capas” (Cordova & Pozo, 2011). En flujo laminar, prácticamente no existe mezcla del fluido entre las capas.

#### **Régimen turbulento**

En este régimen el flujo tiene un movimiento caótico, desordenado con mezcla intensiva entre las distintas capas. En flujo turbulento, existe mucha mezcla, debido a que la velocidad en cada punto no es constante. Dicha velocidad presenta una fluctuación en el tiempo, produciendo una alta disipación de energía (Cordova & Pozo, 2011).

#### **2.2.4. Pérdidas de energía por fricción y análisis de pérdidas localizadas en tuberías**

A medida que un fluido pasa en un conducto, el tubo o algún otro dispositivo, se originan pérdidas de energía debido a la fricción del fluido con el material interno de la tubería; tales energías traen como consecuencia una reducción de la presión entre dos puntos del sistema de flujo. Existen tipos de pérdidas que son muy pequeñas en comparación, y, por consiguiente, se hace referencia de ellas como pérdidas menores, las cuales sobrevienen cuando hay una variación en la sección cruzada de la trayectoria de flujo o en la dirección de flujo, o cuando la trayectoria del flujo se encuentra obstruida como sucede en una válvula o en otro elemento de la línea (Barreto , 2008).

En el caso de un conducto de presión con sección circular para mencionar la sección más utilizada. En un flujo incompresible permanente a través de un tubo, se presentan pérdidas que se expresan por medio de la caída de la línea de cargas piezométricas. Otras pérdidas están directamente asociadas a la geometría misma del flujo y se conocen como pérdidas por accesorios. Los cambios de dirección y de sección transversal son las principales causas de estas pérdidas. (Barreto , 2008, pág. 18)

#### **2.2.5. Flujo laminar en tuberías de presión de sección circular**

“El comportamiento de un flujo laminar incompresible en una tubería de presión de sección circular en condiciones de régimen permanente se puede estudiar con una expresión derivada analíticamente” (Barreto , 2008, pág. 19).

Flujo turbulento en conductos de presión de sección circular

En general en flujos incompresibles a régimen permanente y uniformes, desarrollados en tuberías de sección transversal constante, el esfuerzo constante en la pared de la tubería se puede reflejar en función de la viscosidad media al cuadrado (Barreto , 2008). Donde el coeficiente adimensional para el

flujo de la presión en una tubería cerrada, la energía propia proveer la caída de energía potencial.

### **2.2.5.1 Calculo de pérdidas primarias**

Las pérdidas de carga continuas en una tubería se calculan mediante la ecuación de Darcy Wiesbach, que propone la ecuación básica para la determinación de pérdidas de carga en tuberías y en conductos. Según esta expresión, las pérdidas de carga debidas al rozamiento en una tubería o conducto en dimensiones de altura, son proporcionales a la velocidad del fluido en la tubería al cuadrado y a la longitud de la misma y son inversamente proporcionales al diámetro de la tubería o conducto. (Cordova & Pozo, 2011, pág. 15)

### **2.2.6. Ecuación de Darcy-Weisbach**

Formula de Darcy-Weisbach, es una ecuación ampliamente usada en hidráulica. “Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería. La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy” (Barreto , 2008, pág. 24).

### **2.2.7. Coeficiente de fricción**

El coeficiente de fricción alcanza su valor máximo cuando las dos superficies están en reposo, inmediatamente antes que se inicie el movimiento. (Entonces las salientes y las depresiones han tenido tiempo de entrar unas en las otras y encajar.) En cuanto empieza el deslizamiento, es ligeramente menor. El coeficiente de fricción para objetos que resbalan entre sí se llama coeficiente de fricción por deslizamiento (o coeficiente de fricción cinética). Cuando la fricción mantiene al objeto en reposo, se define el coeficiente de fricción estática como la fuerza de fricción máxima que puede actuar sin que el objeto se mueva, dividida entre la fuerza normal. (Hewitt, 1998, pág. 98).



### **2.2.8. Número de Reynolds**

La naturaleza de flujo, es decir, el que sea laminar o turbulento, y su ubicación relativa en una escala señala la importancia relativa de la tendencia a que sea laminar o turbulento se expresa por el número de Reynolds. “El número de Reynolds es la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas. El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional” (Lara & Pineda, 2011, pág. 23).

### **2.2.9. Diagrama de Moody**

Este tipo de diagrama está representado en dos ecuaciones, la ecuación de Poiseuille junto con la ecuación de Colebrook-White que sugieren el cálculo del coeficiente en todos los casos que pueden representarse en la práctica. A través de este diagrama se puede encontrar fácilmente el coeficiente de fricción de distintas tuberías, lisa o rugosa y en cualquier régimen de flujo, partiendo de los parámetros adimensionales de rugosidad (Khouri, 2004).

### **2.2.10. Pérdidas menores**

Cuando en las redes de tuberías existen elementos como codos, acoples, medidores, válvulas, etc. Es necesario tomarlos en cuenta dentro de nuestro sistema en estudio, ya que, estos elementos agregan pérdidas a nuestro sistema, además de las pérdidas que tenemos por fricción entre la película de fluido próximo a las paredes de la tubería y la tubería misma. En la mayoría de las veces se evalúa experimentalmente las pérdidas que dichos accesorios generan, caracterizándolos por una constante, la cual va a representar una fracción de la presión de velocidad que se pierde en el accesorio. (Lara & Pineda, 2011, pág. 26)

### **2.2.11. Expansión brusca**

“Cuando ocurre una expansión brusca la velocidad del fluido disminuye abruptamente ocasionando una turbulencia que genera pérdida de energía, dicha pérdida de energía se hace menor si se hace menos abrupta la dilatación de tuberías por medio de bordes no cuadrados” (Lara & Pineda, 2011, pág. 27). Para la dilatación súbita la constante se hace dependiente de los diámetros de las tuberías, así como la magnitud del flujo.

### **2.2.12. Contracción brusca**

En la contracción brusca al aproximarse el fluido a la trayectoria de contracción la corriente total continúa estrechándose durante cierta distancia más allá de la contracción, por lo tanto, la sección de cruce mínimo de flujo es menor que la del conducto menor. Lara y pineda (2011). Señalan que “la sección donde ocurre esta área del mínimo se denomina vena contracta. Más allá de la vena contracta, la corriente de flujo debe desacelerar y dilatarse nuevamente para llenar el conducto” (p.28). La turbulencia ocasionada por la contracción y la posterior dilatación genera la pérdida de energía.

### **2.2.13. Pérdidas por dilatación gradual**

Al fluir un fluido de un conducto menor a uno mayor a través de una dilatación súbita, su velocidad disminuye abruptamente ocasionando una turbulencia que genera una pérdida de energía. La cantidad de turbulencia, y por consiguiente, la cantidad de pérdida de energía depende del cociente de los tamaños de los dos conductos (Cordoba & Velasquez, 2013).

Método de presión diferencial

Acevedo Sánchez (2006) declara que el método más ampliamente utilizado para la medida industrial de caudales es el que se realiza a partir de la presión diferencial. Existen varios tipos de elementos de medida basados en este principio, como son: placas de orificio con diversas formas, tubos Venturi,

toberas, tubos Pitot, tubos Annubar, aunque dentro de ellos los más utilizados son las placas de orificio. El comportamiento dinámico en las válvulas de fluidos depende de las magnitudes relativas de inercia y fricción. El número de Reynolds es adimensional formado por la relación entre inercia y viscosidad, expresado como:  $(\rho)$ : densidad del producto.  $(V)$  como la velocidad de paso.  $(D)$  diámetro de la tubería o válvula.  $(\mu)$  Viscosidad del producto.

#### **2.2.14. Principio de pascal**

La presión que se ejerce en el seno de un líquido se transmite integralmente en todos sentidos y direcciones. Este principio establece que la presión que se ejerce en un líquido contenido en un recipiente se transmite, con la misma intensidad en todas direcciones y sentidos. Entre sus aplicaciones más conocidas están: la prensa hidráulica, los vasos comunicantes, y en numerosos equipos industriales para control de presión y válvulas de regulación y de control. (Constantino, 1994, pág. 168)

#### **2.2.15. Presión por fuerzas externas en tubería**

El fundamento de la hidrostática es la ley de Pascal que es el efecto de una fuerza sobre un líquido en reposo se reparte en todas direcciones dentro del líquido. La magnitud de la presión en el líquido es igual a la fuerza por peso, referida a su superficie efectiva. La presión siempre actúa en forma vertical sobre las superficies que limitan el recipiente (Hibbeler, 2006).

#### **2.2.16. Presión lateral**

La presión que ejercen la tubería con el flujo sobre las paredes que los contienen sigue la ley de los fondos, de mismo modo la presión de los líquidos en las paredes laterales será proporcional a la superficie de aquella y a la distancia que haya entre el centro de la superficie y la línea del nivel o profundidad. (Mariano, 1956, pág. 58)

## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1. Manómetro**

Los manómetros son los instrumentos que se emplearan para medir la presión del fluido que pasara por la tubería del sistema, en este proyecto se empleara el agua. “Cuando las pérdidas de carga a medir no son muy elevadas se emplea el manómetro de columna aire-agua. Por el contrario, si las pérdidas son elevadas se utilizará un manómetro de columna agua-mercurio” (Kane, 2007, pág. 297).

### **2.3.2. Rotámetro**

Los rotámetros son instrumentos utilizados para medir caudales, tanto de líquidos como de gases que trabajan con un salto de presión constante. Se basan en la medición del desplazamiento vertical de un elemento sensible, cuya posición de equilibrio depende del caudal circulante que conduce simultáneamente, a un cambio en el área del orificio de pasaje del fluido, de tal modo que la diferencia de presiones que actúan sobre el elemento móvil permanece prácticamente constante. Las fuerzas que actúan sobre el flotador son tres y de naturaleza distinta. (Torres, 2001, pág. 103)

### **2.3.3. Válvulas de compuerta**

El elemento de cierre de este tipo de válvula es una compuerta de forma rectangular o circular, cuyos planos extremos pueden ser paralelos o en curva. En el proceso de apertura o cierre, la compuerta se desliza a través de ranuras o guías, practicadas en el cuerpo de la válvula (Mendez, 2007).

### **2.3.4. Válvula de globo**

“Las válvulas de globo están caracterizadas por un elemento obturador circular, solidario a un vástago de desplazamiento, generalmente vertical, el cual cierra contra un asiento de igual geometría, contenido el cuerpo de la válvula, y

perpendicular al eje de la tubería” (Mendez, 2007, pág. 35). El flujo en su paso a través de la válvula, cambia su dirección en 90°. Para luego retornar al alineamiento original.

### **2.3.5. Válvula de Bola o esférica**

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. Se recomienda en aplicaciones que requieran apertura rápida con resistencia mínima a la circulación, a temperaturas moderadas (Creus, 2005).

### **2.3.6. Codos**

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías. “Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la pre-fabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son: codos estándar de 45°, codos estándar de 90°” (Barreto , 2008, pág. 33).

### **2.3.7. Tee**

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y schedule y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería. Los tipos de tee son; de diámetro iguales o te de recta y reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

### **2.3.8. Mecánica de fluidos**

Estudia las leyes del movimiento de los fluidos y su proceso de interacción con los cuerpos sólidos. La mecánica de fluidos como hoy se conoce es una mezcla de teorías y experimentos que provienen por un lado de los trabajos iniciales de los ingenieros hidráulicos, de carácter fundamentalmente empírico, y por el otro

de trabajo de básicamente matemáticos, que abordaban el problema mediante un enfoque analítico.

Al integrar en una única disciplina la experiencia de ambos colectivos se evita la falta de generalidad derivada de un enfoque estrictamente empírico, válido únicamente para casos concretos, y al mismo tiempo se permite que los desarrollos analíticos matemáticos aprovechen adecuadamente la información experimental y eviten basarse en simplificaciones artificiales alejadas de la realidad.

### **2.3.9. Numero de Reynolds**

El punto de transición tenía lugar a una cierta distancia del borde de ataque (Reyes & Salas, 2014). Mediante experiencias con diversos fluidos, y a diferentes velocidades, observaríamos que depende también de la viscosidad (tipo de fluido) y de la velocidad.

### **2.3.10. El tubo Venturi**

Medición de caudales 60% superiores a los de la placa de orificio en las mismas condiciones de servicio con una pérdida de carga de solo 10 a 20 % de la presión diferencial. Gran precisión y permite el paso de fluidos con un porcentaje relativamente grande de sólidos, si bien, los sólidos abrasivos influyen en su forma afectando la exactitud de la medida. El coste del tubo Venturi es elevado, del orden de 20 veces el diafragma y su precisión es del orden de  $\pm 0.75$  %.

### **2.3.11. Presión**

Se define como el valor absoluto de la fuerza por la unidad de superficie a través de una pequeña superficie que pasa por ese punto y en el sistema internacional su unidad es el Pascal ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ). En el caso de los fluidos en reposo la fuerza ejercida sobre la superficie debe ser siempre perpendicular a la superficie, ya que, si hubiera un componente tangencial, el fluido fluiría. En el caso de los fluidos en movimiento, si este no es viscoso tampoco aparecen componentes

tangenciales de la fuerza, pero si se trata de un fluido viscoso sí que aparecen fuerzas tangenciales de movimiento.

**Figura 1.** Unidades de la presión

Las unidades de presión más utilizadas son:

	SI	CGS	Otros sistemas			
Nombre	Pascal	Baria	Bar	Milibar = HectoPa.	Torr	—
Valor	1N/m <sup>2</sup>	1 dina/cm <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup> barias	10 <sup>3</sup> barias	mm de Hg	" de Hg

**Fuente:** CARMONA, Anibal. Aerodinámica y actuaciones del avión. España: Paraninfo, 2015.p.22

## **2.4. MARCO LEGAL**

### **2.4.1. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 2887. Tubos, racores y accesorios de hierro dúctil y sus juntas para agua o gas.**

Esta norma especifica los requisitos y los métodos de ensayo aplicables a los tubos, racores y accesorios de hierro dúctil, así como sus juntas para la construcción de líneas de tuberías para transporte de agua (por ejemplo: agua potable) o gas; operados con o sin presión; - instalados debajo o encima del suelo (NTC 2587, 2005).

Esta norma establece las especificaciones para materiales, dimensiones y tolerancias, propiedades mecánicas y recubrimientos estándar para tubos, racores y accesorios. “También presenta requisitos de desempeño para todos los componentes, incluyendo las juntas” (NTC 2587, 2005, pág. 4). Esta norma comprende

- Tubos.
- Racores.
- Accesorios fundidos mediante cualquier tipo de proceso de fundición.
- Elementos fabricados a partir de componentes fundidos.

### **2.4.2. Norma ASME-MFC-14M-2001.**

Esta norma se 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.

“Los cálculos descritos en este proyecto se encuentran referenciados según norma ASME-MFC-14M-2001.



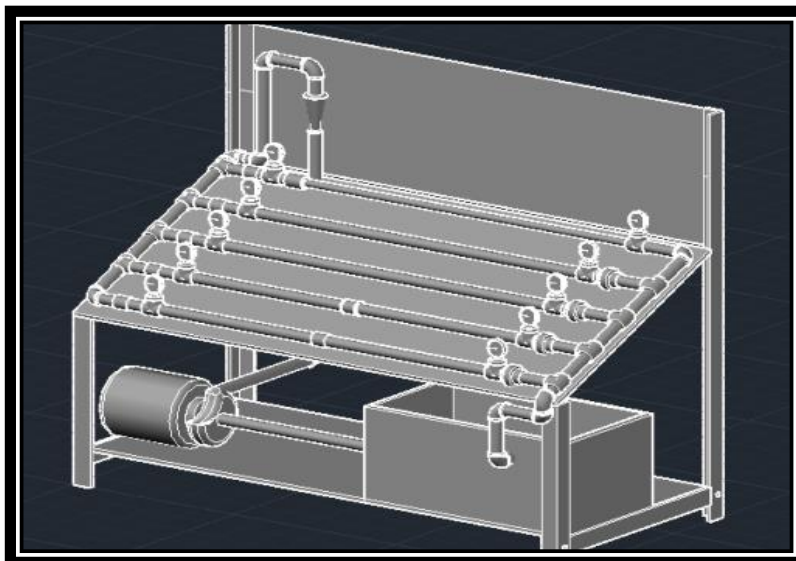
### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

#### 3.1. RECOPIRAR INFORMACIÓN ACERCA DE BANCOS COMERCIALES PARA PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA CON EL PROPÓSITO DE ADQUIRIR CONOCIMIENTO SOBRE EL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

##### 3.1.1. Banco de pruebas para fluidos

Es una herramienta no aplicable en la industria sino en las áreas de desarrollo como universidades. Permite realizar pruebas de fluidos, haciendo variaciones de presión y temperatura, análisis de pérdidas en el sistema de el banco, medidas de caudal y viscosidad (Montaño & Prieto, 2014). En la presente investigación se diseñó y construyó un banco de prueba de fluidos para lograr a un conocimiento básico en el comportamiento de estos y desarrollar habilidades que permitan un mejor desempeño a la hora de realizar diseños y/o mantenimientos en el área de mecánica de fluidos. En la imagen se muestra un banco de prueba para el estudio detallado de las pérdidas de carga de fricción de un fluido.

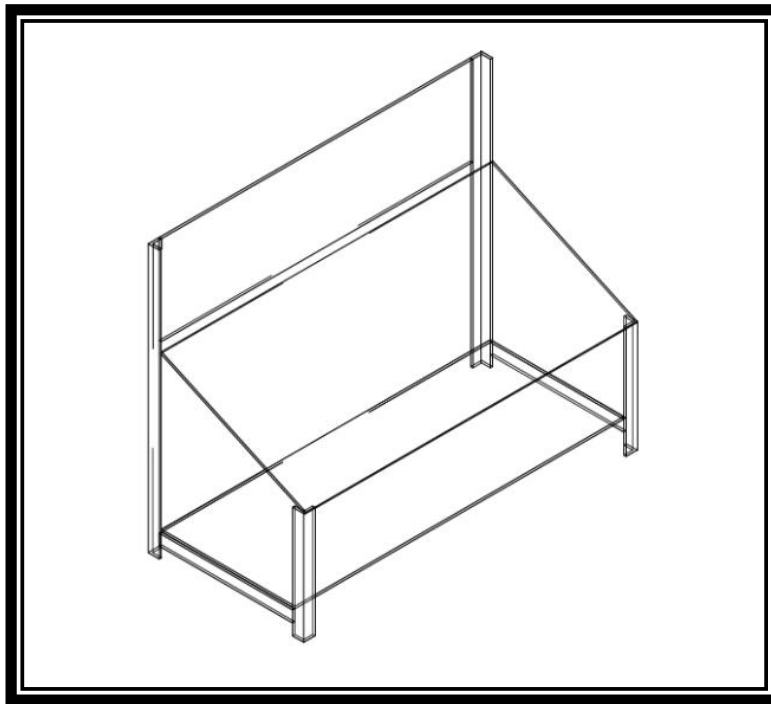
**Figura 2.** Banco de pruebas 3D.



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

En el diseño se quiso implementar más variedad de tubería para ampliar los resultados prácticos del banco como también se diseñó la estructura de una forma que sea más fácil realizar el manejo de instrumentos y practicidad de la presentación. Se puede evidenciar un cambio de altura en cada tramo de tubería gracias a la inclinación de la estructura, la bomba tanto como el tanque se ubicaron en una plataforma debajo de las secciones de tubería debido a el espacio y la eficiencia de estos al trabajar en ese punto, a continuación un diseño final de la estructura del banco de pruebas para fluidos (Montaño & Prieto, 2014).

**Figura 3.** Diseño estructura base para el banco



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

**Tabla 1.** Clasificación de tuberías con su respectivo factores K y medidas.

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

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

Instrumentos usados:

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

**Tabla 2.** Características del banco de pruebas para fluidos.

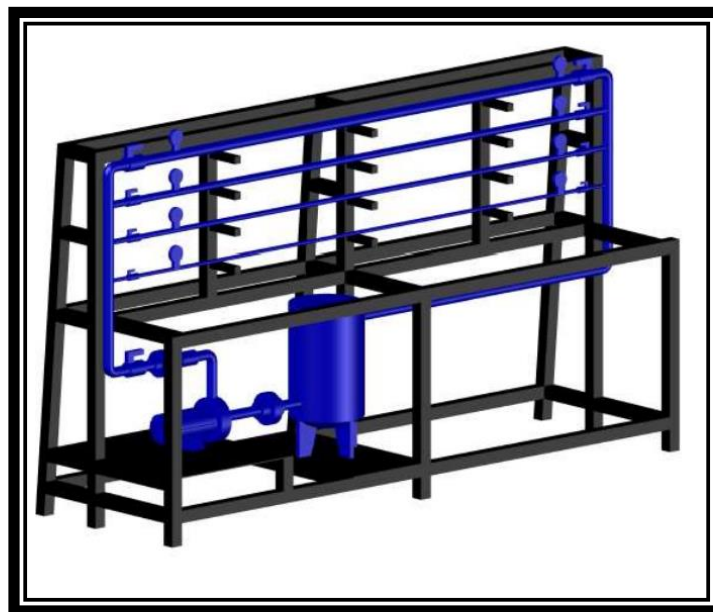
Parámetros	Descripción
Circuitos	5
Tubería	Acero, Polipropileno y PVC
Caudal	40 lt/min
Longitud	Longitud 2135 mm, ancho 1000 mm, altura 3050 mm
Capacidad de la bomba	0.4 kW
Componentes	Un tanque de agua (16 Lts), una bomba eléctrica, rotámetro, tubería y 6 manómetros.

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

### 3.1.2. Banco hidráulico para determinar las pérdidas de energía en tuberías PVC.

El banco hidráulico permite realizar pruebas para comprender con claridad las caídas de presión en el transporte de agua a diferentes temperaturas la cual transita por tuberías CPVC (poli-cloruro de vinilo clorado) identificando la variación de estas pérdidas de presión al variar la temperatura, el banco permite hacer varias mediciones para cada diámetro, de esta forma se obtienen diferentes datos, que son tabulados así poder establecer el comportamiento de la pérdida de presión (Montoya, 2017).

**Figura 4.** Banco hidráulico.



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

**Tabla 3.** Características del banco hidráulico.

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

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

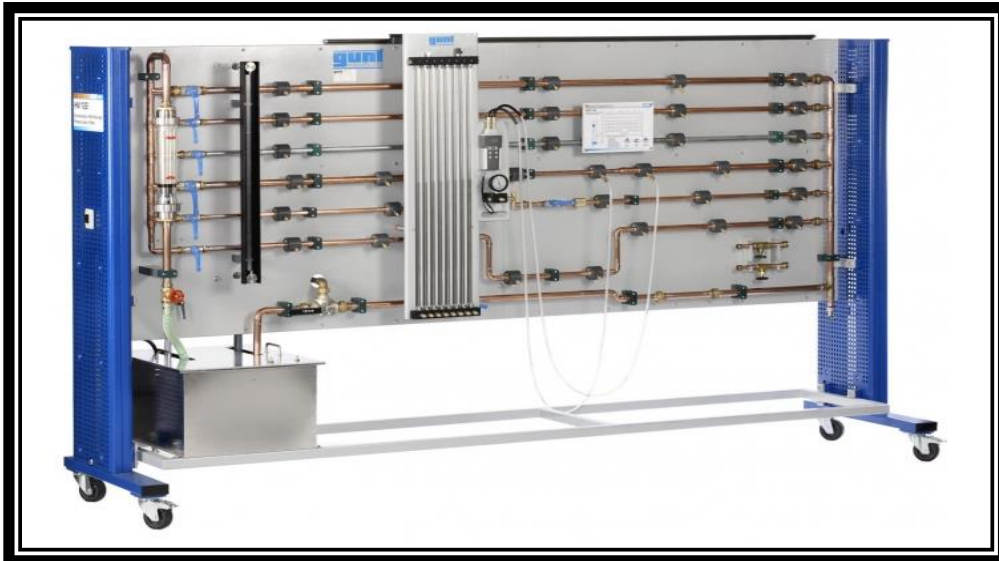
El banco hidráulico cuenta con:

- Tuberías en CPVC con diferentes diámetros ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1, 1  $\frac{1}{2}$  in)
- Codos universales
- Tees
- Válvulas de cortina
- Cheque o válvula de retención
- Ampliaciones
- Reducciones
- Manómetros de glicerina de 2"

### 3.1.3. Banco de pérdidas de cargas en tuberías

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

**Figura 5.** Banco de pérdidas de cargas.



**Fuente:** GUNT. HM 122 pérdidas de cargas en tuberías. [sitio web]. Alemania: Gunt Hamburg. (consulta: 27 septiembre 2018). Disponible en: <https://www.gunt.de/es/productos/mecanica-de-fluidos>.

El banco de pérdidas de cargas cuenta con:

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

- cobre, diámetro: 28x1mm, 22x1mm
- acero, diámetro: 1/2"

Sección de tubo con codo

- cobre, diámetro: 22x1mm

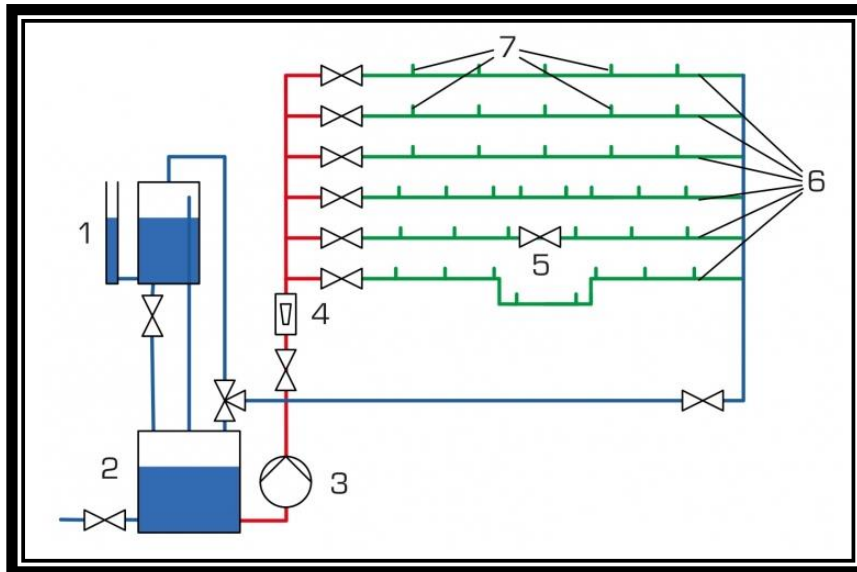
Sección de tubo con contracción/expansión

- cobre
- contracción, diámetro: 18x1mm
- expansión, diámetro: 28x1mm

Sección de tubo con robineterías

- cobre, diámetro: 18x1mm

**Figura 6.** Diseño del banco de pérdidas de cargas.



**Fuente:** GUNT. HM 122 pérdidas de cargas en tuberías. [sitio web]. Alemania: Gunt Hamburg. (consulta: 27 septiembre 2018). Disponible en: <https://www.gunt.de/es/productos/mecanica-de-fluidos/flujos-estacionarios/>.

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

**Tabla 4.** Características del banco de pérdidas de cargas.

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

**Fuente:** GUNT. HM 122 pérdidas de cargas en tuberías. [sitio web]. Alemania: Gunt Hamburg. (consulta: 27 septiembre 2018). Disponible en: <https://www.gunt.de/es/productos/mecanica-de-fluidos/>.

En la mayoría de empresas transportan líquidos de un lado a otro por ductos ya que este medio no es contaminante, se puede transportar grandes cantidades y es económico, a la hora de implementar este transporte se implementan múltiples diseños de tuberías para lograr la menor pérdida de líquidos basados en los parámetros de la empresa. Bancos con tuberías largas ayudan a los estudiantes a una mejor captación de las pérdidas de líquido por fricción por lo que son valores más significativos.

**Tabla 5.** Comparación de la información obtenida de los bancos comerciales.

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

**Fuente:** Autor

Los bancos con mayor número de tuberías son los bancos de pérdidas por fricción ya que las pérdidas de energía varían en cada tipo de material debido a la fricción que hay entre el líquido y la pared de la tubería. Las prácticas en estos tipos de bancos normalmente van de la mano con los cálculos teóricos para



demostración de datos registrados en los manómetros y demostración de ecuaciones ya preestablecidas para las pérdidas por fricción.

Según la información obtenida en la tabla 5 se puede concluir que muchos de los bancos de mecánica de fluidos comerciales y de universidades se encuentran diseñados con uno o dos tipos de materiales por lo que la práctica sería poco aprovechable al no conocer cómo se comporta el fluido en diferentes tipos de materiales basados en la reología del mismo. Al realizar la mejora del banco de mecánica de fluidos de las Unidades Tecnológicas de Santander contará con tuberías de diferentes materiales como el Galvanizado, Cobre, PVC y Aluminio, componentes extras y mayor longitud para lograr prácticas en grupo con comodidad y mayor participación de los integrantes.

### **3.2. DETERMINAR LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA CALCULAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS.**

**Figura 7.** Banco de pruebas de mecánica fluidos Actual



**Fuente:** Autor

Para realizar el cálculo de pérdidas se debe conocer la cantidad de accesorios, las medidas de cada sistema, la altura desde el ojo del impulsor hasta el punto más alto. Se establece el caudal y los diámetros de succión y descarga.

Una vez definidos los parámetros hidráulicos, se procede al diseño, el cual comprende una estructura base que soporta los circuitos del banco, acoplar cada uno de los accesorios de diferentes materiales como son: tuberías, codos, uniones, Tee, electrobomba, tanque de almacenamiento, manómetros, soportes internos, válvulas, entre otros.

Cabe resaltar que el cálculo de las pérdidas de presión de un fluido se basa en el análisis de la Ecuación General de la Energía (ecuación 1), la cual tiene en cuenta las pérdidas generadas por la rugosidad del material, los accesorios, la velocidad del fluido, la altura, por mencionar algunas variables.

Ecuación general de energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_B - h_R = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad \text{Ecuación 1.}$$

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

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

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

Z = Altura

V = Velocidad

P = Presión

$\gamma$  = Gravedad específica

A continuación, en la tabla 6, se relacionan las fórmulas básicas que se requieren tener en cuenta para el diseño del banco de pruebas de pérdidas de carga a través de diferentes circuitos de tuberías y accesorios.

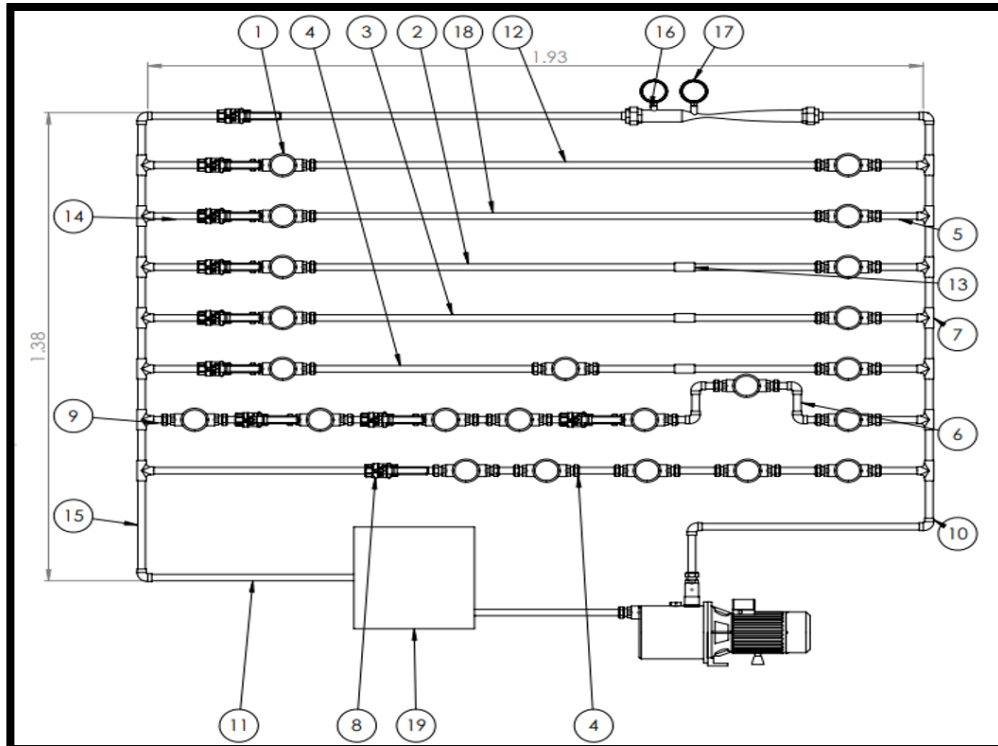
**Tabla 6.** Ecuaciones y variables de diseño.

Variable	Ecuación	Unidad Internacional	Unidad Ingles
Volumen	Ecu 2 $V = l * \pi r^2$	m <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>
Área	Ecu 3. Área $A = \frac{\pi d^2}{4}$	m <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>
Caudal	Ecu 4. Caudal $Q = vxA$	$\frac{m^3}{s}$	$\frac{ft^3}{s}$
Numero de Reynolds	Ecu 5 $Re = \frac{\rho D V}{\mu}$	Adimensional	Adimensional
Rugosidad relativa	Ecu 6 $R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$	Adimensional	Adimensional
Perdidas en la succión	Ecu 7 $h_s = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{G_e} + h_{estatica} - h_{fls}$	m	in
Perdidas por accesorios	Ecu 8 $h_{fls accesorios} = \frac{k * v^2}{2 g}$	m	in
Potencia mecánica	Ecu 9 $P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{eficiencia}$	watts	Hp

Fuente: Autor

Se realiza el circuito hidráulico, en el que se determina desde donde, se desplaza el fluido las longitudes de la tubería, accesorios que interviene, estableciendo el caudal a utilizar. Para que en el instante de realizar las pruebas se pueda observar en el equipo de medición y lograr con esto un óptimo de la variabilidad de la bomba. Se tiene en cuenta la primera variable que es el caudal que corresponde a la velocidad del fluido por el área de sección trasversal de la tubería donde recorre el fluido.

**Figura 8.** Distribución de accesorios y diámetros de tubería



Fuente: Autor

La estructura tiene una dimensión de 1.93 m de ancho por 1.38 m de alto como se observa en la Figura 8. Se enumeran los accesorios del banco los cuales son descritos en la Figura 9.

**Figura 9.** Descripción de accesorios, tipo de material y diámetros

ITEM NO.	PART NUM	CANT.
1	Manometro	23
2	Tubo Cobre 1/2 in	1
3	Tubo Acero Inoxidable 1/2 in	1
4	Tubo Aluminio 1/2 in	1
5	Conector Macho	48
6	Tubo A. Galvanizado 91 mm - 3/4	25
7	Tubo A. Galvanizado 50 mm - 3/4	12
8	Valvula de paso	10
9	Tubo A. Galvanizado 20 mm - 3/4	9
10	Tubo L 3/4	9
11	Tubo A. Galvanizado 3/4 in	6
12	Acero Galvanizado 1 in	4
13	Sensor de flujo	3
14	Tubo A. Galvanizado 110 mm - 3/4	7
15	Tubo A. Galvanizado 260 mm - 3/4	2
16	Tubo Venturi	1
17	Manometro 1.4 NPT 0 - 40 bar	2
18	Tubo PVC 1/2 in	1
19	Tanque	1

Fuente: Autor

De acuerdo a los componentes que conforman el banco, se da la constante (K) de los accesorios (Ver Tabla 7) que se deben considerar para la realización de los cálculos, ya que estos materiales son parte de la pérdida de presión en un sistema hidráulico.

**Tabla 7.** Constante de accesorios

ACCESORIOS	K
Válvula de bola	3
TE-flujo directo	20
Acople universal	0,78
Unión	0,78
Válvula cheque	100
Resalte de cantos vivos	1
Codo	30
Válvula de globo	3
Niple	1

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los tipos de material utilizados en el banco de pruebas se referencia en la Figura 10, la rugosidad en metros y pies de cada material.

**Figura 10.** Valores de diseño de la rugosidad de tubos

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

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

### 3.2.1. Cálculo de pérdidas por recorrido o circuito a la descarga de la bomba con los diferentes materiales

Se calcula las diferentes variables que se trabajan en el banco de pruebas en los distintos circuitos, donde se tiene en cuentas las pérdidas de presión en cada material.

- **Propiedades del agua**

Para obtener estas propiedades se toma la temperatura promedio de Barrancabermeja en 28°C (COMPETITICS, 2016).

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho = 996.31 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = \text{viscosidad absoluta} \frac{kg}{m * s}$$

$$\mu = 8.33 \times 10^{-4} \frac{kg}{m * s}$$

$$V = \text{velocidad del fluido} \frac{m}{s}$$

$$D = \text{diametro de la tubería } m.$$

- **Pérdidas de presión en la succión**

Se determina el área de sección transversal,

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Dicho valor de caudal es el referido en la placa de la bomba ubicada en el equipo.

$$D_{\text{succión}} = 0.0323 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_{\text{Succión}} = \frac{\pi(0.0323)^2}{4} = 8.193 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{Succión}} = \frac{0.733 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{8.193 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.894 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_{\text{succion}} = \frac{996.31 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0323 \text{ m} * 0.894 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.007 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}}$$

$$Re_{\text{succion}} = 28569.65$$

La rugosidad del material hierro galvanizado.

$$R_{\text{Material}} = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{\text{relativa}} = \frac{R_{\text{Material}}}{D}$$

$$R_{\text{relativa}} = \frac{1,5 \times 10^{-4}}{0.0323 \text{ m}} = 0,0046$$

Para hallar el factor de fricción se utiliza la del apéndice A-22b que se encuentra en el Anexo. Realizando la unión de las variables número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$f$  = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.03$$

La pérdida de la succión:

$$h_s = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{G_e} + h_{estatica} - h_{fls}$$

$h_s =$  *perdidas en la succión*

$P_1 =$  *presión del sistema*

$P_{Atm} =$  *Presión atmosférica*

$G_e =$  *Gravedad específica*

$h_{estatica} =$  *altura estatica*

$h_{fls} =$  *hflsucción*

$h_{fls} =$  *hflstuberia + hflsaccesarios*

$l_{tuberia} =$  *longitud de la tuberia*

$l_{tuberia} = 0.416 \text{ m}$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

Donde,

$f =$  *Factor de fricción del material de la tubería*

$l_{tuberia} =$  *longitud de la tuberia m*



$$V = \text{velocidad del fluido } \frac{m}{s}$$

$$D = \text{diametro de la tuberia } m.$$

$$h_{fls} = \frac{(0.03)(0.416m)(0.894 \text{ m/s})^2}{2 (0.0323)(9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.01762 \text{ m}$$

$$h_{fls \text{ accesorios}} = \frac{k * v^2}{2 g}$$

$$K = \text{numero} * f$$

$$f = 0.03$$

**Tabla 8.** Constante de accesorios en la succión

Accesorios	Cantidad	K
Acople universal	1	0,78
Unión	1	0,78

Fuente: Autor

En la Tabla 8, se puede observar los accesorios que comprende la línea de succión donde tienen se debe considerar para la realización de los cálculos, porque estos materiales son parte de la perdida de presión en un sistema hidráulico.

$$h_{fls \text{ accesorios}} = \frac{(0.78 + 0.78)(0.03)(0.894)^2 m}{2 (9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.0019 \text{ m}$$

$$h_{fls \text{ succión}} = h_{fls \text{ tuberia}} + h_{fls \text{ accesorios}}$$

$$h_{f\text{succión}} = 0.01762 \text{ m} + 0.0019 \text{ m} = 0.01952 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 0.064 \text{ pies}$$

$$h_s = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{G_e} + h_{estatica} - h_{f\text{succión}}$$

$$h_{estatica} = 1.3540 \text{ pies}$$

$$h_s = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 1.3540 \text{ pies} - 0.064 \text{ pies}$$

$$h_s = 35.247 \text{ pies} \left( \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pies}} \right) = 10.746 \text{ m}$$

### 3.2.1.1 Pérdidas por recorrido circuito 1 del material en PVC.

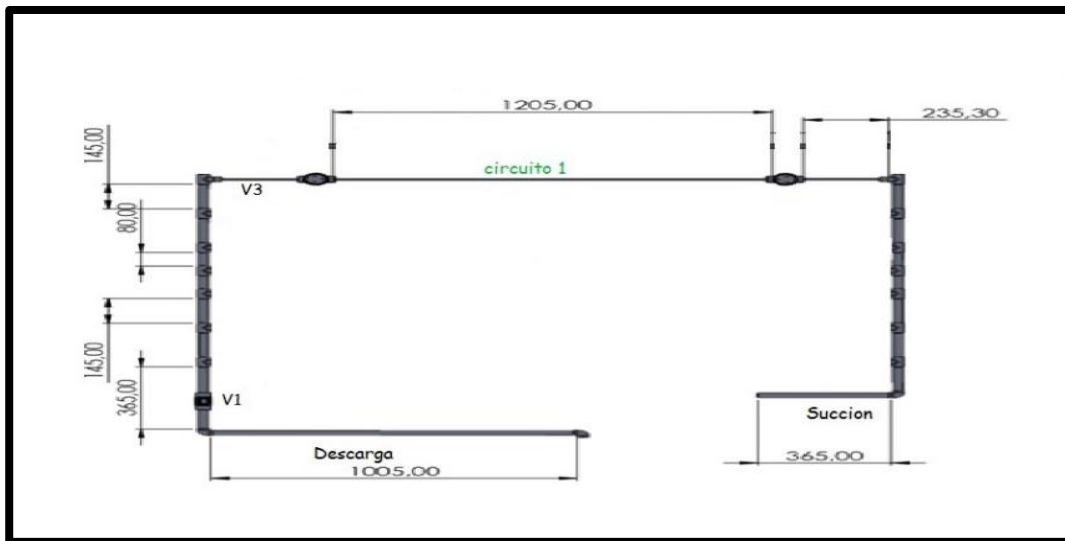
**Tabla 9.** Accesorios PVC

Accesorios	Cantidad	K	K Total
Válvula de bola	2	3	6
TE-flujo desviado	2	60	120
TE-flujo directo	6	20	120
Acople universal	2	0,78	1.56
Codo	3	30	90
Válvula de globo	1	3	3

**Fuente:** Autor

Se tienen en cuenta los accesorios que utilizan en cada recorrido del circuito con lo que se encuentran las pérdidas de presión.

**Figura 11. Circuito 1 material PVC**



Fuente: Autor

Longitud del circuito 1= (1.53 +1.93+ 0.96) m

Longitud del circuito 1= 4.42 m

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$d = 1/2'' = 18.18 \text{ mm nominal descarga}$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0.01818)m^2}{4}$$

$$A = 2.60 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{2.60 \times 10^{-4} m^2} = 2.82 \frac{m}{s}$$

### Número de Reynolds

$$Re_{tuberia\ pvc} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 1.93\ m * 2.82 \frac{m}{s}}{1.03 \times 10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$

$Re = 5284077$  Es un número adimensional

### La rugosidad del material PVC

$$R_{Material\ pvc} = 3,0 \times 10^{-7}\ m$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$$

$$R_{relativa} = \frac{3,0 \times 10^{-7}}{0.01818\ m} = 0,000016501$$

f = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.0085$$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

$$h_{fl\ Tuberia\ pvc} = \frac{(0.0085)(4.42m)(2.82)^2 m}{2(0.01818m)(9.8\ m/s^2)} = 0.83\ m$$

$$h_{flacc} = \frac{((2 * 0.78) + 3 + 6(20)) + 90 + 6(120) + 2(60) * 0.0085 * (2.82m/s)^2}{2(9.8\ m/s^2)}$$

$$h_{flacc} = 0.409\ m$$

$$h = h_{fls} + h_{flacc}$$

$$h = 0.83m + 0.409m = 1.239m \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 m} \right) = 4.063 \text{ pies}$$

$$h = 1.239 m$$

$$\Delta p = h * \rho * g$$

$$\Delta p = 1.239 * 1.000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = 12.142 \text{ KPa}$$

$$h_d = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{G_e} + h_{estatica} + h_{flsucción}$$

$$h_{estatica} = 1.56 m \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 m} \right) = 5.1168 \text{ pies}$$

$$h_d = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 5.1168 \text{ pies} + 4.063$$

$$h_d = 43.13 \text{ pies} \left( \frac{1 m}{3.28 \text{ pies}} \right) = 13.15 m$$

$$h = h_d - h_s$$

$$h = 13.15 m - 10.746 m$$

$$h = 2.405 m$$

$$P_{hidraulica} = \rho * g * Q * h$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{hidraulica} = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 \text{ m/s}^2)(7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})(2.405 m)$$

$$P_{hidraulica} = 17.27 W$$

$$eficiencia = 0.7$$

$$P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{eficiencia}$$

$$P_{mecánica} = \frac{17.27 W}{70 \%} = 24.67 W$$

$$P_{motor} = 1.15 (220 v)$$

$$P_{motor} = 1.15 (P_{mecánica})$$

$$P_{motor} = 1.15 (24.67 W) = 28.37W$$

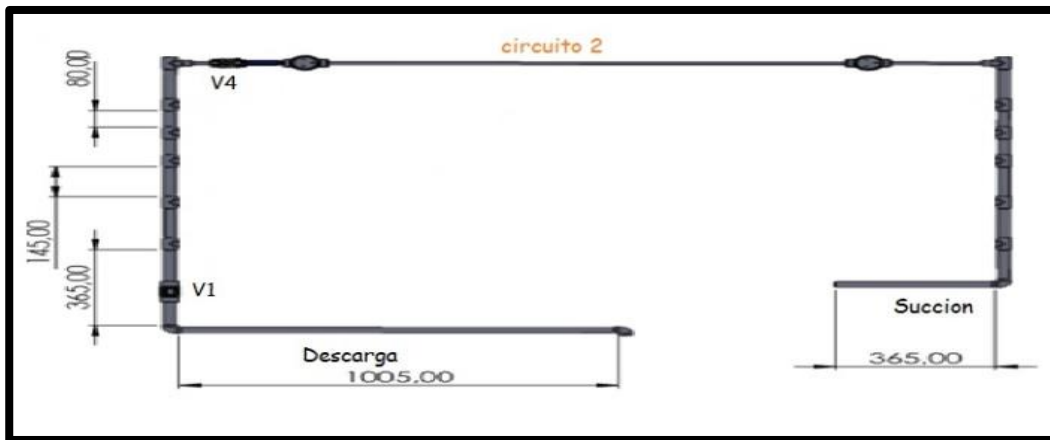
### 3.2.1.2 Pérdidas por recorrido circuito 2 del material hierro galvanizado.

**Tabla 10.** Accesorios hierro galvanizado

Accesorios	Cantidad	K	K Total
Válvula de bola	2	3	6
TE-flujo desviado	2	60	120
TE-flujo directo	6	20	120
Acople universal	2	0,78	1.56
Codo	3	30	90
Válvula de globo	1	3	3

Fuente: Autor

**Figura 12.** Circuito 2 material hierro galvanizado.



Fuente: Autor

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$d = 1" = 26.64 \text{ mm interno}$$

Longitud en hierro galvanizado = 1.93 m

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0.02664)^2 m^2}{4}$$

$$A = 5.57 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{5.57 \times 10^{-4} m^2} = 1.316 \frac{m}{s}$$

### Número de Reynolds.

$$Re_{tuberia\ pvc} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 1.93\ m * 1.316 \frac{m}{s}}{1.03x10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$

$Re = 2465903$  Es un número adimensional

La rugosidad del material hierro galvanizado

$$R_{Material\ Pvc} = 1,5x10^{-4}\ m$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$$

$$R_{relativa} = \frac{1,5x10^{-4}}{0.02664\ m} = 0.00563063$$

$f$  = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.03$$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

$$h_{fl\ Tuberia\ pvc} = \frac{(0.03)(4.42m)(1.316)^2m}{2 (0.02664m) (9.8\ m/s^2)} = 0.44\ m$$



$$h_{flacc} = \frac{((4 * 0.78) + 3 + 2(20)) * 0.03 * (1.316m/s)^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{flacc} = 0.12$$

$$h = h_{fls} + h_{flacc}$$

$$h = 0.44m + 0.12m = 0.56m \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 1.8368 \text{ pies}$$

$$h = 0.56 \text{ m}$$

$$\Delta p = h * \rho * g$$

$$\Delta p = 0.31 * 1.000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = 3.038 \text{ KPa}$$

$$hd = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{Ge} + h_{estatica} + h_{fldescarga}$$

$$h_{estatica} = 1.56 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 5.1168 \text{ pies}$$

$$hd = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 5.1168 \text{ pies} + 1.8368$$

$$hd = 40.88 \text{ pies} \left( \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pies}} \right) = 12.46 \text{ m}$$

$$h = hd - hs$$

$$h = 12.46 \text{ m} - 10.746 \text{ m}$$

$$h = 1.714 \text{ m}$$

$$P_{hidraulica} = \rho * g * Q * h$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

REVISADO POR:

soporte al sistema integrado de gestión

ELABORADO POR:

Oficina de Investigaciones

APROBADO POR : Asesor de planeación

FECHA APROBACION:

$$P_{hidraulica} = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 \frac{m}{s^2})(7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})(1.714 m)$$

$$P_{hidraulica} = 12.31 W$$

$$eficiencia = 0.7$$

$$P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{eficiencia}$$

$$P_{mecánica} = \frac{12.31 W}{70 \%} = 17.58 W$$

$$P_{motor} = 1.15 (220 v)$$

$$P_{motor} = 1.15 (P_{mecánica})$$

$$P_{motor} = 1.15 (17.58 W) = 20.217 W$$

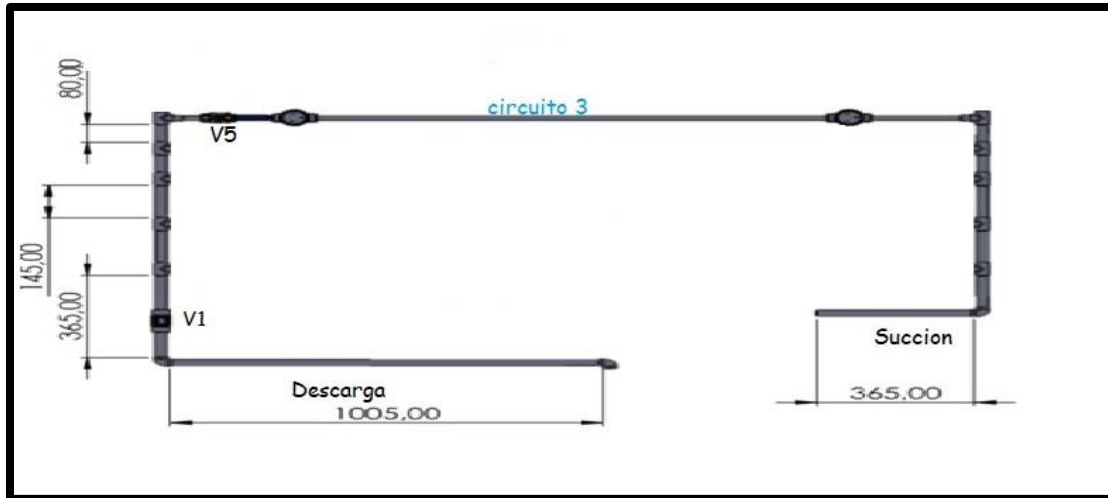
### 3.2.1.3 Pérdidas por recorrido circuito 3 del material cobre.

**Tabla 11.** Accesorios cobre

Accesorios	Cantidad	K	K Total
Válvula de bola	2	3	6
TE-flujo desviado	2	60	120
TE-flujo directo	6	20	120
Acople universal	2	0,78	1.56
Codo	3	30	90
Válvula de globo	1	3	3

Fuente: Autor

**Figura 13. Circuito 3 material cobre**



Fuente: Autor

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$d = 1" = 26.64 \text{ mm interno}$$

Longitud en tubería de Cobre = 1.93 m

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0.01818)m^2}{4}$$

$$A = 2.60 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{2.60 \times 10^{-4} m^2} = 2.82 \frac{m}{s}$$

### Número de Reynolds cobre

$$Re_{tuberia\ pvc} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 1.93\ m * 2.82 \frac{m}{s}}{1.03x10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$

$Re = 5284077$  Es un número adimensional

La rugosidad del material cobre

$$R_{Material\ Pvc} = 1,5x10^{-6}\ m$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$$

$$R_{relativa} = \frac{31,5x10^{-6}}{0.01818\ m} = 0,001732673$$

$f$  = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.023$$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

$$h_{fl\ Tuberia\ pvc} = \frac{(0.023)(4.42m)(2.82)^2m}{2 (0.01818m) (9.8\ m/s^2)} = 2.26\ m$$

$$h_{flacc} = \frac{((4 * 0.78) + 3 + 2(20)) * 0.023 * (2.82m/s)^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{flacc} = 0.15$$

$$h = h_{fls} + h_{flacc}$$

$$h = 2.26m + 0.15m = 2.41 \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 7.9 \text{ pies}$$

$$h = 2.41 \text{ m}$$

$$\Delta p = h * \rho * g$$

$$\Delta p = 1.14 * 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = 11.172 \text{ KPa}$$

$$hd = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{Ge} + h_{estatica} + h_{fldescarga}$$

$$h_{estatica} = 1.56 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 5.1168 \text{ pies}$$

$$hd = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 5.1168 \text{ pies} + 7.9$$

$$hd = 46.95 \text{ pies} \left( \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pies}} \right) = 14.31 \text{ m}$$

$$h = hd - h_s$$

$$h = 14.31 \text{ m} - 10.746 \text{ m}$$

$$h = 3.564 \text{ m}$$

$$P_{hidraulica} = \rho * g * Q * h$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{hidraulica} = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 \text{ m/s}^2)(7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})(3.564 \text{ m})$$

$$P_{hidraulica} = 25.60 \text{ W}$$

$$eficiencia = 0.7$$

$$P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{eficiencia}$$

$$P_{mecánica} = \frac{26.60 \text{ W}}{70 \%} = 36.57 \text{ W}$$

$$P_{motor} = 1.15 (220 \text{ v})$$

$$P_{motor} = 1.15 (P_{mecánica})$$

$$P_{motor} = 1.15 (36.57 \text{ W}) = 42.05 \text{ W}$$

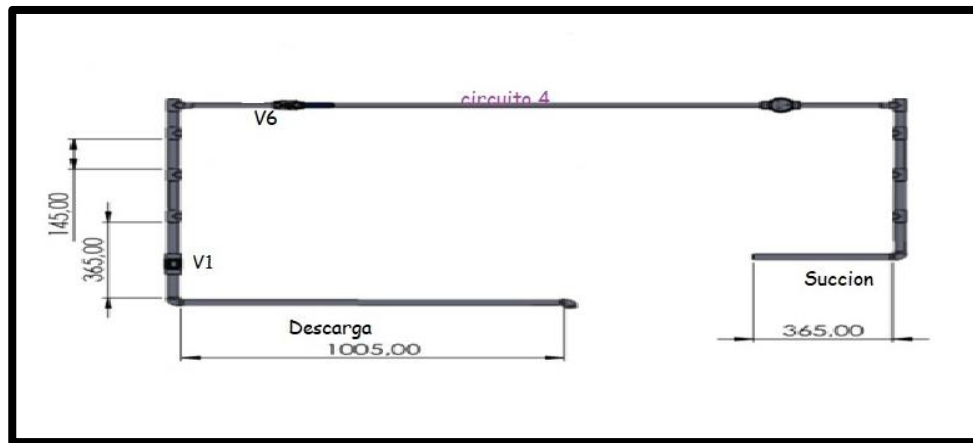
### 3.2.1.4 Pérdidas por recorrido circuito 4 del material acero inoxidable.

**Tabla 12.** Accesorios acero inoxidable.

Accesorios	Cantidad	K	K Total
Válvula de bola	2	3	6
TE-flujo desviado	2	60	120
TE-flujo directo	6	20	120
Acople universal	2	0,78	1.56
Codo	3	30	90
Válvula de globo	1	3	3

Fuente: Autor

**Figura 14.** Circuito 4 material inoxidable.



Fuente: Autor

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$d = 1/2" = 18.18 \text{ mm interno}$$

Longitud en tubería de acero inoxidable = 1.93 m

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0.01818)m^2}{4}$$

$$A = 2.60 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{2.60 \times 10^{-4} m^2} = 2.82 \frac{m}{s}$$

### Número de Reynolds

$$Re_{tuberia\ pvc} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 1.93\ m * 2.82 \frac{m}{s}}{1.03x10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$

$Re = 3285436$  Es un número adimensional

La rugosidad del material acero inoxidable

$$R_{Material\ pvc} = 4,6x10^{-5}\ m$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$$

$$R_{relativa} = \frac{4,6x10^{-5}}{0.01818\ m} = 0,002530253$$

$f$  = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.013$$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

$$h_{fl\ Tuberia\ pvc} = \frac{(0.013)(4.42m)(2.82)^2m}{2(0.01818m)(9.8\ m/s^2)} = 1.28\ m$$

$$h_{flacc} = \frac{((4 * 0.78) + 3 + 2(20)) * 0.013 * (2.82m/s)^2}{2(9.8\ m/s^2)}$$

$$h_{flacc} = 0.24$$

$$h = h_{fls} + h_{flacc}$$



$$h = 1.28m + 0.24m = 1.52 \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 m} \right) = 4.98 \text{ pies}$$

$$h = 1.52 m$$

$$\Delta p = h * \rho * g$$

$$\Delta p = 0.79 * 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 m/s^2$$

$$\Delta p = 7.742 \text{ KPa}$$

$$hd = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{Ge} + h_{estatica} + h_{fldescarga}$$

$$h_{estatica} = 1.56 m \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 m} \right) = 5.1168 \text{ pies}$$

$$hd = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 5.1168 \text{ pies} + 4.98$$

$$hd = 44 \text{ pies} \left( \frac{1 m}{3.28 \text{ pies}} \right) = 13.42 m$$

$$h = hd - hs$$

$$h = 13.42 m - 10.746 m$$

$$h = 2.67 m$$

$$P_{hidraulica} = \rho * g * Q * h$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{hidraulica} = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 m/s^2)(7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})(2.67 m)$$

$$P_{hidraulica} = 19.17 W$$

$$eficiencia = 0.7$$

$$P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{eficiencia}$$

$$P_{mecánica} = \frac{19.17 W}{70 \%} = 27.38 W$$

$$P_{motor} = 1.15 (220 v)$$

$$P_{motor} = 1.15 (P_{mecánica})$$

$$P_{motor} = 1.15 (27.38 W) = 31.48W$$

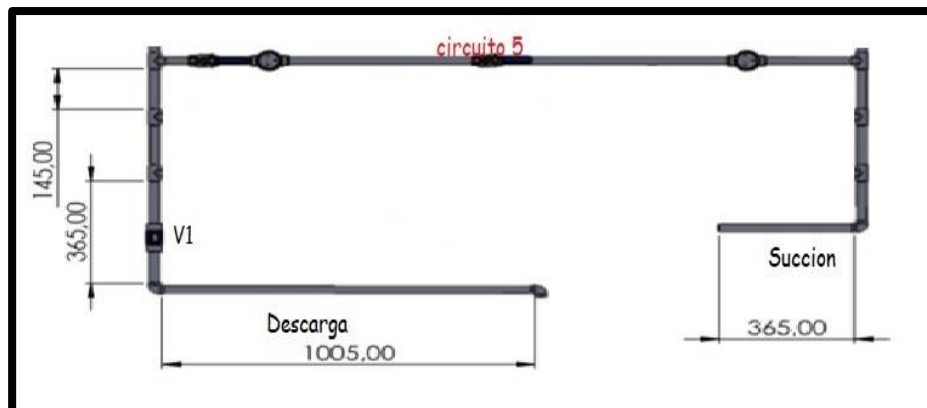
### 3.2.1.5 Pérdidas por recorrido circuito 5 del material aluminio.

Tabla 13. Accesorios aluminio.

Accesorios	Cantidad	K	K Total
Válvula de bola	2	3	6
TE-flujo desviado	2	60	120
TE-flujo directo	6	20	120
Acople universal	2	0,78	1.56
Codo	3	30	90
Válvula de globo	1	3	3

Fuente: Autor

Figura 15. Circuito 5 material aluminio



Fuente: Autor

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$d = 1/2" = 26.64 \text{ mm interno}$$

Longitud en tubería de aluminio 1/2" = 1.93 m

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0.01818)m^2}{4}$$

$$A = 2.60 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{2.60 \times 10^{-4} m^2} = 2.82 \frac{m}{s}$$

### Número de Reynolds

$$Re_{tuberia\ pvc} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 1.93\ m * 2.82 \frac{m}{s}}{1.03 \times 10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$

$Re = 5284077$  Es un número adimensional

La rugosidad del material aluminio

$$R_{Material\ Pvc} = 1.2 \times 10^{-5} m$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$$

$$R_{relativa} = \frac{1.2 \times 10^{-5}}{0.01818 \text{ m}} = 0,000660066$$

f = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.0175$$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

$$h_{fl \text{ Tubería pvc}} = \frac{(0.0175)(4.42\text{m})(2.82)^2\text{m}}{2(0.01818\text{m})(9.8 \text{ m/s}^2)} = 1.72\text{m}$$

$$h_{flacc} = \frac{((4 * 0.78) + 3 + 2(20)) * 0.0175 * (0.32\text{m/s})^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{flacc} = 0.32$$

$$h = h_{fls} + h_{flacc}$$

$$h = 1.72\text{m} + 0.32\text{m} = 2.04 \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 6.7\text{pies}$$

$$h = 2.04\text{m}$$

$$\Delta p = h * \rho * g$$

$$\Delta p = 1.07 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = 10.486\text{KP}$$

$$hd = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{Ge} + h_{estatica} + h_{fldescarga}$$

$$h_{estatica} = 1.56 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 5.1168 \text{ pies}$$

$$hd = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 5.1168 \text{ pies} + 6.7$$

$$hd = 45.75 \text{ pies} \left( \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pies}} \right) = 13.94 \text{ m}$$

$$h = hd - hs$$

$$h = 13.94 \text{ m} - 10.746 \text{ m}$$

$$h = 3.194 \text{ m}$$

$$P_{hidraulica} = \rho * g * Q * h$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{hidraulica} = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 \text{ m/s}^2)(7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})(3.194 \text{ m})$$

$$P_{hidraulica} = 22.94 \text{ W}$$

$$eficiencia = 0.7$$

$$P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{eficiencia}$$

$$P_{mecánica} = \frac{19.17 \text{ W}}{70 \%} = 32.77 \text{ W}$$

$$P_{motor} = 1.15 (220 v)$$

$$P_{motor} = 1.15 (P_{mecánica})$$

$$P_{motor} = 1.15 (32.77 W) = 37.68W$$

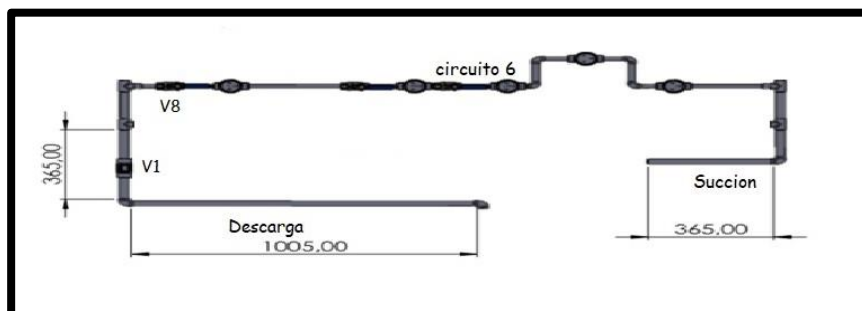
### 3.2.1.6 Pérdidas por recorrido circuito 6 del material hierro galvanizado.

**Tabla 14.** Accesorios hierro galvanizado

Accesorios	Cantidad	K	K Total
Válvula de bola	4	3	12
TE-flujo desviado	7	60	420
TE-flujo directo	11	20	220
Acople universal	1	0,78	0,78
Codo	7	30	210
Válvula de globo	1	3	3

Fuente: Autor

**Figura 16.** Circuito 6 material hierro galvanizado



Fuente: Autor

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$d = \text{"} = 15.8 \text{ mm interno}$$

Longitud en hierro galvanizado = 2.45 m

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0.0158)^2 m^2}{4}$$

$$A = 1.96 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{1.96 \times 10^{-4} m^2} = 3.739 \frac{m}{s}$$

**Número de Reynolds.**

$$Re_{tuberia\ pvc} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 2.45\ m * 3.739 \frac{m}{s}}{1.03 \times 10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$

$Re = 8893737$  Es un número adimensional

La rugosidad del material hierro galvanizado

$$R_{Material\ Galvanizado} = 1,5 \times 10^{-4} m$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$$

$$R_{relativa} = \frac{1,5 \times 10^{-4}}{0.01538 \text{ m}} = 0.00975$$

f = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.03$$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

$$h_{fl \text{ Tuberia galvanizada}} = \frac{(0.03)(5.46\text{m})(3.739\text{m/s})^2}{2 (0.01538\text{m}) (9.8 \text{ m/s}^2)} = 7,59 \text{ m}$$

$$h_{flacc} = \frac{(862.78) * 0.03 * (3.739\text{m/s})^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{flacc} = 18.46$$

$$h = h_{fls} + h_{flacc}$$

$$h = 7,59 \text{ m} + 18.46$$

$$h = 26.05 \text{ m}$$

$$\Delta p = h * \rho * g$$

$$\Delta p = 26.05 * 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = 255.29 \text{ KPa}$$

$$h = 7,59 \text{ m} + 18.46 = 26.05 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 85.44 \text{ pies}$$

$$hd = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{Ge} + h_{estatica} + h_{fl \text{ descarga}}$$

$$h_{estatica} = 1.56 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 5.1168 \text{ pies}$$



$$hd = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 5.1168 \text{ pies} + 85.44 \text{ pies}$$

$$hd = 124.4 \text{ pies} \left( \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pies}} \right) = 37.95 \text{ m}$$

$$h = hd - hs$$

$$h = 37.95 \text{ m} - 10.746 \text{ m}$$

$$h = 27.204 \text{ m}$$

$$P_{hidraulica} = \rho * g * Q * h$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{hidraulica} = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 \text{ m/s}^2)(7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})(27.204 \text{ m})$$

$$P_{hidraulica} = 195 \text{ W}$$

$$\text{eficiencia} = 0.7$$

$$P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{\text{eficiencia}}$$

$$P_{mecánica} = \frac{195 \text{ W}}{70 \%} = 278 \text{ W}$$

$$P_{motor} = 1.15 - (220 \text{ v})$$

$$P_{motor} = 1.15 (P_{mecánica})$$

$$P_{motor} = 1.15 (278 \text{ W}) = 319.7 \text{ W}$$

### 3.2.1.7 Pérdidas por recorrido circuito 7 del material hierro galvanizado.

**Tabla 15.** Accesorios hierro galvanizado

Accesorios	Cantidad	K	K Total
Válvula de bola	3	3	9
TE-flujo desviado	6	60	360
TE-flujo directo	8	20	160
Acople universal	1	0,78	0.78
Codo	4	30	120
Válvula de globo	1	3	3

Fuente: Autor

**Figura 17.** Circuito 7 material hierro galvanizado



Fuente: Autor

$$Q = 44 \frac{L}{m} = 7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$d = 15.8 \text{ mm interno}$$

Longitud en hierro galvanizado = 1.93 m

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0.0158)^2 m^2}{4}$$

$$A = 1.96 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{1.96 \times 10^{-4} m^2} = 3.739 \frac{m}{s}$$

### Número de Reynolds.

$$Re_{tuberia\ pvc} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 1.93\ m * 3.739 \frac{m}{s}}{1.03 \times 10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$

$Re = 7006087$  Es un número adimensional

La rugosidad del material hierro galvanizado

$$R_{Material\ Galvanizado} = 1,5 \times 10^{-4}\ m$$

La rugosidad relativa del material es igual a la rugosidad del material dividido por el diámetro de la tubería.

$$R_{relativa} = \frac{R_{Material}}{D}$$

$$R_{relativa} = \frac{1,5 \times 10^{-4}}{0.01538\ m} = 0.00975$$

$f$  = Factor de fricción de la fórmula de Darcy, y se obtiene en el diagrama de Moody

$$f = 0.035$$

$$h_{fls} = \frac{f * l * v^2}{2Dg}$$

$$h_{fl \text{ Tubería galvanizada}} = \frac{(0.035)(4.42m)(3.739m/s)^2}{2(0.01538m)(9.8 \text{ m/s}^2)} = 7,17 \text{ m}$$

$$h_{flacc} = \frac{(652.78) * 0.035 * (3.739m/s)^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{flacc} = 4.35$$

$$h = h_{fls} + h_{flacc}$$

$$h = 7,17 \text{ m} + 4.35$$

$$h = 11.52 \text{ m}$$

$$\Delta p = h * \rho * g$$

$$\Delta p = 11.52 * 1.000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = \mathbf{113.011 \text{ KPa}}$$

$$h = 7,17 \text{ m} + 4.35 = 11.52 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 37.78 \text{ pies}$$

$$hd = (P_1 + P_{Atm}) \frac{2.31}{Ge} + h_{estatica} + h_{fl \text{ descarga}}$$

$$h_{estatica} = 1.56 \text{ m} \left( \frac{3.28 \text{ pies}}{1 \text{ m}} \right) = 5.1168 \text{ pies}$$

$$hd = (14.69 \text{ psi}) \frac{2.31}{1} + 5.1168 \text{ pies} + 37.78 \text{ pies} = 76.83$$

$$hd = 76.83 \text{ pies} \left( \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ pies}} \right) = 23.42 \text{ m}$$

$$h = hd - h_s$$

$$h = 23.42 \text{ m} - 10.746 \text{ m}$$

$$h = 12.674 \text{ m}$$

$$P_{hidraulica} = \rho * g * Q * h$$

$$\rho = \text{densidad del fluido} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{hidraulica} = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 \text{ m/s}^2)(7.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})(12.674 \text{ m})$$

$$P_{hidraulica} = 91.04 \text{ W}$$

$$\text{eficiencia} = 0.7$$

$$P_{mecánica} = \frac{P_{hidraulica}}{\text{eficiencia}}$$

$$P_{mecánica} = \frac{91.04 \text{ W}}{70 \%} = 130 \text{ W}$$

$$P_{motor} = 1.15 - (220 \text{ v})$$

$$P_{motor} = 1.15 (P_{mecánica})$$

$$P_{motor} = 1.15 (130 \text{ W}) = 149.56 \text{ W}$$

$$P_{Total} = \text{Circuito 1} + \text{Circuito 2} + \text{Circuito 3} + \text{Circuito 4} + \text{Circuito 5} \\ + \text{Circuito 6} + \text{Circuito 7}$$

$$P_{Total} = 28,37 \text{ W} + 20,217 \text{ W} + 42,05 \text{ W} + 31,48 \text{ W} + 37,68 + 319.7 \text{ W} + \\ 149.56 \text{ W}$$

$$P_{Total} = 629,057 \text{ W} = 0,84 \text{ Hp}$$

Potencia requerida por la electrobomba 0.84 Hp, por lo que se consideró un valor comercial de 1 Hp.

Para la realización de los circuitos se pudo constatar que la potencia de la bomba instalada actualmente en el banco tiene la capacidad suficiente para suministrar la energía necesaria para recorrer el equipo simultáneamente. Cabe resaltar que las pruebas se realizan independientemente conociendo las pérdidas de carga por cada tipo de material. En el diseño del banco de pruebas la instalación de los siete circuitos presenta la misma condición tanto en accesorios como en longitud de cada tubería teniendo en cuenta que cada material es distinto, de dicha manera se puede conocer la caída de presión en diferentes materiales.

En efecto, para el rediseño se instalan dos manómetros en cada línea, para conocer la presión de entrada y de salida, considerando que la selección de los equipos de medición manométrica se basa en el cálculo de la presión hidrostática. Para este cálculo se dispuso del valor de la altura mayor para la selección del manómetro como se sabe la presión depende de la densidad, gravedad y altura.

$$P = \rho * g * h$$

$$P = (1000 \frac{kg}{m^3})(9.8 \ m/s^2)(26.05 \ m)$$

$$P = 255.29 \ KPa = 37,02 \ Psi$$

Como se puede observar la presión mayor es de 37,02 psi, por lo tanto se escoge un manómetro de 50 psi debido a que es el valor comercial de los equipos de medición.

**Tabla 16.** Accesorios banco de fluidos

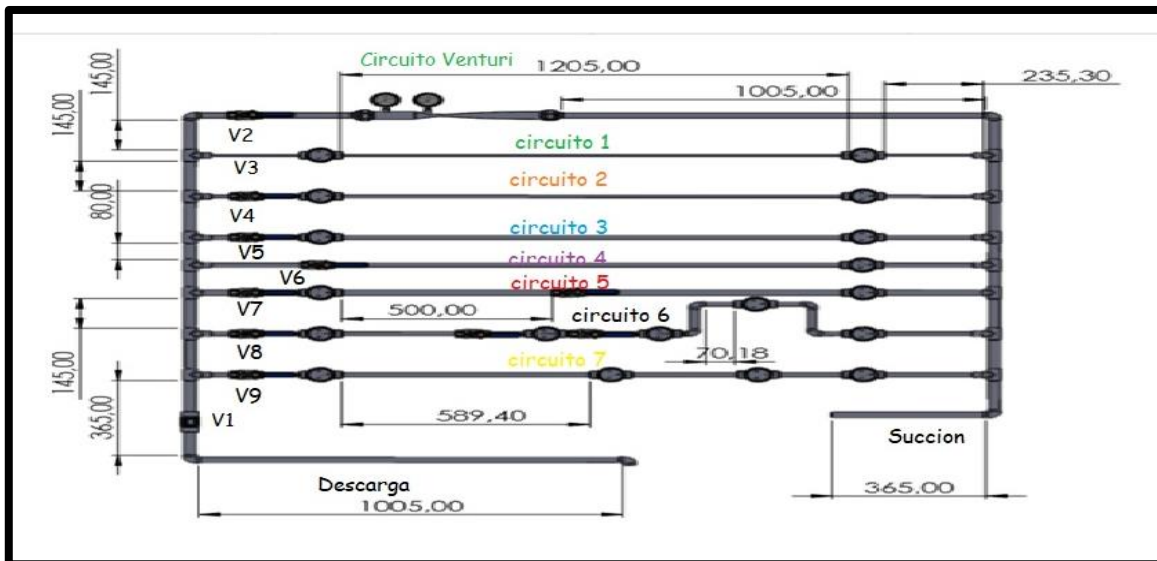
Accesorios	Cantidad
Acople universal	1
Válvula de bola	7
TE-flujo	31
Válvula de globo	3
Codo	9
Válvula de compuerta	2
Válvula de cheque	1
Tubería hierro galvanizado	2 m
Tubería PVC	2 m
Tubería acero inoxidable	2 m
Tubería aluminio	2 m
Tubería cobre	2 m
Tubo Venturi	1
Manómetros	25
Medidor de flujo	1
Electrobomba	1 Hp

Fuente: Autor

### 3.3. REALIZAR LOS TRAZADOS DE LOS CIRCUITOS A DISEÑAR PARA EL BANCO DE PRUEBAS, DEFINIENDO DIÁMETROS DE TUBERÍAS, ACCESORIOS, MATERIALES ETC.

Para el cumplimiento de los objetivos trazados en el proyecto de investigación, se inició con el diseño del banco que contiene el plano estructural y plano del circuito hidráulico en el formato P&D, luego se estableció la toma de medidas para los cálculos del banco en el sistema de prueba. Con la finalidad de efectuar pruebas mecánicas de fluido y por consiguiente observar, analizar y discutir las teorías utilizadas como el teorema de Bernoulli, continuidad y banco de tubos. Para calcular el factor de transferencia de fluidos, entre la entrada y salida del líquido de modo experimental en el proceso. (Ver figura 18)

**Figura 18. Plano estructural**



Fuente. Autor

### 3.3.1. Trazado circuito 1 del material PVC.

Se pone en marcha la electrobomba, la cual succiona el fluido y es impulsado por la tubería de descarga, para ello, se debe tener abierta la válvula v1 y v3 y tener cerradas las válvulas v2, v4, v5, v6, v7, v8, v9 con el fin de que el fluido recorra el circuito 1 y se puedan evidenciar las pérdidas en los manómetros ubicados.

### 3.3.2. Trazado circuito 2 del material hierro galvanizado.

Se pone en marcha la electrobomba, la cual succiona el fluido y es impulsado por la tubería de descarga, para ello, se debe tener abierta la válvula v1 y v4 y tener cerradas las válvulas v2, v3, v5, v6, v7, v8, v9 con el fin de que el fluido recorra el circuito 2 y se puedan evidenciar las pérdidas en los manómetros ubicados.



### **3.3.3. Trazado circuito 3 del material cobre.**

Se pone en marcha la electrobomba la cual succiona el fluido y es impulsado por la tubería de descarga, para ello, se debe tener abierta la válvula v1 y v5 y tener cerradas las válvulas v2, v3, v4, v6, v7, v8, v9 con el fin de que el fluido recorra el circuito 3 y se puedan evidenciar las pérdidas en los manómetros ubicados.

### **3.3.4. Trazado circuito 4 del material acero inoxidable.**

Se pone en marcha la electrobomba la cual succiona el fluido y es impulsado por la tubería de descarga, para ello, se debe tener abierta la válvula v1 y v6 y tener cerradas las válvulas v2, v3, v4, v5, v7, v8, v9 con el fin de que el fluido recorra el circuito 4 y se puedan evidenciar las pérdidas en los manómetros ubicados.

### **3.3.5. Trazado circuito 5 del material aluminio**

Se pone en marcha la electrobomba la cual succiona el fluido y es impulsado por la tubería de descarga, para ello, se debe tener abierta la válvula v1 y v7 y tener cerradas las válvulas v2, v3, v4, v5, v6, v8, v9 con el fin de que el fluido recorra el circuito 5 y se puedan evidenciar las pérdidas en los manómetros ubicados.

### **3.3.6. Trazado circuito 6 del material hierro galvanizado.**

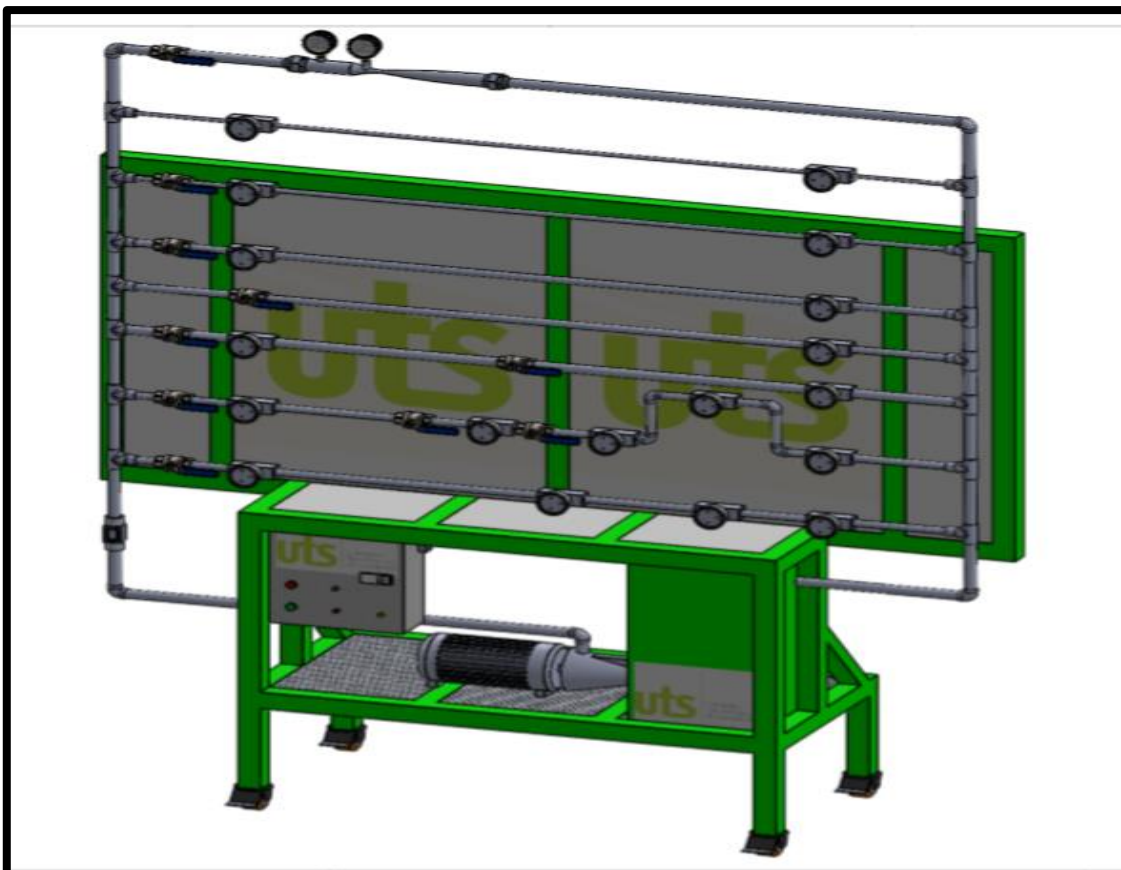
Se pone en marcha la electrobomba la cual succiona el fluido y es impulsado por la tubería de descarga, para ello, se debe tener abierta la válvula v1 y v8 y tener cerradas las válvulas v2, v3, v4, v5, v6, v7, v9 con el fin de que el fluido recorra el circuito 6 y se puedan evidenciar las pérdidas en los manómetros ubicados.

### 3.3.7. Trazado circuito 7 del material hierro galvanizado

Se pone en marcha la electrobomba la cual succiona el fluido y es impulsado por la tubería de descarga, para ello, se debe tener abierta la válvula v1 y v9 y tener cerradas las válvulas v2, v3, v4, v5, v6, v7, v8 con el fin de que el fluido recorra el circuito 7 y se puedan evidenciar las perdidas en los manómetros ubicados.

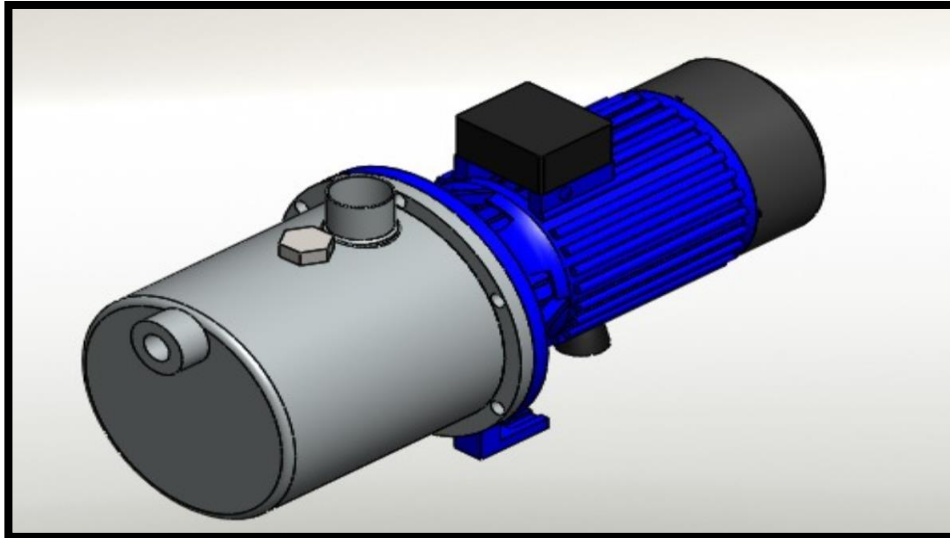
Además de las pruebas individuales que se pueden realizar en los diferentes trazados, el diseño permite poner en funcionamiento todos o algunos de los circuitos simultáneamente, incluyendo el del tubo Venturi.

**Figura 19.** Banco de prueba diseñado.



**Fuente.** Autor

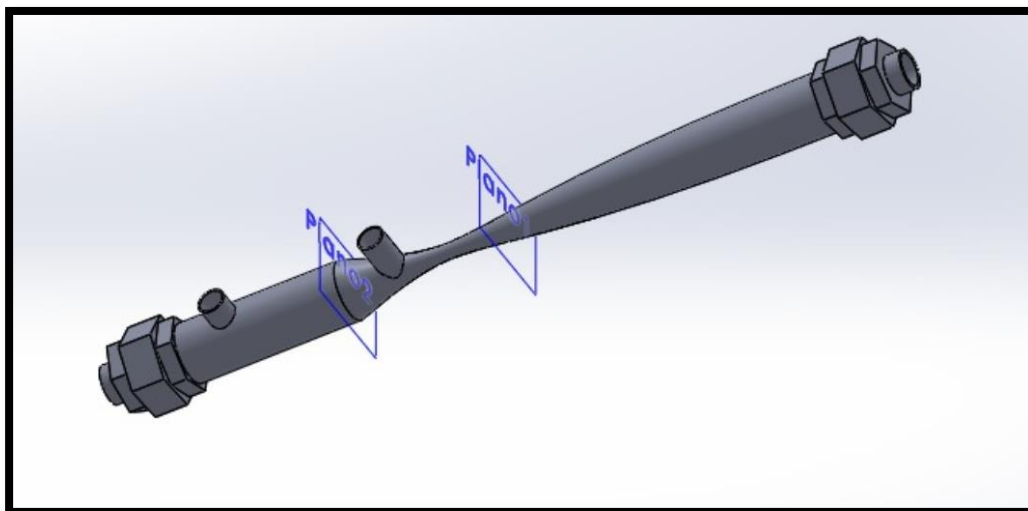
**Figura 20. Electrobomba**



**Fuente. Autor**

La electrobomba que se encuentra en el banco de pruebas corresponde a las siguientes características - 1HP, altura de H Max., 59 m, 110 V.-220V con una corriente de 7.4 amperios – 3.7 amperios, el ejercicio que realiza es el transformar energía, generalmente energía mecánica, en energía hidráulica del fluido incompresible que desplaza. Cuando esta bomba está accionada por un motor eléctrico es denominada electrobomba.

**Figura 21. Tubo Venturi**

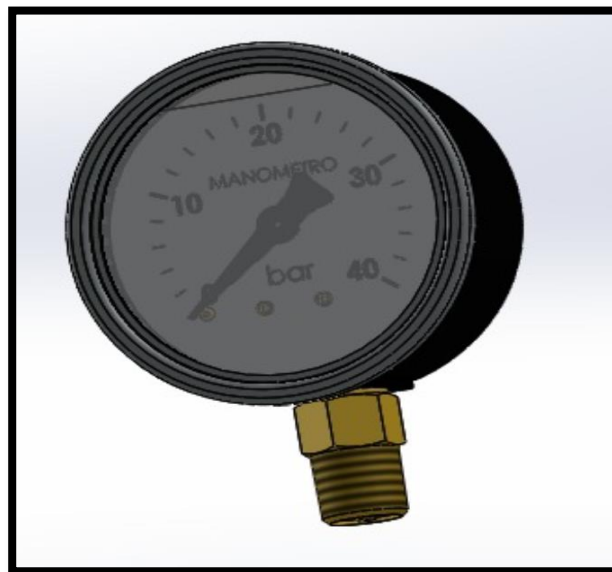


**Fuente: Autor**

Se ilustra en la figura 12 el tubo Venturi uno de los métodos más empleados para la medición del flujo. De acuerdo a los parámetros requeridos para el correcto funcionamiento del banco de fluidos esta pieza es de frecuente uso debido a que ofrece una exactitud del 1 %.

El dispositivo consiste en llevar a una reducción en la sección de flujo de una tubería, de modo que se produzca una caída de presión, a consecuencia del aumento de velocidad, muestra tomada a través de los manómetros. Para captar la presión diferencial que origina el tubo venturi es necesario conectar dos tomas, una en la parte anterior y otra en la parte posterior del tubo. La forma de toma de presión afecta directamente el coeficiente de descarga.

**Figura 22.** Equipo de medición Manométrica



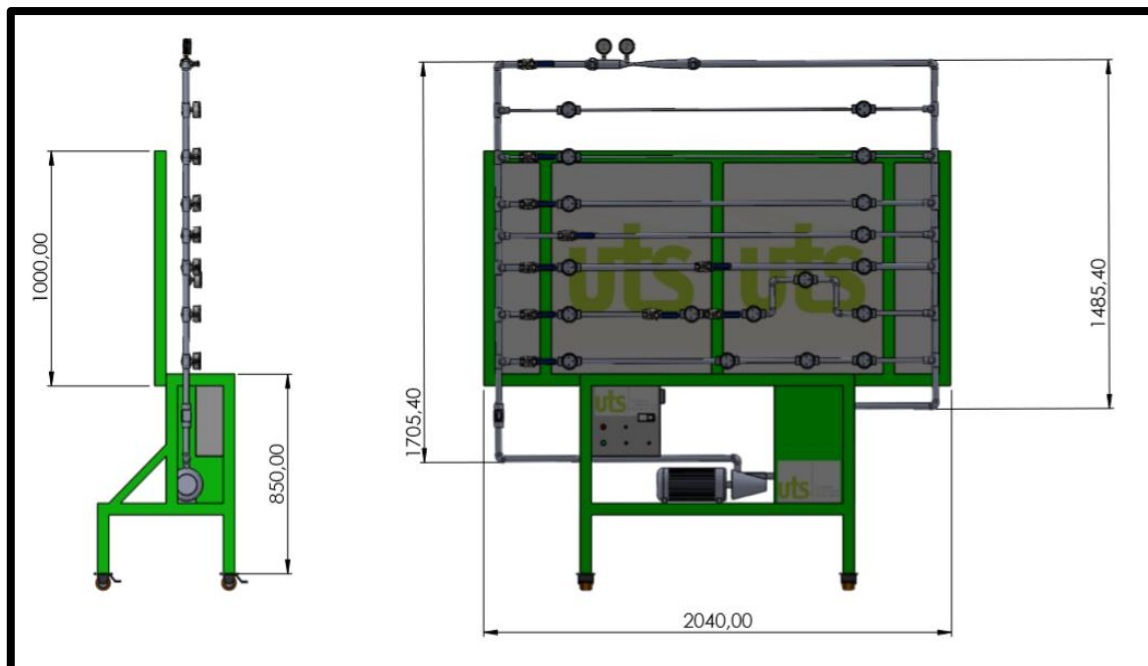
**Fuente:** Autor

Se determinó el uso de un manómetro por que se escogió una electrobomba de 746 w, con una altura máxima de cincuenta y nueve metros. Como se sabe que la presión hidrostática depende de la altura, matemáticamente se define la presión máxima de este equipo es de 578.79 Kpa que en relación es igual a 83.94 psi. Se utiliza a la descarga un manómetro que corresponde a 100 psi, en

base al rango comercial, siendo este el que manifiesta la presión requerida al momento de realizar la prueba.

Este es un instrumento de medición para la presión de los fluidos contenidos en los recipientes instalados. La característica que lo representa es la medición del nivel de referencia y diferencia entre la presión real y absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor presión manométrica. Los manómetros que se utilizan en las tuberías se utilizan rangos de 30 a 60 psi para observar la caída de presión en la realización de las pruebas.

**Figura 23.** Banco de prueba diseñado con medidas



**Fuente:** Autor

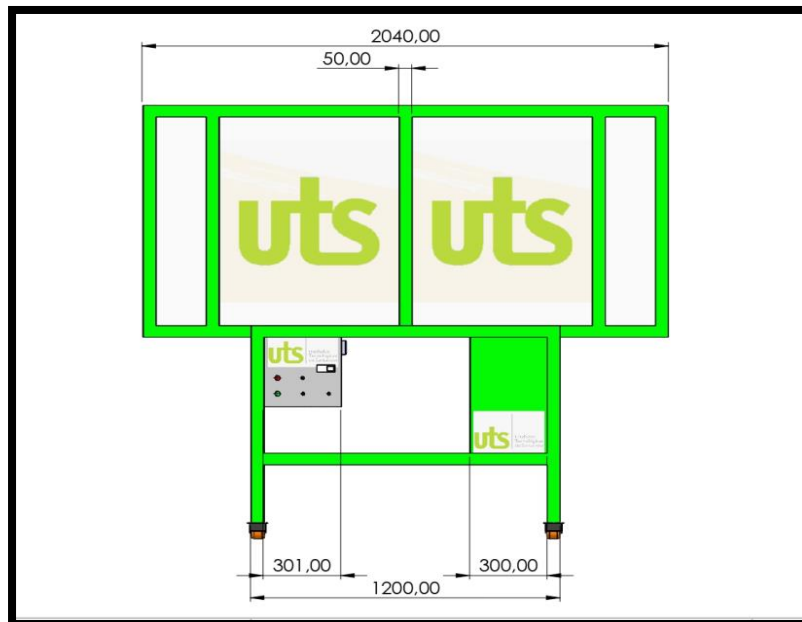
El banco de pruebas diseño en el software SolidWorks se realizó con el fin de identificar los tipos de materiales que se quieren modificar, para ejecutar pruebas de pérdidas de presión, para ello se utilizan materiales como acero galvanizado, acero inoxidable, cobre, aluminio y PVC.

Principalmente se desea conocer como hay una caída de presión en estos materiales teniendo diámetros iguales ( $\frac{1}{2}$ " ), y materiales diferentes, así mismo se incrementa la longitud de recorrido del fluido, se encontraba con valores 0.807 metros y se realiza el diseño para hacer la ampliación a 1.93 metros y de esta manera garantizar las pruebas en el momento de realizarlas.

### **3.4. DISEÑAR LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL BANCO DE PRUEBAS A TRAVÉS DE DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA.**

Para el diseño de la estructura y la base para el inicio del banco de prueba, se emplea el uso de tubería metálica que corresponde en calibre veinte (K 20). Las medidas de la estructura son reflejadas 1,53 m alto, por 2 metro de largo, Para el ensamble de la estructura, se utiliza 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 rodas chinas, 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 como se muestra en la figura 17, la capacidad de la roda chinas es de cuarenta kilos (40 K) C/U. El acabado desarrollado en la estructura (pintura), deriva al terminado en pintura electrostática en esmalte blanco y verde.

**Figura 24.** Soporte base de la estructura.

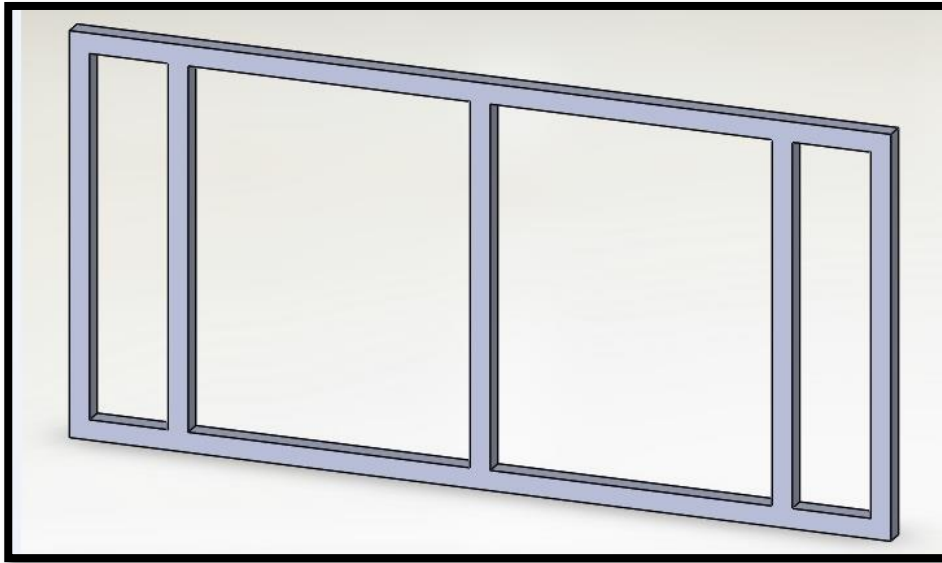


**Fuente:** Autor

En el proceso de inspección se encontraba fabricado, y se diseñó en el plano con las especificaciones encontradas del tanque de almacenamiento, estas son de 30x 30 x 45 m. De igual forma está conectado a la succión, desagüe, llenado del tanque y descarga del sistema. Dicha línea de desagüe tiene adaptado una válvula de paso de ½". Para la succión y descarga el acoplamiento al tanque, universal en PVC de 1".

Este depósito se encuentra ubicado en la parte derecha inferior de la estructura y cuenta con una capacidad de ciento veinte (45 litros), y para el desarrollo de las pruebas se emplea solo el 80% de su contenido. El depósito está enlazado mediante la tubería de 1" de diámetro, hasta la electrobomba situada al lado izquierdo de la estructura. Cuenta con una perforación de 1 1/8" realizada al lado lateral derecho para el anclaje de la tubería galvanizada de 1" de diámetro.

**Figura 25.** Soporte de las líneas de tubería

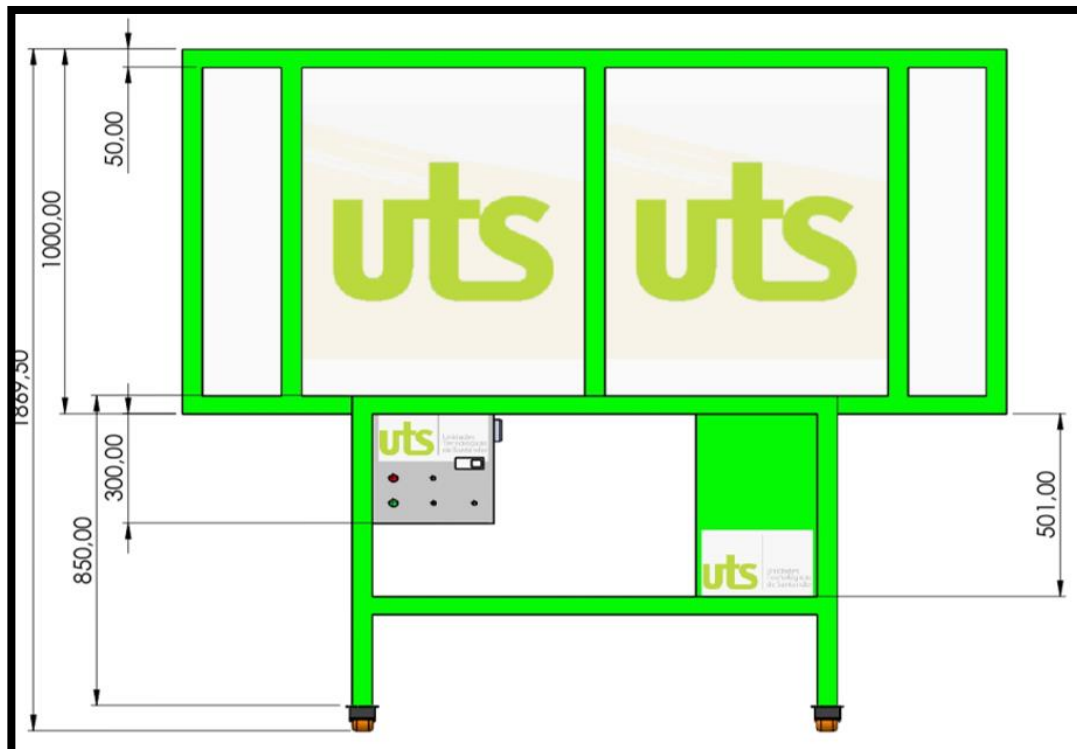


**Fuente:** Autor

El diseño del soporte le dio un espacio mayor debido que a esta forma tiene mejor sujeción al sistema de las líneas de tubería. El ancho del soporte se estableció de 2 metros, permitiendo de tal forma un ensamble de tubería de 1.93 metros por línea, garantizando el recorrido del fluido en el sistema para conocer las pérdidas de presión.



**Figura 26.** Estructura final para el banco de pruebas



Fuente: Autor

Como se refleja en la Figura 17, el diseño que se aplicó, comprende a una estructura rectangular. Se utilizó tubería cuadrada de md, en la cual se empezará a emplear el montaje de cada uno de los accesorios; estos últimos se determinan en: tubería metálica galvanizada, accesorios metálicos, tubería y accesorios en PVC, electrobomba, deposito superior, deposito inferior, bridas, manómetros, soportes internos, válvulas metálicas y en PVC, medidor de flujo. La totalidad en peso de estos, una vez montado y ensamblado en el banco equivale a ochenta y cinco Kilogramos (85 Kg), manteniendo un parámetro por debajo de la capacidad de los rodachines que son de ciento sesenta Kilogramos (160 Kg)

#### 4. RESULTADOS

Con el cumplimiento de los objetivos en las fases planteadas usando la metodología descrita, se hace entrega a las Unidades Tecnológicas de Santander regional Barrancabermeja, un diseño con el programa SolidWorks, donde se detalla una construcción esquemática de un banco de pruebas para el análisis de pérdidas en tuberías y accesorios que cuenta con un sistema de siete circuitos elaborados de diferentes materiales y diámetros. Dentro del diseño en el software se puede ver la simulación del ensamblaje de los circuitos hidráulicos del sistema, el esquema de la estructura de soporte con sus respectivas medidas, herramientas de medición, accesorios, entre otras características.

Se realizó el trazado de los diferentes circuitos con el que cuenta el diseño planteado, en los cuales se indican los pasos para la puesta en funcionamiento de todo el sistema.

El documento culminado cuenta con los cálculos hidráulicos para las pérdidas de carga en el sistema de tuberías y accesorios tales como, caudal, áreas, número de Reynolds, rugosidad del material, pérdidas, y potencia mecánica; estos cálculos fueron obtenidos mediante ecuaciones establecidas matemáticamente de forma universal.

Los resultados obtenidos se convierten así en la creación de una base de datos comparativa a la hora de realizar las prácticas reales en el diseño físico final, con el fin de usarse en los laboratorios para las diferentes asignaturas del programa de electromecánica donde sea pertinente el análisis de pérdidas en fluidos.

La entrega del proyecto en mención, tiene el fin último de enriquecer el conocimiento que se adquiere en las aulas de clases a través de una muestra de gestión investigativa que permite conocer, indagar, modelar y simular conceptos

teóricos y que son llevados a la práctica en el laboratorio, pero, que no son desarrollados en su totalidad por falta de herramientas para su elaboración

La ampliación de la gama de materiales, herramientas de medición, accesorios y líneas del sistema diseñado, beneficia a los estudiantes en el desarrollo de nuevas prácticas de laboratorio, conocimiento de forma didáctica y en tercera dimensión el comportamiento del fluido, dimensiones del sistema, instrumentos que interfieren en el banco y demás características que puedan obtenerse de la implementación del diseño planteado.

## 5. CONCLUSIONES

El proyecto realizado permitió clasificar la selección de bancos de prueba y modelos matemáticos definidos para el cálculo de pérdidas en sistemas de tubería. El análisis de diferentes materiales se efectuó mediante fichas técnicas que permitieron identificar las propiedades de rugosidad, diámetro interno y resistencia.

A partir de los datos recolectados se realizó el cálculo de pérdidas por tubería y accesorios, determinando la presión y flujo de agua en el sistema, las cuales fueron fundamentales para dar solución a la ecuación de la energía. Considerando además la cabeza, velocidad, gravedad, peso específico y densidad del agua.

El sistema al estar compuesto por accesorios y dispositivos mecánicos genera pérdidas. Por tal motivo, se calculó el número de Reynolds y posteriormente se determinó si el flujo es turbulento o laminar. A partir de ahí se establece el factor de fricción según el flujo en el sistema. Como el banco posee diferentes materiales y diámetros se determinó la ecuación para cada elemento los cuales al final, fueron sumados para dar la totalidad de pérdidas por fricción.

Por otra parte, se realizó en SolidWorks el diseño del banco de pruebas e instrumentos que lo componen. La implementación del banco de fluidos fortalece las temáticas implantadas actualmente en la asignatura de mecánica de fluidos debido a que permite comparar los resultados de presión y caudal efectuados analíticamente con los arrojados por los instrumentos indicadores de presión (manómetro) y medidor de flujo, generando la oportunidad al estudiante de ampliar las capacidades e incrementar notoriamente las habilidades de trabajo, interpretación de planos, diagramas y cálculo analítico de magnitud según el comportamiento definido.

## 6. RECOMENDACIONES

Para ampliar las actividades en clase se sugiere la variación en la apertura de la válvula. Además de alternar las válvulas de paso del fluido ubicadas en cada extremo de las líneas. Todo lo anterior le brinda al estudiante las herramientas necesarias para efectuar montajes de acuerdo a la necesidad de estudio, teniendo en cuenta los criterios de funcionalidad y practicidad.

Se recomienda que el estudiante conozca el comportamiento del sistema, para que sirva cada pieza, como influyen los accesorios, tiempos de operación y como la implementación de equipos con igual magnitud al presentado fortalece experimentalmente los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura de mecánica de fluidos con relación al cálculo de pérdidas de presión de agua entre dos puntos y por fricción teniendo en cuenta la variación de materiales y diámetros. Asimismo, el determinar la potencia requerida por la bomba en función de las condiciones de operación requeridas en la circulación del líquido a través de las diferentes tuberías.

Adicionalmente, el mantenimiento del banco de pruebas tanto en la parte eléctrica como en la parte de limpieza mecánica, se sugiere realizar por lo menos una vez cada dos meses, teniendo en cuenta la calibración de los manómetros e indicador de flujo para una mayor precisión en los resultados esperados.

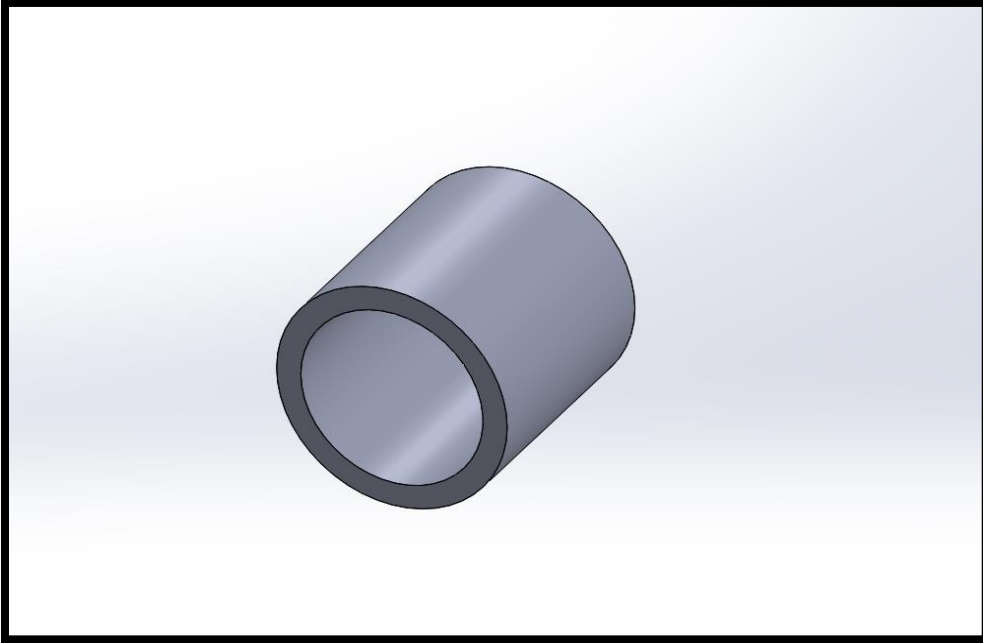
## BIBLIOGRAFÍA

- Armfield. (2017). *Equipo de demostracion de medidores de caudal*. Inglaterra: Armfield.
- Barreto , J. (2008). *Diseño y montaje de un equipo hidraulico para la experimentacion de perdidas por friccion y perdidas localizadas en las tuberias*. Colombia: Corporacion universitaria minuto de Dios.
- COMPETITICS. (2016). *Barrancabermeja en cifras*. Barrancabermeja.
- Constantino, L. (1994). *Fisica*. Mexico: Editorial progreso.
- Cordoba, G., & Velasquez, Y. (2013). *Diseño, contruccion y calibracion de un banco de pruebas para verificar el momento de momentum perteneciente al laboratorio de macanica de fluidos*. Colombia: Universidad de Nariño.
- Cordova, J., & Pozo, X. (2011). *Diseño de un banco de pruebas para perdidas de carga en tuberias ya accesorios con simulacion*. Quito: Universidad politecnica saleciana.
- Crane. (2000). *Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Creus, A. (2005). *Instrumentacion industrial*. España: Marcombo.
- Garcia, A., & Garcia, L. (2009). *Diseño y montaje del laboratorio de hidraulica de tuberias, para banco de pruebas tubo venturi*. Mexico: Univeridad universitaria de mexico.
- Gómez Silva, R. (2004). *Medición de caudales. IGC Instituto de la Construcción y Gerencia.*, 1-3.
- González, E., Ortíz, J., & Martín, F. (2007). *Historia del Teorema de Bernoulli. Acta Universitaria*, 39-45.
- GUNT. (2018). *perdidas de cargas en tuberias*. Alemania: Gunt Hamburg.
- Hewitt, P. (1998). *Fisica conceptual*. Mexico: Pearson educacion.
- Hibbeler. (2006). *Mecanica de materiales*. Mexico: Pearson educacion.
- Kane, J. (2007). *Fisica*. España: Reverte.
- Khouri, E. (2004). *Apuntes de hidraulica para exploraciones forestales*. Mexico: Universidad de Oviedo.

- Lara, L., & Pineda, J. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para la medición de caudal y caída de presión en tuberías paralelas*. Mexico: Universidad tecnológica.
- Mariano, S. (1956). *Manual de física y elementos de química*. España: Editorial catalyna.
- Mendez, V. (2007). *Tuberías de presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Venezuela: Ediciones polar.
- Montaño, P., & Prieto, E. (2014). *Banco de Pruebas para fluidos*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Montoya, O. (2017). *Diseño y construcción de banco hidráulico para determinar las pérdidas de energía en tuberías CPVC*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Morales, R. (2015). *Diseño de un banco didáctico para prácticas de mecánica de fluidos apoyado en un PLC*. Risaralda: Universidad tecnológica de Pereira.
- NTC 2587. (2005). *TUBOS, RACORES Y ACCESORIOS DE HIERRO DÚCTIL Y SUS JUNTAS, PARA AGUA O GAS*. 2011: NTC.
- Reyes, D., & Salas, A. (2014). *Diseño de un banco para el sistema de tuberías de dirección hidráulica*. Barranquilla: Universidad Autónoma del Caribe.
- Sanchez, A. (2006). *Instrumentación y control avanzado de procesos*. España: Editorial Dias de Santos.
- Sierra, L., & Garcia, I. (2015). *Diseño de un banco de tuberías para pruebas de presión hidrostáticas*. Ecuador: Universidad la Santo.
- Tequicment. (2017). *Modulo bomba centrifuga*. Reino Unido: Tequicment LTD.
- Tequicment. (2018). *Cavitación en un venturi*. Reino Unido: Tequicment LTD.
- Torres, L. (2001). *Tratado de control de fluidos*. Madrid: Ediciones ARAN.

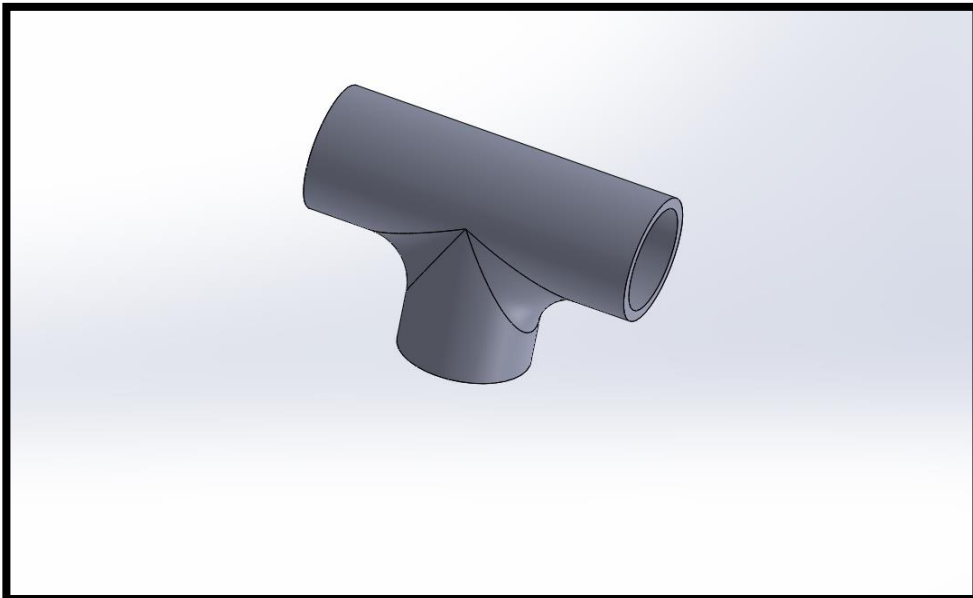
## ANEXOS

### Anexo 1. Buje



Fuente: Autor

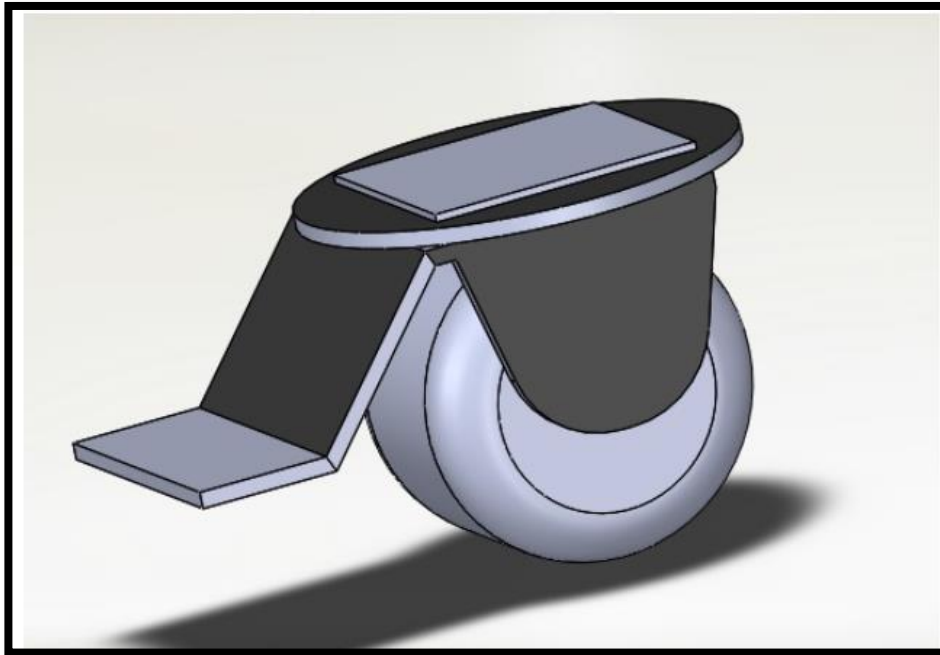
### Anexo 2. Tee



Fuente: Autor

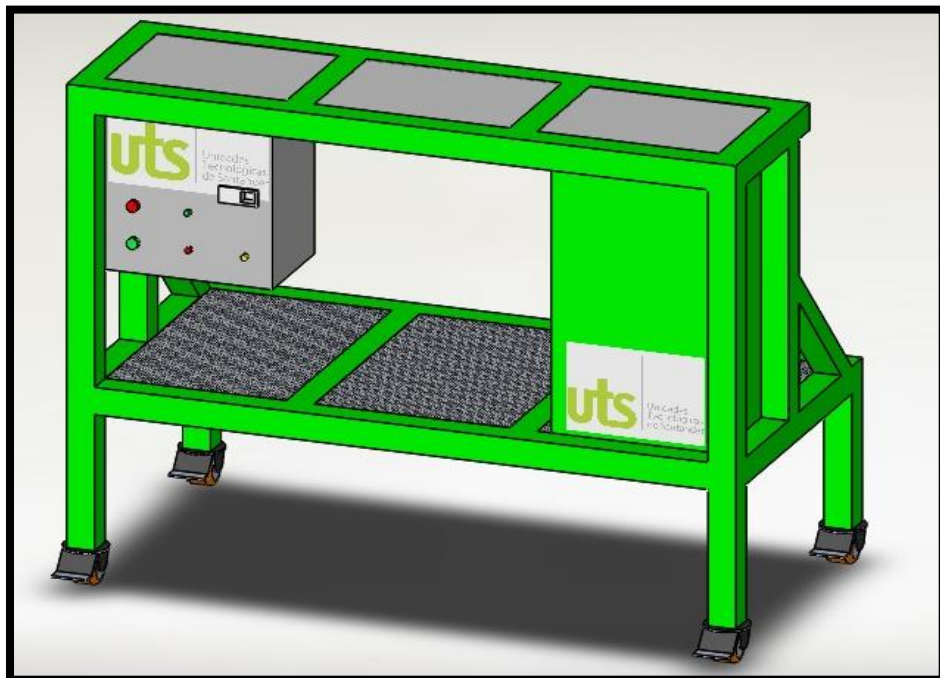


### Anexo 3. Rodachines



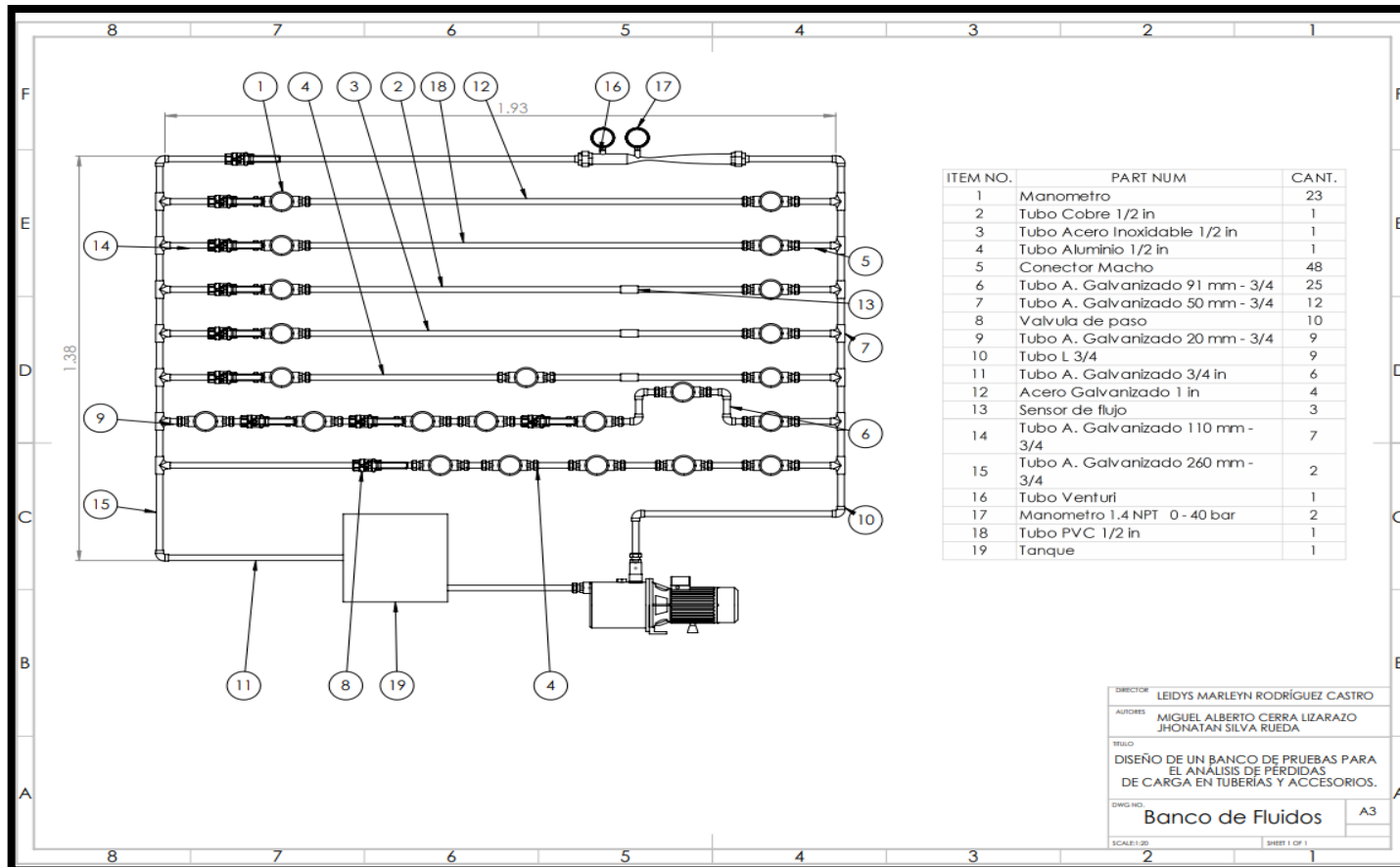
Fuente: Autor

### Anexo 4. soporte base



Fuente: Autor

**Anexo 5. Plano esquemático del banco de pruebas**



Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

Anexo 6. Estructura banco de pruebas

## SOPORTE ESTRUCTURAL

 UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER SEDE BARRANCABERMEJA	<b>TÍTULO:</b> PLANO DE SOPORTE ESTRUCTURAL	ESCALA: 1 : 15 UNIDADES: mm
	<b>AUTOR:</b> MIGUEL ALBERTO CERRA LIZARAZO JHONATAN SILVA RUEDA	 A4 HOJA: 1/5

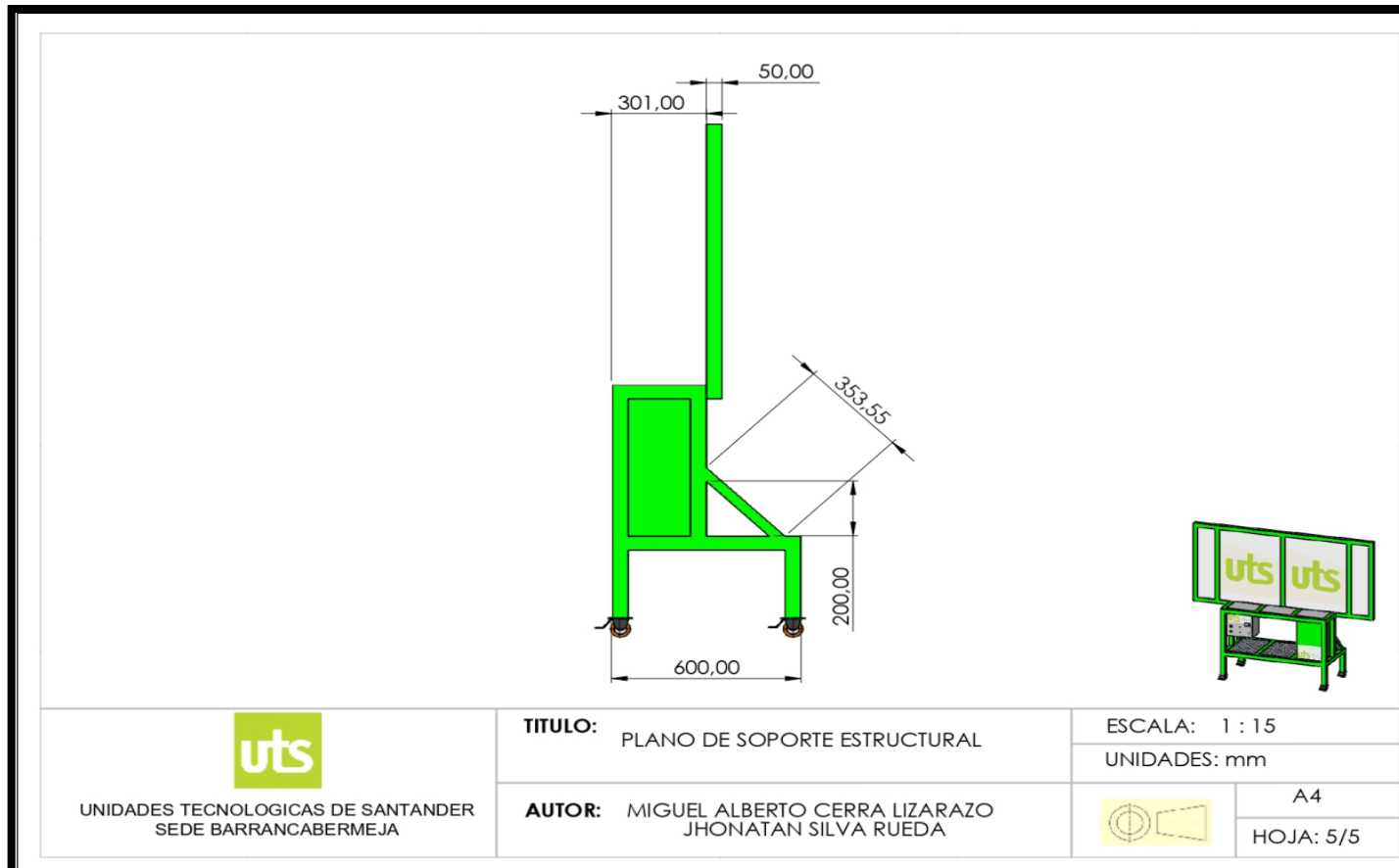
Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

**Anexo 7. Plano estructura lateral derecho**



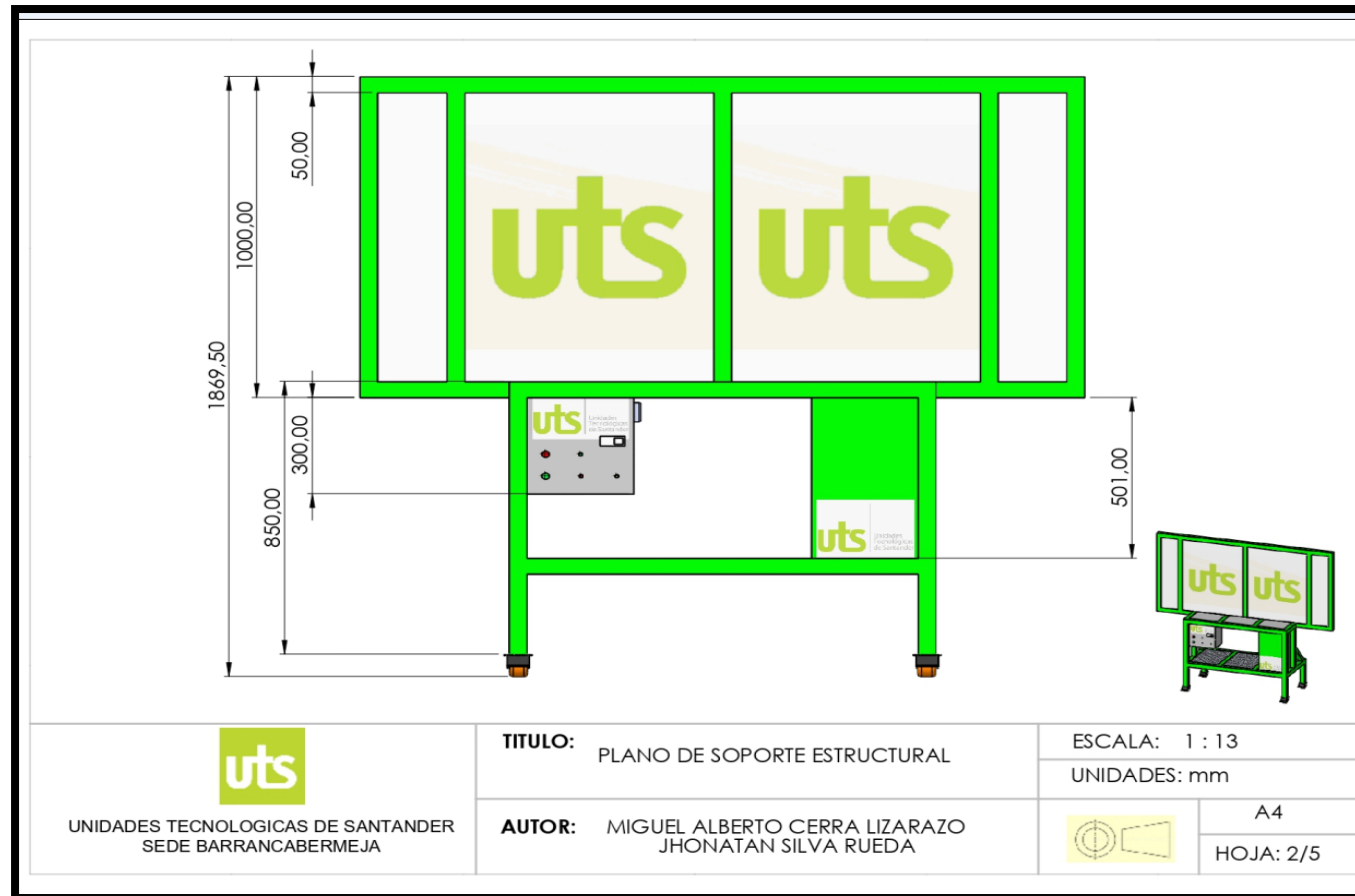
**Fuente:** Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

**Anexo 8.** Estructura Plano frontal medidas lateral izquierda



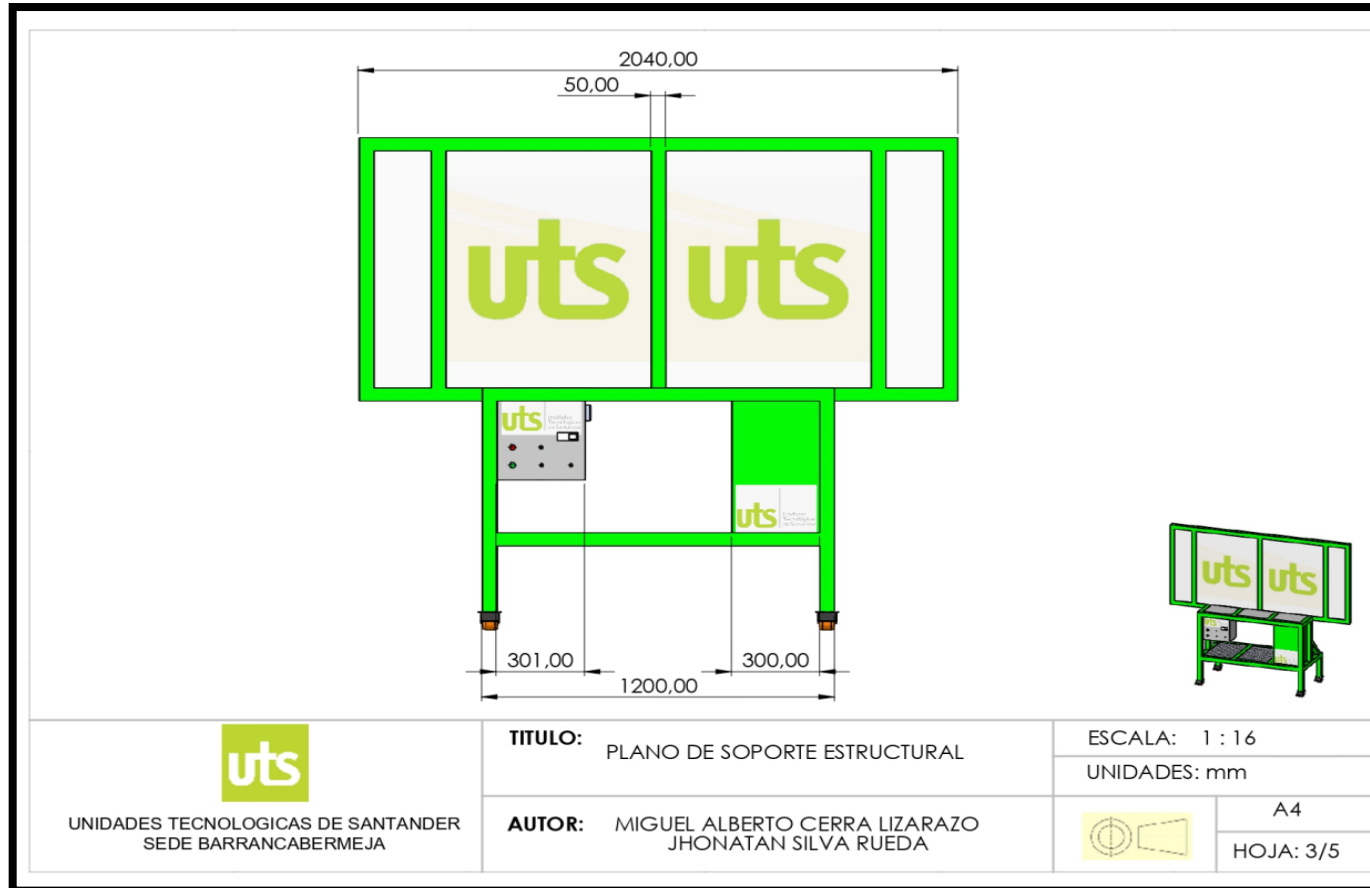
Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

**Anexo 9.** Estructura Plano frontal medidas lado superior



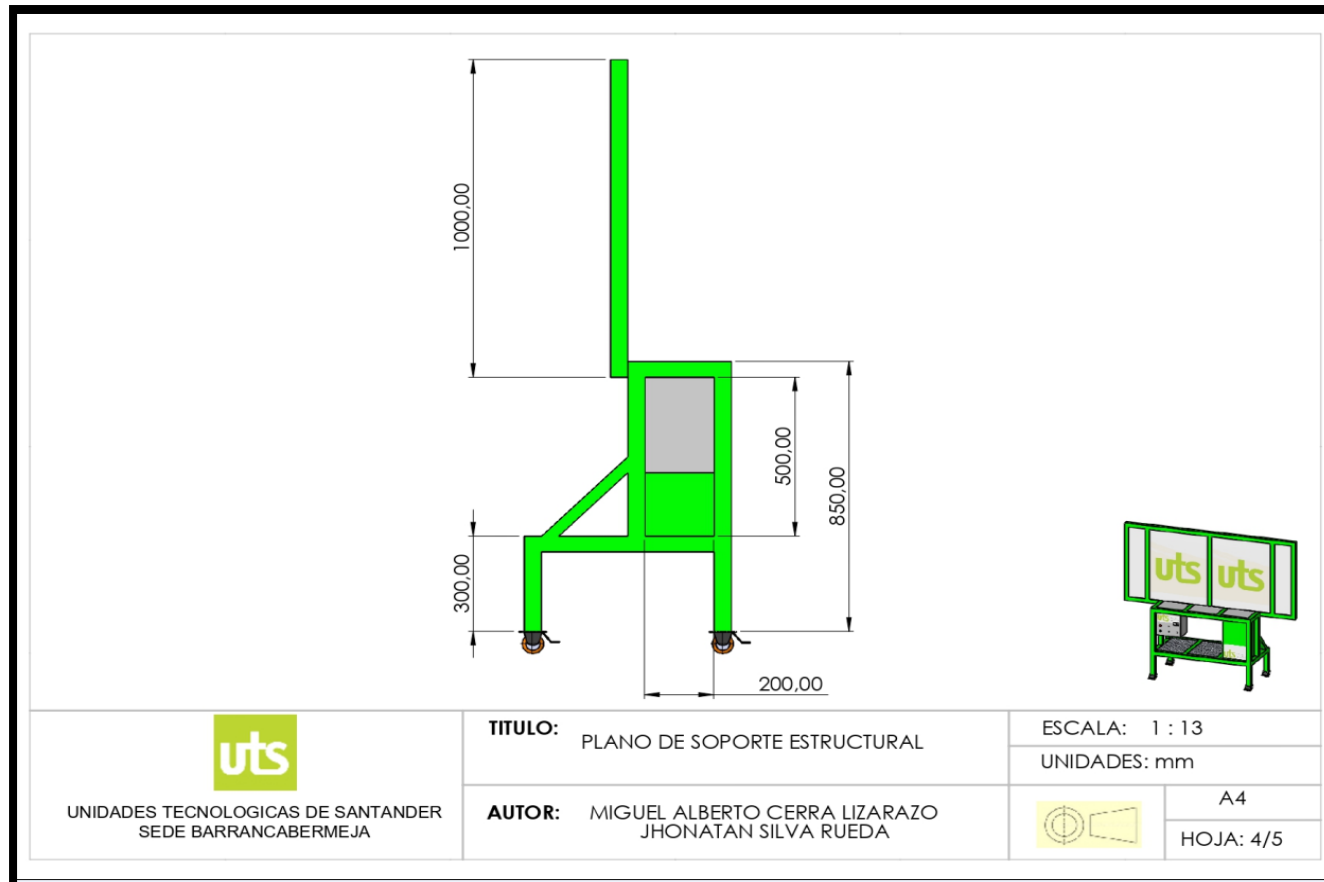
Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

**Anexo 10. Estructura Plano lateral izquierdo**



Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION: