



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO HIDRÁULICO  
DIDÁCTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE PERDIDAS DE  
ENERGÍA POR FRICCIÓN DEL AGUA EN TUBERÍAS PVC Y  
ACERO INOXIDABLE**

**CARLOS HUMBERTO ALVARADO ROJAS  
SERGIO ANDRÉS ESPINOSA MORA**

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
BOGOTÁ – CUNDINAMARCA  
2020

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO HIDRÁULICO DIDÁCTICO PARA  
LA DETERMINACIÓN DE PERDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN DEL  
AGUA EN TUBERÍAS PVC Y ACERO INOXIDABLE**

**CARLOS HUMBERTO ALVARADO ROJAS  
SERGIO ANDRÉS ESPINOSA MORA**

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

Director TESIS  
**PhD, Ing. JOHN FREDY RÍOS ROJAS.**

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
BOGOTÁ  
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá DC. Abril, 2020

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto a Dios por que fue la fuerza que me permitió terminar cuando pensé en desfallecer. A mi hija Ana María por todo el tiempo que deje de dedicarle por cumplir uno de mis sueños.*

**Carlos Alvarado**

*Dedico esta obra a toda mi familia con agradecimiento a Dios. A mi hija Anny Valentina quien ha sido mi motivo para culminar con los estudios. A mi madre por su apoyo incondicional. A mis dos seres queridos María Cristina Mora y Ana Myriam Fandiño que enormemente han apoyado mi proyecto de vida.*

**Sergio Espinosa Mora**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a los profesores que nos ayudaron en nuestro proceso de aprendizaje y en la culminación de unos de nuestros proyectos de vida. A nuestros compañeros de estudio que fueron nuestro apoyo para aprender mutuamente en nuestro paso por la universidad.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>4</b>
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
1.4 JUSTIFICACIÓN	7
1.5 MARCO DE REFERENCIA	8
1.5.1 MARCO TEÓRICO	9
1.5.1.1 Concepto de fluido	9
1.5.1.2 Densidad	9
1.5.1.3 Peso específico	10
1.5.1.4 Viscosidad	10
1.5.1.5 Presión	11
1.5.1.6 Tensión superficial	11
1.5.1.7 Numero de Reynolds	12
1.5.1.8 Flujo laminar	13
1.5.1.9 Flujo turbulento	13
1.5.1.10 Pérdidas de energía por fricción	14
1.5.1.11 Ecuación de Darcy-Weisbach para la pérdida de energía	15
1.5.1.12 Ecuación de Hagen-Poiseuille	15
1.5.1.13 Diagrama de Moody	16
1.5.1.14 Coeficiente de resistencia	16
1.5.1.15 Elementos basicos de una instalacion hidraulica	17
1.5.1.16 Concepto de Bomba hidráulica	17
1.5.1.17 Bombas de desplazamiento positivo	18
1.5.1.18 Bombas reciprocantes	19
1.5.1.19 Bombas rotatorias	19
1.5.1.20 Bombas dinámicas	20
1.5.1.21 Bombas centrifugas	20
1.5.1.22 Bombas periféricas	21
1.5.1.23 Tubería	22
1.5.1.24 Elementos de medición	23
1.5.2 LENGUAJE JAVA	25
1.6 METODOLOGÍA	27

<b>2. INGENIERÍA DEL PROYECTO</b>	<b>29</b>
2.1 DISEÑO CONCEPTUAL	29
2.1.1 ANÁLISIS	29
2.1.2 PROCESO PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE UN SIMULADOR DE PRUEBAS	30
2.1.3 MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA	31
2.1.4 INFORMACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES Y NORMATIVIDAD	32
2.2 DISEÑO DETALLADO	35
2.2.1 CONDICIONES DEL DISEÑO	35
2.2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL	35
2.2.3 SOLDADURA UTILIZADA	36
2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA	37
2.2.5 TUBERÍA PVC	37
2.2.6 TUBERÍA ACERO INOXIDABLE	38
2.2.7 PEGAMENTOS	38
2.2.8 DISEÑO DEL TANQUE	39
2.3 CONSTRUCCIÓN	40
2.3.1 ENSAMBLE MECÁNICO Y ELÉCTRICO DEL BANCO.	40
2.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	43
<b>3. SIMULACIÓN</b>	<b>44</b>
3.1 SIMULACIÓN JAVA.	44
3.2 DESARROLLO JAVA DEL ENTORNO APLICADO AL BANCO	44
3.3 ESTRUCTURA EN JAVA	45
3.4 MANÓMETROS JAVA	46
3.5 VÁLVULAS JAVA	46
<b>4. USO DEL SIMULADOR Y ENSAYOS VIRTUALES</b>	<b>48</b>
4.1 PANTALLA PRINCIPAL	48
4.2 PRACTICA UNO	49
4.3 PRACTICA DOS	49
4.4 PRACTICA TRES	50
4.5 PRACTICA CUATRO	51
4.6 ENSAYOS VIRTUALES	52
<b>5. ENSAYOS Y RESULTADOS EN PROTOTIPO FISICO</b>	<b>58</b>
<b>6. COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>65</b>

<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>66</b>
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	<b>67</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>68</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>71</b>

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Clasificación de los estados de la materia.....	09
Figura 2. Tensión superficial.....	12
Figura 3. Flujo laminar.....	13
Figura 4. Flujo turbulento.....	14
Figura 5. Sistema hidráulico básico.....	17
Figura 6. Diagrama de clasificación de bombas.....	18
Figura 7. Bombas de pistón cerámico de alta presión.....	19
Figura 8. Bombas de desplazamiento positivo.....	20
Figura 9. Bomba centrífuga.....	21
Figura 10. Bomba periférica.....	22
Figura 11. Manómetro.....	24
Figura 12. Proceso en la Metodología.....	26
Figura 13. Diagrama de procesos para el diseño.....	29
Figura 14. Sistema de control de lazo abierto.....	30
Figura 15. Estructura física del banco deseado.....	31
Figura 16. Barra de perfil cuadrado.....	34
Figura 17. Contenedor.....	38
Figura 18. Conexiones Eléctricas.....	41
Figura 19. Secuencia de operación del banco.....	43
Figura 20. Entorno para JAVA.....	44
Figura 21. Dimensiones JAVA.....	45
Figura 22. Numeración manómetros.....	46
Figura 23. Clasificación de válvulas .....	47
Figura 24. Variables ensayo.....	47
Figura 25. Pantalla de información simulador.....	49
Figura 26. Practica uno variación temperatura .....	50
Figura 27. Caída de presión por rugosidad .....	51
Figura 28. Caída de presión por cambio en la velocidad angular .....	51
Figura 29. Cierre de la válvula general .....	52
Figura 30. Clasificación de ensayos.....	53
Figura 31. Caída de presión por variación de temperatura.....	54
Figura 32. Caída de presión por variación de la rugosidad.....	55
Figura 33. Caída de presión por variación de caudal.....	56
Figura 34. Porcentaje de cierre de la válvula.....	58
Figura 35. Selección de trayecto.....	59
Figura 36. Rotámetro .....	59

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Elementos básicos del banco.....	33
Tabla 2. Características del perfil cuadrado.....	36
Tabla 3. Características de resistencia del perfil.....	36
Tabla 4. Propiedades de la soldadura .....	37
Tabla 5. Características del PVC .....	37
Tabla 6. Propiedades Acero Inoxidable.....	38
Tabla 7. Cálculos de Volumen.....	39
Tabla 8. Precios de material.....	42
Tabla 9. Índices de componentes Eléctricos.....	43
Tabla 10. Toma de datos para tubería de ½ pulgada.....	54
Tabla 11. Toma de datos para tubería de ½ pulgada respecto a la rugosidad	55
Tabla 12. Toma de datos para tubería de 3/4 variación de RPM.....	56
Tabla 13. Toma de datos sobre el sistema a temperatura ambiente.....	57
Tabla 14. Variables en un ensayo.....	63

## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Densidad.....	09
Ecuación 2. Peso específico.....	10
Ecuación 3. Viscosidad dinámica.....	10
Ecuación 4. Viscosidad dinámica relación fuerza-área.....	11
Ecuación 5. Viscosidad cinemática.....	11
Ecuación 6. Presión - (a) manométrica. (b) vacío.....	11
Ecuación 7. Numero de Reynolds.....	12
Ecuación 8. Energía.....	14
Ecuación 9. Darcy-Weisbach.....	15
Ecuación 10. Factor de fricción.....	15
Ecuación 11. Hagen-Poiseulle.....	15
Ecuación 12. Coeficiente de resistencia.....	16
Ecuación 13. Volumen de un cilindro.....	38

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Planos del banco y accesorios.....	71
Anexo B: Características de la bomba.....	75
Anexo C: Formula flexión tubería PVC.....	78
Anexo D: Guías de Laboratorio.....	79
Anexo E: Propiedades Físicas del Agua.....	107
Anexo F: Rugosidades de tipos de material.....	107
Anexo G: Tabla de dimensiones para tuberías.....	108
Anexo H: Diagrama de Moody.....	109
Anexo I: Hojas de cálculo para ensayos JAVA.....	110
Anexo J: Coeficientes de resistencias para válvulas.....	114

## Símbolos

Símbolo	Termino	Unidad SI
$\rho$	Densidad	$kg/m^3$
$\gamma$	Peso específico	$N/m^3$
$g$	Gravedad	$m/s^2$
$M$	Masa	Kg
$V$	Volumen	$m^3$
$F$	Fuerza	$kg * m/s^2$
$H$	Coefficiente de viscosidad dinámica	$Pa * s$
$v$	Velocidad	$m/s$
$A$	Área	$m^2$
$T$	Esfuerzo cortante	$Pa$
$D$	Diámetro interno	$m$
$z_{1,2}$	punto de referencia y de elevación	$m$
$h_L$	Pérdida de energía	$m$
$P$	Presión	$N/m^2$
$f$	Factor de fricción	adimensional
$L$	Longitud de la corriente de flujo	$m$
$K$	Coefficiente de resistencia	adimensional
$r$	Radio	$m$
$Q$	Caudal	$m^3/s$
$E$	Rugosidad de la pared	$m$

## GLOSARIO

**BOMBA:** dispositivo electromecánico que añade energía, para impulsar agua, líquidos u otro fluido en una dirección determinada y con unos parámetros específicos.

**CAUDALÍMETRO:** instrumento utilizado para medir caudal, el cual es instalado en línea con la tubería. Este instrumento puede ser mecánico o eléctrico.

**CODO:** accesorio que se utiliza en las tuberías de distintos diámetros para darle un cambio de dirección de 90 y 45 grados a un fluido con una sola entrada y salida.

**DENSIDAD:** relación que hay entre la masa y el volumen de una sustancia.

**ESTRUCTURA METÁLICA:** construcción donde su mayoría está formado por partes metálicas con ciertas características.

**FLUIDO:** sustancia que se encuentra en estado líquido o gaseoso que se deforma continuamente cuando es sometido a un esfuerzo cortante.

**FLUJO TURBULENTO:** movimiento caótico en forma de remolinos grandes y pequeños que se presenta en varios puntos de la tubería por distintos factores.

**FLUJO LAMINAR:** movimiento ordenado el cual fluye en formas de capas suaves dentro de la tubería o canales abiertos.

**FRICCIÓN:** rozamiento entre dos superficies que se oponen al movimiento de ambas.

**GAS:** estado de la materia en el cual las moléculas interactúan de forma débil. Este tipo de moléculas adoptan el volumen y la forma del recipiente de almacenamiento.

**GRAVEDAD:** fuerza que ejerce la tierra para atraer los objetos a su centro.

**HIDRÁULICA:** ciencia que estudia el comportamiento, características y propiedades específicas de un fluido para su aprovechamiento y aplicaciones a la ingeniería.

**LIQUIDO:** estado de la materia en la cual las moléculas presentan un estado de cohesión mayor que los gases pero menor que los sólidos. No tiene una forma fija y siempre trata de estar a nivel del contenedor donde se encuentra.

**MANGUERA:** tubo flexible elaborado de distintos materiales que generalmente se usa para transportar un fluido de un punto a otro.

**MANÓMETRO:** instrumento utilizado para medir la presión en gases y líquidos. Casi siempre se utiliza la presión atmosférica como referencia.

**MEDICIÓN:** toma de datos de magnitudes físicas las cuales se comparan con patrones ya preestablecidos que dan valores para utilizar en diferentes actividades.

**PRESIÓN:** Cantidad de fuerza que actúa sobre una superficie (área). Se denota con la letra P.

**RUGOSIDAD:** irregularidades que se presentan en las paredes de las tuberías ya sean por materiales que se utilizan en la fabricación, acabados o usos.

**SOLIDO:** propiedad en la cual las moléculas tienen gran cohesión oponiendo resistencia a la deformación.

**TANQUE:** estructura que es diseñada para almacenar y conservar un fluido, fabricado de distintos materiales.

**TEE:** accesorio en tubería el cual tiene una forma de "T" se utiliza para realizar una derivación con una entrada y dos ramificaciones.

**TEMPERATURA:** magnitud física por la cual se puede medir el nivel de calor que poseen los cuerpos en determinado lugar.

**TUBERÍA:** elemento fabricado de distintos materiales que interiormente posee un orificio por el cual se puede transportar fluidos. Se le pueden acoplar elementos como uniones para unir dos tubos ya sea del mismo diámetro o de distinto y accesorios para disposiciones finales.

**VÁLVULA:** elemento el cual se opone al paso de un fluido por una tubería o manguera existen de distintos tipos y materiales.

**VELOCIDAD:** magnitud física donde partículas de agua pasan con cierta rapidez de un punto a otro.

**VISCOSIDAD:** características de algunos fluidos por la oposición a deformarse y resistencia al corte, hacen que se mueven a diferentes velocidades, pero entre mayor sea su viscosidad menor será su movimiento.

**VOLUMEN:** espacio que ocupa un cuerpo y su unidad internacional es el metro cúbico.

## RESUMEN

El aprendizaje de manera didáctica mediante prácticas de laboratorio es indispensable en la formación técnica y profesional. Actualmente, el laboratorio de Termo Fluidos de la Universidad Antonio Nariño Sede Sur no cuenta con una infraestructura que permita el aprendizaje activo en temas de pérdidas de energía por fricción de un fluido. Por otra parte, es necesario llevar a cabo la simulación de un banco didáctico con la posibilidad de analizar el comportamiento de las variables de un fluido turbulento sobre dos tipos de materiales diferentes, en este caso PVC y acero inoxidable para llevar a cabo la comparación del efecto de la rugosidad de cada material.

El objetivo primordial es lograr el aprendizaje efectivo sobre pérdidas mayores de energía en tuberías con diferentes diámetros y rugosidades, pérdidas menores en accesorios como acoples y válvulas. El proceso de diseño y simulación implica desarrollar inicialmente cálculos teóricos que sean el respaldo para cada tipo de ensayo. Se desarrolla una interfaz didáctica en Java la cual permite analizar las pérdidas de energía en la tubería realizando modificaciones a varios parámetros que intervienen en este análisis. Se realiza un prototipo físico para toma de datos y comparando con los datos que da la interfaz gráfica del simulador. Se realizaron los documentos de presentación como guías de laboratorios e información técnica del banco. La limitación que se coloca al algoritmo es que durante la interfaz se realice el análisis de un fluido que en este caso sería el agua realizando algunas variaciones como la temperatura. La implementación del simulador se fundamentó en forma realista dando un ambiente de calidad, eficiencia y flexibilidad en la operación para los futuros usuarios.

**Palabras clave:** ENERGÍA, FRICCIÓN, FLUJO, CAUDAL, PRESIÓN, PVC, ACERO INOXIDABLE Y RUGOSIDAD

## **ABSTRACT**

Learning in a didactic way through laboratory practices is essential in technical and professional training. Currently, the Laboratory of Thermo Fluids of the university Antonio Nariño Headquarters south does not have an infrastructure that allows active learning on issues of energy loss due to fluid friction. On the other hand, it is necessary to carry out the simulation of a didactic tool with the possibility of analyzing the behavior of the variables of a turbulent fluid on two different types of materials, in this case PVC and stainless steel to carry out the comparison of the effect of the roughness of each material.

The main objective is to achieve effective learning about major energy losses in pipes with different diameters and roughness, minor losses in accessories such as fittings and valves. The design and simulation process involves initially developing theoretical calculations that are the support for each type of test. A environment simulaci3n was developed in Java which allows analyzing the energy losses in the pipeline, making modifications to various parameters that intervene in this analysis. A physical prototype is made for data collection and comparing with the data provided by the simulator's graphical interface. Presentation documents were prepared as laboratory guides and technical information from the bank. The limitation that is placed on the algorithm is that during the interface the analysis of a fluid is performed, which in this case would be water, making some variations such as temperature. The implementation of the simulator was realistically based, giving an environment of quality, efficiency and flexibility in operation for future users.

**Key words: ENERGY, FRICTION, FLOW, AFFLUENT, PRESSURE, PVC, STAINLESS STEEL AND ROUGHNESS**

## INTRODUCCIÓN

En las instalaciones hidráulicas empleadas para transportar un fluido se utilizan distintos componentes como tuberías con una geometría circular, accesorios para conexión y dispositivos de medición entre otros. Estos componentes afectan la eficiencia energética del sistema hidráulico ya que el fluido incompresible fluye por la instalación presentando una fricción al desplazamiento al estar en contacto con la superficie del material y los componentes, lo que genera una disminución en la presión.

Empresas públicas muy importantes como el acueducto de Bogotá y otras del sector industrial locales y extranjeras, que operan trayectos extensos de tubería, se preocupan seriamente por optimizar el transporte del fluido con el fin de disminuir la pérdida de presión. (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2006)

La pérdida de energía de un fluido influye directamente en su comportamiento, el cual puede ser laminar o turbulento dependiendo el caso. Al no poderse observar el movimiento de un fluido dentro de una tubería se acude al número adimensional de Reynolds ( $Re$ ), el cual permite determinar su nivel de turbulencia. La magnitud de  $Re$  es determinada a partir de ciertas características del fluido como la densidad, viscosidad y velocidad junto con las dimensiones de la tubería empleada para el transporte. (Mott, 2006)

El fluido pierde energía por la acción de vencer el esfuerzo cortante y la fricción que genera la tubería en función de su rugosidad, debido al comportamiento del flujo laminar que es ordenado y regular es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y los parámetros mensurables del sistema, aplicando la ecuación de Darcy-Weisbach entre otras relaciones.

Por otro lado, las pérdidas por fricción en un flujo turbulento son caóticas y varía de forma constante por el movimiento desordenado de las partículas formando pequeños remolinos. Para esto se tiene presente el diámetro de la tubería, rugosidad del material y la aplicación de la ecuación de Darcy para el cálculo de la pérdida de energía.

En la revisión de información actual con relación a bancos hidráulicos didácticos con tuberías en PVC y acero inoxidable, no se localizaron proyectos dentro de la universidad con estas características físicas que busquen implementar la comparación de pérdida de energía por fricción en dos tipos de material. En adición con el auge de tener disponibles herramientas para el desarrollo de prácticas de manera remota o virtual en pro de afianzar las temáticas en ingeniería, se desarrolla este trabajo que permite llevar a cabo la simulación de un banco didáctico con un nivel medio de complejidad y la corroboración de la información teórica por parte de estudiantes de ingeniería de la universidad acerca de las pérdidas por fricción en flujo interno en tubería.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad empresas públicas muy importantes como el acueducto de Bogotá y otras del sector industrial locales y extranjeras, que operan trayectos extensos de tubería, se preocupan seriamente por optimizar el transporte del fluido con el fin de disminuir la pérdida de presión. Por lo anterior, mantener la mejor eficiencia posible en el transporte implica optimizar la inversión en equipos, disminuir el consumo de energía en equipos de bombeo lo cual disminuye el impacto ambiental y así lograr fiabilidad en la instalación y equipos del sistema. (P.E.P, 2013)

En la revisión de información relacionada con bancos hidráulicos didácticos que empleen PVC y acero inoxidable, no se localizaron proyectos en la Universidad Antonio Nariño con características físicas que permita el análisis del fluido en estado de turbulencia mediante dos tipos de material y así corroborar información teórica referente a pérdidas de energía por fricción. Sin embargo, se hallaron adelantos similares de distintas fuentes de prácticas académicas con los siguientes enfoques:

1) Proyecto de grado denominado: “Diseño de un banco de pruebas para la evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos”, desarrollado en la Universidad Industrial de Santander, en Colombia. El objetivo principal fue diseñar un banco de pruebas versátil que permitiera el estudio del fenómeno de pérdidas de energía en tuberías, válvulas y accesorios en el transporte de fluidos. (Pineda, 2004)

2) Proyecto de grado denominado: “Diseño y construcción de un banco de ensayos para el estudio de pérdidas de carga por fricción y singularidad”, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria la Molina. en Perú. El objetivo principal fue el diseño y construcción de un Banco de Pruebas para evaluar las pérdidas de carga en tuberías de PVC lisas y accesorios. (Solano, 2015)

3) Equipo fabricado por empresa: “Banco didáctico C6MKII para la medición de fricción de fluidos”, desarrollado por ARMFIELD, empresa dedicada al diseño de equipos para la enseñanza e investigación de ingeniería. El objetivo principal fue la construcción de un banco didáctico para investigar el número de Reynolds en varios comportamientos del fluido que circula por distintos accesorios en tubería de acero. (ARMFIELD LIMITED, 2019)

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la competencia laboral que se presenta en nuestro país es importante que los profesionales en ingeniería adquieran ciertas competencias que le permitan un adecuado desempeño de su profesión en su vida laboral. La práctica es un componente importante para que el alumno desarrolle el conocimiento transmitido por el docente. Para ello se aborda el desarrollo de una simulación en java con distintas prácticas las cuales permitan el análisis del fluido (agua) a temperatura entre 0° y 60° grados, la comparación de importantes variables físicas diámetro de tubería y velocidad de flujo en dos tipos de material (acero inoxidable y poli cloruro de vinilo) y finalmente la estimación de la pérdida de energía por fricción en dos tipos de material.

En el simulador hidráulico desarrollado se pueden determinar las caídas de presión al emplear tuberías PVC y acero inoxidable, ambos tipos de tubería con cedula SCH 40 de diferentes diámetros nominales ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  y 1 pulgadas), y la influencia del nivel de rugosidad de cada material entre otras características físicas como la temperatura.

Actualmente el laboratorio de termofluidos de la Universidad Antonio Nariño Sede Sur, entre sus instalaciones y equipos dispone de bancos de refrigeración, radiación térmica, calibración de manómetros. Por esta razón es necesario el diseño e implementación de un simulador didáctico que permita analizar el fluido en movimiento turbulento como también las pérdidas de energía por fricción en trayectos de tuberías a temperatura ambiente. Este banco dirigido a la academia cumplirá con parámetros que garanticen la flexibilidad durante la simulación, eficiencia y tiempos de respuesta adecuados durante los ensayos.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y simular un banco de prácticas hidráulicas para la medición de pérdidas de energía por fricción del fluido en PVC y acero inoxidable.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Diseñar un banco hidráulico para pérdidas de energía por fricción para el laboratorio de termofluidos.
2. Seleccionar la tubería y accesorios adecuados de materiales y diámetros comerciales.
3. Revisar las características comerciales de la tubería PVC y acero inoxidable de diámetros de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1".
4. Seleccionar los dispositivos para la impulsión del fluido y la medición de flujo a ser empleados en el banco hidráulico.
5. Simular en JAVA el funcionamiento básico e interactivo del sistema hidráulico mediante una interfaz gráfica.
6. Realizar ensayos virtuales que permitan hacer un análisis de la caída de presión en tramos de diferente diámetro y material de tubería.
7. Elaborar procedimiento de uso del simulador y guías de práctica de laboratorio que permitan al estudiante evaluar su conocimiento.

## 1.4 Justificación

La Universidad Antonio Nariño sede Sur no dispone de un simulador en java que permite analizar la pérdida de energía por fricción de un fluido en una tubería y, por ende, la caída de presión a lo largo de un sistema, lo cual es una herramienta útil para la enseñanza y realización de prácticas de ingeniería. En este sentido, la realización de un simulador de pérdidas de energía en tubería PVC y Acero inoxidable, llega a ser una herramienta de gran utilidad para la comunidad estudiantil al cursar asignaturas relacionadas con la hidráulica y mecánica de fluidos.

Generalmente temas como la pérdida de energía por fricción en la tubería se tratan de forma teórica, este simulador didáctico tiene como objetivo permitir al estudiante entender el comportamiento del fluido en movimiento de una manera práctica. El aprendizaje activo para la determinación de pérdidas de presión se lleva a cabo mediante una interacción directa con un simulador didáctico para pruebas. De este modo se logra que el futuro profesional desarrolle habilidades, comprenda conceptos elementales y se familiarice con el manejo de simuladores.

Es de interés primordial para las empresas del sector público y privado que trabajan con sistemas hidráulicos, obtener la mejor eficiencia durante el proceso de transporte, control y medición del fluido. Esto implica la planeación en inversión de equipos óptimos para disminuir el consumo de energía, disminuir el impacto ambiental y mantener fiabilidad en la instalación y equipos. Por lo anterior es indispensable el conocimiento práctico en la comunidad estudiantil para la solución de problemas cotidianos en la vida laboral.

Empresas reconocidas en ingeniería y equipamiento didáctico como Edibon, ARMFIELD, ICL Didactic entre otras, han desarrollado bancos didácticos para poner en marcha conocimientos relacionados con la pérdida de energía por fricción del fluido en un sistema hidráulico. Con este tipo de conceptos se busca implementar una interfaz similar a la que trabajan estas empresas para que sea acorde con los estándares.

## 1.5 Marco de referencia

Desde la antigüedad el hombre siempre ha tratado de aprovechar lo que la naturaleza le brinda para poder sobrevivir. El aprovechamiento de los fluidos nace como una necesidad de mejorar una forma de vida, siempre buscando la manera de utilizar eficientemente estos recursos. El adelanto tecnológico ha permitido el aprovechamiento más eficiente de recursos como lo son gases, líquidos, etc. Dándole un uso importante en la industria y en la vida cotidiana.

La hidráulica es la encargada del estudio de las características y propiedades de los fluidos. Según la historia las civilizaciones griegas y egipcias fueron las primeras en realizar estos estudios y realizar construcciones en las riberas de los ríos para el aprovechamiento de dicho líquido. El conocimiento era transmitido de generación en generación pudiendo llevar cierta información que les servía para realizar ciertas predicciones como sequias e inundaciones.

Arquímedes realizó grandes aportes a la ciencia y es considerado como el fundador de la hidrostática. Uno de sus famosos aportes es el tornillo de Arquímedes. Los romanos iniciaron a realizar estructuras con el fin de abastecer su metrópolis llevando agua desde otros lugares, realizando construcción de grandes sistemas de acueductos. Estos sistemas llevaron al estudio como la conducción del agua por medio de tubos, chorros de agua a través de orificios que se ubicaban a diferentes alturas.

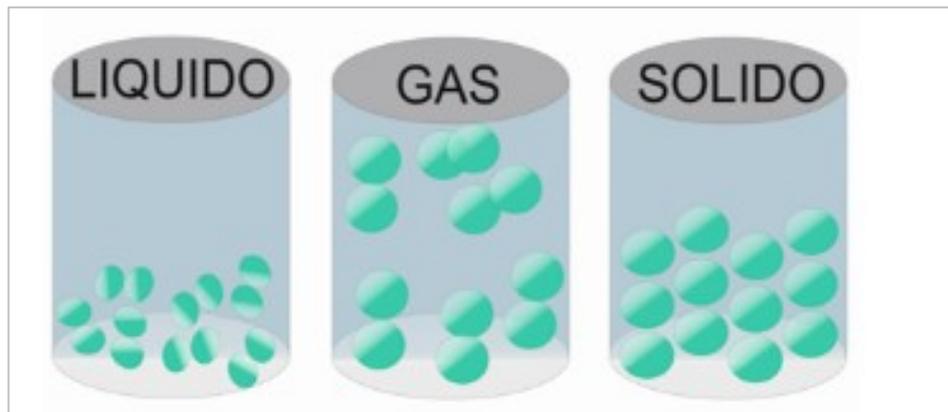
El estudio moderno brinda un conocimiento el cual podemos aplicar en el diseño de redes hidráulicas sin importar que tipo de fluido se maneje. Dentro de las tuberías siempre se van a encontrar pérdidas las cuales pueden ser resueltas por medio de cálculos matemáticos. Al no poder realizar observaciones del fluido y su comportamiento, se hace necesario predecir el comportamiento de este como laminar o turbulento, y saber la pérdida de energía sin necesidad de la visualización. Un ejemplo de esto es la ecuación Darcy-Weisbach la cual relaciona la pérdida de presión del fluido debido a la fricción a lo largo de un tramo de tubería a una velocidad media del fluido. A nivel estudiantil se han realizado estudios y bancos los cuales hacen un aporte considerable en la materia. Este tipo de estudios como los mencionados anteriormente hacen un gran aporte al aprendizaje estudiantil. El objetivo principal es diseñar un banco de pruebas por medio de simulación virtual versátil que permita calcular las pérdidas de energía en la tubería.

## 1.5.1 MARCO TEÓRICO

### 1.5.1.1 Concepto de fluido

Un fluido es una sustancia en estado líquido o gaseoso que cambia de forma continuamente cuando es sometido a un esfuerzo cortante, tiene la característica de adaptarse a la superficie en la que se encuentran sin importar el tipo de fluido. Los fluidos líquidos y gaseosos se diferencian entre sí por la separación de sus moléculas ya que en los gases su separación es mucho mayor que en los líquidos (ver figura 1-1). Los líquidos no tienen forma y adoptan la forma del recipiente que los contiene, su volumen va hacer constante, mientras que los gases carecen de forma y volumen, estos tienden a ocupar todo el recipiente que los contiene. Los gases son muy compresibles, ya que son capaces de reducir su volumen al aplicar una fuerza, por lo que se consideran elásticos, mientras que los líquidos son incompresibles ya que conservan su volumen siempre que no se le altere su temperatura.

**Figura 1-1: Clasificación de los estados de la materia.**



**Fuente: Adaptado de Física Termodinámica – Wordpress.com**

### 1.5.1.2 Densidad

La densidad ( $\rho$ ) se define como la relación entre la masa y el volumen de materia que tiene un cuerpo, de acuerdo a la ecuación (1-1). En la mayoría de los gases la densidad varía con la presión y la temperatura, mientras que en líquidos su variación es mínima con la presión.

$$\rho = \frac{m}{v} [kg/m^3] \quad (1-1)$$

$\rho$  = densidad  
 $m$  = masa [kg]  
 $v$  = volumen [m<sup>3</sup>]

### 1.5.1.3 Peso específico

El peso específico ( $\gamma$ ) de un fluido es una propiedad específica de cada fluido. Este tiende a variar con la ubicación ya que depende de la gravedad. Se determina a partir del producto de la densidad del fluido y la gravedad, según la ecuación (1-2) <sup>1</sup>

$$\gamma = \rho * g \quad [N/m^3] \quad (1-2)$$

$\gamma$  = peso específico [ $N/m^3$ ]

$g$  = gravedad [ $m/s^2$ ]

### 1.5.1.4 Viscosidad

La viscosidad es una propiedad física característica de todos los fluidos, la cual emerge de las colisiones entre las partículas del fluido que se mueven a diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento dentro de estas se manejan dos tipos de viscosidades la dinámica y la cinemática.

#### 1.5.1.4.1 Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica o absoluta, es la resistencia interna entre las moléculas de un fluido en movimiento y determina las fuerzas que lo mueven y deforman.

“Los líquidos se deslizan en capas o láminas, la viscosidad absoluta en este tipo de líquidos es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas, los gases son menos viscosos.”<sup>2</sup>

Las dimensiones de la viscosidad se determinan utilizando la ley de la viscosidad de newton según la ecuación (1-3):

$$F = A\eta \frac{dV}{dy} \quad [kg * m/s^2] \quad (1-3)$$

$F$  = fuerza [ $kg * m/s^2$ ]

$A$  = área [ $m^2$ ]

$\eta$  = coeficiente de viscosidad [ $Pa * s$ ]

$V$  = velocidad [ $m/s$ ]

$y$  = distancia entre placas [ $m$ ]

Como la relación entre  $F/A$  es el esfuerzo cortante que se designa con la letra griega  $\tau$ , de acuerdo a la ecuación (1-4).

---

<sup>1</sup> El, C. E. (Ed.). (2014). *Física general (prácticas de física general)*. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>.

<sup>2</sup> Crane, ed. *Flujo de fluidos: en válvulas, accesorios y tuberías*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 1987.

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad [Pa * s] \quad (1-4)$$

#### 1.5.1.4.2 Viscosidad cinemática

Es la relación que hay entre la viscosidad absoluta ( $\eta$ ) de la mezcla liquido-sólida y la densidad ( $\rho$ ) del fluido que se denomina viscosidad cinemática ( $\nu$ ) y se define con la ecuación (1-5).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [m^2/s] \quad (1-5)$$

#### 1.5.1.5 Presión

La presión es la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área. La presión se usa para sólidos como sinónimo de esfuerzo normal el cual es la fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie por unidad de área.

La presión real en una determinada posición se llama presión absoluta y se mide respecto al vacío absoluto es decir presión cero absoluto. Pero la mayor parte de los dispositivos para medir la presión se calibran a cero en la atmosfera, por lo que indican la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica local, esta diferencia es la presión manométrica. Las presiones por debajo de la atmosférica se conocen como presiones de vacío y se miden mediante medidores de vacío que indican la diferencia entre las presiones atmosféricas y absoluta estas se relacionan entre sí mediante las ecuaciones (1-6a) y (1-6b).<sup>3</sup>

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm} \quad (a) \quad (1-6a)$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs} \quad (b) \quad (1-6b)$$

#### 1.5.1.6 Tensión superficial

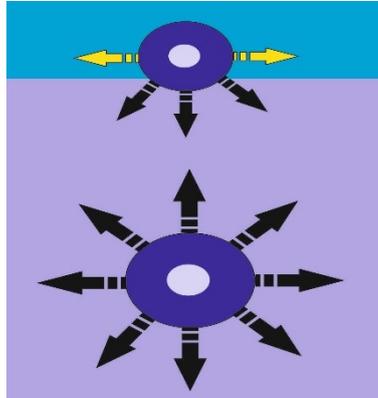
La tensión superficial es una fuerza que produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos, actúa como una interfaz entre la superficie del agua líquida y el aire sobre ella (ver figura 1-2). Las moléculas de agua por debajo de la superficie se ven atraídas una por la otra y por aquellas que están en la superficie. La tensión superficial también es la causa de que las gotas de agua adopten una forma de tipo esférica. La tensión superficial se mide como el trabajo por unidad de área que se requiere para llevar las moléculas de la parte inferior

---

<sup>3</sup> Cengel, Y. (2019). Termodinámica. (9a. ed.) McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2012

hacia la superficie del líquido. Las unidades resultantes son la fuerza por unidad de longitud como N/m.

**Figura 1-2: Tensión superficial.**



**Fuente: adaptado de Física Termodinámica – Wordpress.com**

#### 1.5.1.7 Numero de Reynolds

Osborne Reynolds realizó estudios sobre la viscosidad de los fluidos y el régimen de flujo turbulento. Fue el primero en demostrar en 1883 que es posible pronosticar el flujo laminar o turbulento si se conoce la magnitud de un número adimensional. El comportamiento de un fluido, se refiere a las pérdidas de energía, estas dependen de que el flujo sea laminar o turbulento. “Por eso se necesita un medio para predecir el tipo de flujo sin tener que realizar una observación”.<sup>4</sup>

Este proceso se demuestra de forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables la densidad, su viscosidad, el diámetro del tubo, y la velocidad promedio del flujo según la ecuación (1-7).

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu} \text{ [Adimensional]} \quad (1-7)$$

$v$  = velocidad del fluido [m/s]

$D$  = diámetro interno de la tubería [m]

<sup>4</sup> Mott, R. (2015). Mecánica de fluidos. (7a. ed.) Pearson Educación.

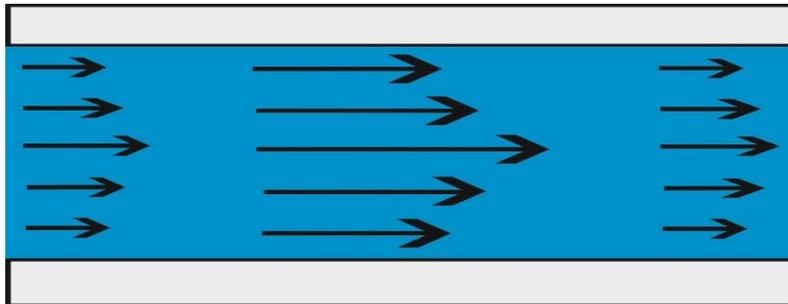
### 1.5.1.8 Flujo laminar

Es el flujo donde las partículas de fluido se mueven a lo largo de trayectorias uniformes en capas o laminas que no se alteran. “La palabra laminar proviene del movimiento de partículas juntas del fluido, en láminas” (ver figura 1-3).<sup>5</sup>

En el flujo laminar cumple con la ley de Newton de la viscosidad, que relaciona el esfuerzo cortante ( $\tau$ ) con la velocidad angular de deformación por medio de la propiedad física de la viscosidad. En el flujo laminar la acción de la viscosidad frena la tendencia a la turbulencia.<sup>6</sup>

El flujo laminar no es estable cuando las viscosidades son pequeñas o la velocidad y caudal del fluido es grande y esta se rompe transformándose en un fluido turbulento. Los fluidos muy viscosos como los aceites a bajas velocidades por lo general son de flujo laminar.

**Figura 1-3: Flujo laminar.**



**Fuente: Adaptado de Física Termodinámica – Wordpress.com**

### 1.5.1.9 Flujo turbulento

En el flujo turbulento las partículas del fluido se mueven en trayectorias muy irregulares, originando un intercambio de cantidad de movimiento de una parte del fluido a otra, el movimiento intensamente desordenado de un fluido, que es común que se presente a grandes velocidades y fluctuaciones en la misma se llama turbulento (ver figura 4).

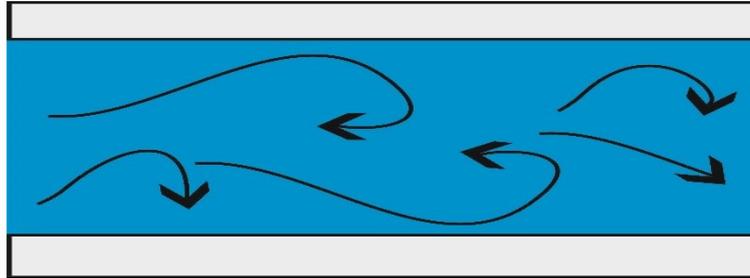
El flujo turbulento es el más frecuente en las aplicaciones prácticas de la ingeniería. Las partículas de fluido implicadas en el intercambio de cantidades de movimiento pueden tener desde un tamaño muy pequeño hasta uno muy grande formando remolinos de distintos tamaños. Los remolinos en el flujo turbulento cambian continuamente de tamaño como los de los ríos o una rafaga de viento. La turbulencia produce unos esfuerzos cortantes mayores a través del fluido y causa aumento de irreversibilidades y pérdidas.<sup>7</sup>

<sup>5</sup> Cengel, Y. (2019). Termodinámica. (9a. ed.) McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2012

<sup>6</sup> Valera. J. (2005) Apuntes de Física. México, D.F: Proyecto Papime.

<sup>7</sup> Streeter V. y Wylie E. B. 9na edición. *Mecánica de los Fluidos*. Ed. McGraw-Hill.

**Figura 2-4: Flujo turbulento.**



**Fuente: adaptado de Física Termodinámica – Wordpress.com**

### **1.5.1.10 Pérdidas de energía por fricción**

Cuando un fluido pasa por un tubo se presentan pérdidas debido a la fricción de este con las paredes y los accesorios del sistema. El fluido al tener un rozamiento con las paredes del sistema se ve afectada la presión entre dos puntos distintos del sistema. Este rozamiento afecta los diseños y por tal motivo su estudio es de mucha importancia.

Las pérdidas pueden ser debidas a la fricción causada por la viscosidad del fluido y la rugosidad de las paredes del ducto a estas pérdidas se les conoce como perdidas mayores. Las pérdidas causadas por accesorios como codos, reducciones, ampliaciones entre otras son conocidas como perdidas menores. Se designa con ( $h_L$ ) y se da en términos de energía por unidad de peso.<sup>8</sup>

Al establecer la ecuación de la energía, únicamente se agrega un término que resta energía al sistema por la rugosidad del material y otras características físicas, de acuerdo a la ecuación (1-8).

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - h_L = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad [m] \quad (1-8)$$

Dónde:

$z_1, z_2$  = punto de referencia y de elevación respectivamente en [m]

$\gamma$  = peso específico en [ $N/m^3$ ]

$h_L$  = Pérdida de energía en [m]

$\frac{V^2}{2g}$  = En general la carga de velocidad, aguas debajo de la zona de alteración del flujo, pero depende también del tipo de accesorio en [m]

$P_1, P_2$  = presión manométrica en el punto de referencia o elevación respectivamente [ $N/m^2$ ]

<sup>8</sup> Peñaranda, C. (2018). Mecánica de fluidos. Ecoe Ediciones.

### 1.5.1.11 Ecuación de Darcy-Weisbach para la pérdida de energía

La ecuación de Darcy-Weisbach se puede utilizar para determinar las pérdidas de energía en secciones largas y rectas de conductos redondos, para flujo laminar y turbulento, el factor de fricción varía de acuerdo con los parámetros de la tubería y la velocidad del flujo de acuerdo a la ecuación (1-9).<sup>9</sup>

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} [m] \quad (1-9)$$

$h_L$  = pérdida de energía por fricción [m]

$f$  = factor de fricción [Adimensional]

$L$  = longitud de la corriente de flujo [m]

Cuando un fluido se encuentra en la zona de turbulencia, no se hace necesario el uso del número Reynolds y la rugosidad relativa, esta última por ser mínima, se debe utilizar la ecuación (1-10) la siguiente expresión es para el cálculo del factor de fricción cuya magnitud no tiene unidad:

$$f = \frac{0.25}{\left( \log \left( \frac{1}{3.7 * \left( \frac{D}{\epsilon} \right) + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}} \right) \right)^2} \quad (1-10)$$

### 1.5.1.12 Ecuación de Hagen-Poiseuille

Se utiliza cuando existe un flujo laminar. Ya que el fluido tiende a moverse en forma de capas debido a las características viscosas del fluido, dentro de este se produce una distribución simétrica de los esfuerzos deslizantes y la velocidad.<sup>10</sup>

La ecuación (1-11) de Hagen-Poiseuille ha sido estudiada de manera experimental y se encontró que es válida para un número de RE menor a 2000.

$$h_L = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} [m] \quad (1-11)$$

<sup>9</sup> Ortiz, F. R. (2011). *Hidráulica: Generación de energía*. Bogotá: Ediciones de la U, 2011

<sup>10</sup> Zacarías, S. A., González, L. J., & Granados, M. A. (2017). *Mecánica de fluidos: Teoría con aplicaciones y modelado*. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria, 2017

### 1.5.1.13 Diagrama de Moody

El ingeniero norteamericano en 1944 produjo una gráfica combinando sus resultados y los de Colebrook y White en el que se puede estimar el factor de fricción utilizando la rugosidad relativa y el número de Reynolds. El diagrama de Moody es una gráfica log vs log donde se representa el factor de fricción versus el número de Reynolds tomando como parámetro la rugosidad del material (ver anexo G).<sup>11</sup>

### 1.5.1.14 Coeficiente de resistencia

En un sistema de tuberías esta constituidos por una serie de elementos por donde pasa el fluido como lo son codos, uniones, válvulas, flexiones, ramificaciones tipo t, ensanchamientos, contracciones, entradas, salidas y tramos rectos. Estos accesorios hacen que se produzcan pérdidas menores de energía y son proporcionales a la carga de velocidad del fluido.

Dichos accesorios interrumpen el suave flujo del fluido y provocan perdidas adicionales debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que producen. En un sistema típico, con tubos largos, estas pérdidas son menores en comparación con la pérdida de carga por fricción en los tubos y se llaman perdidas menores. Las pérdidas de carga que resulta de una válvula totalmente abierta pueden ser despreciable. Pero una válvula parcialmente cerrada puede provocar la pérdida de carga más grande en el sistema, como pone en evidencia la caída en la razón de flujo. El flujo a través de válvulas y uniones es muy complejo, y por lo general no es aplicable a un análisis teórico.<sup>12</sup>

Las pérdidas y ganancias de energía en un sistema se contabilizan en términos de energía por unidad de peso del fluido que circula por él. Esto también se conoce como carga, como abreviación de la carga se emplea el término h para las pérdidas y ganancias de energía. Por lo general, los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia k de acuerdo a la ecuación(1-12).<sup>13</sup>

$$h_l = k \left( \frac{v^2}{2g} \right) [m] \quad (1-12)$$

k = coeficiente de resistencia [*Adimensional*]

---

<sup>11</sup> Hatum, P. A. F. (2018). *Guía de laboratorio de mecánica de fluidos*. Santa Marta. Editorial Unimagdalena.

<sup>12</sup> Cengel, Y. (2019). *Termodinámica*. (9a. ed.) McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2012

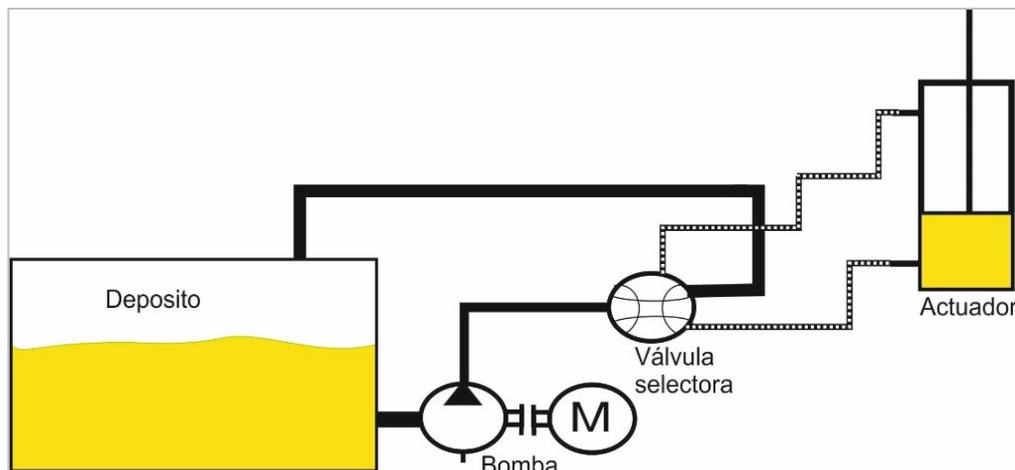
<sup>13</sup> Mott, R. (2015). *Mecánica de fluidos*. (7a. ed.) Pearson Educación.

### 1.5.1.15 Elementos basicos de una instalacion hidraulica

Dentro de un sistema hidraulico encontramos elementos basicos que la mayoría de instalaciones poseen y son caracteristicos de este tipo de sistemas. Se tienen dos tipos de sistemas hidraulicos. Uno sanitario como el de los hogares y el otro de potencia que puede ser el de la industria, pero estos se componen casi de los mismos elementos y cambian en el uso final que se les da.

Instalacion hidraulica de potencia cuenta con un tanque o deposito de almacenamiento del fluido, bomba hidraulica que da el caudal y la presion del fluido, los elementos de regulacion y control como lo son las valvulas que su uso puede ser de manera manual o automatizada y se encuentra gran variedad, actuadores que ya es donde se transforma la energia del fluido a energia mecanica, y la tuberia que es uno de los elementos mas importantes ya que por el circula todo el fluido desde el inicio hasta el final del ciclo (ver figura1-5).

**Figura 1-5: Sistema hidráulico básico.**



**Fuente: adaptada de Física Termodinámica – Wordpress.com**

La instalación hidráulica sanitaria es muy similar a la de potencia pero cambia un poco en el sistema de almacenamiento se encuentra las tanques en los cuales se le hace un proceso de tratamiento del agua para consumo, la bomba hidráulica da presión y caudal de la misma forma que se maneja en el sistema de potencia, también se manejan válvulas y tuberías como las de potencia pero su proceso final en vez de poner a funcionar actuadores como cilindros este es de uso final para consumo de personas y distintos procesos económicos.

### 1.5.1.16 Concepto de Bomba hidráulica

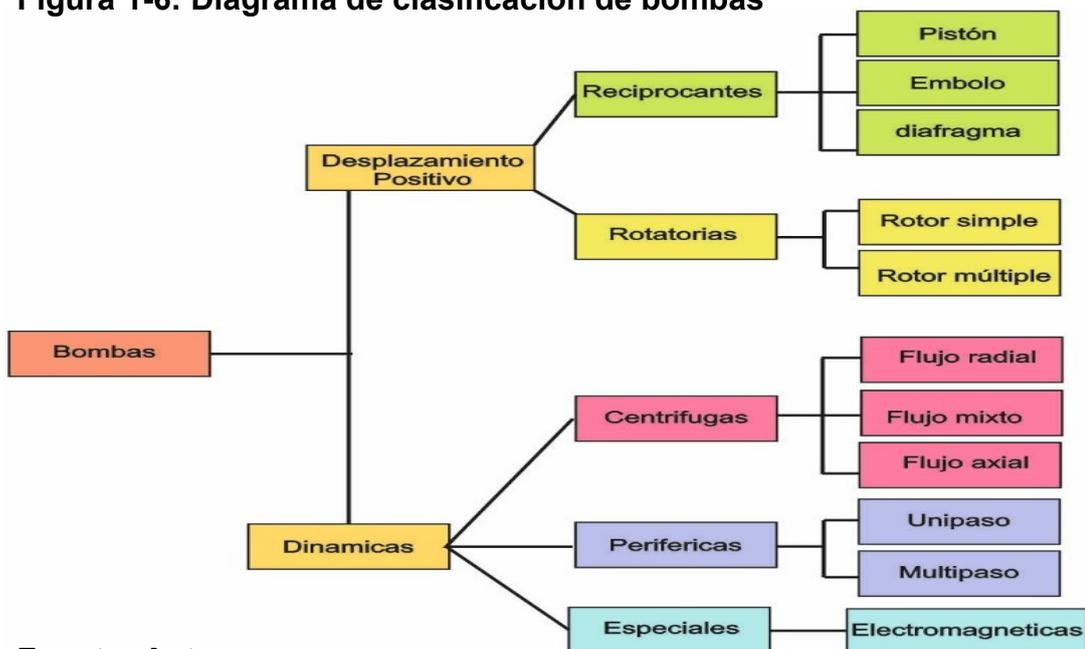
El desplazamiento de los fluidos se desarrolla normalmente en sistemas de flujo más o menos largos y complejos que son conducidas de diferentes formas, pero usualmente son tramos rectos, generalmente se usa tubería cilíndrica de diámetros variados, enlazadas por uniones, curvas, codos, válvulas, etc. A través de estos sistemas el fluido fluye espontáneamente si su energía total disminuye

en la dirección del flujo. De no ser así, habrá que comunicarle energía desde el exterior mediante dispositivos tales como bombas en el caso de líquidos, o compresores, en los gases.<sup>14</sup>

En un sistema hidráulico existen muchos componentes, uno de los más importantes son las bombas hidráulicas ya que por sus características influyen en la eficiencia, los costos de operación y el funcionamiento eficiente de dichas instalaciones. Una bomba es un dispositivo que transforma la energía aplicada desde una fuente externa como un motor eléctrico. Al realizar esta transformación de energía hace que se impulse un eje rotatorio. Esta energía es transmitida al fluido en forma de presión, velocidad, altura y caudal.

Las bombas hidráulicas se clasifican en dos principales grupos, como lo son las bombas de desplazamiento positivo o volumétrico y las dinámicas o de energía cinética estas se escogen según la necesidad del diseño y tipo de fluido con el cual se va a trabajar. En la (figura1-6) se presenta la clasificación de las distintas bombas.

**Figura 1-6: Diagrama de clasificación de bombas**



**Fuente: Autores**

### 1.5.1.17 Bombas de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo dentro de sus características se encuentran que envían una gran cantidad constante de fluido en cada revolución que produce el rotor, dentro de su funcionamiento encierra un volumen de fluido para transportarlo desde la aspiración hasta la impulsión con un aumento de la presión. Estas se hacen muy útiles en el manejo de fluidos que requieren alta

<sup>14</sup> I. Martín, R. Salcedo, R. Font. (2011). MECÁNICA DE FLUIDOS. California. Universidad de Alicante.

presión y una entrega relativamente constante, se utilizan en el manejo de fluidos como agua, aceites, químicos, etc. Dentro de sus desventajas se encuentra los daños causados por los sólidos, sedimentos, abrasivos, así como la salida pulsante. La clasificación de las bombas de desplazamiento positivo se divide en reciprocantes y rotatorias (ver figura 1-7).

**Figura 1-7: Bombas de pistón cerámico de alta presión**



**Fuente: agrotecnologias - Uruguay**

#### **1.5.1.18 Bombas reciprocantes**

Las bombas reciprocantes dependen del llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo. Estas reciben un volumen fijo de líquido en condiciones de succión, lo comprimen a una presión de descarga y lo expulsan. Estas bombas no son adecuadas para manejo de líquidos con sedimentos o materiales en suspensión, por tener un movimiento repetido necesita resbalar por las paredes generando fricción entre la parte fija y móvil desgastándola rápidamente.<sup>15</sup>

#### **1.5.1.19 Bombas rotatorias**

Las bombas rotatorias son provistas de un movimiento el cual hace que los elementos internos produzcan una presión reducida en la entrada de la bomba con el fin de que la presión externa obligue al líquido ingresar en la bomba. Al girar los elementos rotatorios el fluido queda atrapado contra la pared de la bomba, y después de una rotación el líquido es forzado a salir de la bomba. En una bomba rotativa, la rotación lleva al líquido desde la succión hasta la salida. Las bombas rotativas son generalmente clasificadas de acuerdo al tipo de elemento que transmite al líquido, por lo que se puede hacer referencia a varios tipos como lo son de engranajes, émbolo giratorio, paletas o bombas rotativas de pistones.(ver figura 1-8)<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Bomba desplazamiento positivo bomba reciproca bomba rotatorias. [PDF]. Recuperado de: [https://www.academia.edu/9393865/BOMBA\\_DESPLAZAMIENTO\\_POSITIVO\\_BOMBA\\_RECIPROCAS\\_BOMBA\\_ROTATORIAS](https://www.academia.edu/9393865/BOMBA_DESPLAZAMIENTO_POSITIVO_BOMBA_RECIPROCAS_BOMBA_ROTATORIAS)

<sup>16</sup> Solórzano. Ricardo. (JUN 05, 2016). [HTML]. Recuperado de: <https://www.hydraulicspneumatics.com/hp-en-espanol/articulo/21886594/principios-ingenieriles-bsicos-bombas-hidraulicas>

**Figura 1-8: Bombas de desplazamiento positivo**



**Fuente: Comerbom S.A - Mexico**

### **1.5.1.20 Bombas dinámicas**

Las bombas dinámicas o también conocidas como rotodinámicas dentro del funcionamiento realiza el aumento de la cantidad de movimiento angular del líquido, el cual hace que se aumente la energía, la cual convierte en energía de presión mediante la disminución de la velocidad del líquido. El incremento de la energía, se consigue mediante los alabes rotatorios, que da al líquido una gran cantidad de movimiento angular. La transformación de la energía cinética en energía de presión se consigue mediante carcasas, espirales y también por los alabes a la salida del rotor estas bombas se clasifican centrífugas, periféricas especiales.<sup>17</sup>

### **1.5.1.21 Bombas centrífugas**

Una bomba centrífuga es una bomba que utiliza un impulsor giratorio para aumentar la presión. Las bombas centrífugas son las más común en la industria y utilizadas para mover líquidos a través de un sistema de tuberías. Las bombas centrífugas se identifican con facilidad por su carcasa en forma de caracol la cual recibe el nombre de voluta. Estas son de gran utilidad, bajo costo, fácil diseño, operación y mantenimiento, por lo que resultan las más indicadas en la mayoría de los casos. Este tipo proporcionar caudales variables, desde algunos litros por minuto, hasta ciento de metros cúbicos por minuto (ver figura 9).<sup>18</sup>

Según las características de líquido que se va a manejar se selecciona un tipo de rodete construyéndolo del material adecuado para la impulsión del líquido que se va a transportar por la tubería.

<sup>17</sup>Luszczewski. A. (1999). Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores. (1a. ed.) editorial reverté, S.A. España.

<sup>18</sup> I. Martín, R. Salcedo, R. Font. (2011). MECÁNICA DE FLUIDOS. California. Universidad de Alicante.

**Figura 1-9: Bomba centrífuga.**



**Fuente: Seguas aire comprimido – España**

Los cuales pueden ser de hierro, bronce, acero, aleaciones de níquel etc. Existen también de metal revestido, de vidrio, cerámica, carbón o de fibras sintéticas, según las necesidades del fluido a impulsar.

#### **1.5.1.22 Bombas periféricas**

Las bombas periféricas o también conocidas como regenerativas son muy parecidas a las bombas centrífugas y a las volumétricas, al encontrarse sus graficas de presión vs caudal en medio de estas las hace convenientes para ciertos usos dando altura a bajos caudales.

Su construcción interna es tal que son capaces de desarrollar altos cabezales de descarga a bajos caudales. Debido al espacio interno entre el impulsor y una parte de la carcasa, los líquidos bombeados deben estar libres de partículas abrasivas y no deben ser corrosivos ni muy viscosos.

La característica principal de las bombas periféricas es su capacidad de otorgar una presión muy alta a bajo flujo. El impulsor gira muy cerca de la voluta de la bomba y la diferencia de presión que se produce entre la entrada y la salida es sustancial. Esa es la razón principal por la cual las bombas periféricas son bastante ruidosas, lo que está estrictamente relacionado con su forma de trabajar. Las bombas periféricas son más baratas en comparación con las bombas centrífugas y también presentan una alta capacidad de autocebado ( ver figura 1-10).<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Calpeda S.p.A (2017). [HTML]. Recuperado de: [www.calpeda.com](http://www.calpeda.com)

**Figura 1-10. Bomba periférica**



**Fuente: Espacio industria – Argentina**

### **1.5.1.23 Tubería**

En el mercado existe una gran cantidad de tuberías, de distintos materiales y cada material posee características especiales dando a su vez ventajas y desventajas. Para elegir la tubería adecuada para transportar fluidos tenemos que tener en cuenta que tipo de fluido se va a utilizar, temperatura del fluido, sitio de operación, precios, etc. Al tener la información requerida ya se puede elegir la tubería para cubrir la necesidad que se requiere. Dentro de la gran variedad de tuberías tenemos las más utilizadas:

#### **1. Tubo galvanizado:**

Este tipo de tubería es hecha de acero y recubierta con zinc para que sea mucho más resistente a la corrosión. Debido a su versatilidad es muy utilizada en la industria y a nivel doméstico para transporte de gas, agua, y otros tipos de fluidos por su resistencia y fuerza ante cambios bruscos de temperatura, y la calidad que ofrece para garantizar la calidad de las plantas industriales.

#### **2. Tubo de cobre:**

Debido a las características del cobre lo hace un material muy utilizado para todo tipo de fluidos. Soporta elevadas presiones interiores lo que permite que su pared sea delgada. Se puede reciclar muchas veces este material y sirve para todo tipo de fluido, dentro de la gama de estos tubos se encuentran de distintas características de utilización. Posee pequeñas cargas debido a la superficie casi lisa en su interior. Excelente

comportamiento con la gran mayoría de los materiales habituales y de fluidos a transportar. Soporta elevadas presiones interiores, resistente al fuego, a altas presiones, temperaturas extremas, Resistente a la corrosión, a los rayos ultravioleta e impermeable al oxígeno. Es Inalterable con el paso del tiempo, en sus características físicas y químicas permitiendo montajes rápidos y fáciles, antibacteriano, frena la proliferación de gérmenes patógenos sobre su superficie. Posee una elevada conductividad térmica lo cual lo hace especial para instalaciones que dependen del intercambio de calor.

3. Tubo polietileno de alta densidad:

Es un polímero termoplástico conformado por varias capas de etileno lo que la hace que tenga una mayor fuerza intermolecular y le da unas características de mayor resistencia a la tracción puede llegar a soportar temperaturas de 100 a 120 grados. Se utiliza en la fabricación de tuberías de presión de agua, gas, acueducto y protección de cables de energía y comunicación.

4. Tubo de policloruro de vinilo:

El Poli Cloruro de Vinilo más conocido como el PVC es muy utilizado en la industria. Por sus características lo hace un material adecuado y de bajo costo para la utilización. Presenta resistencia a la corrosión, al envejecimiento, alta resistencia química, bajo peso, fácil instalación y distintos diámetros. Tiene gran capacidad para hacer fluir fácilmente los líquidos y los desechos que normalmente se arrojan. Este tipo de tubo es muy utilizado en obras de construcción, por su hermetismo, la facilidad para mantener las tuberías limpias y resistencia al golpe de ariete.

5. Tubo de acero inoxidable:

Es utilizado a nivel doméstico e industria por tener una apariencia atractiva y por sus propiedades mecánicas, alta resistencia a la corrosión y su larga durabilidad, estos tubos tienen una resistencia y capacidad de soportar temperaturas y presiones extremas, así como elementos destructivos. En el mercado se encuentra gran variedad de formas como cuadrados, rectangulares, redondos y se incorporan aleaciones con diferentes metales como aluminio, titanio, magnesio, etc. para darles mayores características y usos.

#### **1.5.1.24 Elementos de medición**

Los instrumentos de medición son equipos diseñados para medir ciertas magnitudes físicas que demanda un proceso, con el cual podemos obtener una información muy valiosa para compararla con datos estadísticos o mejorar y vigilar un proceso. El elemento de medición se escoge dependiendo la variable

que se quiera medir o controlar para darle estabilidad y precisión a un proceso independientemente del uso y los beneficios que este trae.

Para este tipo de elementos se basan en estándares internacionales para su desarrollo, estos instrumentos de medición dan una información importante y existe gran variedad de ellos se encuentran de dos tipos análogos o digitales. Para escoger este tipo de elementos hay que mirar su costo, precisión, sensibilidad, lugar donde se va a ubicar, magnitud física que se quiere medir para poder escoger el más acertado y de mayor aprovechamiento basado en los estándares internacionales.

#### 1. Manómetros:

Estos instrumentos de medición son utilizados para medir la presión en los fluidos contenidos dentro de un sistema. Estos determinan la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local atmosférica (ver figura 1-11).

**Figura 1-11: Manómetro**



**Fuente: autores.**

Un manómetro para medir líquidos utiliza una columna de líquido para evaluar e indicar la presión. Sus tubos extremos están sometidos a distintas presiones. Dicha columna podrá subir o bajar hasta que el peso se equilibre con la diferencia de presión que existe entre los dos extremos del tubo.

#### 2. Rotámetro:

Este instrumento sirve para las mediciones de caudal de un fluido, nos determina el caudal con que un fluido es transportado por un sistema. Pero su mayor uso se da en los líquidos permitiendo medir cantidades muy precisas. Existen gran variedad de caudalímetros en los mercados tanto mecánicos como electrónicos, Su estructura está diseñada para medir el volumen de un fluido que es usado en determinado proceso y se debe colocar de forma lineal con el sistema para que recolecte la información de forma adecuada.

### 3. Termómetros:

Los termómetros son instrumentos que se utilizan para medir temperatura. Dentro del mercado se encuentra gran variedad de termómetros dependiendo el uso que se le vaya a dar. Uno de esos son los termómetros de vidrio ellos muestran la temperatura mediante la dilatación de un metal en estado líquido, pirómetros son aparatos que miden la temperatura sin entrar en contacto con el medio a medir y la miden por medio de la radiación, termómetros bimetálicos la medición es producida por la dilatación de alguna de las láminas por la que está compuesto, termómetros digitales miden la temperatura por medio de un circuito electrónico el cual convierte las señales que capta.

### 4. Viscosímetro:

Instrumento para medir la viscosidad de los fluidos, con estos también se pueden medir el esfuerzo de corte. Es muy utilizado el viscosímetro rotacional el cual es introducido dentro del fluido a una velocidad previamente seleccionada y ciertas características del disco, midiendo la resistencia de la sustancia da como resultado la viscosidad del fluido. Existe gran variedad de ellos entre esos Saybolt universal, de bola, Höppler, tubo Capilar o el Stabinger que es un electrónico que funciona por campos electromagnéticos.

## 1.5.2 LENGUAJE JAVA

En 1991 la empresa Sun Microsystems elaboro un lenguaje de programación que pensaba ser destinado a electrodomésticos. Pero al ver que podían desarrollar una herramienta útil que funcionara con cualquier tipo de procesador se creó este lenguaje de programación que se ejecuta a través de una máquina virtual. Esta máquina virtual tenía como objetivo traducir estos algoritmos neutros a un código que podía ser interpretado por cualquier tipo de procesador.

El desarrollo total de java fue puesto en funcionamiento en el año de 1995 conocido como un lenguaje para computadoras. A medida que pasaban los años se fueron introduciendo mejoras que se podían desarrollar con grandes herramientas contando con un gran número de clasificaciones que hacen parte de java conocido con el nombre de API. Este API de java se organiza por paquetes que hace referencia a contenedores de clases y la funcionalidad la escoge el programador.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Flórez Fernández, H. A. (2012). Programación orientada a objetos usando java. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones. Recuperado de <https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/69236?page=20>.

Java es un entorno gráfico que permite desarrollar simulaciones a personas generando un entorno gráfico el cual puede ser utilizado para aplicaciones científicas y técnicas. Se crea un modelo de los fenómenos a identificar como magnitudes relevantes, estableciendo valores relacionados con los datos que se quieren obtener. Mediante la utilización de un modelo matemático que describa el fenómeno que se desea simular llamado algoritmo.

Java es un lenguaje que se denomina scripting. Estos son archivos de órdenes y programas por lo general simples. El cual nos permite crear páginas dinámicas, con algunos efectos que mejoran su interfaz. Al ser páginas dinámicas permite una interacción mutua y reconocer algunas acciones que hace el usuario para poderle mostrar partes de la página. Estos programas se pueden trabajar y ejecutar de una forma directa y el programador puede llegar a identificar los límites de una forma rápida.<sup>21</sup>

Java permite implementar este modelo de una forma sencilla para ser representado. Mostrando de una forma moderna y animada una interfaz mediante el uso de unos datos de entrada desde el teclado del computador y utilizando el mouse, esta interacción es muy fácil de utilizar por cualquier persona sin tener conocimientos avanzados de sistemas facilitando el acceso a las personas a un aprendizaje con una interfaz gráfica.

Al tener incorporado varios aspectos este lenguaje es de gran ayuda en la comunidad. La academia utiliza esta herramienta para enseñar a programar a sus estudiantes, este lenguaje es muy completo y fácil de manejar por la incorporación de herramientas y conceptos de manera ágil, sencilla y de fácil interpretación. Poniendo a su disposición gran cantidad de herramientas y aplicaciones web que se ejecutan vía internet. Las cuales tienen características de ser portables con un gran número de librerías enfocadas a la programación y son distribuidas gratuitamente.

La ejecución de java se realiza por medio de una máquina virtual la cual se puede instalar en cualquier dispositivo y permite que se ejecute sin inconveniente. También tiene un recolector de basura el cual recoge parte objetos que y no tienen ningún tipo de referencia durante la ejecución del programa. Las computadoras tienen que tener una accesibilidad a estas extensiones de programa para poder ejecutar la interfaz.

Java ofrece herramientas para realizar capaz interactivas de manera constructivas, que facilitan el estudio de simulaciones por medio de Herramientas interactivas mediante el estudio de comportamientos aplicándose a todo tipo de conocimiento. La complejidad de los simuladores radica en la complejidad de los algoritmos que se construyen en este tipo de lenguajes adicionando las características físicas y magnitudes que se quieran encontrar. Pero Java ofrece formas para que la interfaz tenga un diseño de realismo tanto

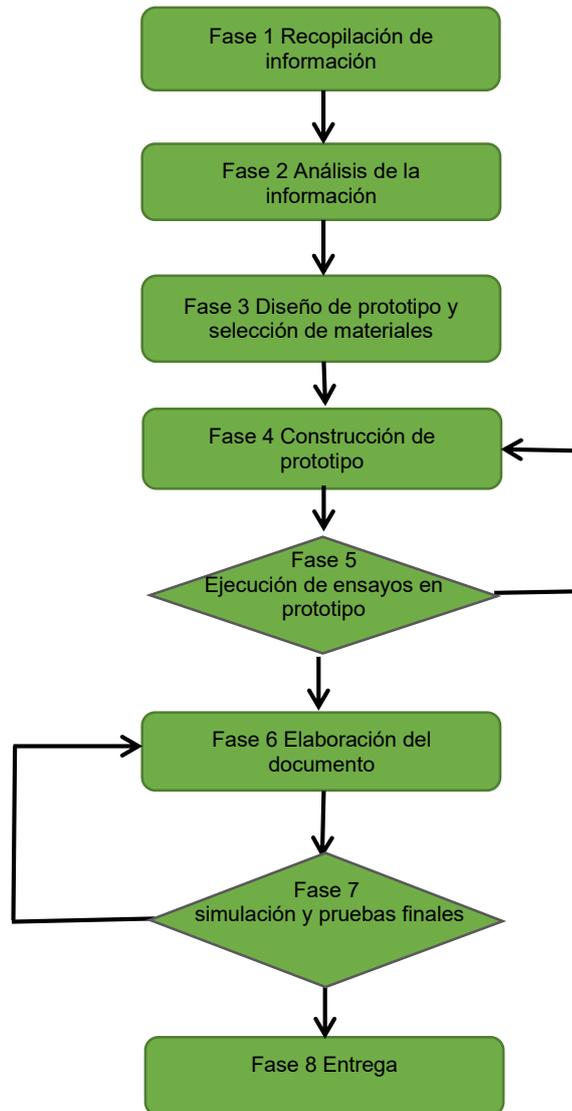
---

<sup>21</sup>Ribes, Alba, Purificación. *Manual de Javascript*, Editorial CEP, S.L., 2011. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/detail.action?docID=3217353>.

en variables como en detalles de comportamiento con el máximo nivel de detalle posible.

## 1.6 Metodología

Figura 1-12: Proceso en la Metodología



Fuente: autores.

### Fases de ejecución

Las fases de ejecución indican de manera breve cada acción llevada a cabo durante el proceso y los distintos avances que se obtuvieron durante el diseño (ver figura 1-12).

### **Fase 1: Recopilación de información**

En esta fase se buscó información primaria como libros técnicos, proyectos actuales, normatividad vigente, todo esto como soporte para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto.

### **Fase 2: análisis de información**

La información consultada fue revisada y analizada para la generación del modelo matemático de cálculo del sistema.

### **Fase 3: Diseño de prototipo en CAD y selección de materiales**

Se calculó y realizó la selección de materiales, elementos y dispositivos para la construcción de un prototipo después de realizar un diseño preliminar mediante un programa CAD como Solidworks. Esta fase comprende el desarrollo del diseño conceptual y diseño detallado.

### **Fase 4: Construcción de prototipo**

En esta etapa del proceso se llevó a cabo construcción del prototipo en material PVC empleando tubería con diámetros de  $\frac{1}{2}$ "  $\frac{3}{4}$ " y 1" con una altura 0.75 metros y una longitud de 3 metros. Los elementos de medición fueron ubicados en el prototipo del sistema, para realizar ensayos requeridos e identificar posibles fallos.

### **Fase 5: Ejecución de ensayos en el prototipo**

Se realizó la toma de datos en el prototipo provisional para corroborar la información teórica y poderlas comparar con las del simulador.

### **Fase 6: Desarrollo del simulador en java**

Con los datos obtenidos teóricamente y en el banco se inicia con el desarrollo del algoritmo, el cual se desarrollará por medio de una interfaz por la cual se va a interactuar para ingresarle datos. La cual nos arrojará la pérdida de energía que se produce de una forma interactiva en la pantalla.

### **Fase 6: Elaboración del documento**

Ajuste de información del documento con algunos pendientes provisionales hasta que se ejecute la construcción final del simulador aplicando mejoras a partir del prototipo experimental.

### **Fase 7: Construcción y pruebas finales.**

Realización de simulaciones de caída de presión en el simulador hidráulico y ensayos en el prototipo, lo cual permite verificar que los datos obtenidos sean los resultados favorables que evidencien el cumplimiento de los objetivos iniciales.

### **Fase 8: Entrega.**

Ajuste de pendientes del documento final, cumpliendo los lineamientos para la entrega y sustentación del proyecto.

## **2. INGENIERÍA DEL PROYECTO**

En este capítulo se presenta el sistema general del proyecto clasificando cada componente, explicando las variables y parámetros que hacen parte del banco de pruebas, con el objetivo de hacer un reconocimiento de manera específica acerca del problema y la solución dando así cumplimiento a los objetivos específicos. A continuación, se presenta el diseño conceptual, posteriormente el dimensionamiento conocido también como el diseño detallado y, por último, la ejecución de ensayos (figura 2-13).

### **2.1 Diseño Conceptual**

#### **2.1.1 ANÁLISIS**

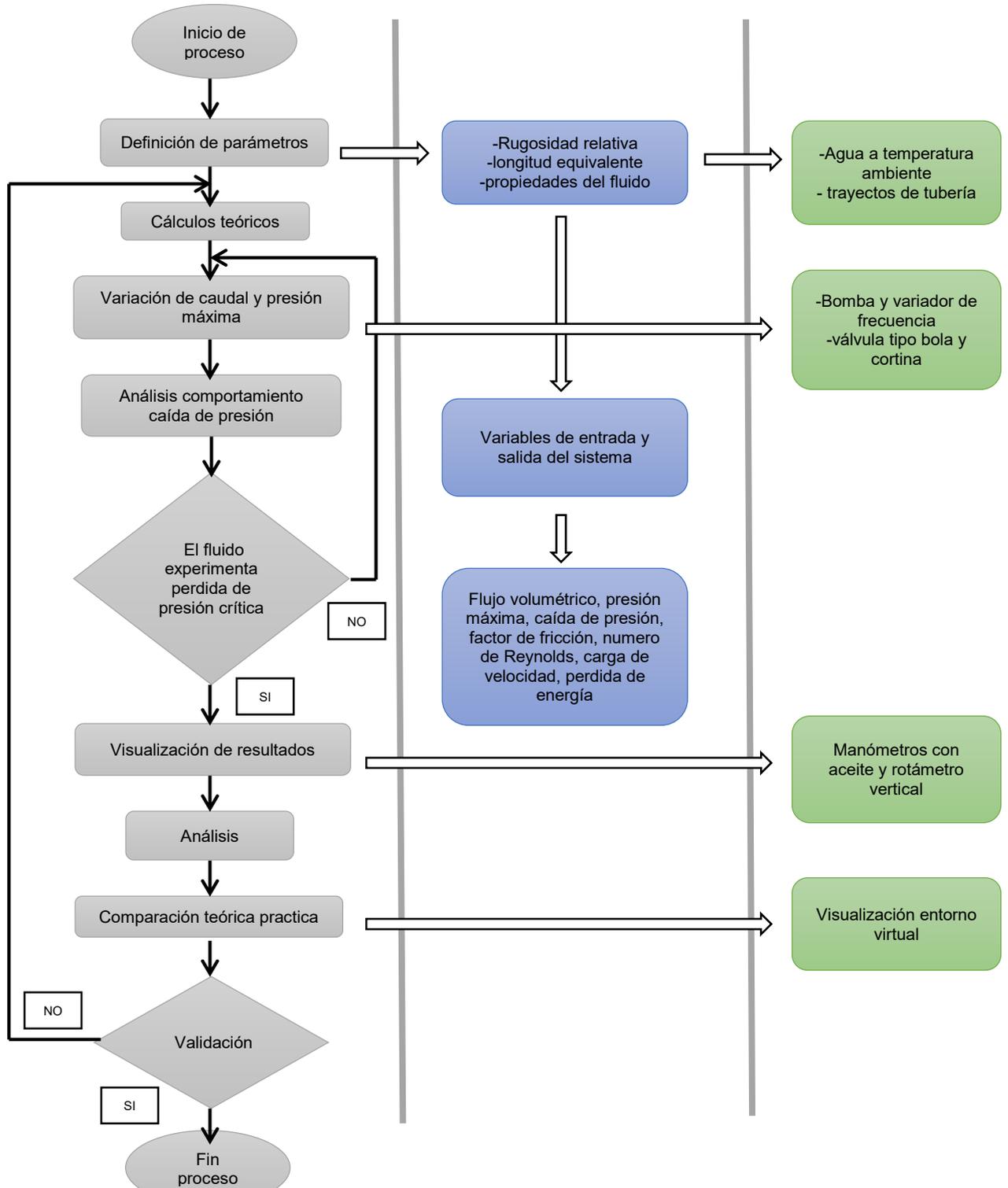
En esta sección se establecen los procesos inductivos partiendo desde lo general a lo particular con el objetivo de aclarar los parámetros de diseño, estableciendo las principales variables del sistema como el flujo volumétrico, presión manométrica y caída de presión por diferentes tipos de material.

Por medio de instrumentación con la resolución apropiada, se pueden hacer los análisis del fluido en movimiento para la determinación de pérdidas de energía por fricción, corroborando así la información teórica y garantizando la calidad en procesos de ensayo.

1. Objetivo de análisis: Determinar y analizar las variables de entrada y salida (flujo volumétrico, presión máxima, caída de presión, factor de fricción, número de Reynolds, carga de velocidad, pérdida de energía) y parámetros (rugosidad relativa, longitud equivalente, propiedades del fluido a temperatura ambiente) que intervienen en los fundamentos físicos y matemáticos del sistema.
2. Requerimientos del sistema: Una bomba hidráulica que cumpla con características puntuales de caudal y presión, un contenedor con el volumen mínimo requerido, configuración específica en la conexión de la tubería, control electrónico e instrumentación con resolución aceptable para la medición de las variables.
3. Restricciones del sistema: Las restricciones estarán dadas por la clase de bomba hidráulica, ya que por sus características se permite operar hasta un nivel máximo de presión.

## 2.1.2 PROCESO PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE UN SIMULADOR DE PRUEBAS

Figura 2-13: Diagrama de procesos para el diseño



Fuente: Autores.

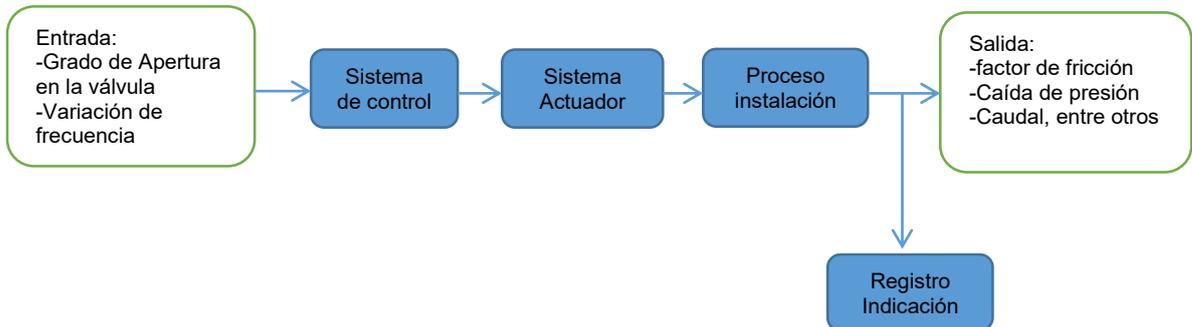
### 2.1.3 MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA

El banco de pruebas se compone de:

1. Montaje mecánico (estructura de la base, conexión de la tubería, bomba periférica, contenedor y válvulas).
2. Montaje eléctrico (conexión del motor, variador de frecuencia, contactores, protecciones termo magnéticas, acometida, potenciómetro y pulsadores)
3. Montaje de Instrumentación (rotámetro, manómetros, pilotos luminoso tipo LED y frecuencímetro digital).

La secuencia en las etapas para el funcionamiento del banco de pruebas corresponde a la arquitectura o naturaleza de un circuito de lazo abierto ya que la alteración de las variables de salida se daría mediante la manualidad en las variables de entrada, únicamente se toma un registro al final, como se ilustra (ver figura 2-14):

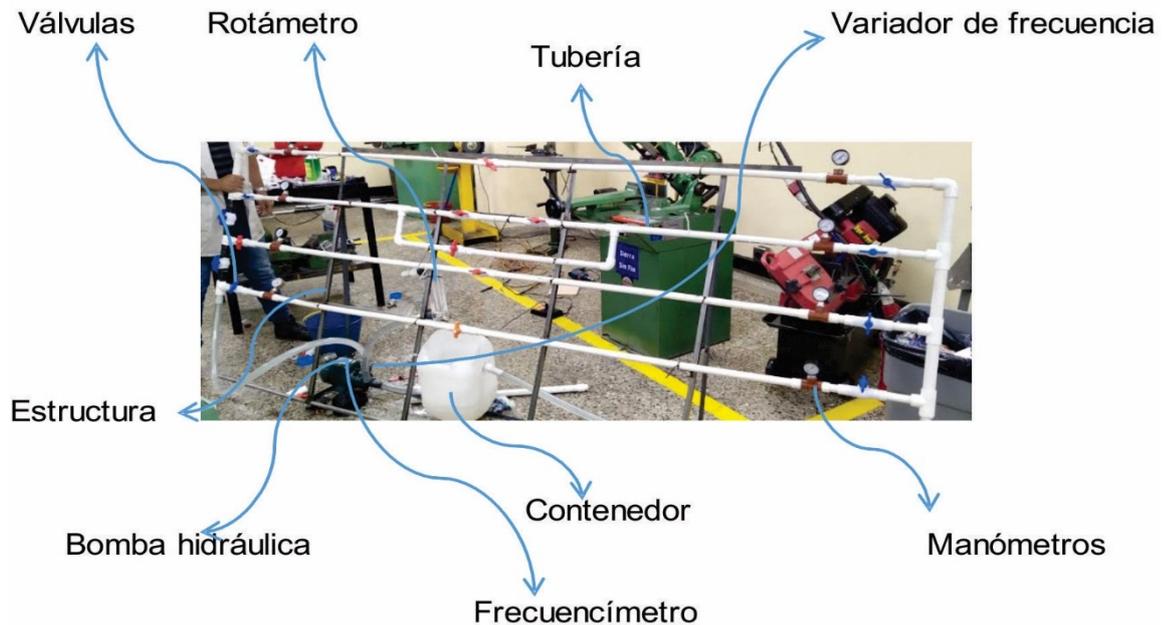
**Figura 2-14: Sistema de control de lazo abierto**



**Fuente: Autores.**

1. Sistema de control: etapa conformada básicamente por el variador de frecuencia, válvulas y otros dispositivos.
2. Sistema actuador: Conformada la etapa por la bomba hidráulica periférica y otros dispositivos.
3. Instalación: Es la conexión de la tubería entre otros accesorios indispensables.
4. Registro: En esta etapa final, para la adquisición de información figura instrumentos necesarios como el rotámetro, manómetros entre otros.

**Figura 2-15: Estructura física del banco deseado**



**Fuente: Autores.**

en la figura se muestra los elementos físicos que componen el prototipo en su estado actual (ver figura 2-15).

#### **2.1.4 INFORMACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES Y NORMATIVIDAD**

El requerimiento mínimo de materiales para la construcción del banco estaría compuesto por una estructura metálica la cual va a soportar la tubería, esta se manejará con distintos diámetros y con configuraciones distintas en cada ramal, un tanque de almacenamiento para el agua, elementos de medición, acoples y tuberías en PVC, insumos, válvulas, bomba periférica monofásica, variador de frecuencia, manómetros y un rotámetro, entre otros elementos. Se realizó inicialmente un prototipo para verificar que los elementos utilizados en la construcción final coincidan de forma real con los cálculos teóricos previamente realizados y que los elementos utilizados sean adecuados para evitar accidentes y revisar posibles fallas que se puedan llegar a presentar y así obtener un excelente resultado.

En la tabla (2-1) se hace la relación entre los elementos que intervienen durante el proceso de funcionamiento.

**Tabla 2-1: Elementos básicos del banco**

<b>Elemento Seleccionado</b>	<b>Función</b>
<b>Rotámetro</b>	Indicar la cantidad de flujo volumétrico en un punto inicial del sistema. El cual desplaza un medidor “flotador” en un tubo graduado para lecturas
<b>Manómetro con aceite</b>	Indicar la presión en un punto determinado del sistema
<b>Frecuencímetro</b>	Indicar la variación de la frecuencia en la bomba monofásica
<b>Contenedor</b>	Almacenar la cantidad mínima de fluido para alimentar el sistema de tubería
<b>Válvulas</b>	Habilitar trayectos de tubería convenientes y generar la presión requerida
<b>Bomba Hidráulica</b>	Generar el caudal requerido y transmitir la energía
<b>Tubería</b>	Conducir el fluido y a la vez generar la resistencia ante el paso del fluido
<b>Estructura</b>	Soportar la tubería y demás componentes del sistema.
<b>Variador de Frecuencia</b>	Regular el caudal del sistema

**Fuente: Autores**

Relacionando los componentes anteriormente enunciados según se presenta en la figura (2-15), se especifica el funcionamiento del sistema.

Para el diseño del banco se realizó una búsqueda con los recursos dispuestos por parte de la Universidad Antonio Nariño como la biblioteca, medios electrónicos como los recursos en internet, otros trabajos de grado, proyectos y videos de funcionamiento de bancos actuales que por sus características tienen un alcance similar al banco propuesto.

Por otra parte, la Universidad facilitó algunos equipos necesarios para el levantamiento final del banco inicialmente propuesto. Los demás recursos propios se han obtenido mediante proveedores de las marcas (PAVCO, BARNES SA, GERFOR DE COLOMBIA) que con información comercial y técnica se llevó a cabo una selección de materiales.

La norma técnica NTC 4526 establece los requisitos que se deben cumplir para la tubería estructural en acero al carbono formado en frio con y sin costuras. La estructura está diseñada para que por un lado se trabaje la tubería PVC y por el otro lado se maneje la tubería de acero inoxidable. En este último material para

la construcción se contemplan las normas NTC 5078 para la selección del tipo de acero y la norma NTC 4524 para el debido tratamiento durante el ensamble. Para la instalación del conjunto de tubería se tuvo muy presente los parámetros establecidos en la norma NTC 1500 para los dos tipos de material ya mencionados.

Inicialmente se realizó la construcción del prototipo en tubería PVC ya que es más económica que la tubería de acero inoxidable. La Norma Técnica Colombiana NTC 5425 contempla diferentes clases de material de PVC Orientado clasificados según su HDS (Esfuerzo Hidrostático de Diseño).<sup>22</sup> La norma NTC 5425 contempla los requisitos del material para presiones sostenidas, ensayos de regresión acelerada. Por otra parte se contempló la norma NTC 1087 para los diferentes tratamientos que se hizo durante ensamblaje.

Esta tubería es una de las tuberías que se escogieron dentro de los objetivos para realizar el prototipo final esta cuenta con distintos diámetros y se emplean en edificaciones tanto a nivel residencial como industrial. Mediante un proceso de orientación molecular, se le otorgan mejoras en las propiedades físicas y mecánicas, sin alterar las ventajas y propiedades químicas del polímero original.

Finalmente se lleva a cabo el cumplimiento de lineamientos por parte del Ministerio de Educación Nacional que garantizan la seguridad de usuarios en espacios académicos, dichos lineamientos se contemplan en las normas 4595 que trata sobre el Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares, la norma NTC 1461 y NTC1931 que señala medidas de prevención, colores y señales de seguridad.

En resumen, se presenta la lista de normas consultadas y consideradas para el desarrollo total del proyecto:

NTC 4526: selección de perfilaría y soldadura para la estructura  
NTC 5425: tipos de material del PVC  
NTC 5078: tipos de acero inoxidable  
NTC 4524: tratamiento del acero inoxidable para conexiones  
NTC 1087: tratamiento del PVC para conexiones  
NTC 1500: instalación de todo el conjunto de tubería ya sea en acero o PVC  
NTC 2050: para regular la instalación eléctrica

También es necesario mencionar las normas promovidas por el MEN (Ministerio de Educación Nacional) para el desarrollo e implementación de espacios o equipos de laboratorio: NTC 4595, NTC 1461, NTC 1931

---

<sup>22</sup> [http://www.gerfor.com/images/Descargas/catalogos/manual\\_pvc\\_orientado.pdf](http://www.gerfor.com/images/Descargas/catalogos/manual_pvc_orientado.pdf)

## 2.2 Diseño detallado

### 2.2.1 CONDICIONES DEL DISEÑO

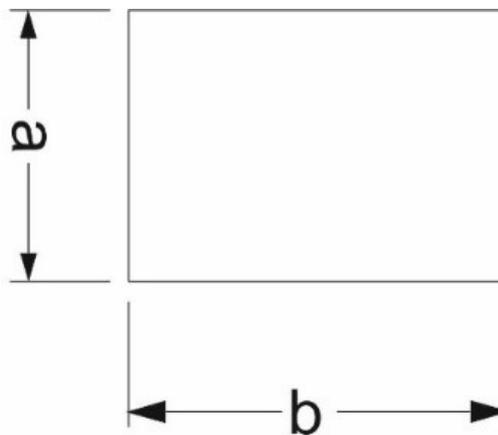
Teniendo inicialmente las características básicas de los elementos a utilizar para la construcción del banco hidráulico. Se realiza el diseño definiendo la tubería que se va a utilizar con diámetros de ( $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{4}$ " , 1") de material PVC y Acero inoxidable. Se realiza el diseño en el programa (solidworks 2019). Después de esto se procede a ver las características físicas del material para determinar longitudes, pesos, accesorios los cuales son muy necesarios para la construcción y puesta en marcha del banco.

Se realizó un prototipo basado en el diseño de solidworks para determinar parámetros teóricos, importantes para poner en marcha los diseños finales y verificar de forma exitosa el análisis de pérdidas en la tubería.

### 2.2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

De acuerdo a los resultados obtenidos en el programa empleado para indicar que tipo de perfil se puede usar como soporte de la tubería del banco se utiliza un tubo estructural cuadrado de 25mm x 25mm (ver figura 2-16). Dentro del mercado es un perfil comercial que tiene las siguientes características como se observan en las tablas (2-2) y (2-3)

**Figura 2-16: Barra de perfil cuadrado**



**Fuente: Autores.**

**Tabla 2-2: Características básicas del perfil**

Perfil cuadrado				
Tamaño perfil		Espesor De pared e mm	Peso	Área cm <sup>2</sup>
Tamaño nominal				
pulg.	mm.			
1X1	25X25	1,50	1,06	1,35
		2,00	1,36	1,73
		2,50	1,64	2,09

**Fuente: Autores.**

**Tabla 2-3. Características de resistencia del perfil**

Perfil cuadrado							
Tamaño perfil		Flexión			Modulo plástico Z <sub>x</sub> = Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	Torsión	
Tamaño nominal		Momento de inercia I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	Modulo elástico S <sub>x</sub> = S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	Radio de giro r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub> cm		Momento de inercia J cm <sup>4</sup>	Modulo elástico B cm <sup>3</sup>
pulg.	mm.						
1X1	25X25	1,22	0,97	0,95	1,17	2,03	1,48
		1,48	1,19	0,93	1,47	2,58	1,82
		1,69	1,35	0,90	1,71	3,07	2,11

**Fuente: Autores.**

### 2.2.3 SOLDADURA UTILIZADA

Para la unión de los perfiles se realizó por medio de soldadura que es el proceso por el cual se realiza la unión de dos materiales para que queden como una sola pieza. Se utilizó soldadura de arco eléctrico con electrodo 6013 el cual tiene las siguientes características (ver tabla 2-4).

Tiene una escoria fácil de remover, produce un arco suave y estable, es muy fácil para el encendido y reencendido, penetración mediana, los cordones quedan con una buena presentación. Se puede utilizar en cualquier posición.

Es muy utilizado para las soldaduras de láminas, perfiles, etc. Es comercialmente utilizada en aplicaciones como estructuras livianas y ornamentación.

**Tabla 2-4: Propiedades de la soldadura**

Propiedades mecánicas					
Diámetro Pulg-mm		Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Agrietamiento	Energía absorbida
3/32	250	431 MPa	518 MPa	28%	90 J a 20°C
Propiedades químicas					
C		Mn	Si	p	S
0,11%		0,40%	0,22%	0,015%	0,010%

Fuente: Autores.

## 2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA

Para el desarrollo del simulador se van a utilizar dos tipos de tubería. La primera es una tubería en PVC, y la segunda es tubería en Acero inoxidable con las siguientes características.

### 2.2.5 TUBERÍA PVC

La tubería PVC es un material que tiene buena resistencia y al mismo tiempo es muy liviano, estos son muy utilizados en distintas áreas de la ingeniería como es en el transporte de fluidos especialmente el agua. Este material es muy flexible y tiene distintas formas para realizar la unión entre ellos como lo es el auto-manguito, solvente de pegamento y caucho anillo Q. En el banco se utilizó pegamento para la unión de la tubería PVC de presión.

Dentro de las características que da el fabricante indica que los tubos de PVC de presión en su superficie interior es lisa lo cual reduce de forma considerable las pérdidas de presión por fricción. En la tabla (2-5) se muestran las características de la tubería PVC (Ver anexo C).

**Tabla 2-5: Características tubo PVC**

Diámetro Externo		Presión sostenida 1000 horas		Presión Mínima de Rotura 90 segundos		Esfuerzo cortante		Presión hidrostática		Perdidas por fricción
Pulg	mm	MPa	Psi	MPa	Psi	MPa	Psi	MPa	Psi	m/m
½	21	7.25	1050	11.03	1600	1.7	250	2.8	400	0.0188
¾	26	7.25	1050	11.03	1600	1.7	250	2.8	400	0.0050
1	33	7.25	1050	11.03	1600	1.7	250	2.8	400	0.0014

Fuente: Autores.

Todos estos valores están basados en un RDE 9 que es la presión de trabajo permitida para la tubería, es constante independientemente del diámetro de la tubería.

## 2.2.6 TUBERÍA ACERO INOXIDABLE

Se van a realizar simulaciones con otro tipo de tubería que en este caso sería de acero inoxidable, debido al uso común que se le da en la industria esta tiene ciertas características que le da la composición del material. Se encuentra que tienen una alta resistencia a los elementos corrosivos, la oxidación y las altas temperaturas.

El acero inoxidable es tratado térmicamente lo cual le da ciertas propiedades físicas y químicas (ver tabla 2-6).

**Tabla 2-6: Propiedades Acero inoxidable**

Propiedades mecánicas									
Resistencia mecánica		Punto de fluencia		% elongación min					
kg / mm <sup>2</sup>	Psi	kg / mm <sup>2</sup>	Psi						
42.2		60000		24.6		35000		30-35	
Diámetro Externo		Presión de prueba		Peso		Perdidas por fricción			
pulg	mm	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/m					
½	21.30	49	700	1.27		0.020			
¾	26.70	49	700	1.68		0.020			
1	33.40	49	700	2.50		0.020			
Propiedades químicas									
C		Mn		P		S			
0.3		1.2		0.05		0.06			

**Fuente: Autores.**

Este tipo de tubo tiene un coeficiente de fricción menor a comparación de otro tipo de tubos metálicos. Tiene un costo más elevado, pero por sus características a la corrosión, resistencia, durabilidad y fácil manejo la hace un material muy utilizado en especial en zonas de mucha corrosión como barcos o donde los fluidos son muy corrosivos.

## 2.2.7 PEGAMENTOS

Para el acero inoxidable se va a utilizar un pegamento que en el mercado se encuentra con el nombre de loctite el cual es la marca, este pegamento proporciona características que lo hacen muy utilizado en este tipo de situaciones, posee una resistencia a la tensión de 130kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a la temperatura de -20 a 80 grados centígrados y para tener unas mejores condiciones se deben seguir las instrucciones de uso por parte del fabricante.

Para la tubería PVC se utiliza un pegamento de pavco este pegamento viene de dos clases uno para tubería PVC agua caliente y otro para agua fría, las características para el de agua fría es mayor rapidez de secado y mayor soporte de presiones hidrostáticas, dentro de la página del fabricante dice que realizando una limpieza adecuada proporciona mayor resistencia que la que trae el tubo. Se puede realizar unión de hasta 12” y cumple con la norma ASTM D-2564. El tipo de soldadura se selecciona en función al diámetro de la tubería por que viene media, regular y heavy. El producto es completamente homogenizado, libre de grumos y sustancias extrañas.

### 2.2.8 DISEÑO DEL TANQUE

Para el diseño del tanque se escogió un contenedor plástico el cual es útil debido al espacio reducido el cual se va a manejar. Para realizar el cálculo del tanque se utilizó la fórmula de volumen la cual viene dada por la ecuación (2-13) por cada ramal.

$$V = \pi * r^2 * L \quad (2-13)$$

r = radio [m]

L = longitud [m]

**Tabla 2-7: Calculo de volúmenes**

Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3	Ramal 4	Alimentación	Salida
3m	3m	3m	3m	1.75m	1.75m
Volumen					
0.65 litros	1.12 litros	1.90 litros	1.27 litros	1.11 litros	1.11 litros

**Fuente: propia**

Se tiene que la suma de los volúmenes es de 7.16 litros los cuales en metros cúbicos nos da 0.00716 m<sup>3</sup> (ver tabla 2-7). Luego con el resultado en metros cúbicos se realiza la búsqueda de un contenedor.

**Figura 2-17: Contenedor recolección de fluido**



**Fuente: Autores.**

Se realiza la selección de un contenedor, este tiene unas dimensiones de:  
L=60cm; A=40cm; H=30cm;

Realizando los cálculos de un volumen rectangular da como resultado que almacena  $0.072 \text{ m}^3$ . Lo que es suficiente para almacenar la cantidad de agua que necesita el banco para funcionar (ver figura 2-17).

## **2.3 Construcción**

### **2.3.1 ENSAMBLE MECÁNICO Y ELÉCTRICO DEL BANCO.**

En esta fase se hizo la compra de todos los elementos disponibles en el mercado para la construcción del banco.

1. Bomba periférica monofásica de 1/5 Hp
2. Manómetros de WINTERS de 0 a 30 psi
3. Perfil cuadrado 25 x 25 mm con un espesor de 1.5 mm, acero rápido.
4. Manquera flexible de diámetro nominal 1 pulgada.
5. Tubería PVC y acero inoxidable de 1 pulg. Cedula 40.
6. Tubería PVC y acero inoxidable de 1/2 pulg. Cedula 40.
7. Tubería PVC y acero inoxidable de 3/4 pulg. Cedula 40.
8. Accesorios para conexión de tubería en PVC y acero inoxidable
9. Contenedor en PVC
10. Lamina perforada galvanizada
11. Rotámetro vertical de 10 gpm
12. Válvula tipo cortina de 1 pulgada
13. Válvula tipo bola en PVC de 1/2 y 3/4 de pulgada
14. Variador de Frecuencia 110 VAC de 1 HP
15. Protección Unipolar termo magnética a 110 V AC 10 amp
16. Contactor categoría AC3 a 110 VAC
17. Cofre eléctrico de 25x25x15 cm
18. Perfil riel omega y canaleta
19. Transformador reductor de 220 VAC a 110VAC / 500 watt

20. Pulsadores NC y NA
21. Medidor digital de frecuencia
22. LEDs a 110 VAC
23. Abrazaderas tipo U para tubería.
24. Interruptores de codo
25. Potenciómetro de 1 Kohm a 1 watt
26. Canaleta ranurada
27. Cable multifilar encauchetado 3x12 AWG
28. Cable Unifilar de 16 AWG
29. Clavija con tierra de PVC amarilla

Por otra parte, se contrata un servicio externo para las siguientes labores:

1. Proceso de soldadura para el levantamiento de la estructura mediante electrodo revestido 1360
2. Proceso de pintura electroestática para la estructura.
3. Proceso de anclaje de rodachines con freno a la estructura para una capacidad de 200 kg
4. Procesos de rotulado para la señalización

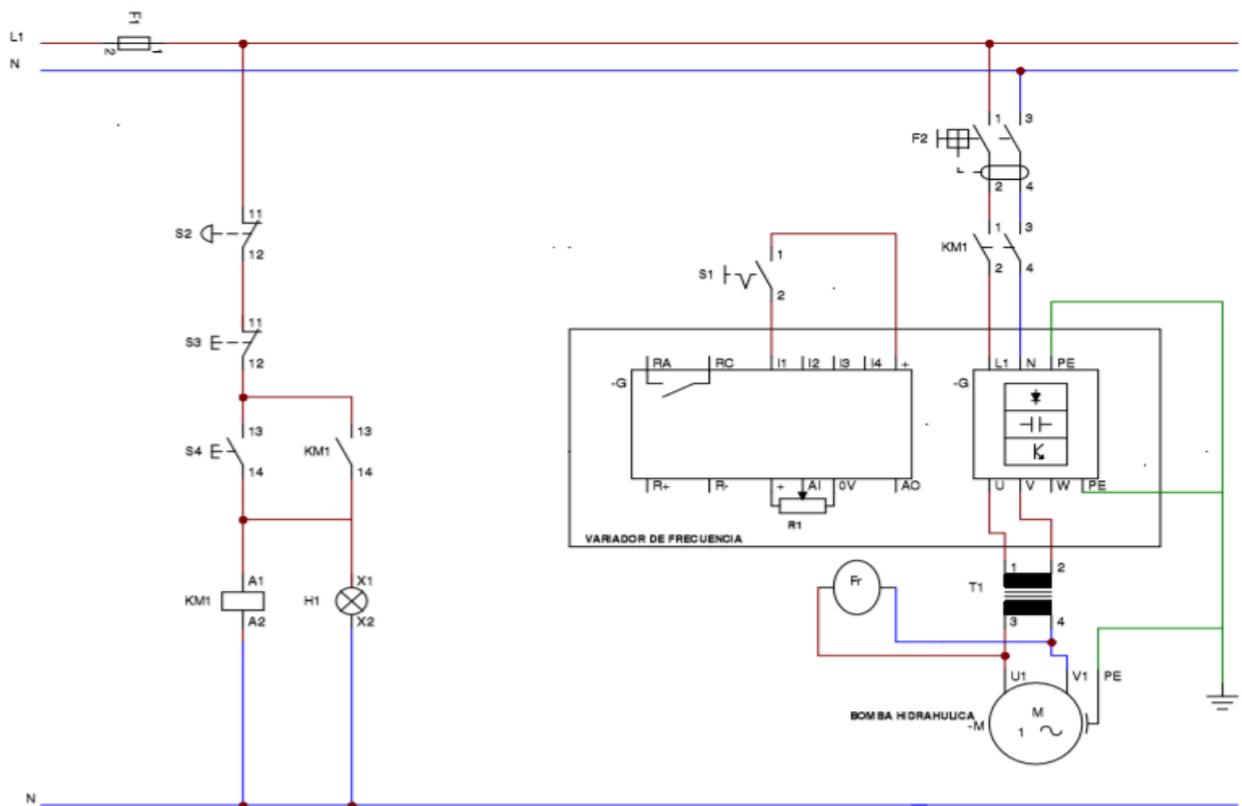
El banco se ensambla de la siguiente manera:

1. Construcción del circuito de tubería en PVC
2. Anclaje del circuito en PVC a una sección de lámina perforada mediante abrazaderas tipo U
3. Construcción del circuito de tubería en acero inoxidable
4. Anclaje del circuito en PVC a una sección de lámina perforada mediante abrazaderas tipo U
5. Ensamble del tablero eléctrico (conexión de componentes eléctricos y anclaje a la estructura)
6. Anclaje del depósito, la bomba hidráulica y el rotámetro a la estructura
7. Interconexión entre la bomba hidráulica, el depósito, el rotámetro y el respectivo circuito de tubería, todo mediante acoples universales y manguera rígida.
8. Rotulación

Observaciones:

- cada circuito consta de tubería, accesorios, manómetros y válvulas
- Los dos circuitos de tubería se instalan en diferente sección de lámina perforada.

**Figura 2-18: Conexiones Eléctricas**



**Fuente: Autores.**

**Tabla 2-9: Índice de componentes Eléctricos**

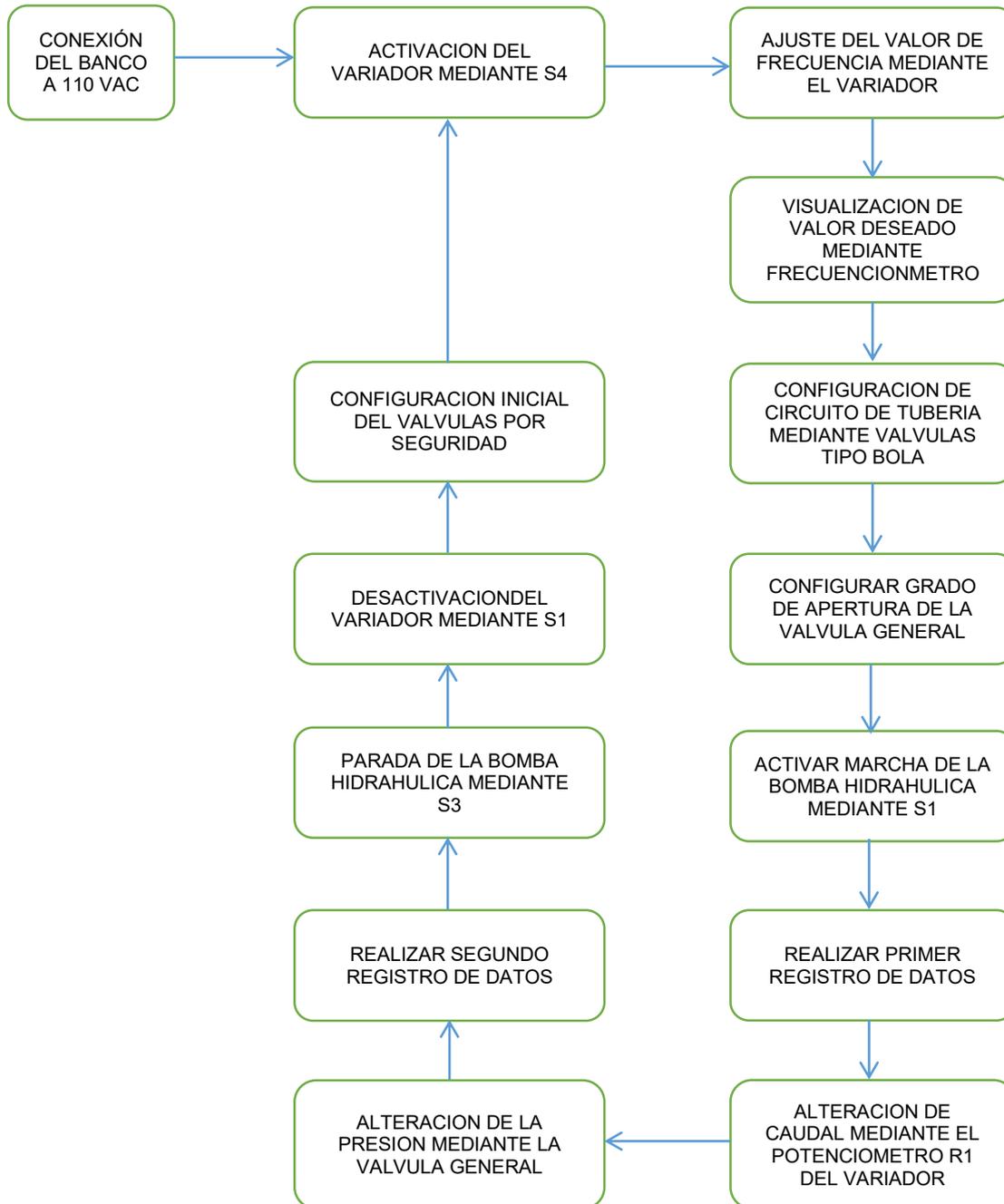
Componente Eléctrico	Índice
Interruptor ON/OFF del variador	S1
Paro de Emergencia	S2
Pulsador de parada	S3
Pulsador de marcha	S4
Regulador de Frecuencia	R1
Contactor	KM1
Indicador luminoso de marcha	H1
Variador Monofásico	G
Frecuencímetro	Fr
Motor Monofásico	M
transformador reductor	T1
Protección diferencial	F2
Protección Unipolar	F1
línea o fase	L1
Neutro	N

**Fuente: Autores.**

## 2.4 Pruebas de funcionamiento

La secuencia para realizar un ensayo de pérdida de energía por fricción es la siguiente (ver figura 2-18 y 2-19):

**Figura 2-19: Secuencia de Operación**



**Fuente: Autores.**

### 3. SIMULACIÓN

#### 3.1 Simulación java.

La academia en busca de facilitar el aprendizaje está incorporando ciertos métodos de enseñanza que transforman la educación como es el caso de las simulaciones, ya que dan al estudiante la interacción con lenguajes de programación que facilitan abordar la complejidad en el cálculo de ciertos parámetros posibilitando un mejor entendimiento al enfoque de problemas más complejos y creando ciertas expectativas al estudiante.

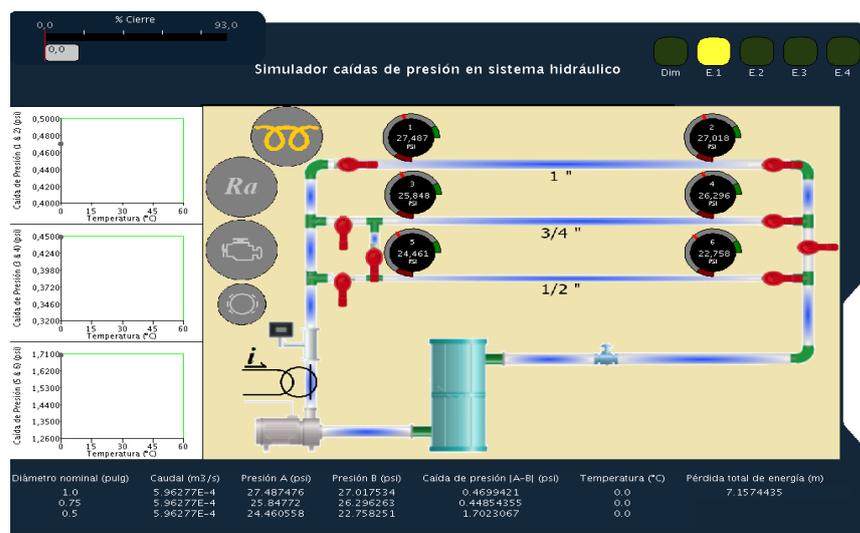
Los entornos de Java ofrecen un realismo para la academia al usar este tipo de modelos ya que ofrece gran ventaja frente a otros simuladores físicos. En este sentido, bancos didácticos demandan un espacio físico y no dejan de estar expuesto a afectación o daño de algún componente demandan un mantenimiento periódico e insumos para su funcionamiento. Por su parte los simuladores no demandan este tipo de inversiones, se pueden mejorar con el pasar del tiempo y pueden ser usados como soporte de laboratorio virtual cuando no pueda ser realizada la practica en el laboratorio.

Para ello la construcción de un modelo físico real se utilizó como prototipo para validar los requisitos de la simulación. Estos prototipos son muy utilizados para modelar y luego simular sistemas como en la aviación, manejo de maquinaria industrial, eléctrico entre otros, se utilizan estas herramientas informáticas minimizando riesgos tanto para la parte industrial como para los estudiantes.

#### 3.2 Desarrollo JAVA del entorno aplicado al banco

Para desarrollar el entorno en java del banco se tomó como referencia el prototipo construido para realizar una semejanza estructural y realizar cálculos matemáticos en comparación con los entregados por el banco y los que se obtuvieron de forma teórica para iniciar con la creación de los entornos (ver figura 3-20).

Figura 3-20: Entorno para JAVA



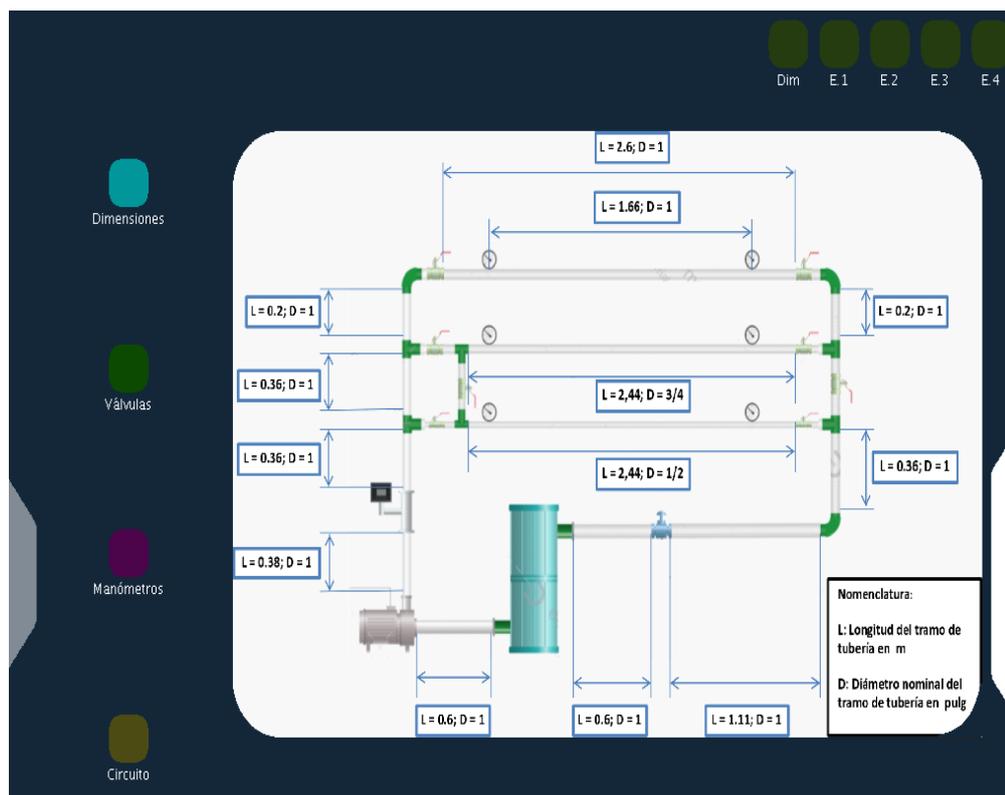
Fuente: Autores.

La realización del entorno gráfico guía se realizó en el software edraw Max para tener una visualización acorde a lo que se va a simular. Este software deja crear entornos fáciles de manejar para ingeniería, entre otras áreas, y en base al prototipo se inicia a plasmar la idea para su realización en JAVA.

### 3.3 Estructura en java

Para la simulación en JAVA se tomaron los siguientes parámetros como lo son el diámetro y la longitud. Tanto en el banco como en el simulador se utilizó tubería de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ " y 1". Se observa que trae su tanque de almacenamiento, válvulas, control eléctrico, bomba hidráulica, variador de velocidad, manómetros entre otros accesorios. Para tener una interacción natural y hacer que el aprendizaje sea complementado por componentes utilizados comúnmente como lo muestra el prototipo en físico.

**Figura 3-21: Esquema del circuito de tubería especificaciones de las dimensiones simulador en JAVA**



**Fuente: Autores.**

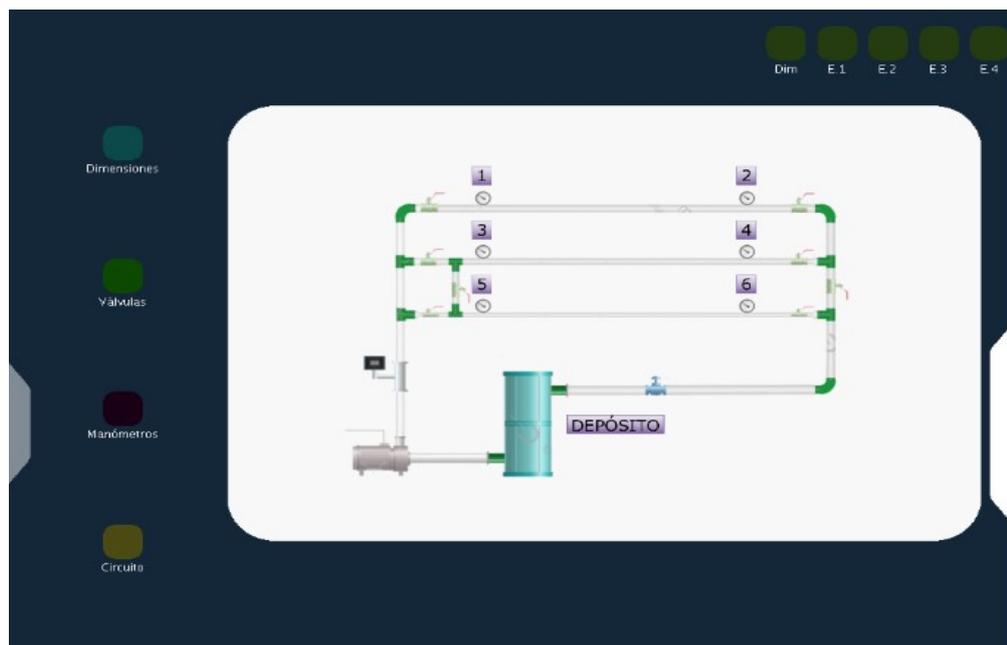
La imagen muestra las distintas dimensiones que tiene la estructura (ver figura 21). Estas dimensiones tienen como base las del prototipo para que los datos

obtenidos sean iguales a los simulados. Dando confianza y calidad al simulador adicional a los componentes que se manejan.

### 3.4 Manómetros JAVA

La configuración en JAVA tendrá un sistema capaz de mostrar al usuario los valores que indican las agujas de un manómetro, este da el dato de manera digital con dos dígitos y tres decimales, teniendo en cuenta que lo digital está reemplazando a lo análogo, se basa en los ensayos preliminares que se realizaron con el prototipo. Se realiza un diseño acorde a lo que se ve en la vida real para que la interacción sea de forma natural y la toma de datos sea realizada como si estuviera en una situación de la vida cotidiana laboral. El algoritmo que se maneja va a mostrar la caída de presión en los tramos de ductos que sea requerido por el estudiante para realizar el estudio (ver figura 3-22).

**Figura 3-22: Esquema del circuito de tuberías con la numeración de los manómetros instalados**

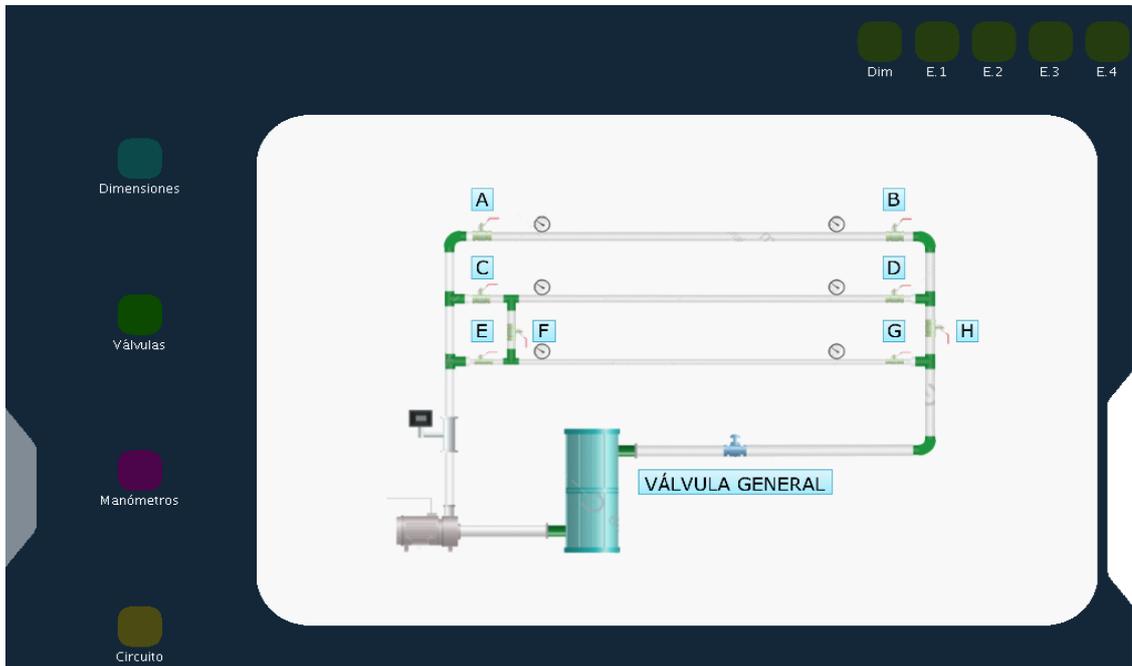


**Fuente: Autores.**

### 3.5 Válvulas JAVA

Las válvulas en JAVA que se utilizan son tipo bola para tenerlas acordes al prototipo que se construyó con el fin de mantener una forma realista. Al realizar la adición de estas válvulas al algoritmo permite solventar situaciones en las que la simulación puede proporcionar soporte para funcionalidades, darle una señal a los manómetros que se están manejando y mostrar los datos. Dentro de las posiciones que se manejan se realiza con válvulas abiertas y cerradas en cada uno de los ramales (ver figura 3-23).

**Figura 3-23: Esquema del circuito de tubería con la codificación de las válvulas**



**Fuente: Autores.**

Se realiza una tabla con la configuración que debe llevar cada válvula (8 válvulas en total) para cada ensayo a realizar en las guías propuestas (4 en total) ver anexo C. La realización de la práctica y los datos a ser registrados en tabla considera la longitud de la tubería, los diámetros y el tipo de accesorios, según sea el trayecto evaluado en cada práctica, para determinar las pérdidas y poderlas plasmar en el algoritmo (ver figura3-24).

**Figura 3-24: Variables ensayo**

ENSAYO	CONFIGURACION DE VALVULAS TIPO BOLA								LONGITUD TOTAL DE TUBERIA POR DIAMETRO NOMINAL (medida en metros)			CANTIDAD Y TIPOS DE ACOPLER POR CONFIGURACION			
	A	B	C	D	E	F	G	H	1 PULG	3/4 PULG	1/2 PULG	CODO 90 1 PULG	UNION T 1 PULG	UNION T 3/4 PULG	UNION T 1/2 PULG
1	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	ABIERTA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	6.77	2.44	2.44	3	4	1	1
4	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	6.77	0	0	3	4	0	0
3	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	3.77	2.44	0	1	4	1	0
2	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	CERRADA	ABIERTA	CERRADA	3.41	0	2.44	1	2	0	1

**Fuente: Autores.**

## 4. USO DEL SIMULADOR Y ENSAYOS VIRTUALES

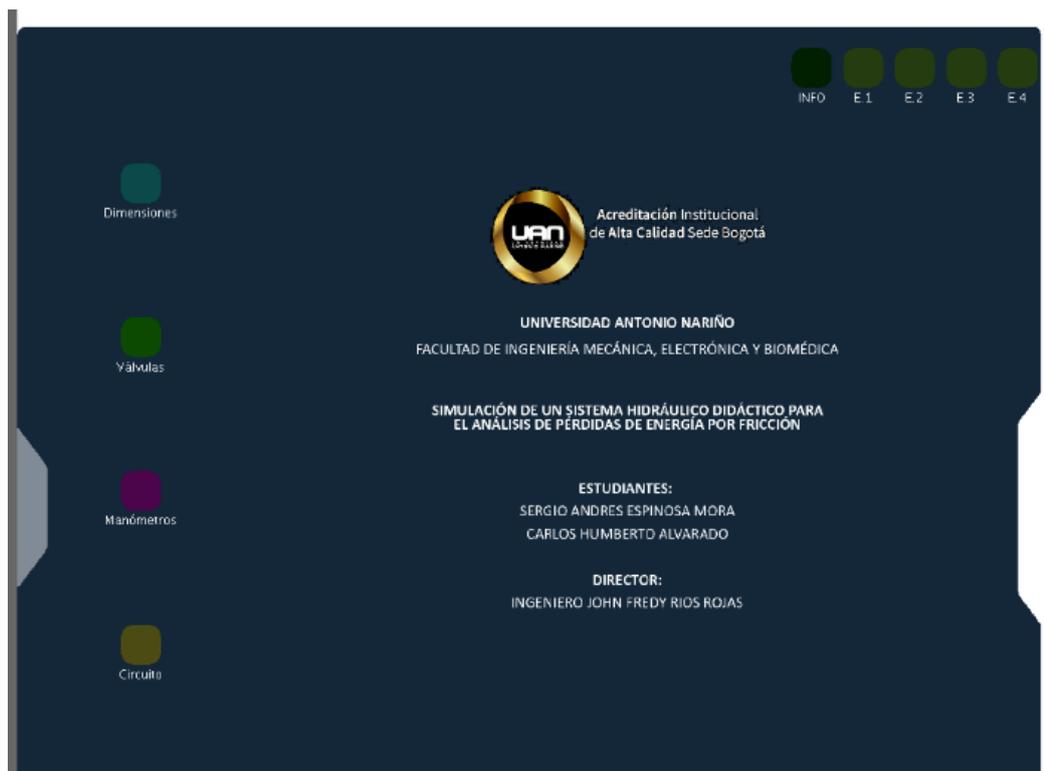
El simulador fue desarrollado pensando en la comodidad de los estudiantes, un fácil manejo para el desarrollo de las distintas prácticas de laboratorio de una forma adecuada. Para el manejo del simulador se realiza una descripción de las partes y herramientas que vienen dentro de la interfaz.

### 4.1 Pantalla principal

Cuando se ejecuta la simulación JAVA en la interfaz aparece como pantalla de inicio una práctica denominada simulación de caídas de presión en sistema hidráulico. En la parte superior derecha se tiene cinco recuadros los cuales al seleccionar cada uno de ellos lleva a cada pantalla, dándole clic al recuadro que aparece.

En la pantalla 1 denominada INFO al hacer clic sobre esta aparece una pantalla con la presentación donde viene incorporado el nombre de la universidad Antonio Nariño, los estudiantes y el director del proyecto (ver figura 4-25).

**Figura 4-25: Pantalla de información simulador**



**Fuente: Autores**

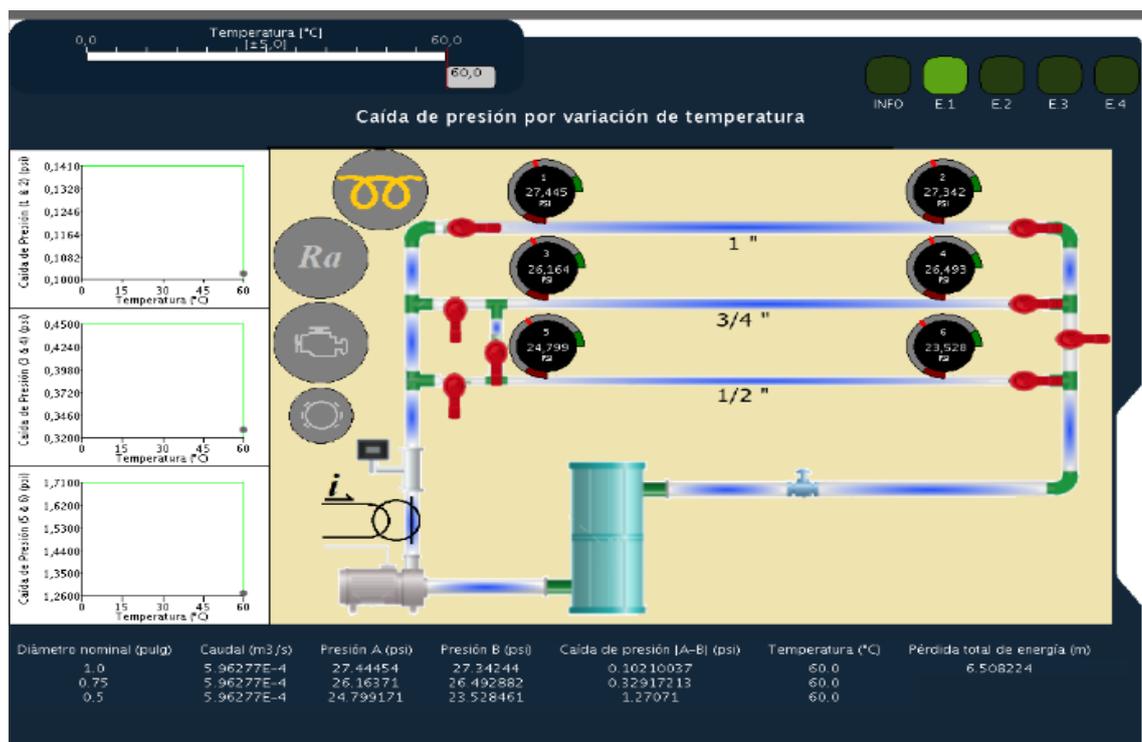
En la parte de la izquierda se encuentran cuatro vínculos de distintos colores al seleccionar cada uno de ellos dimensiona a la numeración de cada válvula, manómetro, dimensiones de la tubería del banco y las distintas configuraciones

que tienen las válvulas para cada practica que se realiza en los ensayos de la interfaz.

## 4.2 Practica uno

En la pantalla se selecciona en el link con nombre E1 dándole clic en el recuadro superior derecho. Sale la práctica número uno denominada caída de presión por variación de temperatura (ver figura 4-26).

**Figura 4-26: Practica uno temperatura**



**Fuente: Autores**

Todas las prácticas se desarrollan con el slider moviéndolo de izquierda a derecha y viceversa. En este caso se mueve desde una temperatura mínima que se encuentra a la izquierda hasta la máxima que en este caso es de 60 grados cambiando de 5 en 5 la variación de temperatura. En la parte de la izquierda se observan las gráficas de las caídas de presión que hay en cada tramo de tubería. En la parte inferior se observa una tabla dinámica que con los resultados de la caída de presión entre otros factores.

## 4.3 Practica dos

La práctica dos se maneja la rugosidad de los distintos materiales, se selecciona con el mouse en la casilla E2. Para cambiar la rugosidad de los materiales se utiliza el slider moviéndolo con el mouse esta práctica se lleva a cabo en la tubería de 1/2" y se muestra la caída en los manómetros 5 y 6 (ver figura 4-26).

**Figura 4-27: Caída de presión por rugosidad**



**Fuente: Autores**

En la parte de abajo aparece la caída de presión a una temperatura de 25 grados en la rugosidad seleccionada y la gráfica en la parte izquierda de la interfaz.

#### 4.4 Practica tres

La interfaz en la práctica tres se selecciona en la casilla E3 que dirige a esa pantalla esta práctica es la modificación de las revoluciones de la bomba.

**Figura 4-28: Caída de presión por cambio en la velocidad angular**



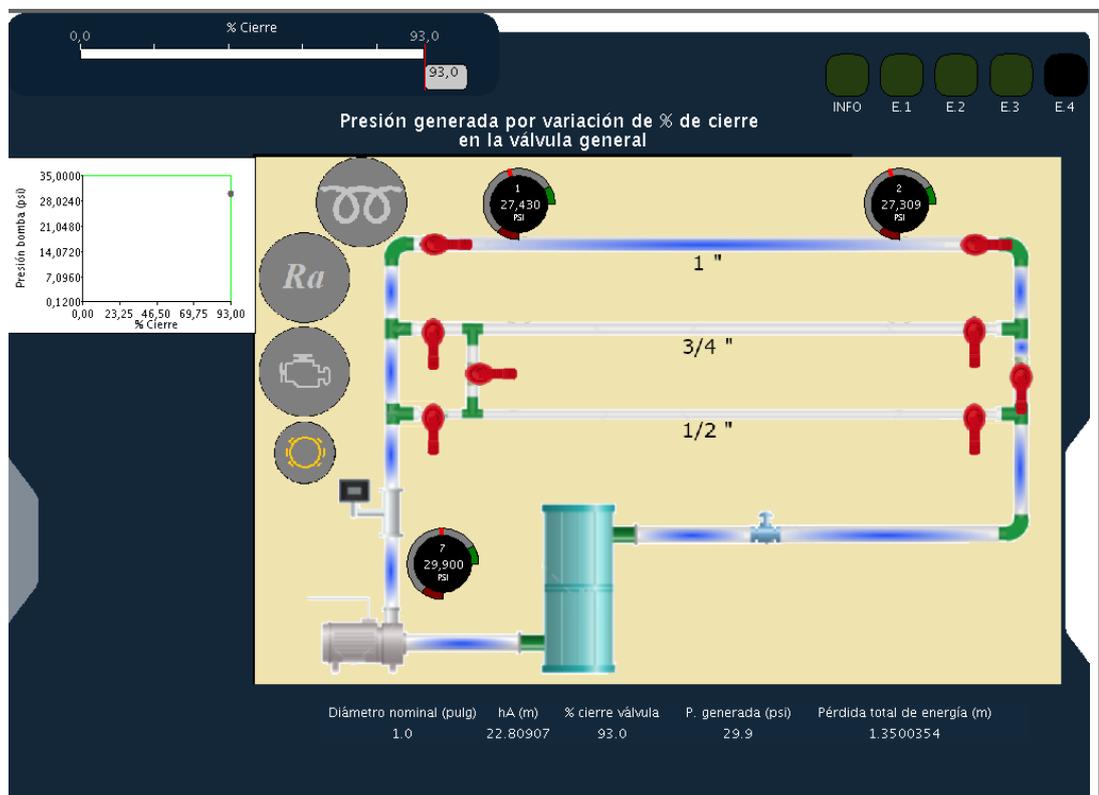
**Fuente: Autores**

se utiliza el slider que se encuentra en la parte izquierda, está en la mínima revolución en la que se puede colocar, moviendo el slider con el mouse se va graduando las revoluciones de la bomba (ver figura 4-27). En la parte inferior entrega los datos que arroja esta variación y en la izquierda se tiene la gráfica, también se observan los manómetros 3 y 4.

#### 4.5 Practica cuatro

Con el mouse se selecciona donde dice E4. Aparece la práctica de variación de la presión por cierre de la válvula general, luego se procede a guiar el slider donde la parte de la izquierda es la de mayor apertura mientras se avanza a la derecha se puede observar el cierre de la válvula (ver figura 4-29).

**Figura 4-29: Cierre de la válvula general**



**Fuente: Autores**

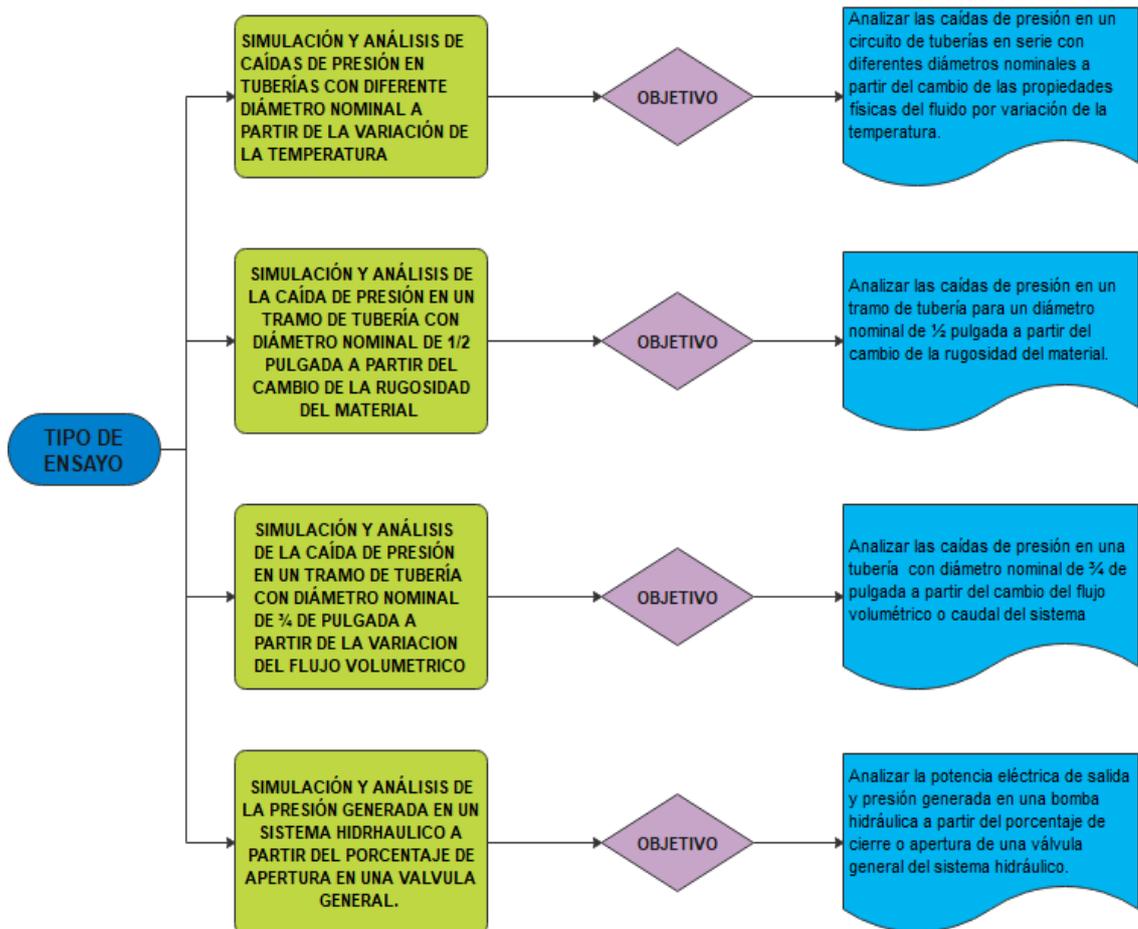
En la parte izquierda se encuentra la gráfica de porcentaje de cierre de válvula vs la presión, se realiza el ensayo en la tubería de una pulgada. En la parte inferior se encuentra las variables y los resultados que se van dando a medida que se cierra o se abre la válvula. La presión de entrada y la de salida se observan en los manómetros 1 y 2.

## 4.6 Ensayos virtuales

El desarrollo de diferentes ensayos virtuales se ejecuta mediante un software denominado JAVA versión 8.0 para la animación de componentes básicos de un sistema hidráulico e interacción con las variables físicas mediante simulación. En el proceso virtual se lleva a cabo la variación de datos de entrada como la temperatura del sistema, rugosidad del material de la tubería, velocidad angular de la bomba hidráulica y el grado de apertura de una válvula general sobre el sistema para la generación de presión. El objetivo principal en los diferentes ensayos es poder analizar la caída de presión en tramos de tubería con diferente diámetro nominal a partir de la variación de datos de entrada ya mencionados anteriormente y corroborar la información de salida como pérdida de energía, ganancia de energía y flujo volumétrico entre otras variables.

En la siguiente clasificación de los ensayos se indica los propósitos u objetivo principal como también el resultado de manera gráfica (ver figura 4-30).

**Figura 4-30: Clasificación de ensayos**



**Fuente: Autores**

## Ensayo 1

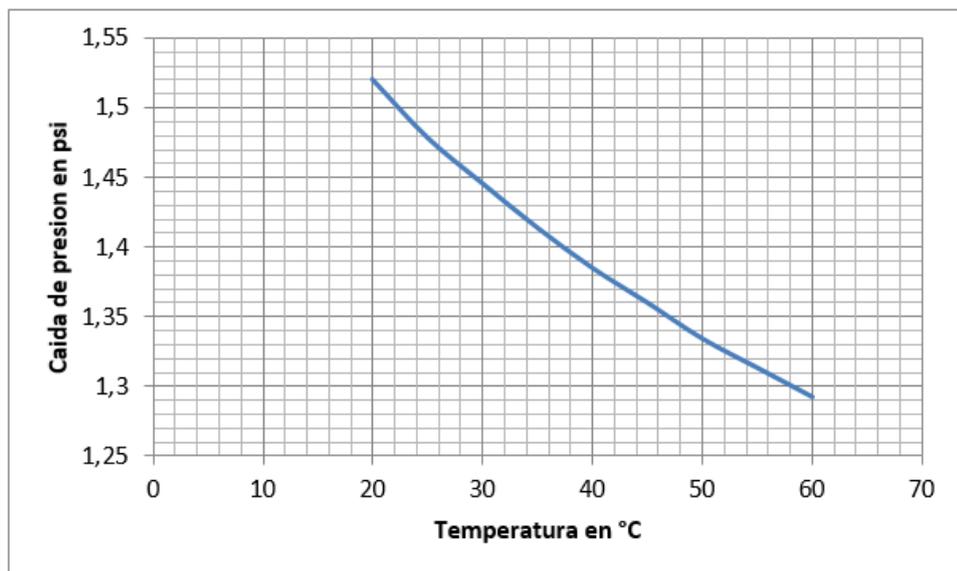
En esta simulación se ejecuta la variación de la temperatura para alterar las distintas caídas de presión en los diferentes diámetros nominales del sistema de tubería. El ensayo consiste en estudiar un trayecto de tubería para analizar caídas de presión con diámetros nominales de 1, ¾ y ½ pulgada a partir del cambio de las propiedades físicas del agua por variación de la temperatura en un rango de 20 °C a 60 °C como se muestra en la tabla (4-10)

**Tabla 4-10: Toma de datos para tubería de ½ de pulgada**

Diámetro nominal	Caudal en m³/s	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	Temperatura en °C
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,584	23,063	1,521	1,66	20
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,615	23,136	1,479	1,66	25
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,64	23,194	1,446	1,66	30
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,67	23,255	1,414	1,66	35
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,697	23,311	1,385	1,66	40
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,722	23,362	1,36	1,66	45
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,747	23,412	1,334	1,66	50
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,77	23,457	1,313	1,66	55
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,792	23,499	1,292	1,66	60

Fuente: Autores

**Figura 4-31: Caída de presión por variación de temperatura**



Fuente: Autores

**Conclusión general del ensayo:** la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico constante de 35.77 L/min, variando la temperatura. En una tubería con diámetro nominal de ½ pulgada, la diferencia de presión disminuye al incrementarse la temperatura del agua, debido a la disminución en la viscosidad cinemática (ver figura 4-31).

## Ensayo 2

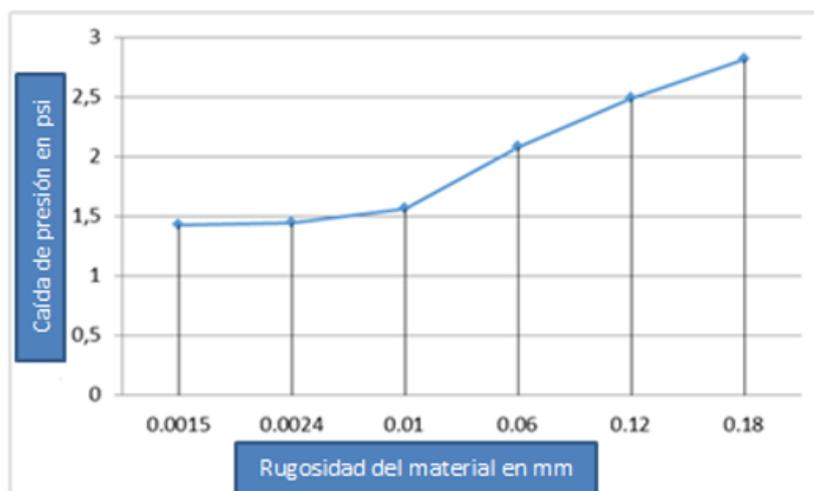
En esta simulación se modifica el valor de la rugosidad del material en un sistema de tubería con determinado diámetro nominal para alterar la caída de presión como se muestra en la tabla (4-11).

**Tabla 4-11: Toma de datos para tubería de ½ pulgada respecto a la rugosidad**

Diámetro nominal	Rugosidad del material en mm	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	Temperatura en °C
1 / 2 pulg.	0.0015	25,181	23,752	1,429	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.0024	25,179	23,734	1,444	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.01	25,168	23,603	1,564	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.06	25,109	23,029	2,080	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.12	25,057	22,568	2,489	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.18	25,015	22,201	2,814	1.66	25

fuelle: Autores

**Figura 4-32: Caída de presión por variación de la rugosidad**



Fuelle: Autores

**Conclusión general del ensayo:** la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico constante de 35.77 L/min, variando la rugosidad del material, en una tubería con diámetro nominal de ½ pulgada, la

caída de presión aumenta cuando existe un incremento en el valor de la rugosidad que ocasiona un aumento del factor de fricción y por ende de pérdidas de energía (ver figura 4-32).

### Ensayo 3

En esta simulación se modifica el valor del caudal en un sistema de tubería con determinado diámetro nominal para alterar la caída de presión.

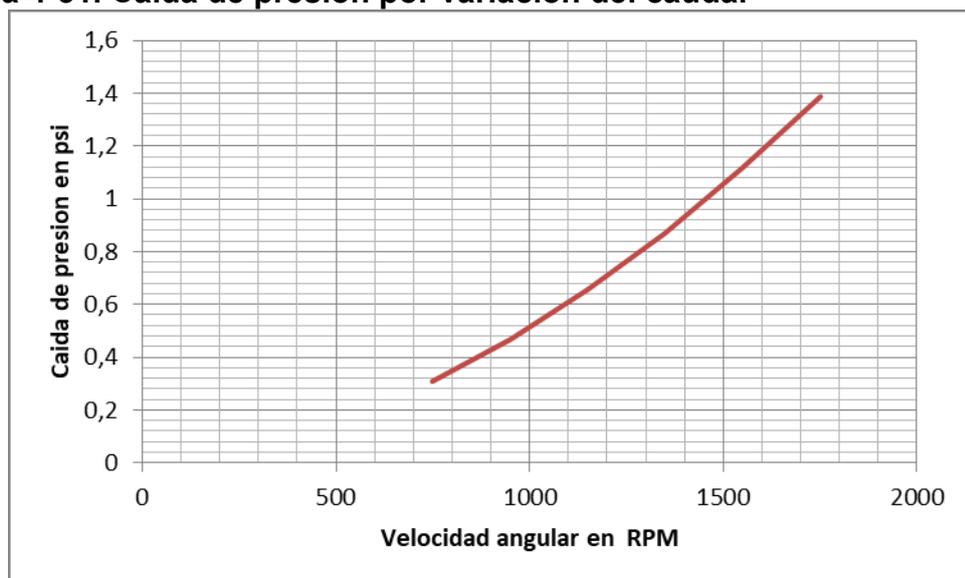
El ensayo propuesto consiste en estudiar un trayecto de tubería para analizar caídas de presión en tramos. La alteración del flujo volumétrico o caudal se genera por el cambio de la velocidad angular de la bomba hidráulica ver tabla (4-12).

**Tabla 4-12. Toma de datos para tubería de 3/4 variación de las RPM**

Diámetro nominal en pulg.	RPM	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	CAUDAL EN L/MIN
3/4 pulg	750	9,740	9,432	0,308	1,66	14,9
3/4 pulg	950	13,065	12,597	0,467	1,66	18,8
3/4 pulg	1150	16,388	15,732	0,656	1,66	22,8
3/4 pulg	1350	19,709	18,837	0,872	1,66	26,8
3/4 pulg	1550	21,913	23,029	1,116	1,66	30,8
3/4 pulg	1750	26,348	24,961	1,386	1,66	34,7

Fuente: Autores

**Figura 4-31. Caída de presión por variación del caudal**



Fuente: Autores

**Conclusión general del ensayo:** la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico que cambia ente 10 L/ min y 35 L/min como se evidencia en la tabla 12. En una tubería con diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, la caída de presión aumenta cuando existe un incremento en el valor del flujo volumétrico que genera un aumento de la carga de velocidad lo cual incrementa las pérdidas de energía (ver figura 31).

#### Ensayo 4

En esta simulación se modifica la magnitud de la presión generada en un sistema de tubería con determinado diámetro nominal a partir del porcentaje de cierre o apertura de una válvula general como se observa en la tabla (4-13), sin superar la presión limite.

**Tabla 4-13. Toma de datos sobre el sistema a temperatura ambiente.**

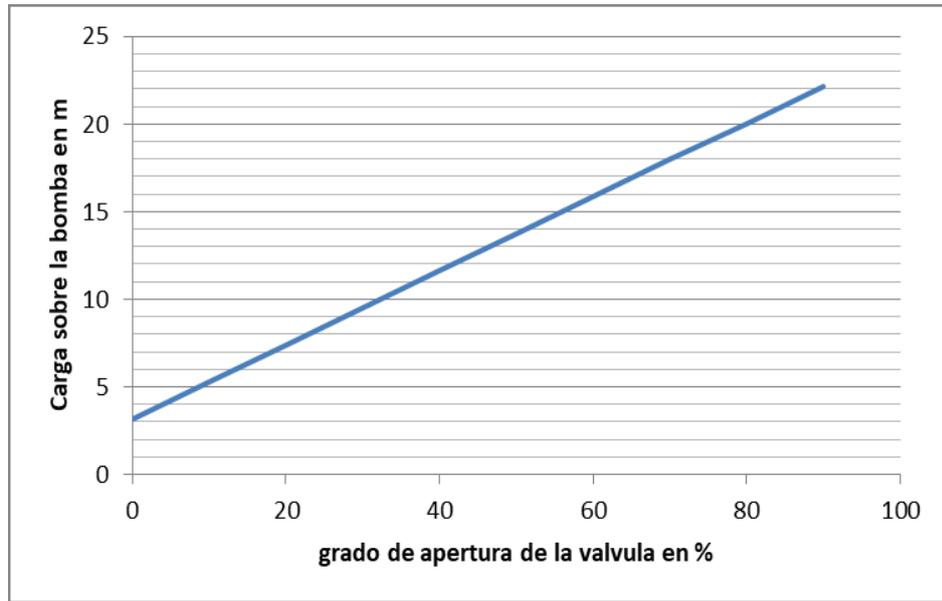
Diámetro nominal en (pulg)	Carga sobre la bomba en (m)	Perdida de energía del sistema en (m)	Porcentaje de cierre de la válvula	Presión generada en (psi)	Presión generada en (Pa)
1	3,13997137	1,35	0%	2	13789,52
1	5,254928425	1,35	10%	5	34473,8
1	7,369885481	1,35	20%	8	55158,08
1	9,484842536	1,35	30%	11	75842,36
1	11,59979959	1,35	40%	14	96526,64
1	13,71475665	1,35	50%	17	117210,92
1	15,8297137	1,35	60%	20	137895,2
1	17,94467076	1,35	70%	23	158579,48
1	20,05962781	1,35	80%	26	179263,76
1	22,17458487	1,35	90%	29	199948,04

**Fuente: Autores**

Potencia eléctrica de salida en función de la variación del porcentaje de cierre de la válvula general de un sistema hidráulico con tubería de 1 pulgada de diámetro nominal.

**conclusión general del ensayo:** la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico constante de 35.77 L/min, variando la presión generada del sistema (ver tabla 4-13). En una tubería con diámetro nominal de 1 pulgada, la carga sobre la bomba aumenta cuando existe una disminución del grado de apertura en la válvula general (ver figura 4-34).

**Figura 4-34: Porcentaje de cierre de la válvula**



**Fuente: Autores**

## 5. ENSAYOS Y RESULTADOS EN PROTOTIPO FISICO

Se llevó a cabo una prueba inicial para verificar el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos que conforman el prototipo real. Por otra parte, se procede con un ensayo riguroso a partir del planteamiento de un problema con el objetivo de corroborar que la información final corresponda con resultados coherentes.

El procedimiento que se ejecutó durante el ensayo corresponde a los siguientes pasos:

1. Planteamiento del problema a resolver.
2. Ejecutar la secuencia de ensayo descrita anteriormente en la sección de funcionamiento del prototipo.
3. Establecer los parámetros del circuito de tubería que se va estudiar.
4. Analizar los parámetros que corresponde a las propiedades del fluido.
5. Establecer la respectiva ecuación de la energía para análisis de términos
6. En el diagrama de Moody, identificar la zona de turbulencia en la que el fluido opera para la determinación del factor de fricción en función del parámetro de rugosidad relativa.
7. Proceder con el cálculo teórico de caída de presión junto con las pérdidas de energía mayores del respectivo trayecto de tubería seleccionado para análisis.
8. Determinar el margen de error para la caída de presión que existe entre los cálculos teóricos y las medidas reales en el prototipo.
9. Llevar a cabo el anterior procedimiento mediante el simulador, utilizando la rugosidad del PVC.
10. Registro de las caídas de presión por fricción en el PVC.
11. Diligenciar la tabla propuesta de variables físicas durante el ensayo.
12. Generar un informe de resultados o conclusiones sobre el ensayo.

Procedimiento detallado.

1. Planteamiento del problema a resolver:

Determinar la pérdida de carga por fricción en un trayecto de tubería PVC previamente seleccionado y ejecutar el mismo ensayo con la estructura en acero inoxidable para analizar la diferencia de pérdida de energía por fricción.

2. Ejecutar la secuencia de ensayo descrita anteriormente en la sección de funcionamiento del prototipo (ver figura 5-25 y 5-26).

**Figura 5-35: Selección de trayecto**

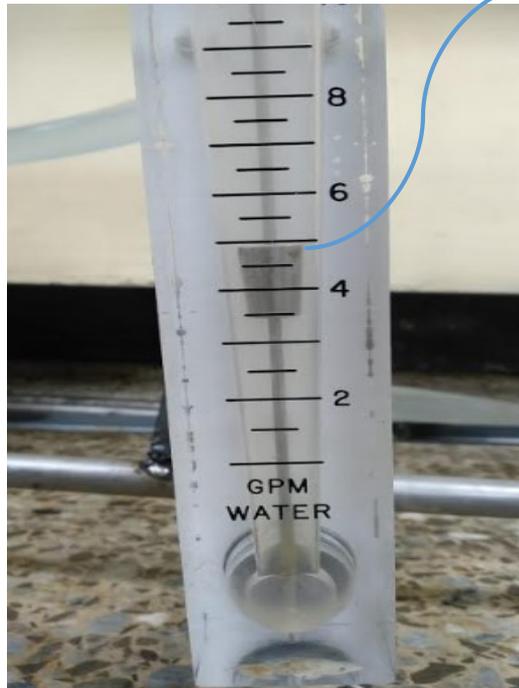


Trayecto seleccionado para análisis

La caída de presión entre los manómetros del ramal es de 0.77 psi

Fuente: Autores.

**Figura 5-36. Rotámetro**



Se realiza una lectura de 4.9 gpm

Fuente: Autores.

3. Establecer los parámetros del circuito de la tubería que se estudia.

<b>Tubería de diámetro nominal= ¾ pulgada; cedula 40</b>	
Diámetro interno (m)= D	2.09*10 <sup>-2</sup>
Rugosidad de la pared (m)= e	1.5*10 <sup>-2</sup>
Longitud (m)= L	2.9
Rugosidad relativa= D/e	13.93

4. Analizar los parámetros que corresponde a las propiedades del fluido

<b>Propiedades del fluido</b>			
Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s) = ν	8.938x10 <sup>-7</sup>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )=ρ	997
Peso específico (KN/m <sup>3</sup> )= γ	9.78	Viscosidad dinámica (Pa*S)=η	8.91*10 <sup>-4</sup>

5. Establecer la respectiva ecuación de la energía para análisis de términos.

Se analiza la ecuación de la energía (ecuación 8) para la condición  $z_1 = z_2$  ;  $V_1 = V_2$  por lo tanto quedaría la siguiente relación:

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

6. En el diagrama de Moody, identificar la zona de turbulencia en la que el fluido opera para la determinación del factor de fricción en función del parámetro de rugosidad relativa.

En este caso se observa que el valor de la rugosidad relativa por ser tan pequeño, se ubica en la zona de turbulencia del diagrama de Moody por lo tanto, es irrelevante la magnitud del Numero Reynolds para hallar el factor fricción por inspección en la gráfica. Siento este un caso particular se usa la relación que corresponde al cálculo del factor de fricción para fluidos que operan en zona de turbulencia (ecuación 10).

Sustituyendo valores queda como:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7 * (13.93)} + \frac{5.74}{21501.35 * 10^9}\right)\right)^2} = 0.0868$$

7. Proceder con el cálculo teórico de caída de presión junto con las pérdidas de energía mayores y menores del respectivo trayecto de tubería seleccionado para análisis.

Aquí se presenta el objetivo de la práctica, el cual es estudiar las pérdidas mayores y menores de energía en el respectivo ramal con el fin de analizar la pérdida total ( $h_l$ ) ocurrida y calcular teóricamente la caída de presión entre dos puntos.

Se tiene la siguiente relación:

$$h_l = h_1 + h_2$$

Dónde:

$h_1 =$  pérdida de energía en las valvulas (pérdidas menores)

$h_2 =$  pérdida en el trayecto total de la tubería (pérdidas mayores)

Aplicando la ecuación de Darcy, se determina la pérdida de energía en cada componente.

Se conocen todos los valores con las características del sistema ya mencionadas, únicamente se consulta un valor denominado factor equivalente ( $\frac{L}{D}$ ) que correspondería a la válvula tipo bola y tipo cortina (válvula general) ver anexo I. Es importante aclarar que este último varía en función del grado de apertura de la válvula.

$$\frac{L}{D} = 0.0627 \text{ para válvula tipo bola totalmente abierta de } \frac{3}{4} \text{ pulg.}$$

$$\frac{L}{D} = 0.03762 \text{ para válvula de cortina parcialmente abierta de } \frac{3}{4} \text{ pulg. (60°)}$$

Procediendo a remplazar los valores para hallar las pérdidas menores y mayores, se tiene:

$$h_{1 \text{ valvulas abiertas}} = (8.6 * 10^{-2})x(6.27 * 10^{-2})x \frac{(0.9194)^2}{2(9.81)}x 2 = 4.7x10^{-4} m$$

$$h_{1 \text{ valvulas cerradas}} = (8.6 * 10^{-2})x(3.76 * 10^{-2})x \frac{(0.9194)^2}{2(9.81)}x 1 = 1.4x10^{-4} m$$

$$h_1 = h_{1 \text{ valvulas abiertas}} + h_{1 \text{ valvulas cerradas}} = 6.1x10^{-4} m$$

$$h_2 = (8.6 * 10^{-2})x \frac{2.9}{2.09 * 10^{-2}}x \frac{0.92^2}{2(9.81)} = 0.52 m$$

$$h_L = 6.1081x10^{-4} + 0.52 = 0.5206m$$

Por último, se utiliza la relación ya deducida a partir de la ecuación de la energía para calcular de manera teórica la caída de presión entre los dos manómetros o puntos del trayecto de tubería previamente seleccionado.

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$P_1 - P_2 = \gamma \cdot h_L$$

Remplazando valores queda

$$P_1 - P_2 = (9.78 \times 10^3) \cdot (0.5207) = 5092 \text{ Pa}$$

$$\text{Ahora: } 5092 \text{ Pa} = 0.7385 \text{ psi}$$

8. Determinar el margen de error para la caída de presión que existe entre los cálculos teóricos y las medidas reales del sistema hidráulico.

$$\text{Error \%} = \frac{(p1 - p2)_{\text{practico}} - (p1 - p2)_{\text{teorico}}}{(p1 - p2)_{\text{teorico}}} \times 100$$

$$\text{Error \%} = ((0.77 - 0.7385) / (0.7385)) \times 100 = 4.26 \%$$

9. Repetir el anterior procedimiento para el ensayo, cambiando el material PVC al material en acero inoxidable.

El objetivo de este paso, consiste en cambiar la estructura de la tubería en PVC por la estructura que contiene el material en acero inoxidable, la arquitectura de la estructura es la misma y solo cambia el material.

Ejecutando el mismo procedimiento anterior se determina el valor total de pérdida de energía y la caída de presión de forma teórica. Se obtuvo los siguientes datos:

$$h_L = 0.7207 \text{ m}$$

$$P_1 - P_2 = (9.78 \times 10^3) \cdot (0.7207) = 7048 \text{ Pa}$$

$$\text{Ahora: } 7048 \text{ Pa} = 1.02 \text{ psi}$$

10. Registro de la diferencia en pérdidas de energía por fricción entre el PVC y el acero inoxidable.

$$h_{\text{diferencia}} = h_{L \text{ de acero}} + h_{L \text{ de PVC}} = 0.2 \text{ m}$$

11. Diligenciar la tabla (5-10) propuesta de variables físicas durante el ensayo.  
 En esta etapa se registran las variables teóricas y prácticas durante el ensayo en una tabla con la posibilidad de registrar nuevos valores a partir del cambio de la magnitud para la presión y el flujo volumétrico.

**Tabla 5-10: Variables en un ensayo**

$D_N$	$D_i$	$Q_1$	$P_1$	$P_2$	$E_2$	$L$	$h_L$	$\frac{D}{e}$	$f$
$\frac{3}{4}$	0.0209	5	0.88	0.7385	4.26	2.9	0.2	13.93	0.0869

**Fuente: Autores.**

Lista de variables y unidades que se manejan en la tabla:

- $D_N$ : Diámetro Nominal en [in]  
 $D_i$ : Diámetro interno en [m]  
 $Q_1$ : Caudal registrado en el ensayo con el rotámetro en [gpm]  
 $P_1$ : Caída de presión registrada por manómetros en [psi]  
 $P_2$ : Caída de presión teórica en [psi]  
 $E_2$ : Margen de error entre la caída de presión practica y teórica en [%]  
 $L$ : Distancia del trayecto de la tubería en [m]  
 $h_L$ : Diferencia de perdida de energía entre los dos materiales en [m]  
 $\frac{D}{e}$ : Rugosidad relativa del materia, [adimensional]  
 $f$ : Factor de fricción, [adimensional]

12. Generar un informe de resultados o conclusiones.

Durante este ensayo, al comparar los datos teóricos con los prácticos no se observa mucha diferencia, ya que se tiene presente tanto las pérdidas de energía mayores generadas por la trayectoria de la tubería como también las perdidas menores generadas por las válvulas.

Por otra parte, el fluido opera en la región de turbulencia y por lo tanto el numero Reynolds es irrelevante para determinar el factor de fricción, esto significa hallar la fricción en función de la rugosidad relativa y otros factores, no mediante la observación en el diagrama de Moody.

Por último, se comprueba una mayor pérdida de energía en el acero inoxidable a comparación del PVC debido a la rugosidad del material.

## 6. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Elemento	Precio
Bomba periférica monofásica de 1/5 Hp	\$ 130.000
Manómetros de WINTERS de 0 a 30 psi	\$ 360.000
Perfil cuadrado 25 x 25 mm con un espesor de 1.5 mm, acero rápido.	\$ 60.000
Manquera flexible de diámetro nominal 1 pulgada.	\$ 10.000
Tubería PVC y acero inoxidable de 1 pulg. Cedula 40.	\$ 100.000
Tubería PVC y acero inoxidable de 1/2 pulg. Cedula 40.	\$ 40.000
Tubería PVC y acero inoxidable de 3/4 pulg. Cedula 40.	\$ 80.000
Accesorios para conexión de tubería en PVC y acero inoxidable	\$ 50.000
Contenedor en PVC	\$ 30.000
Rotámetro vertical	\$ 280.000
Válvula tipo cortina de 1 pulgada	\$ 27.000
Válvula tipo bola en PVC de 1/2 y 3/4 de pulgada	\$ 40.000
Variador de Frecuencia 110 VAC de 1 HP	\$ 650.000
Protección Unipolar termo magnética a 110 V AC 10 amp	\$ 20.000
Contactador categoría AC3 a 110 VAC	\$ 30.000
Cofre eléctrico de 25x25x15 cm	\$ 35.000
Perfil riel omega y canaleta	\$ 35.000
Transformador reductor de 220 VAC a 110VAC	\$ 200.000
Pulsadores NC y NA	\$ 15.000
Medidor digital de frecuencia	\$ 15.000
LEDs a 110 VAC	\$ 15.000
Abrazaderas tipo U para tubería.	\$ 50.000
Interruptores de codo	\$ 2.000
Potenciometro de 1 Kohm a 1 watt	\$ 1.000
Canaleta ranurada	\$ 20.000
Cable multifilar encauchetado 3x12 AWG	\$ 8.000
Cable Unifilar de 16 AWG	\$ 5.000
Clavija con tierra de PVC amarilla	\$ 3.000
Proceso de soldadura y anclaje de rodachines	\$ 350.000
Proceso de pintura	\$ 150.000
Rotulado	\$ 100.000
Programación JAVA	\$ 980.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.891.000</b>

## 7. CONCLUSIONES

1. Se realiza el diseño para la enseñanza de las pérdidas de energía por la fricción del fluido con la pared de la tubería para llevar a cabo prácticas en la asignatura de mecánica de fluidos y afines, que permitió la construcción de un montaje prototipo y la generación de un simulador. El diseño puede ser empleado para un proyecto a futuro de implementación del banco hidráulico.
2. La selección de la tubería y accesorios requeridos para la conexión, aislamiento y medición de variables, fue realizada basado en los materiales previstos para el trabajo (es el caso de tubería en PVC y acero inoxidable) que son los más utilizados en la industria. En el prototipo construido se emplearon todos los elementos en PVC para la verificación de las características, operación y valores medidos de presión y caudal en el sistema.
3. Las características comerciales de la tubería PVC y acero inoxidable en diámetros de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1" fueron revisadas para la identificación de dimensiones, espesores y presiones de trabajo, mientras que el valor de la rugosidad se emplea la reportada para este tipo de materiales en documentos académicos en lo correspondiente a cálculos en el simulador.
4. Se seleccionó una bomba de uso doméstico para impulsión de agua tratada marca Barnes periférica de 1/2 HP, al instalar un variador se modifica la frecuencia de la bomba y por ende el caudal del fluido, permitiendo llevar a cabo ensayos con la máxima frecuencia nominal o aún menores, manteniendo condiciones del fluido en la zona de turbulencia.
5. Empleando el entorno en JAVA se desarrolló una herramienta, basada en el banco prototipo de tubería construido para las pruebas iniciales, y los modelos de cálculo empleados para revisar los resultados obtenidos en el mismo, complementado a partir de las expresiones matemáticas para determinar de forma teórica los resultados de la simulación, presentando de manera gráfica el resultado numérico en la interfaz.
6. Los resultados del banco hidráulico de pérdidas de energía por fricción en tubería, en el entorno en JAVA, permiten hacer un análisis de la caída de presión debido a variables asociadas al sistema de tubería como son diámetro y rugosidad de la superficie del material de tubería, y al fluido evaluado en el sistema como son la viscosidad y la velocidad de flujo del fluido, permitiendo una adecuada representación y complementando el aprendizaje sobre aspectos que influyen en la variación de presión del fluido en un tramo de tubería.
7. La herramienta de simulación del banco hidráulico para pérdida de fricción en tubería, permite la evaluación de pérdidas de energía mayores a partir de cuatro guías de prácticas basadas en la información técnica para la adecuada ejecución y aprendizaje del estudiante en ingeniería de líneas para la conducción de fluidos.

8. Es muy importante tener en cuenta que las bombas periféricas como la utilizada nos entrega mayor presión, pero menor caudal mientras que las centrifugas dan mayor caudal y menor presión. Es muy importante tener en cuenta para futuros usos que las
9. La carga de succión positiva disponible es mayor ya que no existe elevación entre el depósito del sistema y la bomba hidráulica, se elige una bomba periférica para la alimentación del sistema que cumpla con las características.

## **8. RECOMENDACIONES**

1. Implementar a futuro un banco físico con sistema calefactor y de enfriamiento para alterar los parámetros del fluido por variación de temperatura y estudiar el efecto sobre caídas de presión en los dos materiales.
2. Implementar a futuro transductores de presión o caudal para detectar cambios en el comportamiento del fluido, procesar la señal resultante y llevar la funcionalidad a un entorno virtual.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cengel, Y. (2019). Termodinámica. (9a. ed.) McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2012 Valera. J. (2005) Apuntes de Física. México, D.F: Proyecto Papime.
- Flórez Fernández, H. A. (2012). Programación orientada a objetos usando java. Bogotá, Colombia: Eco Ediciones.
- Hatum, P. A. F. (2018). Guía de laboratorio de mecánica de fluidos. Santa Marta. Editorial Unimagdalena.
- Heras, S. d. (2011). Fluidos, Bombas en instalaciones Hidráulicas. Barcelona: UPCGRAU
- I. Martín, R. Salcedo, R. Font. (2011). MECÁNICA DE FLUIDOS. California. Universidad de alicante.
- Jiménez, S. D. (2012). Mecánica de fluidos en ingeniería. Barcelona: Iniciativa Digital Politécnica
- Landáu, L. D. (1991). Mecánica de Fluidos. vol. IV. Moscú: Reverte.
- Luszczewski. A. (1999). Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores. (1a. ed.) editorial reverté, S.A. España.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2015). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS. Bogotá - Colombia: Republica de Colombia.
- Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. México: Pearson.
- Ortíz, J. E. (2006). Mecánica de los fluidos e hidráulica. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Ortiz, F. R. (2011). Hidráulica: Generación de energía. Bogotá: Ediciones de la U, 2011

P. E. P. (2013). Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de las Empresas Públicas. Medellín - Colombia: Empresas Públicas de Medellín. E. S. P.

Peñaranda, C. (2018). Mecánica de fluidos. Ecoe Ediciones.

Streeter V. y Wylie E. B. 9na edición. Mecánica de los Fluidos. Ed. McGraw-Hill.

Zacarías, S. A., González, L. J., & Granados, M. A. (2017). Mecánica de fluidos: Teoría con aplicaciones y modelado. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria, 2017.

### **CONSULTAS EN PÁGINAS ELECTRÓNICAS**

Acevedo Nelson Wordpress (01 de SEPTIEMBRE de 2014). Física de fluidos y termodinámica. Obtenido de <https://acevedonelson.wordpress.com/acerca-de/segundo-corte/hidrodinamica/>

Agrotecnologías (05 de ENERO de 2020). Bombas industriales especializadas. Obtenido de <http://agrotecnologias.com/categoria-producto/bombas/>

ARMFIELD LIMITED. (01 de ENERO de 2019). ARMFIELD. Obtenido de <http://discoverarmfield.com/en>

Bomba desplazamiento positivo bomba reciproca bombas rotatorias. [PDF]. Obtenido de: [https://www.academia.edu/9393865/BOMBA\\_DESPLAZAMIENTO\\_POSITIVO\\_BOMBA\\_RECIPROCAS\\_BOMBA\\_ROTATORIAS](https://www.academia.edu/9393865/BOMBA_DESPLAZAMIENTO_POSITIVO_BOMBA_RECIPROCAS_BOMBA_ROTATORIAS)

Comerbom S.A. de C.V. (13 de MARZO de 2017). Mantenimiento e instalación de equipos industriales. Obtenido de <https://comerbom.mx/>

Edibon. (01 de Enero de 2016). Edibon International. Obtenido de <https://www.edibon.com/es/>

Empresa de Acueducto de Bogotá. (10 de SEPTIEMBRE de 2014). Reglamento de urbanizadores y constructores Acueducto de Bogotá. Obtenido de [https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2015ag/informacion\\_ley/Resoluc0755\\_2014.pdf](https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2015ag/informacion_ley/Resoluc0755_2014.pdf)

Hernán León wordpress (16 de OCTUBRE de 2016). Física termodinámica. Obtenido de

<https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/tension-superficial/>

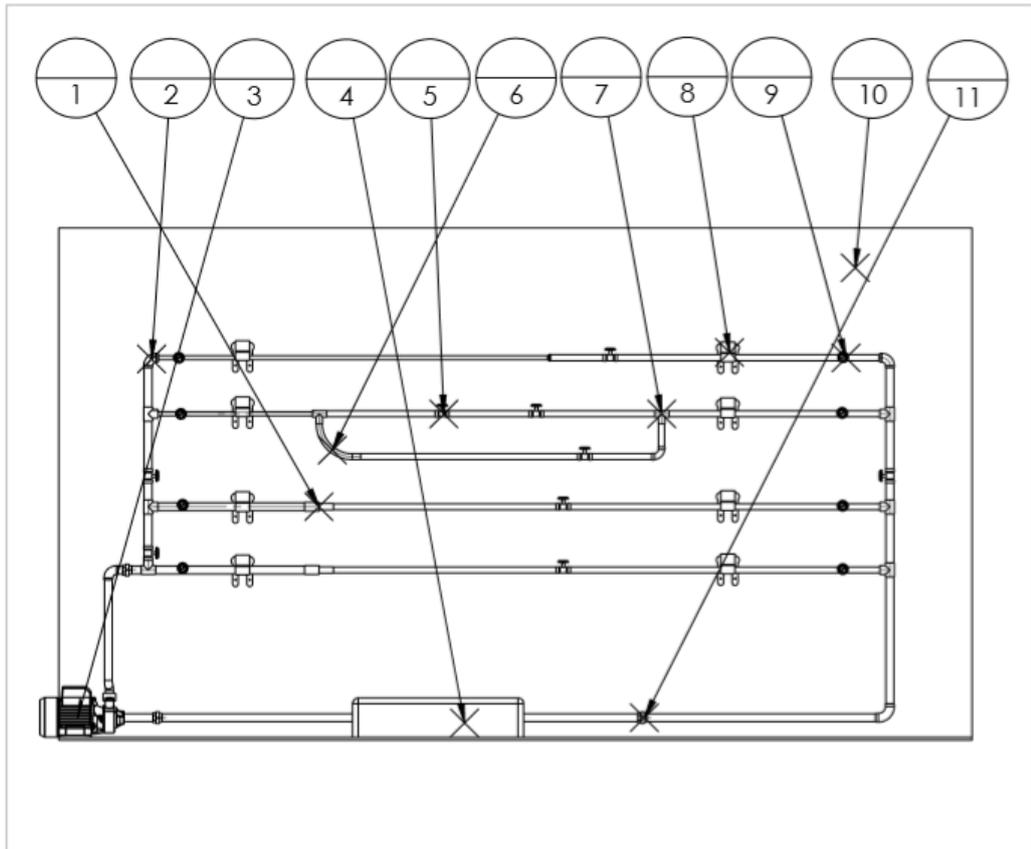
ICL-didáctica. (1 de ENERO de 2018). ICL DIDACTICA LTDA. Obtenido de <https://www.icl-didactica.com/>

Seguas aire comprimido y frio industrial (24 octubre 2014). Seguas proyectos de ingeniería. Obtenido de <https://www.seguas.com/servicios/proyectos-ingenieria/>

# ANEXOS

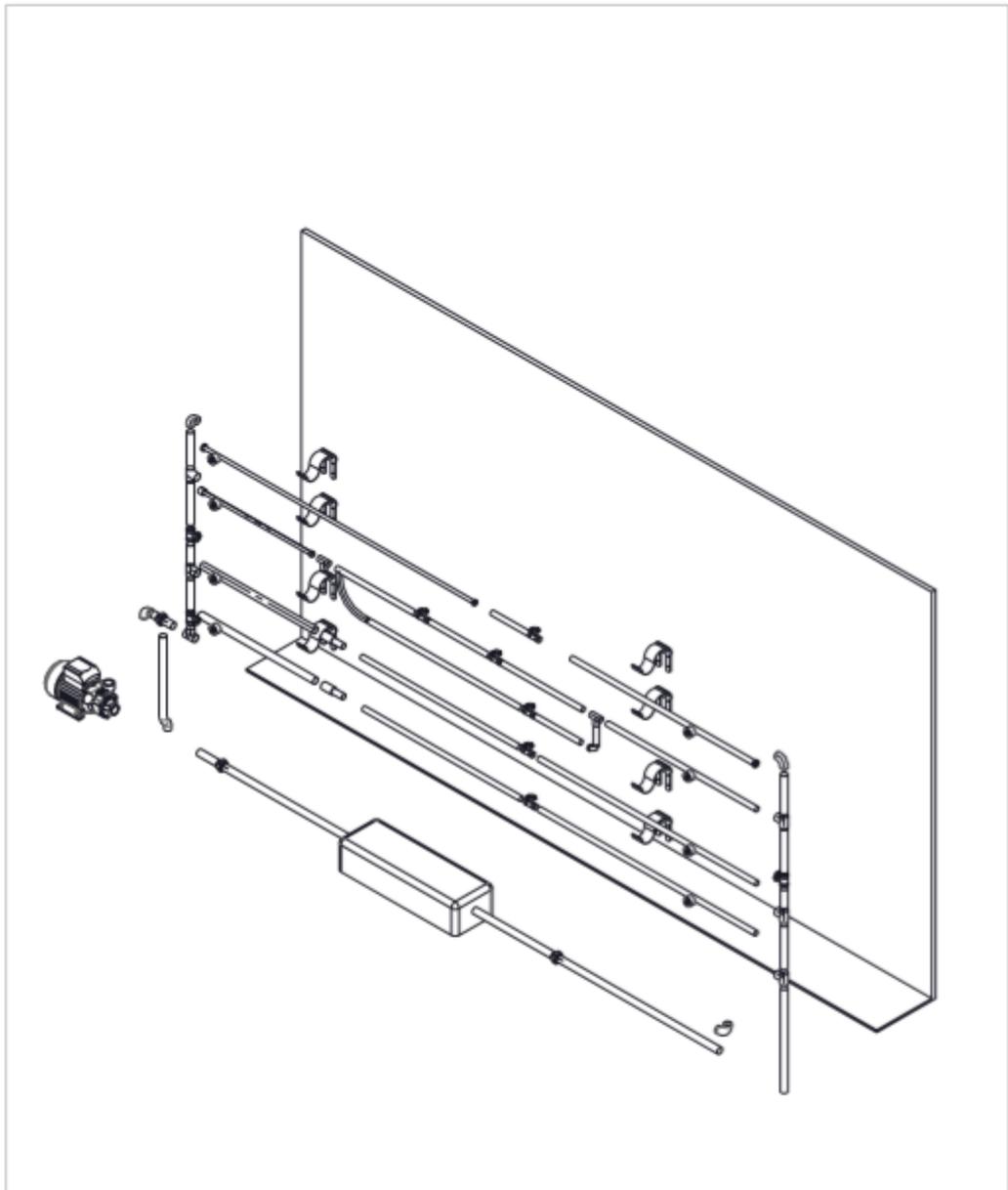
- Anexo A: Planos del banco y accesorios
- Anexo B: Características de la bomba
- Anexo C: Formula flexión tubería PVC
- Anexo D: Guías de Laboratorio
- Anexo E: Propiedades Físicas del Agua
- Anexo F: Rugosidades de tipos de material
- Anexo G: Tabla de dimensiones para tuberías
- Anexo H: Diagrama de Moody
- Anexo I: Hojas de cálculo para ensayos JAVA
- Anexo J: Coeficientes de resistencias para válvulas

## Anexo A. Planos del banco y accesorios

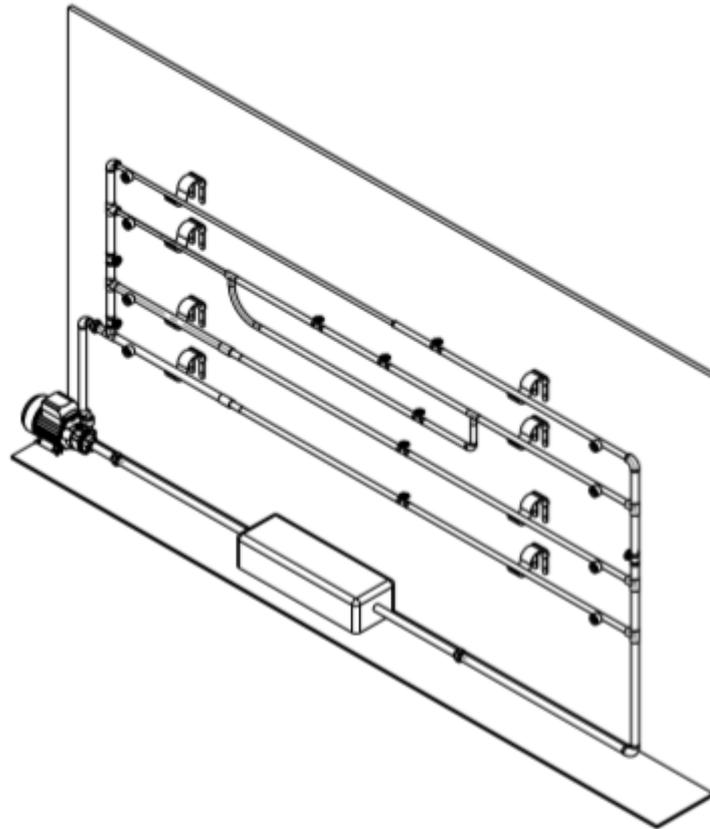


11	3	Acople Universal
10	1	Soporte o base
9	8	manometro de 0 a 116 psi
8	8	Abrazadera tipo S para tubería
7	8	Union en T
6	1	Union vuelta a 90
5	9	Valvula de globo
4	1	Deposito
3	1	Bomba periferica monofasica de 1/2 hp
2	5	Codo estandar a 90
1	10	Expansion y reduccion subita
Marca	Cant.	Designacion y observacion

DISEÑADO POR: Sergio Andres Espinosa Carlos Humberto Alvarado		INSTITUCION: <b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>	
REVISADO POR: Ing. Jhon Rios 5/02/2020		CONJUNTO: <b>DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDACTICO HIDRAULICO PARA LA DETERMINACION DE PERDIDAS DE ENERGIA POR FRICCION DEL AGUA EN TUBERIAS PVC Y ACEERO INOXIDABLE</b>	
TAMAÑO: <b>A4</b>		TÍTULO: <b>PLANO DEL CONJUNTO</b>	
ESCALA: <b>1:7</b>	PLANO NO.:	PIEZA NO.:	MATERIAL: PVC y Acero Inoxidable

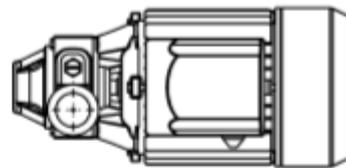
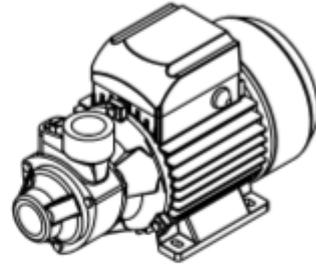


DISEÑADO POR: Sergio Andres Espinosa Carlos Humberto Alvarado		INSTITUCIÓN: <b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>	
REVISADO POR: Ing. Jhon Rios 5/02/2020		CONJUNTO: <b>DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDACTICO HIDRAULICO PARA LA DETERMINACION DE PERDIDAS DE ENERGIA POR FRICCION DEL AGUA EN TUBERIAS PVC Y ACEERO INOXIDABLE</b>	
TAMAÑO: <b>A4</b>		TÍTULO: <b>CONJUNTO EXPLOSIONADO</b>	
ESCALA: <b>1:7</b>	PLANO No.:	PIEZA No.:	MATERIAL: PVC y Acero Inoxidable



DISEÑADO POR: Sergio Andres Espinosa Carlos Humberto Alvarado		INSTITUCIÓN: <b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>	
REVISADO POR: Ing. Jhon Rios 5/02/2020		CONJUNTO: <b>DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDACTICO HIDRAULICO PARA LA DETERMINACION DE PERDIDAS DE ENERGIA POR FRICCION DEL AGUA EN TUBERIAS PVC Y ACEERO INOXIDABLE</b>	
TAMAÑO: <b>A4</b>		TÍTULO: <b>VISTA ISOMETRICA DEL CONJUNTO</b>	
ESCALA: <b>1:7</b>	PLANO N°:	PIEZA N°:	MATERIAL: PVC y Acero inoxidable

MOTOR MOFASICO DE 1/2 HP



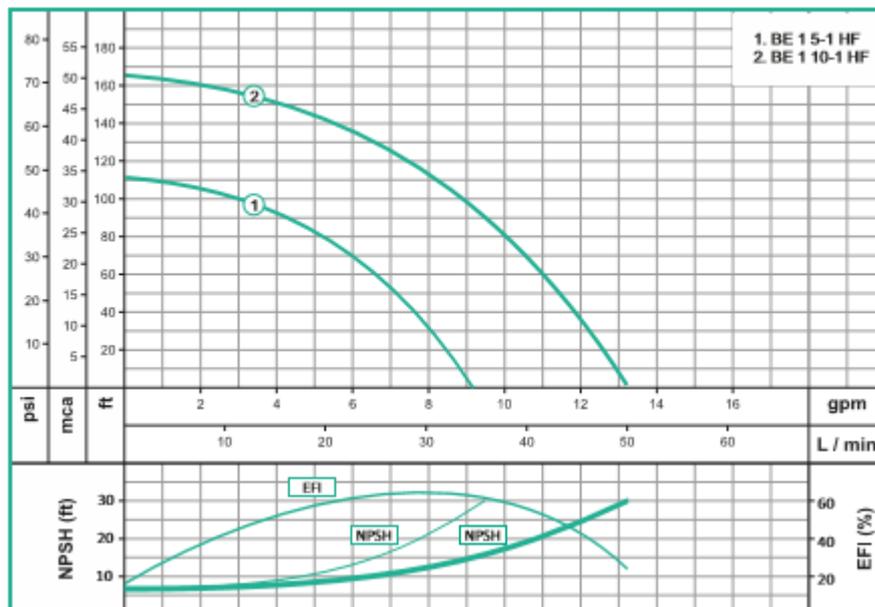
DISEÑADO POR: Sergio Andres Espinosa Carlos Humberto Alvarado		INSTITUCION: <b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>	
REVISADO POR: Ing. Jhon Rios 5/02/2020		CONJUNTO: <b>DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDACTICO HIDRAULICO PARA LA DETERMINACION DE PERDIDAS DE ENERGIA POR FRICCION DEL AGUA EN TUBERIAS PVC Y ACEERO INOXIDABLE</b>	
TAMAÑO: <b>A4</b>		TÍTULO: <b>BOMBA PERIFERICA</b>	
ESCALA: <b>1:7</b>	PLANO No:	PIEDA No:	MATERIAL:

## Anexo B. Características de la bomba

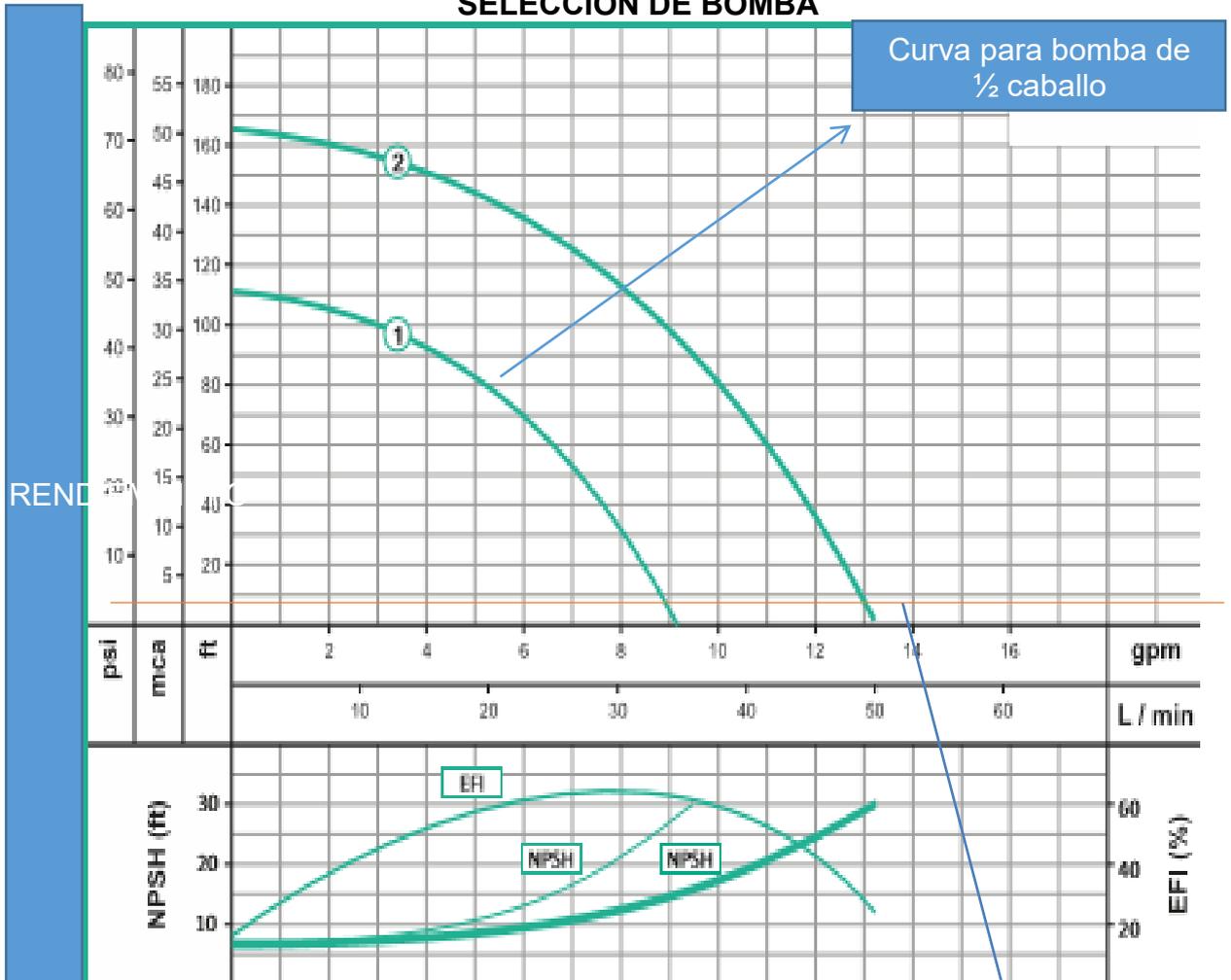
Características de la bomba	
Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Succión	1" NPT
Descarga	1" NPT
Tipo de impulsor	Abierto <small>Balancado dinámicamente según ISO G6,3</small>
Cantidad de impulsores	1
Tipo de sello	Sello mecánico 5/8" TIPO 6
Temperatura Max. Líquido	104° F (40 ° C) Continua

Características del Motor	
Tipo	Eléctrico
Potencia	0.5 o 1.0 (Según modelo)
Diseño	N/A
Velocidad	3.450 RPM (nominal)
Aislamiento	Clase B
Voltaje	110/220
Factor de servicio	1.0
Frecuencia	60Hz
Fases	1

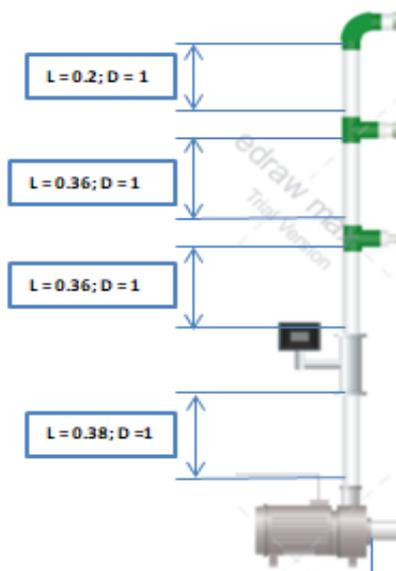
Modelo	Ref.	Potencia (HP)	Voltaje (v)	Amperaje (+Fs)	H max. (mca) *	Q max. (GPM) **	Succión	Descarga	Peso (Kg)
BE 1 5-1 HF	E0280	0.5	110/220	4.9	35	8	1"	1"	4.9
BE 1 10-1HF	E0326	1.0	110/220	10.0	55	10	1"	1"	9.3



## SELECCIÓN DE BOMBA



Para una altura de 4.2 pies se genera aproximadamente 2 psi, esta condición cuando la posición de todas las válvulas del sistema están normalmente abiertas.



Indicación de sumatoria de distancias para altura total del sistema

La relación entre la carga de succión positiva neta requerida (NPSH<sub>R</sub>) y la carga de succión positiva disponible (NPSH<sub>A</sub>) es determinada mediante:

$$M = (NPSH_A) - (NPSH_R)$$

Donde:

(NPSH<sub>R</sub>) = 0 (no existe altura para el punto de succión)

Evidentemente se cumple la condición (NPSH<sub>A</sub>) > 1.10 (NPSH<sub>R</sub>); dicha condición establecida por la normatividad ANSI

Calculo de la (NPSH<sub>A</sub>) :

$$(NPSH_A) = (h_{sp}) \pm (h_s - h_f - h_{vp})$$

(Presión absoluta) = (presión atmosférica) + (presión manométrica en el tanque)

$$(P_{abs}) = 100.5 \text{ Kpa} - 0$$

$$(h_{sp}) = (P_{abs}) / \gamma = (100.5 \times 10^3 \text{ N/m}^2) / (9.75 \times 10^3 \text{ N/m}^3) = 10.307 \text{ m}$$

$h_s = 0$ ; no existe elevación en el tanque

$$v = Q / A = (35,77653885 \text{ L/min}) / (5,55716 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 1,0729 \text{ m/s}$$

$$N_R = \frac{v * D * \rho}{\eta} = 31936,9823$$

Donde:

$$\eta = 8.91 \times 10^{-4} \text{ Pa*s}$$

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$D/e = 2,6 \times 10^{-2} \text{ m} / 1,5 \times 10^{-3} = 17733,33333$$

Factor de fricción en la tubería (F<sub>r</sub>) = 0,023208058

Factor de fricción total (F<sub>T</sub>) = 0.023

$$h_f = Fr (L/D)(v^2/2g) + F_T (30)(v^2/2g) + 0.5(v^2/2g) = (v^2/2g)(Fr (L/D) + F_T (30) + 0.5) = 0.0713 \text{ m}$$

$h_{vp} = 0.2388 \text{ m}$  ( para 20 °C de la tabla 13.2 capítulo 13 Robert Mott sexta edición)

$$(NPSH_A) = 10.307 \text{ m} + 0.0713 \text{ m} + 0.2388 \text{ m} = 10.6171 \text{ m}$$

## Anexo C. Formula flexión tubería PVC

Cuando se hacen trabajo con tubería PVC muchas veces hay que realizar cambio de dirección por esos se realiza una deflexión máxima permitida por el fabricante. Que es aproximadamente de 5%

$$S_b = (HDB - S_t) \frac{T}{F}$$

Donde:

HDB: presión hidrostática en el diseño, (kg/cm<sup>2</sup>), en el caso del PVC 280 kg/cm<sup>2</sup>

S<sub>b</sub>: Esfuerzo flexionante máximo permitido

S<sub>t</sub>: HDB/2 Esfuerzo a la tensión longitudinal, (kg/cm<sup>2</sup>), para tubos sin presión es igual a cero

T = Factor de temperatura, (1)

F = Factor de seguridad, 2.0 para tubo según su presión de trabajo (RD's y Clases) y 2.0 para tubo sin presión.

Esfuerzo Flexionante Permisibles es:

$$S_b = ( 280 - \frac{280}{2} ) \frac{1.0}{2.0} = 70 \text{ kg/cm}^2 )$$

### Momento Flexionante

La relación entre el esfuerzo inducido al tubo por la deflexión longitudinal, es:

$$M = \frac{S_b I}{c}$$

M = Momento flexionante (Kg·cm)

c = DE/2 = Distancia entre la parte externa del tubo y el eje neutral (cm)

I = 0.049087 (DE<sup>4</sup> - DI<sup>4</sup>) = Momento de Inercia (cm<sup>3</sup>)

DEprom = Diámetro Externo promedio del tubo (cm)

DIprom = DE - 2e = Diámetro Interno promedio del tubo (cm)

eprom = Espesor de pared promedio (cm)

### Radio Mínimo de Curvatura

Usando la ecuación de Timoshenko:

$$R_b = \frac{EI}{M}$$

Siendo: E = Módulo de elasticidad del material, (28,129.4 kg/cm<sup>2</sup>)

## Anexo D: Guías de Laboratorio

### Guía 1



Una Universidad con Presencia  
Nacional y Vocación Regional

### **SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE CAÍDAS DE PRESIÓN EN TUBERÍAS CON DIFERENTE DIÁMETRO NOMINAL A PARTIR DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA.**

#### **FACULTAD:**

INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA

#### **ASIGNATURA:**

MECÁNICA DE FLUIDOS

#### **PROFESOR:**

INGENIERO JOHN RÍOS

#### **ESTUDIANTES:**

SERGIO ANDRÉS ESPINOSA / Cód. 1014203649

CARLOS HUMBERTO ALVARADO / Cód. 11131519058

#### **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo del ensayo se ejecuta mediante un software denominado JAVA para la animación de componentes básicos de un sistema hidráulico e interacción con las variables físicas mediante simulación. En esta presente simulación se ejecuta la variación de la temperatura para alterar las distintas caídas de presión en los diferentes diámetros nominales del sistema de tubería.

El cambio de las propiedades físicas del agua, afecta directamente la magnitud del número de Reynolds como se observa en la siguiente relación:

## NUMERO DE REYNOLDS

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

*Dónde:*

$N_R$  = *numero de Reynold (Adimencional)*

$v$  = *velocidad del fluido en (m<sup>2</sup>/s)*

$D$  = *diametros del tubo en (m)*

$\rho$  = *densidad del agua a 25 °C en (kg/m<sup>3</sup>)*

$\eta$  = *viscocidad dinamica en (Pa \* s)*

Si existe un cambio en la magnitud del número de número de Reynolds en función de la temperatura, automáticamente se afecta el factor de fricción para la tubería del sistema hidráulico como se describe en la siguiente relación:

## DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN PARA UN FLUJO TURBULENTO

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{1}{3,7 * (D / \epsilon)} + \frac{5,74}{(N_R)^2} \right) \right)^2}$$

*Dónde:*

$\frac{D}{\epsilon}$  = *rugosidad relativa (adimencional)*

### SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN TUBO

$$A = \pi r^2$$

*Dónde:*

$A$  = *area en (m<sup>2</sup>)*

$r$  = *radio del tubo en (m)*

$$\pi = 3.141516$$

## OBJETIVO

Analizar las caídas de presión en un circuito de tuberías en serie con diferentes diámetros nominales a partir del cambio de las propiedades físicas del fluido por variación de la temperatura.

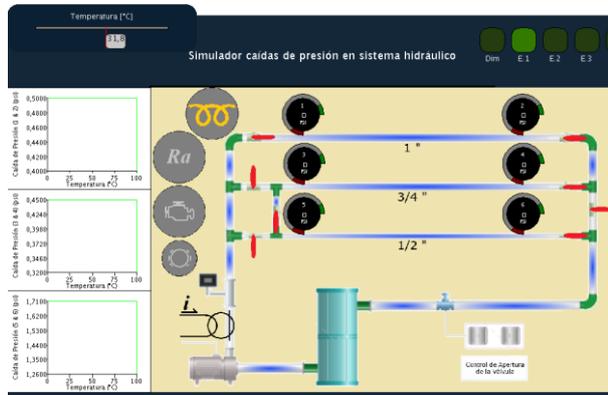
## METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En un trayecto de tubería en serie, se requiere analizar caídas de presión en tramos de longitud de 1,66 m para diámetros nominales de 1, ¾ y ½ pulgada a partir del cambio de las propiedades físicas del agua por variación de la temperatura en un rango de 20 °C a 60 °C

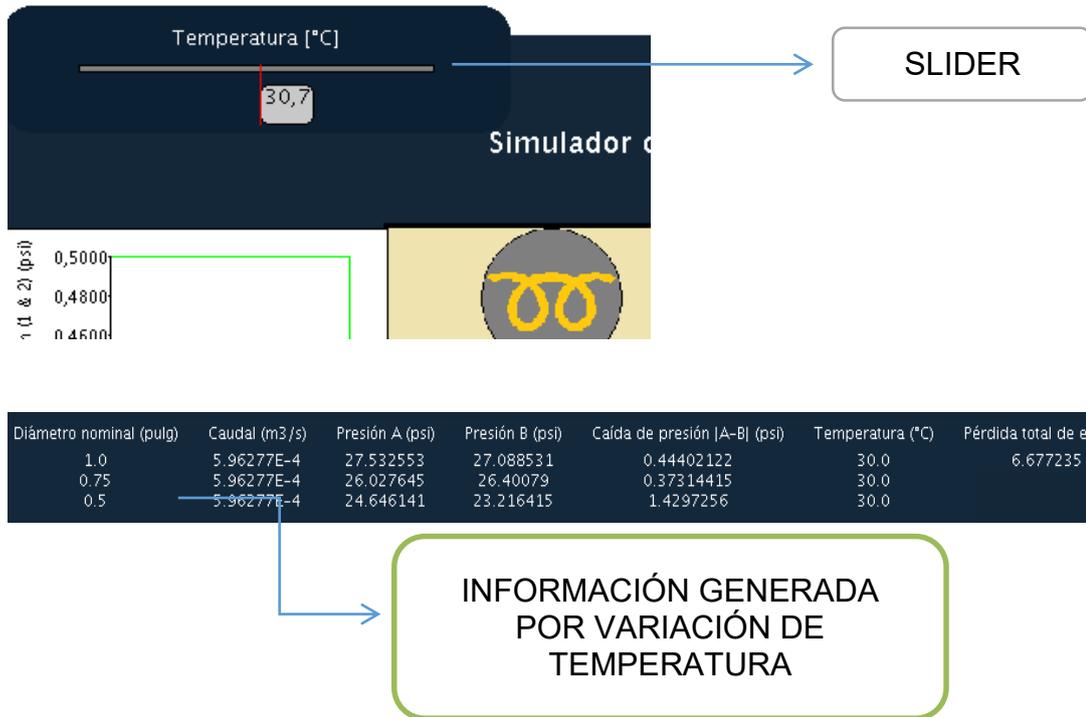
Registrar información en un modelo de tabla propuesto, graficar caídas de presión por variación de temperatura y determinar conclusiones relevantes una vez culminado el ensayo virtual.

El siguiente procedimiento resume los pasos a realizar durante el ensayo:

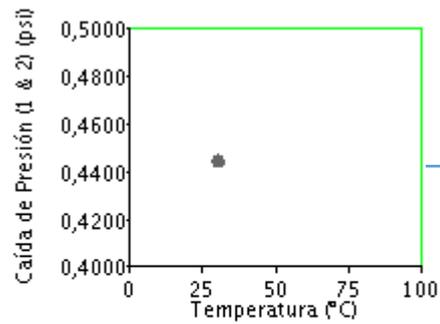
1. Habilitar la interfaz gráfica en JAVA
2. Seleccionar la configuración la configuración para el ensayo 1 (E.1)



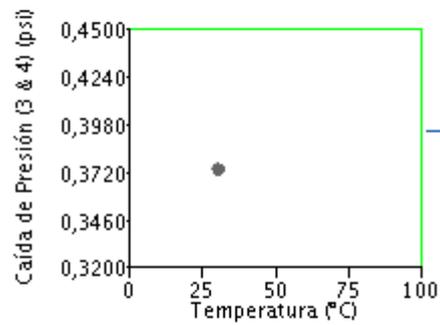
3. Verificar la posición de las válvulas para corroborar con el análisis de del trayecto de tubería, en este caso se habilitara los ramales de tubería con diámetro nominal 1,1/2,3/4 de pulgada.
4. Mover el slider virtual para generar la variación de la temperatura.
5. Corroborar la información generada por la interfaz gráfica acerca de la variación de presión que ocurre en el sistema



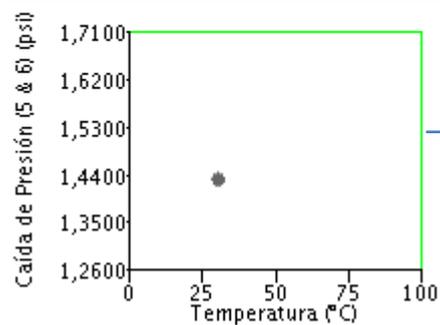
6. Verificar las gráficas que relacionan directamente las caídas de presión y la temperatura en los tres tipos de diámetros nominales.



INFORMACIÓN PARA  
DIÁMETRO NOMINAL  
DE 1 PULG.



INFORMACIÓN PARA  
DIÁMETRO NOMINAL DE  
3/4 PULG.



INFORMACIÓN PARA  
DIÁMETRO NOMINAL DE 1/2  
PULG.

7. Diligenciar tabla de información y desarrollar una gráfica en la que se relacione la caída de presión versus temperatura para los tres tipos de diámetros
8. Modelo de tabla para toma de datos a diferentes temperaturas

Diámetro nominal en pulg.	Caudal en m <sup>3</sup> /s	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	Temperatura en °C
						20
						25
						30
						35
						40
						45
						50
						55
						60
						60

Fuente: Autores.

9. Diligenciar cuadro de conclusiones una vez se haya realizado el ensayo y resolver el cuestionario propuesto.

## MATERIALES Y EQUIPOS

1. Software JAVA versión 8 actualizada para Windows
2. Archivo para la ejecución de la Interfaz gráfica en JAVA
3. Calculadora Científica
4. Software Excel versión actualizada

## DATOS Y RESULTADOS

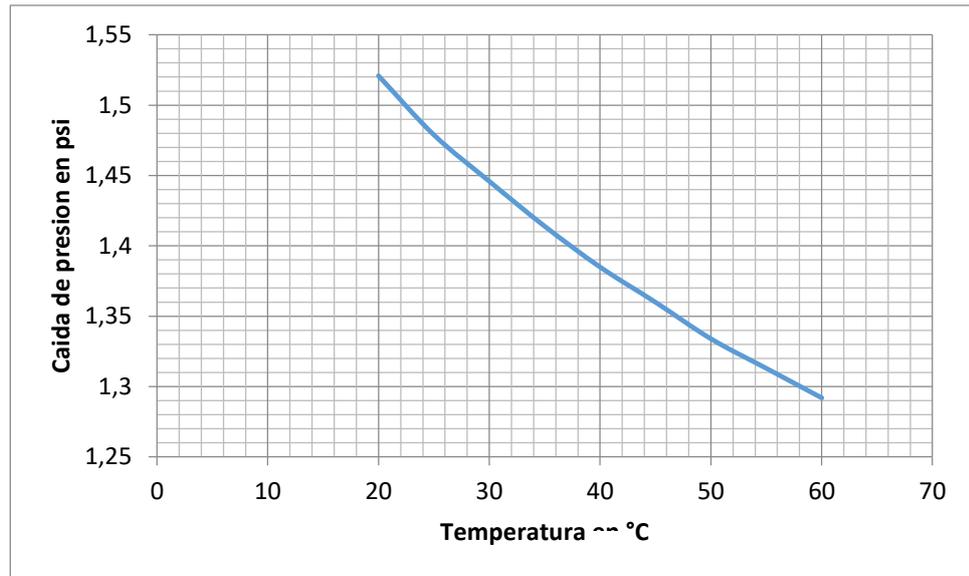
Los siguientes resultados mediante la ejecución del ensayo, son con referencia al diámetro nominal de media pulgada, se espera que futuros usuarios de la interfaz analicen la información para los demás tipos de diámetros.

### Toma de datos para tubería de 1/2 de pulgada

Diámetro nominal	Caudal en m <sup>3</sup> /s	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	Temperatura en °C
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,584	23,063	1,521	1,66	20
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,615	23,136	1,479	1,66	25
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,64	23,194	1,446	1,66	30
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,67	23,255	1,414	1,66	35
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,697	23,311	1,385	1,66	40
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,722	23,362	1,36	1,66	45
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,747	23,412	1,334	1,66	50
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,77	23,457	1,313	1,66	55
1/2 pulg	6x10 <sup>-4</sup>	24,792	23,499	1,292	1,66	60

Fuente: Autores.

**Caída de presión en función de la variación de temperatura en tubería de 1/2 pulgada para un caudal de 35,77 L/min**



Fuente: Autores

## CUESTIONARIO

1. Diligenciar la tabla propuesta para los diámetros nominales de 1 y  $\frac{3}{4}$  de pulgada con la respectiva gráfica, la cual indica la caída de presión versus temperatura.
2. Se requiere hallar la caída de presión en un tramo de tubería con posición vertical si la pérdida de energía total es de 6.85 m cuando la temperatura es de 25 °C
3. Se sabe que en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m, diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y posición vertical, existe una caída de presión de 0.37 psi, hallar la pérdida de energía total en dicho tramo cuando la temperatura es de 30 °C. La tubería es en PVC cuya rugosidad es de 0.0015 mm.
4. Resolver el anterior problema con una temperatura a 15 °C y caída de presión 0.406 psi y determinar la variación que existe en la pérdida de energía para el tramo de tubería cuando se emplea la temperatura de 30°C

## CUADRO DE CONCLUSIONES:

Ejemplos :	Actividad propuesta:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se verifico la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico constante de 35.77 L/min, variando la temperatura. En una tubería con diámetro nominal de ½ pulgada, la diferencia de presión disminuye si ocurre un aumento en la temperatura.</li><li>• En este ensayo se trabajó con una rugosidad constante de 0.0015 mm correspondiente al material PVC. La rugosidad es un factor que también podría alterar la caída de presión.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Determinar la caída de presión para los diámetros de 1 y ¾ de pulgada y analizar el efecto que tiene la variación de la temperatura en el sistema. Determinar como mínimo tres conclusiones.</li></ul>

Fuente: Autores.

## REFERENCIAS

1. HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES; Arturo Rocha Felices
2. INGENIERÍA HIDRÁULICA: PROBLEMAS RESUELTOS; (Nanía, Leonardo S, Ortiz Rossini, Pablo; Ortega Sánchez, Migue).
3. Técnicas de modelación en hidráulica; (Vergara Sánchez Miguel A.)
4. Manual de hidráulica; (Azevedo Netto J. M. de)

**SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN UN TRAMO DE  
TUBERÍA CON DIÁMETRO NOMINAL DE 1/2 PULGADA A PARTIR DEL  
CAMBIO DE LA RUGOSIDAD DEL MATERIAL**

**FACULTAD:**

INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA

**ASIGNATURA:**

MECÁNICA DE FLUIDOS

**PROFESOR:**

INGENIERO JOHN RÍOS

**ESTUDIANTES:**

SERGIO ANDRÉS ESPINOSA / Cód. 1014203649

CARLOS HUMBERTO ALVARADO / Cód. 11131519058

**INTRODUCCIÓN**

El desarrollo del ensayo se ejecuta mediante un software denominado JAVA para la animación de componentes básicos de un sistema hidráulico e interacción con las variables físicas mediante simulación. En la presente simulación se modifica el valor de la rugosidad del material en un sistema de tubería con determinado diámetro nominal para alterar la caída de presión.

### Rugosidades para distintos materiales

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Manual de hidráulica; (Azevedo Netto J. M. de)

El cambio de la rugosidad relativa (relación entre el diámetro interno y la rugosidad del material), afecta la magnitud del factor de fricción como se ilustra en la siguiente relación:

#### DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN PARA UN FLUJO TURBULENTO

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{1}{3,7 * (D / \epsilon)} + \frac{5,74}{(N_R)^2} \right) \right)^2}$$

Donde :

$$\frac{D}{\epsilon} = \text{rugosidad relativa (adimensional)}$$

SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN TUBO

$$A = \pi r^2$$

Donde :

$$A = \text{area en (m}^2\text{)}$$

$$r = \text{radio del tubo en (m)}$$

$$\pi = 3.141516$$

#### OBJETIVO

Analizar las caídas de presión en un tramo de tubería para un diámetro nominal de ½ pulgada a partir del cambio de la rugosidad del material.

#### METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

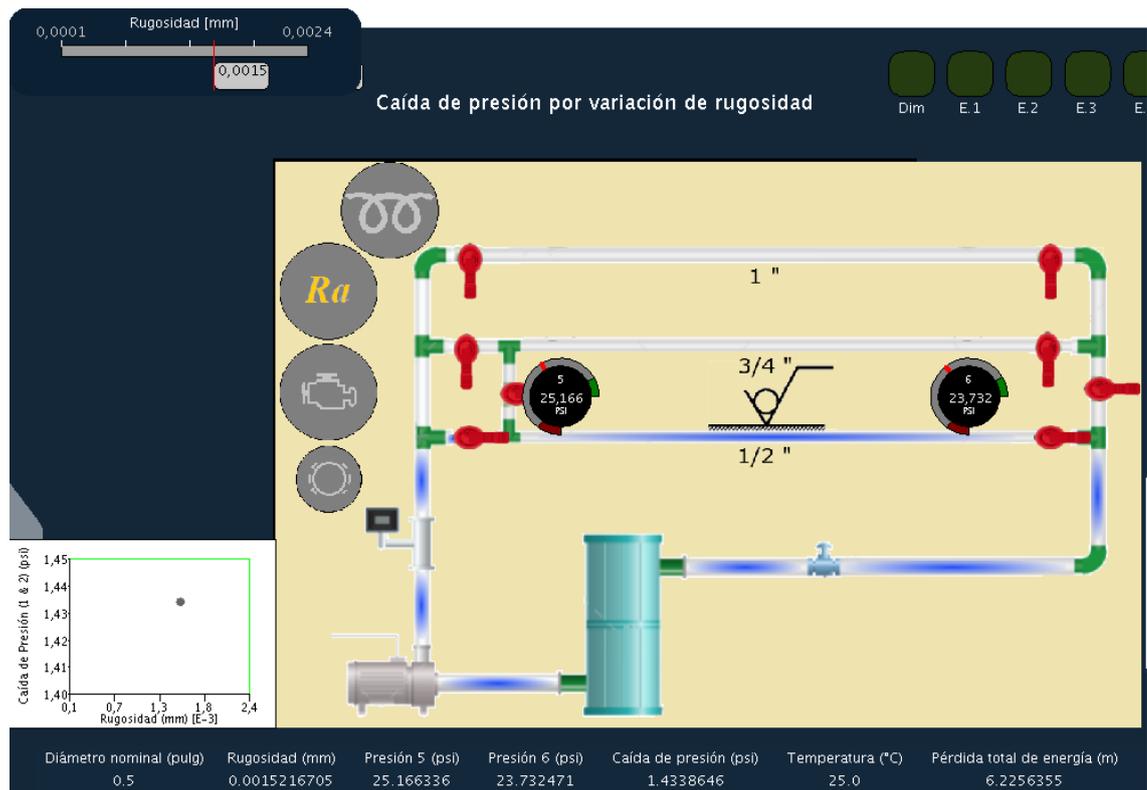
En un tramo de tubería de ½ pulgada, se requiere analizar caídas de presión en un tramo de longitud de 1.66 m a partir de la variación de la rugosidad de la tubería, inicialmente se trabaja con una rugosidad de 0.0015 mm correspondiente al PVC y posteriormente seleccionar mínimo seis valores de

rugosidades adicionales de diferentes materiales para el análisis a temperatura ambiente 25 °C y caudal constante 35.77 L/min.

Registrar información en un modelo de tabla propuesto, graficar caídas de presión por variación de la rugosidad del material y determinar conclusiones relevantes una vez culminado el ensayo virtual.

El siguiente procedimiento resume los pasos a realizar durante el ensayo:

1. Habilitar la interfaz gráfica en JAVA
2. Seleccionar la configuración la configuración para el ensayo 2 (E.2)



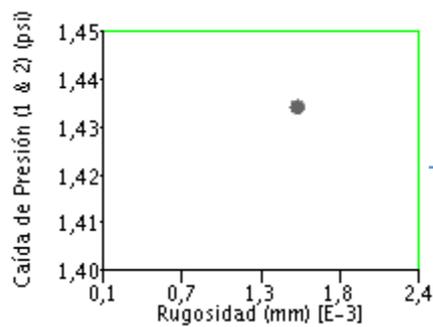
3. Verificar la posición de las válvulas para corroborar con la el análisis de del trayecto de tubería, en este caso se habilitara los ramales de tubería con diámetro nominal 1/2 de pulgada.
4. Mover el slider virtual para generar la variación de rugosidad.
5. Corroborar la información generada por la interfaz gráfica acerca de la variación de presión que ocurre en el sistema.



Diámetro nominal (pulg)	Rugosidad (mm)	Presión 5 (psi)	Presión 6 (psi)	Caída de presión (psi)	Temperatura (°C)	Pérdida total de energía
1.0	0.14916296	25.021143	22.358644	2.6624985	25.0	1.4591656

INFORMACIÓN GENERADA POR VARIACIÓN DE TEMPERATURA

6. Verificar las gráficas que relacionan directamente las caídas de presión y las distintas rugosidades en el diámetro nominal de 1/2 pulgada.



INFORMACIÓN PARA DIÁMETRO NOMINAL DE 1/2 PULG.

7. Diligenciar la tabla de información y desarrollar una gráfica en la que se relacione la caída de presión versus rugosidades.

#### Modelo de tabla para toma de datos.

Diámetro nominal en pulg.	Rugosidad del material en mm	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	Temperatura en °C
1/2					1.66	25
1/2					1.66	25
1/2					1.66	25
1/2					1.66	25
1/2					1.66	25
1/2					1.66	25

Fuente: Autores.

8. Diligenciar cuadro de conclusiones una vez se haya realizado el ensayo y resolver el cuestionario propuesto.

#### MATERIALES Y EQUIPOS

1. Software JAVA versión 8 actualizada para WINDOWS
2. Archivo para la ejecución de la Interfaz gráfica en JAVA
3. Calculadora Científica
4. Software Excel versión actualizada

## DATOS Y RESULTADOS

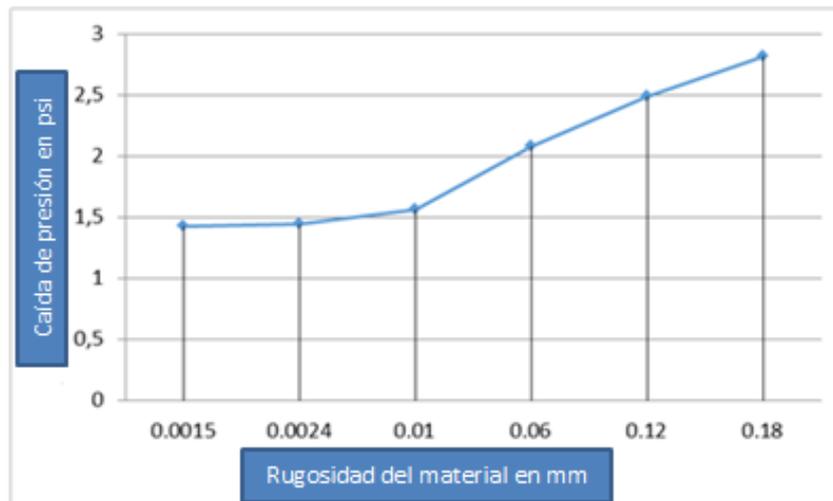
Los siguientes resultados mediante la realización del ensayo, son con referencia al diámetro nominal de media pulgada, se espera que futuros usuarios de la interfaz analicen la información para los demás tipos de diámetros.

### Toma de datos para tubería de 1/2 de pulgada

Diámetro nominal	Rugosidad del material en mm	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	Temperatura en °C
1 / 2 pulg.	0.0015	25,181	23,752	1,429	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.0024	25,179	23,734	1,444	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.01	25,168	23,603	1,564	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.06	25,109	23,029	2,080	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.12	25,057	22,568	2,489	1.66	25
1 / 2 pulg.	0.18	25,015	22,201	2,814	1.66	25

Fuente: Autores.

### Caída de presión en función de la variación de la rugosidad del material para tubería de 1/2 pulgada para un caudal constante de 35,77 L/min



Fuente: Autores.

## CUESTIONARIO

1. Diligenciar la tabla propuesta para los diámetros nominales de 1 y  $\frac{3}{4}$  de pulgada y desarrollar la respectiva gráfica para indicar la caída de presión versus rugosidad del material.
2. Definir coeficiente de resistencia.
3. Determinar el factor de fricción para un sistema en un tramo de tubería de diámetro nominal de  $\frac{1}{2}$  pulgada en acero inoxidable que transporta agua a temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), cuya rugosidad es de 0.0024, el sistema opera con un caudal de 35.77 L/min.
4. Para el ejercicio anterior se requiere hallar la pérdida de energía en un tramo con longitud de 1.66 m y posteriormente la caída de presión si el peso específico es de  $9.75\text{ (kN/m}^3\text{)}$
5. Reconocer y describir las fuentes de pérdidas de energía menores y mayores correspondientes al sistema de tubería presentado en la interfaz gráfica para el ensayo número 2.

## CUADRO DE CONCLUSIONES:

Ejemplos :	Actividad propuesta:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se verifico la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico constante de 35.77 L/min, variando la rugosidad del material. En una tubería con diámetro nominal de <math>\frac{1}{2}</math> pulgada, la caída de presión aumenta cuando existe un incremento en el valor de la rugosidad.</li><li>• En este ensayo se trabajó con un caudal, presión y temperatura constantes.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Determinar la caída de presión para los diámetros de 1 y <math>\frac{3}{4}</math> de pulgada y comparar el efecto que tiene la variación en el tamaño de la tubería con el cambio de rugosidad</li></ul>

Fuente: Autores.

## REFERENCIAS

1. HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES; Arturo Rocha Felices
2. INGENIERÍA HIDRÁULICA: PROBLEMAS RESUELTOS; (Nanía, Leonardo S, Ortiz Rossini, Pablo; Ortega Sánchez, Migue).
3. Técnicas de modelación en hidráulica; (Vergara Sánchez Miguel A.)
4. Manual de hidráulica; (Azevedo Netto J. M. de)

**SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN UN TRAMO DE TUBERÍA CON DIÁMETRO NOMINAL DE  $\frac{3}{4}$  DE PULGADA A PARTIR DE LA VARIACIÓN DEL FLUJO VOLUMÉTRICO**

**FACULTAD:**

INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA

**ASIGNATURA:**

MECÁNICA DE FLUIDOS

**PROFESOR:**

INGENIERO JOHN RÍOS

**ESTUDIANTES:**

SERGIO ANDRÉS ESPINOSA / Cód. 1014203649

CARLOS HUMBERTO ALVARADO / Cód. 11131519058

**INTRODUCCIÓN**

El desarrollo del ensayo se ejecuta mediante un software denominado JAVA para la animación de componentes básicos de un sistema hidráulico e interacción con las variables físicas mediante simulación. En la presente simulación se modifica el valor del caudal en un sistema de tubería con determinado diámetro nominal para alterar la caída de presión

El cambio del flujo volumétrico afecta la magnitud de la carga de velocidad del fluido, modificando así también el número de Reynolds y finalmente el factor de fricción, esto produce una alteración en la caída de presión para distintos puntos del sistema hidráulico.

La ecuación de continuidad relaciona la velocidad lineal con la sección transversal para la determinación del caudal, esto mediante la siguiente expresión:

## CAUDAL EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD Y SECCIÓN TRANSVERSAL

$$Q = v * A$$

$$Q = \text{caudal en } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

La variación de pérdida de energía ocasionada por la variación del caudal es determinada por la ecuación de Darcy, este factor es muy importante para la determinación de la caída de presión entre dos puntos del sistema.

### ECUACION DE DARCY

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$$h_L = \text{perdida de energía en } \left(N * \frac{m}{m}\right)$$

$$L = \text{longitud del trayecto de la tubería en } (m)$$

Por último el caudal es dependiente de otros factores importantes como la rugosidad relativa y la velocidad cinemática por la siguiente relación:

$$Q = -2,22 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot D \cdot h_L}{L}} \cdot \log \left( \frac{1}{3,7 \cdot \left(\frac{D}{e}\right) + \frac{1,784 \cdot v}{D \cdot \sqrt{\frac{g \cdot D \cdot h_L}{L}}}} \right)$$

Donde:

$$v = \text{Viscosidad dinámica } (Pa*s)$$

## OBJETIVO

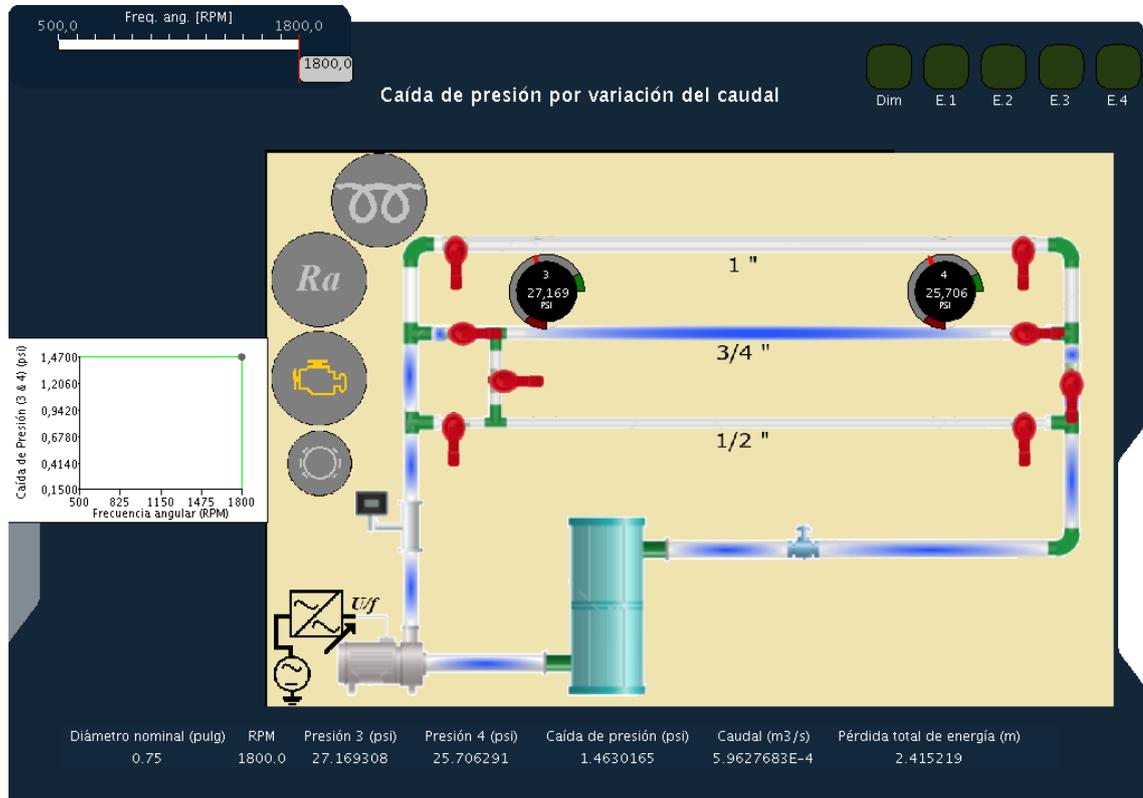
Analizar las caídas de presión en una tubería PVC con diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada a partir del cambio del flujo volumétrico o caudal del sistema.

## METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En un trayecto de tubería, se requiere analizar caídas de presión en tramos de longitud de 1.66 m para un diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada a partir del cambio del flujo volumétrico en un rango de 10 L/min a 35 L/min a temperatura ambiente 25 °C. Registrar información en un modelo de tabla propuesto, graficar caídas de presión por variación del caudal del sistema y determinar conclusiones relevantes una vez culminado el ensayo virtual.

El siguiente procedimiento resume los pasos a realizar durante el ensayo:

1. Habilitar la interfaz gráfica en JAVA
2. Seleccionar la configuración la configuración para el ensayo 1

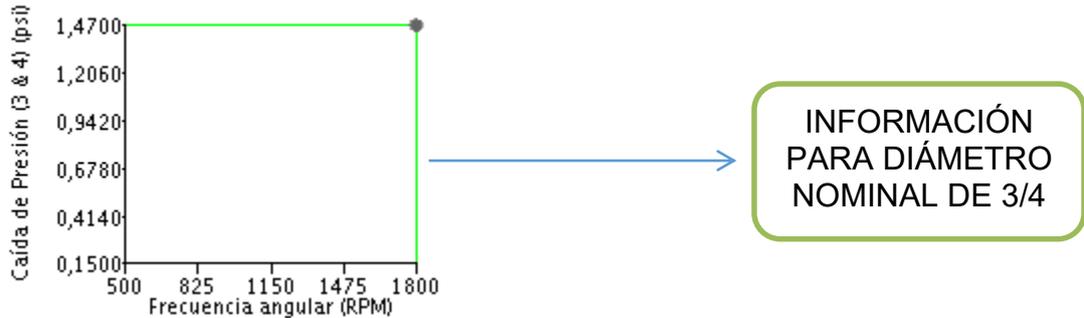


3. Verificar la posición de las válvulas para corroborar con el análisis del trayecto de tubería para el diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.
4. Mover el slider virtual para generar la variación de la temperatura.
5. Corroborar la información generada por la interfaz gráfica acerca de la variación de presión que ocurre en el sistema



INFORMACIÓN GENERADA  
POR VARIACIÓN DE  
TEMPERATURA

6. Verificar las gráficas que relacionan directamente las caídas de presión y la temperatura en los tres tipos de diámetros nominales.



7. Diligenciar tabla de información y desarrollar una gráfica en la que se relacione la caída de presión versus temperatura para los tres tipos de diámetros.

**Modelo de tabla para toma de datos.**

Diámetro nominal en pulg.	Caudal en m <sup>3</sup> /s	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	Temperatura en °C
						25
						25
						25
						25
						25
						25
						25
						25
						25
						25

Fuente: Autores.

8. Diligenciar cuadro de conclusiones una vez se haya realizado el ensayo y resolver el cuestionario propuesto.

**MATERIALES Y EQUIPOS**

1. Software JAVA versión 8 actualizada para Windows
2. Archivo para la ejecución de la Interfaz gráfica en JAVA
3. Calculadora Científica
4. Software Excel versión actualizada

## DATOS Y RESULTADOS

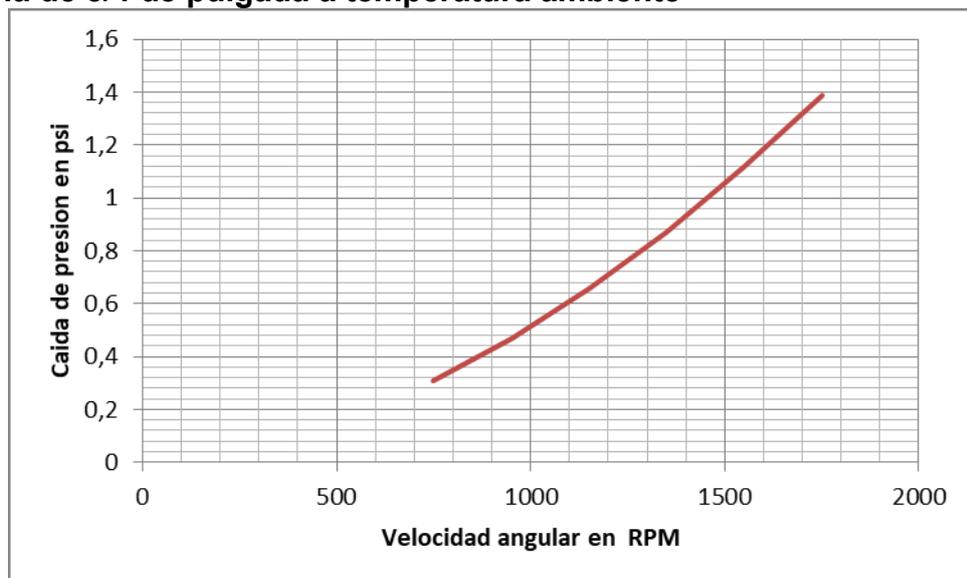
Los siguientes resultados mediante la realización del ensayo, son con referencia al diámetro nominal de media pulgada, se espera que futuros usuarios de la interfaz analicen la información para los demás tipos de diámetros.

### Toma de datos para tubería de 3/4 de pulgada

Diámetro nominal en pulg.	RPM	Presión 1 en psi	Presión 2 en psi	Diferencia o caída de presión	Distancia entre manómetros en m	CAUDAL EN L/MIN
3/4 pulg	750	9,740	9,432	0,308	1,66	14,9
3/4 pulg	950	13,065	12,597	0,467	1,66	18,8
3/4 pulg	1150	16,388	15,732	0,656	1,66	22,8
3/4 pulg	1350	19,709	18,837	0,872	1,66	26,8
3/4 pulg	1550	21,913	23,029	1,116	1,66	30,8
3/4 pulg	1750	26,348	24,961	1,386	1,66	34,7

Fuente: Autores.

### Caída de presión en función de la variación del caudal del sistema en tubería de 3/4 de pulgada a temperatura ambiente



Fuente: Autores.

## CUESTIONARIO

1. Diligenciar la tabla propuesta para los diámetros nominales de 1 y  $\frac{3}{4}$  de pulgada y desarrollar la respectiva gráfica para indicar el caudal versus caída de presión del sistema.
2. Describir un sistema de tubería clase uno, dos y tres.
3. Describir la diferencia entre un sistema de tubería en serie y un sistema en paralelo.

4. Determinar el caudal para un sistema hidráulico en un tramo de tubería de diámetro nominal de 3/4 pulgada en PVC que transporta agua a temperatura ambiente (25 °C), cuya rugosidad es de 0.0015, la longitud de dicho tramo es de 1.66m y la caída de presión entre los dos puntos es de 1.46 psi
5. Reconocer y describir las fuentes de pérdidas de energía menores y mayores correspondientes al sistema de tubería presentado en la interfaz gráfica para el ensayo número 3.

**CUADRO DE CONCLUSIONES:**

<b>Ejemplos :</b>	<b>Actividad propuesta:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se verifico la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico que cambia ente 10 L/min y 35 L/min. En una tubería con diámetro nominal de ¾ de pulgada, la caída de presión aumenta cuando existe un incremento en el valor del flujo volumétrico.</li> <li>• En este ensayo se trabajó con una rugosidad y temperatura constantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la caída de presión para los diámetros de 1 y ¾ de pulgada y comparar el efecto que tiene la variación en el tamaño de la tubería con el cambio del flujo volumétrico.</li> </ul>

**Fuente: Autores.**

## **REFERENCIAS**

1. HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES; Arturo Rocha Felices
2. INGENIERÍA HIDRÁULICA: PROBLEMAS RESUELTOS; (Nanía, Leonardo S, Ortiz Rossini, Pablo; Ortega Sánchez, Migue).
3. Técnicas de modelación en hidráulica; (Vergara Sánchez Miguel A.)
4. Manual de hidráulica; (Azevedo Netto J. M. de)

**SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRESIÓN GENERADA EN UN SISTEMA  
HIDRÁULICO A PARTIR DEL PORCENTAJE DE APERTURA EN UNA  
VÁLVULA GENERAL.**

**FACULTAD:**

INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA

**ASIGNATURA:**

MECÁNICA DE FLUIDOS

**PROFESOR:**

INGENIERO JOHN RÍOS

**ESTUDIANTES:**

SERGIO ANDRÉS ESPINOSA / Cod. 1014203649

CARLOS HUMBERTO ALVARADO / Cod. 11131519058

**INTRODUCCIÓN**

El desarrollo del ensayo se ejecuta mediante un software denominado JAVA para la animación de componentes básicos de un sistema hidráulico e interacción con las variables físicas mediante simulación. En la presente simulación se modifica la magnitud de la presión generada en un sistema de tubería con determinado diámetro nominal a partir del porcentaje de cierre o apertura de una válvula general, sin superar la presión límite.

El cambio de presión generada por la bomba hidráulica bajo un caudal constante no afecta la pérdida total de energía en el sistema hidráulico pero evidentemente

ocurriría una alteración en la caída de presión para distintos puntos del sistema hidráulico. Por otra parte el cambio de presión generada por la bomba implica un cambio en la carga sobre la bomba o energía transmitida al fluido.

### ECUACIÓN DE LA ENERGÍA

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

### CARGA TOTAL SOBRE LA BOMBA HIDRÁULICA

$$h_A = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + h_L$$

Donde:

$h_A =$  carga total sobre la bomba en ( m )

## OBJETIVO

Analizar la potencia eléctrica de salida y presión generada en una bomba hidráulica a partir del porcentaje de cierre o apertura de una válvula general del sistema hidráulico.

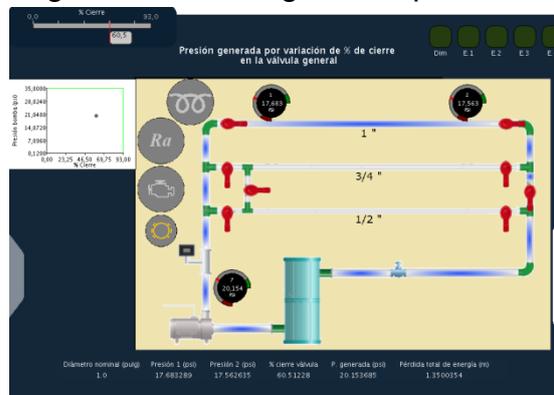
## METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En un trayecto de tubería, se requiere analizar la presión generada por la bomba hidráulica en un rango de 2 a 30 psi. La presión generada se logra a partir del porcentaje de cierre en una válvula tipo compuerta en un rango de 0% al 93%; la presión mínima generada por la bomba hidráulica cuando la válvula está totalmente abierta es de 2 psi bajo un caudal constante de 35.7 L/min.

Registrar información en un modelo de tabla propuesto, para un determinado diámetro nominal de tubería y determinar conclusiones relevantes una vez culminado el ensayo virtual.

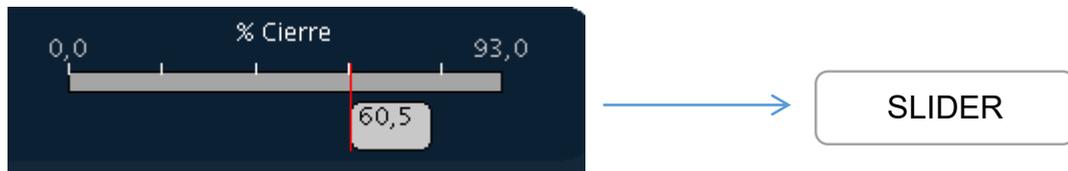
El siguiente procedimiento resume los pasos a realizar durante el ensayo:

1. Habilitar la interfaz gráfica en JAVA
2. Seleccionar la configuración la configuración para el ensayo 4 (E.4)



3. Verificar la posición de las válvulas para corroborar con la el análisis de del trayecto de tubería, en este caso se habilitara los ramales de tubería con diámetro nominal 1 de pulgada.

- Mover el slider virtual para generar la variación de la temperatura.
- Corroborar la información generada por la interfaz gráfica acerca de la variación de presión que ocurre en el sistema



Diámetro nominal (pulg)	Presión 1 (psi)	Presión 2 (psi)	% cierre válvula	P. generada (psi)	Pérdida total de energía (m)
1.0	17.683289	17.562635	60.51228	20.153685	1.3500354

INFORMACIÓN GENERADA POR VARIACIÓN DE TEMPERATURA

- Verificar las gráficas que relacionan directamente las caídas de presión y la temperatura en los tres tipos de diámetros nominales.



- Diligenciar tabla de información y desarrollar una gráfica en la que se relacione la caída de presión versus temperatura para los tres tipos de diámetros.

### Modelo de tabla para toma de datos.

Diámetro nominal en (pulg)	Carga sobre la bomba en (m)	perdida de energía del sistema en (m)	Porcentaje de cierre de la válvula	Presión generada en (psi)	Presión generada en (Pa)
1		1,35	0%		
1		1,35	10%		
1		1,35	20%		
1		1,35	30%		
1		1,35	40%		
1		1,35	50%		
1		1,35	60%		
1		1,35	70%		
1		1,35	80%		
1		1,35	90%		

Fuente: Autores.

8. Diligenciar cuadro de conclusiones una vez se haya realizado el ensayo Y resolver el cuestionario propuesto.

### MATERIALES Y EQUIPOS

1. Software JAVA versión 8 actualizada para Windows
2. Archivo para la ejecución de la Interfaz gráfica en JAVA
3. Calculadora Científica
4. Software Excel versión actualizada

### DATOS Y RESULTADOS

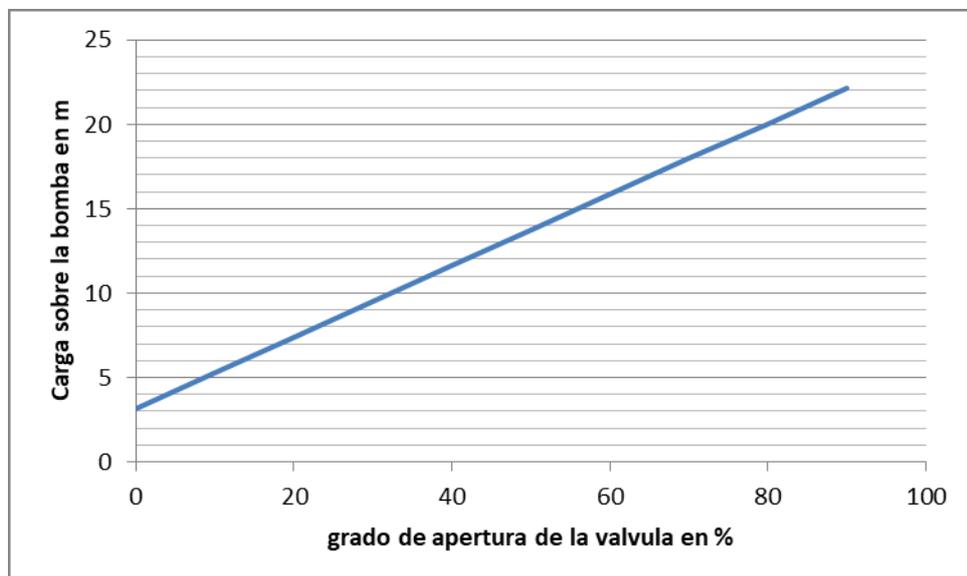
Los siguientes resultados mediante la realización del ensayo, son con referencia al diámetro nominal de una pulgada, se espera que futuros usuarios de la interfaz analicen la información para los demás tipos de diámetros.

**Toma de datos sobre el sistema a temperatura ambiente.**

Diámetro nominal en (pulg)	Carga sobre la bomba en (m)	Perdida de energía del sistema en (m)	Porcentaje de cierre de la válvula	Presión generada en (psi)	Presión generada en (Pa)
1	3,13997137	1,35	0%	2	13789,52
1	5,254928425	1,35	10%	5	34473,8
1	7,369885481	1,35	20%	8	55158,08
1	9,484842536	1,35	30%	11	75842,36
1	11,59979959	1,35	40%	14	96526,64
1	13,71475665	1,35	50%	17	117210,92
1	15,8297137	1,35	60%	20	137895,2
1	17,94467076	1,35	70%	23	158579,48
1	20,05962781	1,35	80%	26	179263,76
1	22,17458487	1,35	90%	29	199948,04

**Fuente: Autores.**

**Potencia eléctrica de salida en función de la variación del porcentaje de cierre de la válvula general de un sistema hidráulico con tubería de 1 pulgada de diámetro nominal.**



**Fuente: Autores.**

## CUESTIONARIO

1. Diligenciar la tabla propuesta variando el valor del caudal y la pérdida total de energía en el sistema.
2. Elaborar una gráfica para indicar el incremento de la potencia eléctrica de salida en función del porcentaje de cierre sobre la válvula general del sistema. Determinar mínimo cinco conclusiones.
3. Describir la curva de rendimiento para una bomba periférica de medio caballo de potencia.
4. Establecer un cuadro comparativo entre una bomba hidráulica periférica y una de tipo centrífuga.
5. Explicar en es que consiste el factor de rendimiento o eficiencia para una bomba hidráulica.
6. Determinar la potencia eléctrica de salida de una bomba hidráulica si se genera una presión máxima de 2.06 bar en un sistema y el caudal es de 35.7 L/min
7. Reconocer y describir las fuentes de pérdidas de energía menores y mayores correspondientes al sistema de tubería presentado en la interfaz gráfica para el ensayo número 4.

## CUADRO DE CONCLUSIONES:

<b>Ejemplos :</b>	<b>Actividad propuesta:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se verifico la caída de presión en un tramo de tubería con longitud de 1.66 m para un flujo volumétrico constante de 35.77 L/min, variando la presión generada del sistema. En una tubería con diámetro nominal de 1 pulgada, la carga sobre la bomba aumenta cuando existe una disminución del grado de apertura en la válvula general.</li><li>• En este ensayo se trabajó con un caudal y temperatura constantes.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Determinar la caída de presión para los diámetros de 1 y <math>\frac{3}{4}</math> de pulgada y comparar el efecto que tiene la variación en el tamaño de la tubería con el cambio de rugosidad</li></ul>

Fuente: Autores.

## REFERENCIAS

1. HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES; Arturo Rocha Felices
2. INGENIERÍA HIDRÁULICA: PROBLEMAS RESUELTOS; (Nanía, Leonardo S, Ortiz Rossini, Pablo; Ortega Sánchez, Migue).
3. Técnicas de modelación en hidráulica; (Vergara Sánchez Miguel A.)
4. Manual de hidráulica; (Azevedo Netto J. M. de)

## Anexo E: Propiedades Físicas del Agua

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	1,98 · 10 <sup>6</sup>	1,781 · 10 <sup>-3</sup>	1,785 · 10 <sup>-6</sup>	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05 · 10 <sup>6</sup>	1,518 · 10 <sup>-3</sup>	1,519 · 10 <sup>-6</sup>	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10 · 10 <sup>6</sup>	1,307 · 10 <sup>-3</sup>	1,306 · 10 <sup>-6</sup>	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15 · 10 <sup>6</sup>	1,139 · 10 <sup>-3</sup>	1,139 · 10 <sup>-6</sup>	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17 · 10 <sup>6</sup>	1,102 · 10 <sup>-3</sup>	1,003 · 10 <sup>-6</sup>	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22 · 10 <sup>6</sup>	0,890 · 10 <sup>-3</sup>	0,893 · 10 <sup>-6</sup>	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25 · 10 <sup>6</sup>	0,708 · 10 <sup>-3</sup>	0,800 · 10 <sup>-6</sup>	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28 · 10 <sup>6</sup>	0,653 · 10 <sup>-3</sup>	0,658 · 10 <sup>-6</sup>	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29 · 10 <sup>6</sup>	0,547 · 10 <sup>-3</sup>	0,553 · 10 <sup>-6</sup>	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28 · 10 <sup>6</sup>	0,466 · 10 <sup>-3</sup>	0,474 · 10 <sup>-6</sup>	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25 · 10 <sup>6</sup>	0,404 · 10 <sup>-3</sup>	0,413 · 10 <sup>-6</sup>	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	2,20 · 10 <sup>6</sup>	0,354 · 10 <sup>-3</sup>	0,364 · 10 <sup>-6</sup>	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	2,14 · 10 <sup>6</sup>	0,315 · 10 <sup>-3</sup>	0,326 · 10 <sup>-6</sup>	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	2,07 · 10 <sup>6</sup>	0,282 · 10 <sup>-3</sup>	0,294 · 10 <sup>-6</sup>	0,0589	101,33

## Anexo F: Rugosidades de tipos de material

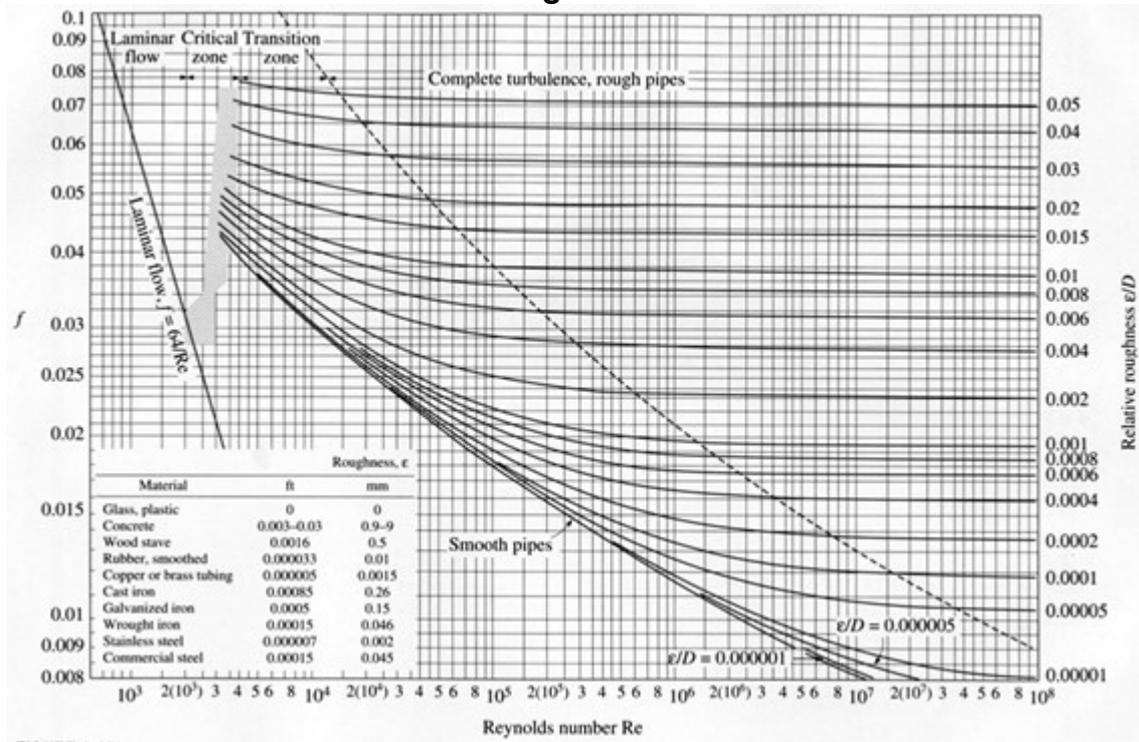
RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

### Anexo G: Tabla de dimensiones para tuberías

Diámetro Nominal	Diámetro Externo		SCH 40						
	NPS	pg	mm	Grosor	Pared	Presión Int. Trab.		Peso Aprox.	
				pg	mm	PSI	Kg/m	Lb/pie	Kg/m
1/8	.405	10.29	.068	1.73	6170	434	.25	.37	
1/4	.540	13.72	.088	2.24	5970	420	.43	.63	
3/8	.675	17.15	.091	2.31	4810	338	.57	.85	
1/2	.840	21.34	.109	2.77	4610	324	.85	1.27	
3/4	1.050	26.67	.113	2.87	3750	264	1.13	1.69	
1	1.315	33.40	.133	3.38	3510	247	1.68	2.50	
1 1/4	1.660	42.16	.140	3.56	2880	202	2.27	3.39	
1 1/2	1.900	48.26	.145	3.68	2590	182	2.72	4.05	
2	2.375	60.33	.154	3.91	2180	153	3.65	5.45	
2 1/2	2.875	73.03	.203	5.16	2390	168	5.79	8.64	
3	3.500	88.90	.216	5.49	2070	146	7.58	11.30	
3 1/2	4.000	101.60	.226	5.76	1890	133	9.11	13.58	
4	4.500	114.30	.237	6.02	1750	123	10.79	16.09	
6	6.625	168.28	.280	7.11	1395	98	18.97	28.28	
8	8.625	219.08	.322	8.18	1227	86	28.55	45.57	
10	10.750	273.05	.365	9.27	1113	78	40.48	60.36	
<b>NORMA: ASTM A312</b>									
<b>Longitud aprox. 6 mts con costura</b>									

RDE	DIÁMETROS					PRESIÓN TRABAJO
	Nominal		Interno	Externo	Longitud	
	Pulgadas	mm	mm	mm	mt	PSI
9	1/2"	21	16,62	21,34	6	500
13,5	1/2"	21	18,20	21,34	6	315
21	1/2"	21	19,28	21,34	6	200
11	3/4"	26	21,82	26,67	6	400
21	3/4"	26	23,63	26,67	6	200
13,5	1"	33	28,45	33,40	6	315
21	1"	33	30,20	33,40	6	200
21	1 1/4"	42	38,14	42,16	6	200
21	1 1/2"	48	43,66	48,26	6	200
21	2"	60	54,68	60,32	6	200

## Anexo H: Diagrama de MOODY



## Anexo I: Hoja de cálculo propuesta para ensayos

MECANICA DE FLUIDOS APLICADA		SISTEMAS EN SERIE CLASE I	
Objetivo: Analizar las caídas de presión en un circuito de tuberías en serie con diferentes diámetros nominales a partir del cambio de la temperatura.		 <b>ENSAYO 1</b>	
<b>Datos del sistema: Unidades del SI</b>			
Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s) = Q	0,000596277	Revoluciones por minuto (RPM)	1800
Presión generada por la Bomba en (l)	30	Potencia de entrada en la bomba en (watt)	376,9633508
Flujo volumétrico (L/min) = Q	35,77653685	Potencia de salida en la bomba en (watt)	245,0262
Presión generada por la Bomba en (l)	206842,8	Número de revoluciones de la válvula generel	3
Rugosidad de la pared en (mm) = e	0,0015	Pérdida total de energía (m) = h <sub>t, total</sub>	6,508205
<b>Propiedades del fluido:</b>			
Temperatura en °C	60	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) = ρ	984
Peso específico (kN/m <sup>3</sup> ) = γ	9,85	Viscosidad dinámica (Pa·s) = η	0,00046
<b>Tubería 1 (diámetro nominal = 1 pulgada) : cedula 40</b>	<b>Diámetro (m) = D</b>	<b>Tubería 2 (diámetro nominal = 3/4 pulgada) : cedula</b>	<b>Diámetro (m) = D</b>
	0,0266		0,0209
	Longitud (m) = L		2,44
	6,77		Longitud (m) = L
	0,000555716		0,00034307
	Área (m <sup>2</sup> ) = A		Área (m <sup>2</sup> ) = A
	17733,33333		13933,33333
	Rugosidad relativa = D/e		Rugosidad relativa = D/e
	254,5112782		116,7464115
	Longitud equivalente = L/D		Longitud equivalente = L/D
	1,072987807		1,74
	Velocidad del flujo (m/s) = v		0,15
	0,058680063		Carga de velocidad (m) = (v <sup>2</sup> /2g)
	Número de Reynolds		77705,01356
	61053,93922		Número de Reynolds
	0,020714588		Factor de fricción
	Factor de fricción de la tubería		0,019215341
<b>Pérdidas de energía en la tubería 1(m):</b>			
	<b>cantidad</b>		<b>cantidad</b>
	1	Pérdida de energía h <sub>L1</sub> =	0,300406104
	0,5	Pérdida en la entrada: K <sub>2</sub> =	0,0293440031
	0,69	Codo estándar de 90: K <sub>3</sub> =	0,12146773
	0,92	Union T tipo T: K <sub>4</sub> =	0,215342631
	3,45	Válvula tipo esfera: K <sub>6</sub> =	0,404892434
	0,5	Pérdida en la salida: K <sub>7</sub> =	0,0293440031
<b>Pérdidas de energía en la tubería 2 (m):</b>			
	<b>cantidad</b>		<b>cantidad</b>
	1	Pérdida de energía h <sub>L1</sub> =	0,34540101
	3,75	Válvula de esfera: K <sub>2</sub> =	1,154763399
	1	Union T tipo T: K <sub>5</sub> =	0,153968533
<b>Pérdidas de energía en la tubería 3 (m):</b>			
	<b>cantidad</b>		<b>cantidad</b>
	1	Pérdida de energía h <sub>L1</sub> =	1,3344014568
	4,05	Válvula de esfera: K <sub>2</sub> =	1,909166443
	1,08	Union T tipo T: K <sub>5</sub> =	0,509111051
<b>lectura de manómetros en p</b>			
	MANOMETRO 1	27,444541	
	MANOMETRO 2	27,342441	
	MANOMETRO 4	26,492864	
	MANOMETRO 3	26,163617	
	MANOMETRO 5	24,799079	
	MANOMETRO 6	23,528462	
<b>Resultados</b>			
<b>Caídas de presión entre manómetros en psi</b>			
	MANOMETROS 1 y 2	0,102099997	
	MANOMETROS 4 y 3	0,329246864	
	MANOMETROS 5 y 6	1,270617797	

MECANICA DE FLUIDOS APLICADA		SISTEMAS EN SERIE CLASE I	
Objetivo: Analizar la caída de presión en un tramo de tubería con diámetro nominal de media pulgada a partir del cambio de la rugosidad del material		 <b>ENSAYO 2</b>	
<b>Datos del sistema: Unidades del SI</b>			
Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s) = Q	0,0005363	Revoluciones por minuto (RPM)	1800
Presión generada por la Bomba en (psi)	30	Potencia de entrada en la bomba en (	376,9633508
Flujo volumétrico (L/min) = Q	35,776539	Potencia de salida en la bomba en (watt)	245,02678
Presión generada por la Bomba en (Pas.)	206842,8	Numero de revoluciones de la válvula gener	
Rugosidad de la pared (mm) = e	0,0001	Pérdida total de energía (m) <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>total</sub>	6,1967939
<b>Propiedades del fluido:</b>		Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) = ρ	997
Peso específico (kN/m <sup>3</sup> ) = γ	9,75	Viscosidad dinámica (Pa·s) = η	0,000891
<b>Tubería 1 (diámetro nominal = 1 pulgada) : cedula 40</b>	<b>Tubería 2 (diámetro nominal = 3/4 pulgada) : ce</b>	<b>Tubería 3 (diámetro nominal = 1/2 pulgada) : ce</b>	
Diámetro (m) = D	0,0286	Diámetro (m) = D	0,0209
Longitud (m) = L	3,41	Longitud (m) = L	0
Área (m <sup>2</sup> ) = A	0,000555716	Área (m <sup>2</sup> ) = A	0,00034307
Rugosidad relativa = Die	266000	Rugosidad relativa = Die	209000
Longitud equivalente = L/D	128,1954887	Longitud equivalente = L/D	0
Velocidad del flujo (m/s) = v	1,072987807	Velocidad del flujo (m/s) = v	1,74
Carga de velocidad (m) = (v <sup>2</sup> /2g)	0,056860063	Carga de velocidad (m) = (v <sup>2</sup> /2g)	0,15
Numero de Reynolds	31936,9823	Numero de Reynolds	40647,06638
Factor de fricción de la tubería	0,0230339385	Factor de fricción	0,021781817
<b>Pérdidas de energía en la tubería 1 (m):</b>		<b>Pérdidas de energía en la tubería 2 (m):</b>	
Tubería: K1 = f(L/D) =	2,9535452	Pérdida de energía hL1 =	0,173314219
Pérdida en la entrada: K2 =	0,5	Pérdida de energía hL2 =	0,029340031
Codo estándar de 90: K3 =	0,69	Pérdida de energía hL3 =	0,040489243
Union T tipo 1: K4 =	0,92	Pérdida de energía hL4 =	0,107971316
válvula tipo esfera: K6 =	3,45	Pérdida de energía hL6 =	0
Pérdida en la salida: K7 =	0,5	Pérdida de energía hL7 =	0,029340031
<b>Pérdidas de energía en la tubería 2 (m):</b>		<b>Pérdidas de energía en la tubería 3 (m):</b>	
Tubería: K1 = f(L/D) =	0	Pérdida de energía hL1 =	0
Válvula de esfera: K2 =	3,75	Pérdida de energía hL2 =	0
Union T tipo 1: K5 =	1	Pérdida de energía hL5 =	0
<b>Pérdidas de energía en la tubería 3 (m):</b>		<b>cantidas</b>	
Tubería: K1 = f(L/D) =	3,1584598	Pérdida de energía hL1 =	1,488895171
Válvula de esfera: K2 =	4,05	Pérdida de energía hL2 =	3,818332885
Union T tipo 1: K5 =	1,08	Pérdida de energía hL5 =	0,50911051
		<b>Lectura de manómetros en psi</b>	<b>Resultados</b>
		MANOMETRO	25,18352099
		MANOMETRO	23,78002823
		MANOMETROS	1,403492758

**MECANICA DE FLUIDOS APLICADA**



**SISTEMAS EN SERIE CLASE I**

**ENSAVO 3**

Objetivo: Analizar la caída de presión en un tramo de tubería con diámetro nominal de 3/4 de pulgada variando la velocidad angular de la bomba

**Datos del sistema: Unidades del SI**

Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s) = Q	0.000441	Revoluciones por minuto (RPM)	1250
Presión generada por la Bomba en (psi)	20.833333	Potencia de entrada en la bomba en (W)	261.7801047
Flujo volumétrico (L/min) = Q	24.844819	Potencia de salida en la bomba en (Watt)	170.1570681
Presión generada por la Bomba en (Pas.)	143640.83	Número de revoluciones de la válvula general	3
Rugosidad de la pared (m) = e	0.0015	Pérdida total de energía (m) <sup>Head</sup>	1.89698134

**Lectura de manómetros en psi**

MANOMETRO 3	18.04306639
MANOMETRO 4	17.28825612

**Resultados**

Caídas de presión entre manómetros en psi	0.780810872
MANOMETROS 3 y 4	

**Propiedades del fluido:**

Peso específico (kM/m <sup>3</sup> ) = γ	9.75	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) = ρ	997
		Viscosidad dinámica (Pa s) = η	0.000891

**Tubería 1 (diámetro nominal = 1 pulgada) : cedula 40**

Diámetro (m) = D	0.0286	Diámetro (m) = D	0.0209
Longitud (m) = L	3.77	Longitud (m) = L	2.44
Área (m <sup>2</sup> ) = A	0.000555716	Área (m <sup>2</sup> ) = A	0.00034307
Rugosidad relativa = Die	17733.33333	Rugosidad relativa = Die	19393.33333
Longitud equivalente = L/D	141.7293223	Longitud equivalente = L/D	116.7464115
Velocidad del flujo (m/s) = v	0.745130421	Velocidad del flujo (m/s) = v	1.21
Carga de velocidad (m) = (v <sup>2</sup> /2g)	0.0282398641	Carga de velocidad (m) = (v <sup>2</sup> /2g)	0.07
Número de Reynolds	22778.45933	Número de Reynolds	28227.13082
Factor de fricción de la tubería	0.025305608	Factor de fricción	0.023331959

**Tubería 3 (diámetro nominal = 1/2 pulgada) : cedula 40**

Diámetro (m) = D	0.0158
Longitud (m) = L	0
Área (m <sup>2</sup> ) = A	0.000196067
Rugosidad relativa = Die	10533.33333
Longitud equivalente = L/D	0
Velocidad del flujo (m/s)	2.11
Carga de velocidad (m)	0.23
Número de Reynolds	37338.41988
Factor de fricción	0.022525553

**Pérdidas de energía en la tubería 1 (m):**

Tubería K1 = f(L/D) =	3.5865467	Pérdida de energía hL1 =	0.1014944
Pérdida en la entrada K2 =	0.5	Pérdida de energía hL2 =	0.014149321
Codo estándar de 90° K3 =	0.69	Pérdida de energía hL3 =	0.019526063
Union Tipo 1 K4 =	0.92	Pérdida de energía hL4 =	0.104139
válvula tipo esfera K6 =	3.45	Pérdida de energía hL6 =	0.097630313
perdida en la salida K7 =	0.5	Pérdida de energía hL7 =	0.014149321

**Pérdidas de energía en la tubería 2 (m):**

Tubería K1 = f(L/D) =	2.7393715	Pérdida de energía hL1 =	0.207457414
Válvula de esfera K2 =	3.75	Pérdida de energía hL2 =	0.556888502
Union Tipo 1 K5 =	1	Pérdida de energía hL5 =	0.0742518

**Pérdidas de energía en la tubería 3 (m):**

Tubería K1 = f(L/D) =	0	Pérdida de energía hL1 =	0
Válvula de esfera K2 =	4.05	Pérdida de energía hL2 =	0
Union Tipo 1 K5 =	1.08	Pérdida de energía hL5 =	0

<b>MECANICA DE FLUIDOS APLICADA</b>	<b>URAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO RIVERO	<b>SISTEMAS EN SERIE CLASE I</b>
Objetivo: Analizar la carga total sobre la bomba a partir de la variación del grado de apertura en la válvula general.		<b>ENSAYO 4</b>

% de cierre	90
-------------	----

$h_a$ (m)	22.17458487
-----------	-------------

<b>Datos del sistema: Unidades del SI</b>			
Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /s) = Q	0,0006	Revoluciones por minuto (RPM)	1800
Presión generada por la Bomba en (psi)	29	Potencia de entrada en la bomba en (W)	376,9633508
Flujo volumétrico (L/min) = Q	35,777	Potencia de salida en la bomba en (Watt)	245,02618
Presión generada por la Bomba en (Pas.)	199948	Número de revoluciones de la válvula general	2,7
Rugosidad de la pared (m) = e	0,0015	Pérdida total de energía (m) <sup>1/2</sup> $h_{total}$	1,3500353

<b>Propiedades del fluido:</b>	
Peso específico (kN/m <sup>3</sup> ) = $\gamma$	9,75
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) = $\rho$	997
Viscosidad dinámica (Pa·s) = $\eta$	0,000891

<b>Resultados</b>	
Caidas de presión entre manómetros en psi	MAMOMETRO 1
	MAMOMETRO 2
	26,53720419
	26,41692005

<b>Tubería 1 (diámetro nominal = 1 pulgada) : cedula 40</b>	<b>Tubería 2 (diámetro nominal = 3/4 pulgada) : cedula</b>	<b>Tubería 3 (diámetro nominal = 1/2 pulgada) : cedula 40</b>			
Dímetro (m) = D	0,0266	Dímetro (m) = D	0,0203	Dímetro (m) = D	0,0158
Longitud (m) = L	6,77	Longitud (m) = L	0	Longitud (m) = L	0
Área (m <sup>2</sup> ) = A	0,000555716	Área (m <sup>2</sup> ) = A	0,00034307	Área (m <sup>2</sup> ) = A	0,000196067
Rugosidad relativa = D/e	17733,33333	Rugosidad relativa = D/e	13933,33333	Rugosidad relativa = D/e	10533,33333
Longitud equivalente = L/D	254,5112782	Longitud equivalente = L/D	0	Longitud equivalente = L/D	0
Velocidad del flujo (m/s) = v	1,072987807	Velocidad del flujo (m/s) = v	1,74	Velocidad del flujo (m/s)	3,04
Carga de velocidad (m) = (v <sup>2</sup> /2g)	0,058680063	Carga de velocidad (m) = (v <sup>2</sup> /2g)	0,15	Carga de velocidad (m)	0,47
Número de Reynolds	31936,9823	Número de Reynolds	40647,06838	Número de Reynolds	53767,32463
Factor de fricción de la tubería	0,023208058	Factor de fricción	0,022025486	Factor de fricción	0,020825161

<b>Pérdidas de energía en la tubería 1(m): cantidad</b>	
Tubería K1 = f(L/D) =	5,9067
Pérdida en la entrada: K2 =	0,5
Codo estándar de 90: K3 =	0,69
Union T tipo T: K4 =	0,92
Válvula tipo esfera: K6 =	3,45
Pérdida en la salida: K7 =	0,5
<b>Pérdidas de energía en la tubería 2 (m): cantidad</b>	
Tubería K1 = f(L/D) =	0
Válvula de esfera: K2 =	3,75
Union T tipo T: K5 =	1
<b>Pérdidas de energía en la tubería 3 (m): cantidad</b>	
Tubería K1 = f(L/D) =	0
Válvula de esfera: K2 =	4,05
Union T tipo T: K5 =	1,08

## Anexo J: coeficientes de resistencia para válvulas.

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-