

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS PARA EL  
ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA**



**LUZ MERY ALVAREZ VITOLA**

**RHONALD ANDRÉS BRICEÑO MIRANDA**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC  
DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL  
INGENIERÍA CIVIL  
BARRANQUILLA, COLOMBIA**

**2021**

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS PARA EL  
ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA**

**LUZ MERY ALVAREZ VITOLA**

**RHONALD ANDRÉS BRICEÑO MIRANDA**

**Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Tutor**

**ING JAVIER CARPINTERO DURANGO**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC**

**DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL**

**INGENIERÍA CIVIL**

**BARRANQUILLA, COLOMBIA**

**2021**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma de presidente del Jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi tía, a quien quiero como una madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre que la educación es el mejor camino. A mis hermanos, por siempre inspirarme a ser un ejemplo para seguir a pesar de nuestra distancia física.

- Luz Mery Alvarez

Dedico este logro principalmente a Dios y a mi familia, ya que sin su apoyo incondicional y sus enseñanzas no lo hubiera hecho una realidad. También se lo dedico a las nuevas generaciones en mi familia para motivarlos a que con gran esfuerzo y dedicación pueden lograr cualquier meta o sueños que deseen realizar. A mi madre Luz Merys Miranda siempre con su gran amor y cariño, su actitud, su fuerza de voluntad, siempre empujándome hacia adelante, tu gran apoyo fue fundamental en los momentos más difíciles siempre estuviste ahí acompañándome y alentándome para seguir hasta el final de esta meta. Y a mi padre Hernán Briceño por su actitud de responsabilidad de compromiso que a pesar de todos los contratiempos me enseñaste que siempre se debe cumplir con su deber, me enseñaste también que no hay excusa válida para no triunfar.

- Rhonald Briceño

### **Agradecimientos**

Primero que todo le damos gracias a Dios por ayudarnos a llegar hasta este punto, por permitirnos estudiar esta hermosa carrera en esta maravillosa universidad.

A nuestras familias y amigos por compartir momentos significativos y por siempre estar dispuestos a escucharnos y ayudarnos.

A nuestros compañeros de clases, sin el equipo que formamos, no habiéramos disfrutado tanto el proceso y el lograr esta meta.

A nuestro tutor el ingeniero Javier carpintero una magnifica personal, muy bondadoso y sobre todo amable, gracias por su tiempo, su gran conocimiento, siempre orientándonos, gracias por su paciencia y su motivación para cumplir con los objetivos.

Al ingeniero Marco Arrieta, que indudablemente nos apoyó a lo largo de este proyecto.

- Autores

### Resumen

En el presente proyecto se propone la elaboración de un sistema de tuberías compuesto de cuatro tramos rectos, que se pueden seleccionar individualmente con el fin de estudiar las pérdidas de carga del fluido que lo atraviesa, para uso didáctico en el laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Universidad de la Costa. Análisis y comprobación de la ecuación general de la energía y las variables que depende directamente de dicho sistema, rugosidad de la superficie de la pared interior de la tubería, caudal volumétrico, el área de la sección transversal por la que pasa el flujo (diámetro interno), longitud y propiedades del fluido. Se contraponen el cálculo de las perdidas por fricción y accesorios a la caída de presión obtenido experimentalmente durante los ensayos de laboratorio y se analizan según pruebas estadísticas del Coeficiente de Pearson. Obteniéndose como resultado una correlación positiva muy fuerte y un coeficiente de determinación del 98,2%. Adicionalmente se analiza el comportamiento del fluido en tuberías con mismo diámetro nominal variando el material y el comportamiento en tuberías del mismo material variando el diámetro.

*Palabras clave:* sistema de tuberías, rugosidad, caudal, diámetro, fricción, caída de presión

### **Abstract**

This project proposes the elaboration of a piping system composed of four straight sections, which can be selected individually in order to study the pressure losses of the fluid passing through it, for didactic use in the Fluid Mechanics and Hydraulics laboratory of the Universidad de la Costa. Analysis and verification of the general energy equation and the variables that depend directly on this system, roughness of the surface of the inner wall of the pipe, volumetric flow, the cross-sectional area through which the flow passes (internal diameter), length and properties of the fluid. The calculation of friction and accessory losses are compared with the pressure drop obtained experimentally during the laboratory tests and analyzed according to statistical tests of Pearson's Coefficient. As a result, a very strong positive correlation, and a determination coefficient of 98.2% were obtained. Additionally, the behavior of the fluid in pipes with the same nominal diameter varying the material and the behavior in pipes of the same material varying the diameter are analyzed.

*Keywords:* piping system, roughness, flow, diameter, friction, pressure drop

**Tabla de Contenido**

Lista de tablas y Figuras ..... 11

    Tablas..... 11

    Figuras ..... 11

1.    Introducción.....13

2.    Planteamiento del problema .....15

3.    Justificación .....16

4.    Objetivos.....17

    4.1.  Objetivo general..... 17

    4.2.  Objetivos específicos ..... 17

5.    Estado del arte .....18

6.    Marco teórico.....21

    6.1.  Ecuación General de la Energía..... 21

    6.2.  Presión..... 22

    6.3.  Peso especifico..... 23

    6.4.  Velocidad ..... 23

    6.5.  Caudal ..... 24

    6.6.  Energía del dispositivo mecánico al fluido..... 24

    6.7.  Energía que remueve al fluido con dispositivo mecánico ..... 24

6.8.	Perdidas por accesorios .....	24
6.9.	Perdidas por fricción .....	25
6.9.1.	Flujo laminar: .....	25
6.9.2.	Flujo turbulento .....	25
6.10.	Numero de Reynolds .....	27
6.11.	Viscosidad .....	28
6.11.1.	Viscosidad absoluta o dinámica: .....	28
6.11.2.	Viscosidad cinemática .....	28
6.12.	Coefficiente de correlación de Pearson .....	29
6.13.	Proyectos relacionados .....	31
7.	Metodología.....	36
7.1.	Recolección de información, selección de variables y parámetros a evaluar. ....	36
7.2.	Diseño del sistema de tuberías .....	36
7.3.	Elaboración del sistema de tuberías .....	37
7.3.1.	Materiales .....	37
7.3.2.	Equipos .....	38
7.3.3.	Montaje .....	41
7.3.4.	Procedimiento experimental. ....	42
7.4.	Análisis de datos teóricos y experimentales. ....	43
8.	Resultados.....	45
8.1.	Análisis de la ecuación general de la energía aplicado al sistema de tuberías. ....	45
8.2.	Cálculo de pérdidas por fricción y accesorios del sistema por tramo de tubería. ..	46
8.2.1.	Relación de perdidas por fricción y accesorios. ....	48
8.2.2.	Relación de datos experimentales (Medición de presión diferencial). ....	49

8.3. Análisis de tuberías mismo diámetro nominal, distinto material..... 56

8.4. Análisis de mismo material diferente diámetro. .... 58

8.5. Coeficiente de correlación de Pearson..... 60

9. Conclusiones.....63

Referencias .....66

Anexos .....70

**Lista de tablas y Figuras**

**Tablas**

Tabla 1 Clasificación de correlaciones de Pearson. \_\_\_\_\_ 29

Tabla 2. Estado del Arte del presente proyecto mayor a 3 años. \_\_\_\_\_ 31

Tabla 3 Variables del sistema \_\_\_\_\_ 36

Tabla 4 Accesorios de tubería según material y diametro. \_\_\_\_\_ 38

Tabla 5 Factor Ks de accesorios dentro del tramo de tubería analizado. \_\_\_\_\_ 48

Tabla 6 Datos obtenidos de los calculos teoricos. \_\_\_\_\_ 48

Tabla 7 Resultados obtenidos del procedimiento experimental. \_\_\_\_\_ 49

Tabla 8 Correlaciones entre resultados “Teóricos  $h_L$ ” y "Experimentales  $\Delta P/\Delta L$ ". \_\_\_\_\_ 61

Tabla 9 Coeficientes de correlación de pearson por tramo de tubería. \_\_\_\_\_ 62

Tabla 10 Propiedades del agua. Unidades SI. (Tabla A.1). Mecanica de Fluidos Aplicada. \_\_\_\_ 71

Tabla 11 Dimensiones de tubería en acero schedule 40 (Tabla F.1). Mecanica de Fluidos Aplicada. \_\_\_\_\_ 72

---

**Figuras**

Figura 1. Diagrama de flujo de la energía mecánica para un sistema de flujo de fluido que contiene una bomba y una turbina. Adaptado de: Mecánica de Fluidos (2da edición) (Çengel & Cimbala, 2012) \_\_\_\_\_ 22

Figura 2. Diseño hidráulico conceptual del sistema de tuberías. Fuente: elaboración propia. \_\_\_\_ 37

Figura 3. Manómetro diferencial digital Comark. \_\_\_\_\_ 39

Figura 4. Caudalímetro de la serie EZ-View. \_\_\_\_\_ 40

Figura 5. Banco hidraulico H1F. Fuente: elaboración propia. _____	41
Figura 6. Montaje de panel estable movil del sistema de tuberias diseñado. _____	42
Figura 7. Procedimiento para manejo del sistema de tuberias. _____	43
Figura 8. Resumen de la metodología y analisis realizados. Fuente: elaboración propia. _____	44
Figura 9. Esquema simple de un tramo de tuberia analizado. _____	45
Figura 10. Diagrama de Flujo para el calculo de $h_L$ . Adaptado de: Hidráulica de tuberías: abastecimiento de agua, redes, riegos 2do capitulo, (Saldarriaga, 2007). _____	48
Figura 11.. Grafica Q Vs $\frac{\Delta P}{\Delta L}$ de los tramos analizados. Fuente: elaboración propia. _____	52
Figura 12. Grafica Q Vs Perdidas de la tuberia de ½” en acero comercial. _____	52
Figura 13. Grafica Q Vs Perdidas de la tuberia de ½” en pvc. _____	53
Figura 14. Grafica Q Vs Perdidas de la tuberia de 1” en pvc. _____	54
Figura 15. Grafica Q Vs Perdidas de la tuberia de 1-1/2” en pvc. _____	55
Figura 16. Grafica Q vs $h_L$ para tuberia de ½” en acero y PVC. _____	56
Figura 17. Grafica Q vs. $\frac{\Delta P}{\Delta L}$ para tuberia de ½” en acero y PVC. _____	57
Figura 18. Grafica Q vs $h_L$ para tuberia PVC de ½”, 1” y 1-1/2”. _____	58
Figura 19. Grafica Q vs. $\frac{\Delta P}{\Delta L}$ para tuberia PVC de ½”, 1” y 1-1/2”. _____	59
Figura 20. Datos experimentales ( $\frac{\Delta P}{\Delta L}$ ) vs. Datos teoricos ( $h_L$ ). _____	60
Figura 21. Diagrama de Moody modificado (rugosidades relativas). (Figura 1-26). Adaptada de: Hidraulica de Tuberias. (Saldarriaga, 2007) _____	70
Figura 22. Accesorios PVC utilizados para reduccion de tuberias de 1-1/2" a 1" _____	73
Figura 23. Accesorios PVC y de acero comercial. _____	74

## 1. Introducción

Actualmente existen miles de kilómetros de tuberías en todo el mundo, fabricadas con diferentes tipos de materiales y para diferentes tipos de uso como lo son para sistemas de distribución de gas y agua, alcantarillado y sistemas de drenaje, la protección de cables, las comunicaciones y las instalaciones industriales (“Plastic Pipe Systems,” 2006), que son necesarias para las actividades diarias del ser humano en sectores agrícolas, industriales, comerciales, viviendas, entre otros. Por este motivo los sistemas de tuberías generalmente están compuestos por accesorios y soportes, las cuales deben estar diseñados para efectuar el procedimiento requerido de forma segura (El-Reedy, 2017). Así se garantiza que las actividades en la mayoría de los sectores primarios, secundarios y terciarios no se vean afectadas por un mal funcionamiento de estas. Es por esto por lo que a lo largo de los años se ha incrementado la importancia de la ingeniería. La comprensión y aplicación de conceptos básicos de hidráulica en procesos de diseño son de mucha importancia para el análisis y diseño de los sistemas de tuberías (Cassiolato et al., 2020). Esta información permite predecir las pérdidas presentadas en cualquier sección del sistema, dependiendo de las diferentes condiciones en la que se encuentre y también permite realizar un diseño óptimo de acueducto o alcantarillado para cualquier tipo de necesidad. En general, uno de los conceptos básicos más destacados es la ecuación general de la energía, ya que las variables que se utilizan en esta ecuación son requeridas para diseños óptimos y seguros en redes de tuberías. Por lo tanto, el objetivo de este documento se centra en realizar el diseño de un sistema de tuberías para las prácticas de laboratorio de hidráulica teniendo en cuenta las variables de la ecuación general de la energía, para una óptima elaboración del sistema y análisis de este. Con esta experiencia se puede interpretar, analizar, calcular y plantear conceptos básicos en el sistema de tuberías como son las pérdidas de energía en un tramo recto de tubería, el comportamiento de los

fluidos según el tipo de tubería usada o el diámetro utilizado, las pérdidas de carga, la velocidad del fluido. Este tipo de investigaciones es primordial, porque un conocimiento adecuado de los parámetros permite un diseño óptimo y seguro en sistemas de acueductos, alcantarillados, calefacción, entre otros.

## 2. Planteamiento Del Problema

En el 2018 la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico junto al Ministerio de Vivienda de Colombia, registraron un documento con respecto a los diagnósticos e identificación de problemas y objetivos, evaluación y selección de la mejor alternativa sobre Regulación de esquemas diferenciales urbanos para los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Con respecto a este documento se enfatiza en los diagnósticos, problemas y objetivos de la prestación en esquemas diferenciales urbanos del país, donde se pretende solucionar una serie de objetivos como la adecuación de sistemas de tuberías en sectores donde se presente, fugas y conexiones antitécnicas, la disminución de pérdidas comerciales en el IANC (Índice de Agua No Contabilizada-IANC) y construcción, ampliación, mejoramiento y optimización de los sistemas de acueducto y alcantarillado.(Vargas Mesías, 2018).

De acuerdo con lo anterior es importante recomendar a las empresas, que los ingenieros y personal encargado de esta problemática, deben tener presentes los parámetros establecidos por el RAS 2017 y otras recomendaciones propias de la Ingeniería hidráulica. Se evidencia la necesidad primordial de manejar los conocimientos propios de la hidráulica de tuberías, el comportamiento de los fluidos bajo las condiciones a los cuales se encuentre sometidos para los sistemas de acueducto y alcantarillado para lograr encontrar las falencias y corregir los diseños de los sistemas actuales y así mejorar y optimizar las redes teniendo en cuenta la proyección de las demandas futuras.

### 3. Justificación

El uso de sistemas de tuberías, principalmente las de acueducto, alcantarillado son pertinentes para los sectores de ganadería, agricultura, industria y residencial del día a día (Sati et al., 2019a). Es por esto por lo que todos los proyectos de ingeniería enfocados en acueductos, alcantarillados deben estar bien diseñados basándose en la seguridad, eficiencia y optimización para el bienestar y desarrollo sostenible de los diferentes sectores (Sati et al., 2019a). Por lo tanto, es importante que los ingenieros civiles y ambientales tengan los conocimientos básicos y pertinentes de los sistemas de tuberías. La ecuación general de la energía es importante para este tipo de diseños, el conocimiento de cada una de sus variables es versátil para la gestión, diseño y planificación de estos sistemas de tuberías. De esta forma se evitan riesgos de un mal diseño que pueden perjudicar el costo y presupuesto de un proyecto o la funcionalidad de algún sector ya sea ganadero, agricultor, industrial, residencial, entre otros.

En este orden de ideas, la Universidad de la Costa en el programa de Ingeniería Civil y Ambiental se ha destacado en mejorar la rama de Hidráulica, para que los estudiantes tengan una mejor preparación en el ámbito laboral. Por esto en la actualidad ha mejorado los laboratorios en las nuevas instalaciones con muchas herramientas y maquinarias que permite a los estudiantes adquirir un conocimiento experimental enfocados en temáticas como caudales, vertederos, entre otros, pero no presenta ninguna herramienta o maquinaria para conocer experimentalmente el comportamiento de un flujo en tuberías. Es por eso por lo que el siguiente proyecto no solo se basa del diseño y análisis de un sistema de tuberías para mejorar el conocimiento experimental de pérdidas de energía sino también en la elaboración de este diseño para las prácticas de laboratorio de mecánica de fluidos e hidráulica en la Universidad de la Costa.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

Diseñar y elaborar un sistema de tuberías para el análisis de la ecuación general de la energía para las prácticas de laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Universidad de la Costa.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Identificar las variables de la ecuación general de la energía que influyen directamente en la pérdida de carga de un fluido dentro de un tramo de tuberías.
- Diseñar y elaborar un sistema tuberías para el laboratorio de mecánica de fluidos e hidráulica de la Universidad de la Costa.
- Analizar los resultados teóricos y experimentales de las pérdidas de energía dentro de un sistema de tuberías.

## 5. Estado del arte

Para esta investigación se considera importante conocer otros estudios relacionados a la implementación de la ecuación general de la energía en sistemas de tuberías, por esa razón a continuación se presentarán los documentos científicos más relevantes con respecto a la temática en todo el mundo dentro de los últimos 3 años (2018 – 2021).

En primera instancia se tiene la investigación de la Universidad Técnica de Uttarakhand, Dehradun (India) Instituto de Tecnología, Haldwani, India. La siguiente investigación “Reducción de las pérdidas en los codos de tuberías de 90 grados mediante la variación de los parámetros de diseño utilizando el software CFD” consta de un análisis de los diversos métodos generales empleados para generar secciones curvadas, en un modelo geométrico 2D de un tubo diseñado utilizando AUTOCAD. Se estudian los parámetros velocidad y presión debido a que cada alteración de la trayectoria de los flujos de fluidos conduce a la pérdida de impulso de las partículas de fluido. Los cálculos y simulaciones se han realizado en los esquemas simétricos de ejes 2D de los modelos de tuberías, bajo la sección de métodos numéricos avanzados usando ANSYSR (Sati et al., 2019b).

Después un poco cercano al reino unido encontramos que, en la Universidad de Catania, Italia se elabora un documento cuyo nombre es “Desarrollos y límites de los modelos de cavidades de vapor discretas de flujo transitorio de tuberías cavitantes: análisis numérico de flujo 1D y 2D”. El cual consiste en un análisis numérico de flujo de modelos de cavidades de vapor discretas (DVCM) para reproducir flujos transitorios de tuberías cavitantes. Para esto se basa de la ecuación de continuidad para la cavidad, se escribe en términos de balance de masa, lo que permite cálculos computacionales apropiados; se introduce un umbral más bajo para la presión, para evitar que caiga por debajo de la presión de vapor; se introducen pasos de predicción-corrección en el procedimiento

de solución numérica; y se considera la descripción bidimensional (2D) del campo de flujo suponiendo un flujo axial-simétrico, a fin de evaluar la fricción inestable sin necesidad de calibrar los parámetros.. La comparación de los resultados numéricos y experimentales muestra que los efectos de las correcciones basadas en la física (balance de masa y umbral inferior de presión) son generalmente pequeños, pero no despreciables y consisten en un ligero aumento de las disipaciones. En general, los modelos 2D mejoran el rendimiento de las MVCD; en particular, sus resultados reproducen mejor la forma de la función de la cabeza y reducen los picos numéricos, pero también proporcionan un exceso de disipación de energía que hace que se anticipen los resultados numéricos con respecto a las trazas experimentales (Santoro et al., 2018).

Tiempo después, docentes de la Universidad de Quebec a Trois-Rivieres, Canada y la Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad Tecnológica de Wuhan, Hubei, China elaboran el siguiente documento “Modelos completos y reducidos de reactor de hidruro metálico con intercambiador de calor de tubo bobinado”. La investigación desarrolla un modelo axisimétrico bidimensional del reactor de hidruro metálico empaquetado con LaNi<sub>5</sub> en la plataforma Comsol. Para esto se basa en el balance de masa, el balance de momento, las ecuaciones de balance de energía, la ecuación de la cinética de reacción y la ecuación de la presión de equilibrio. Los resultados muestran que es un método eficaz para mejorar la eficiencia del reactor de hidruro metálico mediante el equipamiento de intercambiadores de calor de doble tubo bobinado (Tong et al., 2019).

De igual manera en la Universidad San Buenaventura en Bogotá, Colombia, se realizó un artículo científico titulado como “Modelado matemático, simulación, análisis y control de un sistema hidráulico interactivo-tres tanques en serie”. En este se modela y analiza un sistema hidráulico conformado por tres tanques en serie, con tuberías poco rugosas y un fluido de baja

viscosidad, sistema interactivo dinámico no lineal; bajo la metodología de sistemas dinámicos. Este proyecto se enfoca en presentar un control lineal por realimentación del estado basado en el modelo lineal diagonalizado, que mantiene al sistema no lineal controlando los caudales de salida. Para esto es necesario implementar diferentes métodos de la teoría de control como el programa de MatLab y su herramienta Simulink y en este se implementa el método numérico para solucionar ecuaciones diferenciales llamado Runge Kutta y el modelo matemático del sistema no lineal para luego observar su comportamiento a través del tiempo, linealización del sistema y análisis de sensibilidad, presentación de la forma canónica diagonal del modelo linealizado entre otros. (Medina et al., 2017)

Por último, se encuentra que en la Universidad Cooperativa de Colombia se realizó una tesis titulada como “Revisión de literatura para la elaboración de un prototipo del sistema de tubería en serie en tubería lisa PVC, para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede en Villavicencio”. Este proyecto consiste en describir los procesos de construcción y modernización del actual modelo de tubería en serie presente en los ambientes prácticos de la entidad, el cual se logra mediante la incorporación al sistema actual de una tubería PVC y mediante la implementación de un solo manómetro de mercurio para todo el sistema, el cual se construyó con un material diferente al presente. (Rodríguez Montes et al., 2019)

## 6. Marco teórico

### 6.1. Ecuación General de la Energía

La ecuación general de la energía conocida como una extensión de la ecuación de Bernoulli, permite analizar el comportamiento de un fluido a través de un sistema de flujo teniendo en cuenta dos secciones del sistema (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015)

*Ecuación 1. Ecuación general de la energía.*

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$p_1$ = presión en la primera sección

$\gamma$  = peso específico del fluido

$z_1$ = cabeza de elevación en la primera sección

$V_1$ = velocidad del fluido en la primera sección

$g$ = gravedad

$h_A$ = Energía del dispositivo mecánico al fluido

$h_R$ = Energía que remueve al fluido con dispositivo mecánico

$h_L$ = Perdidas por accesorios y fricción

$p_2$ = presión en la segunda sección

$V_2$ = velocidad del fluido en la segunda sección

$z_2$ = cabeza de elevación en la segunda sección

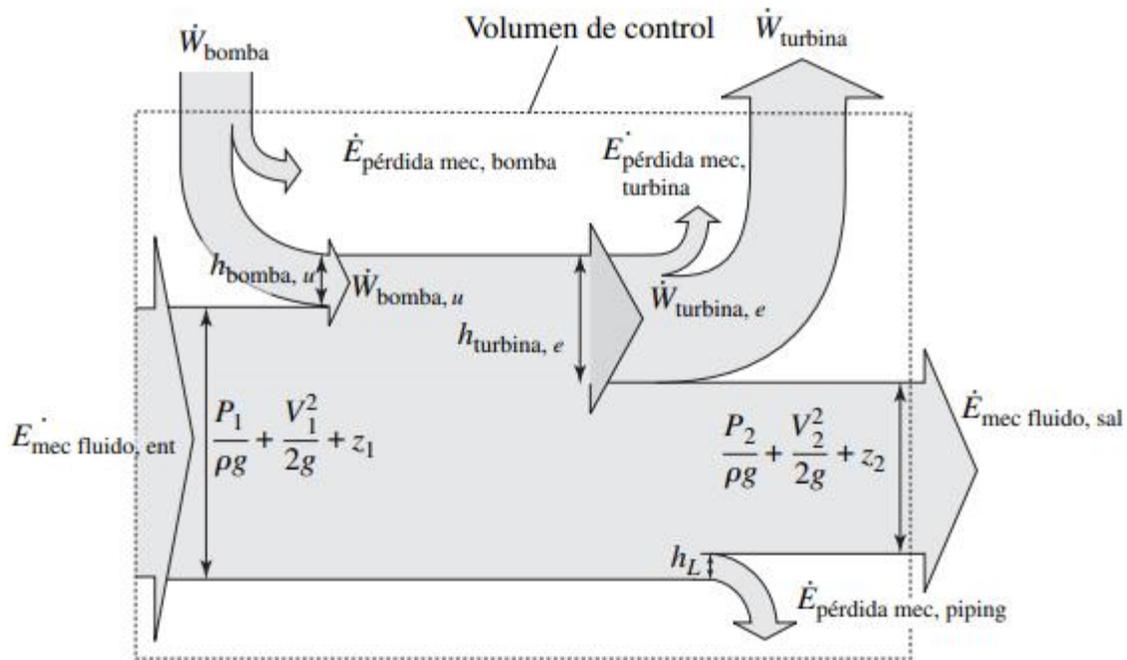


Figura 1. Diagrama de flujo de la energía mecánica para un sistema de flujo de fluido que contiene una bomba y una turbina. Fuente: Mecánica de Fluidos (2da edición) (Çengel & Cimbala, 2012)

En la figura 1 las dimensiones verticales muestran cada término de energía expresado como una altura equivalente de columna de fluido, es decir, carga. Correspondiente a cada término de la ecuación general de la energía.

## 6.2.Presión

Para este caso la presión es la cantidad de fuerza ejercida sobre una unidad de superficie de una sustancia o sobre una superficie (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015)

Ecuación 2. Presión

$$p = \frac{F}{A}$$

Donde:

$p$ = presión

$F$ = fuerza

$A$ = área

### 6.3. Peso específico

Es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015)

*Ecuación 3. Peso específico.*

$$\gamma = \frac{w}{V}$$

Donde:

$\gamma$ = peso específico

$V$ = volumen de la sustancia

$w$ = peso de la sustancia

### 6.4. Velocidad

La velocidad en un sistema de flujo se ve afectada principalmente del tipo de fluido, la longitud del sistema de flujo, el tipo de tubería o tubo, la caída de presión, los dispositivos (por, la temperatura, la presión y el ruido (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015).

*Ecuación 4. Velocidad del fluido calculada a partir del caudal y área.*

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

Donde:

$V$ = velocidad del fluido

$Q$  =caudal

$A$  = área

### 6.5. Caudal

Es el volumen de líquido que fluye más allá de una sección determinada por unidad de tiempo (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015).

*Ecuación 5. Caudal calculado a partir de la velocidad y área.*

$$Q = V * A$$

Donde:

$V$ = velocidad del fluido

$Q$  =caudal

$A$  = área

### 6.6.Energía del dispositivo mecánico al fluido

Se conoce como la energía que se añade al sistema por dispositivos mecánicos se simboliza como  $h_A$ .

### 6.7.Energía que remueve al fluido con dispositivo mecánico

Es la pérdida de energía por dispositivos mecánicos, en la ecuación general de la energía se simboliza como  $h_R$ .

### 6.8. Perdidas por accesorios

Como su nombre lo indica es la pérdida de energía por accesorios y fricción en un sistema de flujo, en la literatura se reconocer como  $h_L$

*Ecuación 6. Perdidas por accesorios y fricción*

$$h_L = h_f + h_{acc}$$

*Ecuación 7. Perdidas por accesorios*

$$h_{acc} = \sum k * \frac{V^2}{2g}$$

## 6.9. Perdidas por fricción

Se utiliza para encontrar las perdidas por fricción, la ecuación general de Darcy-Weisbach (Saldarriaga, 2007). “Físicamente basada para describir las pérdidas de energía por unidad de peso, o altura, debidas a la fricción entre el fluido fluyendo y la pared interna de la tubería que lo contiene” (p. 78).

*Ecuación 8. Perdidas por fricción.*

$$h_f = f * \frac{l}{d} * \frac{V^2}{2g}$$

### 6.9.1. Flujo laminar:

Es el tipo de flujo en el cual la viscosidad es suficientemente alta para impedir la aparición de los intercambios moleculares y mezcla entre capas del flujo que caracterizan la turbulencia. (Saldarriaga, 2007).

*Ecuación 9. Factor de fricción para flujo laminar.*

$$f = \frac{64}{Re}$$

### 6.9.2. Flujo turbulento

- **Flujo turbulento hidráulicamente liso:** flujo turbulento en una tubería en el cual el espesor de la subcapa laminar viscosa es mayor que el tamaño de la rugosidad absoluta del material que conforma la pared interna de la tubería ( $k_s < 0,305\delta'$ ). En este tipo de

flujo las pérdidas de energía y, por tanto, el factor de fricción de Darcy, son función únicamente de la rugosidad relativa de la tubería (Saldarriaga, 2007). Ecuación de Prandtl-von Kármán:

*Ecuación 10. Factor de fricción para flujo turbulento hidraulicamente liso (Prandtl-von Kármán).*

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = 2 \log_{10} Re\sqrt{f} - 0,8$$

- **Flujo turbulento hidráulicamente rugoso:** flujo turbulento en una tubería en el cual el tamaño de la rugosidad absoluta de la pared interna de la tubería es mayor que el espesor de la subcapa laminar viscosa ( $k_s > 0,610\delta'$ ). En este tipo de flujo las pérdidas de energía y, por tanto, el factor de fricción de Darcy, son función únicamente de la rugosidad relativa de la tubería (Saldarriaga, 2007). Ecuación de Prandtl-von Kármán:

*Ecuación 11. Factor de fricción para flujo turbulento (Prandtl-von Kármán).*

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = 2 \log_{10} \left[ \frac{d}{k_s} \right] + 1,14$$

- **Flujo turbulento transicional:** flujo turbulento en una tubería en el cual el tamaño de la rugosidad absoluta de la pared interna de la tubería, en comparación con el espesor de la subcapa laminar viscosa, se encuentra entre los limites: ( $0,305\delta' < k_s < 0,610\delta'$ ) (Saldarriaga, 2007). Ecuación de Colebrook-White:

*Ecuación 12. Factor de fricción para flujo turbulento (Colebrook-White).*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{k_s}{3,7d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right]$$

Donde:

$h_f$  = pérdidas por fricción

$f$  =factor de fricción

$l$  = longitud del flujo de la corriente

$d$  =diámetro de la tubería

$V$ = velocidad del fluido

$g$  =gravedad

$R_e$ = número de Reynolds

$k_s$  = rugosidad del material

### 6.10. Numero de Reynolds

“Parámetro adimensional que describe la relación entre las fuerzas inerciales de un flujo y las fuerzas viscosas” (Saldarriaga, 2007). Se implementa para caracterizar el tipo de flujo en el sistema, este puede ser laminar o turbulento, se considera laminar si el número de Reynolds es menor que 2000 y si el número de Reynolds es mayor que 4000 se caracteriza como turbulento.

*Ecuación 13. Numero de reynolds.*

$$R_e = \frac{V * d * \rho}{\eta} = \frac{V * d}{\nu}$$

Donde

$R_e$ = número de Reynolds

$V$ = velocidad del fluido

$d$  =diámetro de la tubería

$\rho$  =densidad del fluido

$\eta$ = viscosidad dinámica del fluido

$\nu$ = viscosidad cinemática del fluido

**6.11. Viscosidad**

La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. (Crane Engineering Department, 1982).

**6.11.1. Viscosidad absoluta o dinámica:**

La unidad de viscosidad dinámica (Crane Engineering Department, 1982) en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (Pa s) o también newton segundo por metro cuadrado (N s/m<sup>2</sup>), o sea kilogramo por metro segundo (kg/ms).

**6.11.2. Viscosidad cinemática**

Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m<sup>2</sup>/s) (Crane Engineering Department, 1982).

*Ecuación 14. viscosidad cinemática*

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde

$v$ = viscosidad cinemática del fluido

$\mu$ = viscosidad dinámica del fluido

$\rho$  =densidad del fluido

**6.12. Coeficiente de correlación de Pearson**

Es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón. Se le conoce también como “coeficiente producto- momento”. Se simboliza *r*. (Hernandez Sampieri et al., 2014).

El coeficiente de correlación de Pearson se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas en una muestra en dos variables. Se relacionan las puntuaciones recolectadas de una variable con las puntuaciones obtenidas de la otra, con los mismos participantes o casos (Sullivan, 2009).

*Tabla 1*

*Clasificación de correlaciones de Pearson.*

<b>Coeficiente de Correlación (<i>r</i>)</b>	<b>Interpretación</b>
-1,00	Correlación negativa perfecta.
-0,90	Correlación negativa muy fuerte.
-0,75	Correlación negativa considerable.
-0,50	Correlación negativa media.
-0,25	Correlación negativa débil.
-0,10	Correlación negativa muy débil
0,00	No existe correlación alguna entre las variables.
0,10	Correlación positiva muy débil.
0,25	Correlación positiva débil
0,50	Correlación positiva media

0,75	Correlación positiva considerable
0,90	Correlación positiva muy fuerte
+1,00	Correlación positiva perfecta

*Nota:* El signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa); y el valor numérico, la magnitud de la correlación. *Fuente:* (Hernandez Sampieri et al., 2014)

Cuando el coeficiente  $r$  de Pearson se eleva al cuadrado ( $r^2$ ), se obtiene el coeficiente de determinación y el resultado indica la varianza de factores comunes. Esto es, el porcentaje de la variación de una variable debido a la variación de la otra variable y viceversa.

$r$ : Coeficiente de correlación de Pearson

$r^2$ : Coeficiente de determinación.

La fórmula del coeficiente de correlación de Pearson (QuestionPro, n.d.) es la siguiente:

*Ecuación 15. Correlacion de pearson*

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Donde:

$x$  = Es igual a la variable número uno.

$y$  = Pertenece a la variable número dos.

$Z_x$  = Es la desviación estándar de la variable número uno.

$Z_y$  = Es la variación estándar de la variable número dos.

$N$  = Es el número de datos.

El conjunto de los  $x$  va a tener una desviación estándar se calcula según la definición:

*Ecuación 16. Desviacion estandar*

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

De la misma manera y obtiene su desviación estándar:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{N - 1}}$$

Se normalizan las variables (Butler, 1985):

*Ecuación 17. Normalizacion de Variables*

$$Z_x = \frac{x - \bar{x}}{S_x}$$

$$Z_y = \frac{y - \bar{y}}{S_y}$$

### 6.13. Proyectos relacionados

En este apartado se mencionan otros estudios relacionados a la implementación de la ecuación general de la energía en sistemas de tuberías, documentos científicos más relevantes con respecto a la temática en todo el mundo anterior a los últimos 3 años.

*Tabla 2.*

*Estado del Arte del presente proyecto mayor a 3 años.*

N	Título del artículo científico	Autores	Resumen
1	Nuevos desarrollos en la medición de la rugosidad de la superficie, la caracterización y la modelización del flujo de fluidos en la tubería	(Farshad et al., 2001)	La investigación se basa en presentar a ingenieros químicos y de petróleo un medio sencillo para estimar la rugosidad absoluta de la superficie y relativa para tuberías con revestimiento interno. Para esto se desarrollarán nuevas tablas de rugosidad relativa junto con las ecuaciones matemáticas correspondientes para tuberías revestidas internamente. Se requiere una determinación precisa de la caída de

			<p>presión debido al flujo de fluido en pozos de petróleo y gas para optimizar los cálculos de diseño de producción de petróleo y gas. Todas las correlaciones de flujo de fluidos multifase, utilizados en las operaciones de producción para calcular estos gradientes de presión y regímenes de flujo, se derivan de la ecuación de balance energético general e implica la determinación de las pérdidas de presión por fricción.</p>
<p>2</p>	<p>Irrigación hidráulica lateral con el método de gradiente</p>	<p>(Zerihun &amp; Sanchez, 2017)</p>	<p>Este estudio hace énfasis en desarrollar un modelo de simulación hidráulica para los laterales de riego, basado en una técnica estándar de análisis de redes (método del gradiente), y evaluar el modelo. En consecuencia, un lateral de riego se describe como una red hidráulica ramificada con enlaces y nodos. Los segmentos de tubos laterales y los emisores o conjuntos de emisores ascendentes, según el caso, se tratan como enlaces. Los nodos de la red se componen de nodos de unión con cabezas desconocidas y nodos de cabeza fija con cabezas dadas. El balance de energía del enlace y las ecuaciones de continuidad nodal que describen el flujo en todo el lateral se acoplan para formar un sistema no lineal, que se resuelve de forma iterativa para las variables: descargas del enlace y cabezas nodales. El modelo de simulación hidráulica se evalúa mediante comparaciones de los resultados del modelo con los datos de campo y los resultados de un modelo existente.</p>

<p>3</p>	<p>Análisis característico de un modelo termodinámico de dos fluidos en desequilibrio para el flujo de tuberías de gas natural líquido</p>	<p>(Jia et al., 2017)</p>	<p>La investigación consta de un análisis de un modelo para el flujo de tuberías del Gas Natural Líquido (NGL) ya que sus principales componentes como el etanol, el propano y el isobutano tienen un comportamiento de fase y evaporación y suelen provocar un flujo bifásico termodinámico en desequilibrio en la tubería de transmisión. Por esta razón se construye un modelo unidimensional de dos fluidos que considera la compresibilidad y la viscosidad del NGL en base a las ecuaciones generales de masa, momento y conservación de energía para cada fase. Los resultados demuestran que su característica matemática depende principalmente de la fracción de vacío, las densidades y las velocidades de flujo de las fases líquida y de vapor. Además, los resultados indican que los métodos de solución numérica del modelo adiabático de dos fluidos podrían extenderse potencialmente para resolver el modelo de dos fluidos en desequilibrio para el flujo de la tubería del NGL.</p>
<p>4</p>	<p>Turbulencia multifásica en flujos burbujeantes: simulaciones de RANS.</p>	<p>(Colombo &amp; Fairweather, 2015)</p>	<p>Este artículo se basa en un estudio de la capacidad de un modelo computarizado multifásico de dinámica de fluidos de dos fluidos de Eulerian-Eulerian para predecir los flujos de aire y agua burbujeantes. Para esto se implementa las ecuaciones de la energía cinética de la turbulencia y tasa de disipación de la energía de la turbulencia de la <math>k-\epsilon</math> modelo de turbulencia, y la optimización de la fuente de turbulencia da predicciones de fluctuación de velocidad de acuerdo con los datos.</p>

<p>5</p>	<p>Friction forces on plugs of coarse particles moving upwards in a vertical column.</p>	<p>(Rabinovich et al., 2012)</p>	<p>La investigación consiste en analizar teórica y experimentalmente sobre la fuerza de fricción de un flujo de tapón vertical. Los resultados experimentales señalan que la fuerza de fricción del tapón depende significativamente del diámetro del tubo, el coeficiente de fricción de la pared, la relación de tensión y la longitud del tapón. Por otro lado, los resultados teóricos señalan a la fuerza de fricción del tapón, estos fueron calculados gracias a la ecuación general de los coeficientes de esfuerzo activo y pasivo.</p>
<p>6</p>	<p>Un modelo general de turbulencia macroscópica para los flujos en lechos empaquetados, canales, tuberías y haces de varillas</p>	<p>(Nakayama &amp; Kuwahara, 2008)</p>	<p>La siguiente investigación está enfocada en el modelo de turbulencia de dos ecuaciones de Nakayama y Kuwahara y sus modificaciones, para los flujos en medios porosos. Estos métodos pueden utilizarse en los flujos cruzados en bancos de cilindros y lechos de relleno, y los flujos longitudinales en canales, tuberías y haces de varillas. En este estudio se consideran el equilibrio de la energía cinética de flujo medio dentro de un poro, a fin de buscar expresiones generales para estos términos de producción adicionales, que son válidos para la mayoría de los tipos de morfología de los medios porosos. Con la finalidad de puede utilizarse para analizar la mayoría de las situaciones complejas de flujo turbulento en medios porosos homogéneos sin una información morfológica detallada.</p>

7	<p>Estudio experimental del factor de fricción de líquidos monofásicos en el rodaje Tubo horizontal</p>	<p>(Zhang et al., 2008)</p>	<p>El siguiente artículo consiste en investigar la caída de la presión de la fricción del líquido monofásico en el tubo rodante con un diámetro interior de 34,5 mm para desarrollar una corrección general del factor de fricción. El factor de fricción se obtiene aplicando la ecuación de la energía y la fórmula de Darcy. Comparando los resultados experimentales entre el estado rodante y el estable, se destaca que la caída de presión por fricción dependía no sólo de la velocidad de flujo, el diámetro del tubo, sino también del período de rodamiento, el ángulo de rodamiento, etc.</p>
---	---	-----------------------------	---

*Fuente:* Elaboración propia.

## 7. Metodología

### 7.1.Recolección de información, selección de variables y parámetros a evaluar.

Se analiza cada una de las variables que se encuentran en la ecuación general de la energía. Para esto se tiene en cuenta el libro de mecánica de fluidos de Robert L. Mott (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015). Identificamos cuál es el parámetro teórico y experimental para evaluar teniendo en cuenta que algunas variables se mantendrán constantes a lo largo de los ensayos y otras se modificarán. Las variables constantes a lo largo del experimento son las siguientes:

Tabla 3

*Variables del sistema*

Materia l de la tubería	Diámetro Nominal (in)	Caudal (L/s)	Longitud del flujo de la corriente(m)	Agua a 25°C	
				Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)
Acero	1/2				
PVC	1/2	15	2	1,10	9,79*
PVC	1	20	5		8,94.E-07*
PVC	1 1/2				

*Nota: \*Características del fluido. Fuente: (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015)*

### 7.2. Diseño del sistema de tuberías

Se realiza un modelo 2D en AutoCAD del sistema de tuberías teniendo en cuenta las medidas, accesorios y elementos que puedan permitir realizar un diseño optimo, esta fase emplea las reflexiones del proceso anterior para proponer el diseño hidráulico ilustrado en la figura 2.

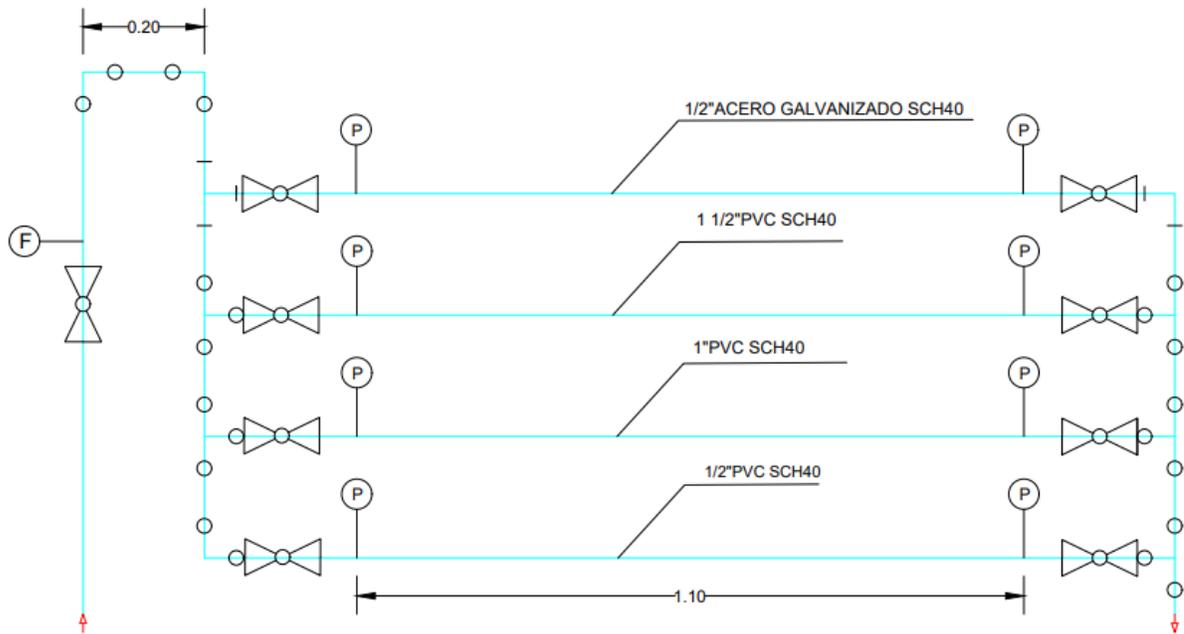


Figura 2. Diseño hidráulico conceptual del sistema de tuberías. Fuente: elaboración propia.

### 7.3. Elaboración del sistema de tuberías

Con ayuda del modelo de CAD se realiza el montaje del sistema de tuberías, ensamblar los accesorios y tramos rectos, teniendo en cuenta los sensores de medición de las variables significativas que inciden en el modelo. Para la instrumentación de este sistema, se propone realizar el montaje sobre un panel estable móvil y emplear algunos recursos del laboratorio como el manómetro diferencial digital Comark C9500 para medir la caída de presión en cada tramo evaluado. Adicionalmente, para la lectura del caudal se plantea el uso del rotámetro EZ-View Flow Meter. Todo este ensamble se alimentará desde el Banco Hidráulico digital H1F para desarrollar las condiciones de flujo y presión en cada prueba ejecutada.

#### 7.3.1. Materiales

Para la construcción del panel estable móvil y sistema de tuberías fueron necesarios los elementos relacionados a continuación:

- Tubo cuadrado metálico 40x40x1.5mm
- Lamina acrílica de 5mm de espesor (1.8\*1m)
- Tubería PVC de ½", 1" y 1-½".
- Tubería de acero comercial de 1/2 “
- Accesorios de tubería:

**Tabla 4**

*Accesorios de tubería según material y diametro.*

Material	Accesorios	Cantidad		
		1/2"	1"	1-1/2"
Acero comercial	Codo 90°	1		
	Tee roscado	3		
	Unión hembra roscada	2		
	Válvula tipo bola	2		
	Adaptador hembra		5	2
	Adaptador macho	3	3	2
	Buje liso		5	4
PVC	caudalímetro		1	
	Codo 90°		5	3
	Tee lisa	4	4	3
	Unión lisa	2	1	1
	Unión universal		1	
	Válvula tipo bola lisa	2	3	2

*Fuente:* elaboración propia.

- Manguera plástica transparente de 1/2" y 1-1/2"
- Amarres plásticos.
- Rodachines.
- Tornillos, tuercas y arandelas.

### **7.3.2. Equipos**

- **Manómetro diferencial digital Comark C9500**

Los medidores de presión de Comark combinan precisión con rapidez de respuesta y oferta la opción de Intrínsecamente Seguro con certificación ATEX. Los instrumentos C9500 tienen entradas gemelas para presiones manométricas o diferenciales y medición de presión positiva o negativa (vacío). (Comark, 2015).



Figura 3. Manómetro diferencial digital Comark. Fuente: elaboración propia.

- **Caudalímetro**

El caudalímetro de la serie EZ-View es un medidor de flujo de clase industrial de lectura directa simple de Instalar. Se puede instalar en cualquier posición desde vertical a horizontal sin costosos alisadores de flujo u otra plomería especial.

“Proporciona una lectura directa e instantánea medición de caudal de líquidos en sistemas de tuberías cerrados. El plástico transparente de polisulfona permite la inspección visual del estado del fluido, así como la visualización del indicador de flujo interno relativo a una escala de flujo

calibrada. Proporciona medición mediante la creación de una presión diferencial predecible a través de un borde afilado orificio que se encuentra en el conjunto del pistón.” (Hedland, 2010).



Figura 4. Caudalímetro de la serie EZ-View. Fuente: elaboración propia.

- **Banco hidráulico H1F.**

“Este producto suministra un flujo de agua controlado a una amplia variedad de módulos de experimentos de laboratorio. El cuerpo del banco forma un depósito o "Tanque de sumidero" con bomba sumergible. Una vez lleno, el banco no necesita suministro de agua externo. Una válvula de control manual ajusta el caudal de agua de la bomba. Una caja eléctrica en el costado

del banco incluye el interruptor de la bomba, la protección del circuito y un panel digital para visualización de flujo.” (Tecquipment, 2017).



*Figura 5. Banco hidráulico H1F. Fuente: elaboración propia.*

### **7.3.3. Montaje**

Al realizar el montaje del sistema de tuberías sobre el panel diseñado, empleando todos los materiales y equipos relacionados en el presente proyecto, el sistema queda finalmente como se evidencia en la Figura 6.



*Figura 6. Montaje de panel estable movil del sistema de tuberias diseñado. Fuente: elaboración propia.*

#### **7.3.4. Procedimiento experimental.**

Con base al desarrollo de las fases anteriores, se prosigue a elaborar las guías para accionar y operar el sistema de tuberías de forma tal que sea duplicable y comprensible para su manipulación como experiencia de laboratorio. En esta parte debe existir finalmente el panel del sistema de tuberías con total funcionalidad.



Figura 7. Procedimiento para manejo del sistema de tuberías. Fuente: elaboración propia.

#### 7.4. Análisis de datos teóricos y experimentales.

Se verifican las diferentes variables experimentales obtenidas del montaje y los ensayos de laboratorio del sistema de tuberías que influyen en los cálculos teóricos para la obtención de pérdidas por fricción y accesorios en los tramos de tuberías escogidos.

Luego, a partir de la ecuación general de la energía se analiza la equivalencia y/o igualdad entre el diferencial de presiones de los puntos analizados y las pérdidas de fricción a lo largo de este.

En la figura 8 se resume el presente punto.

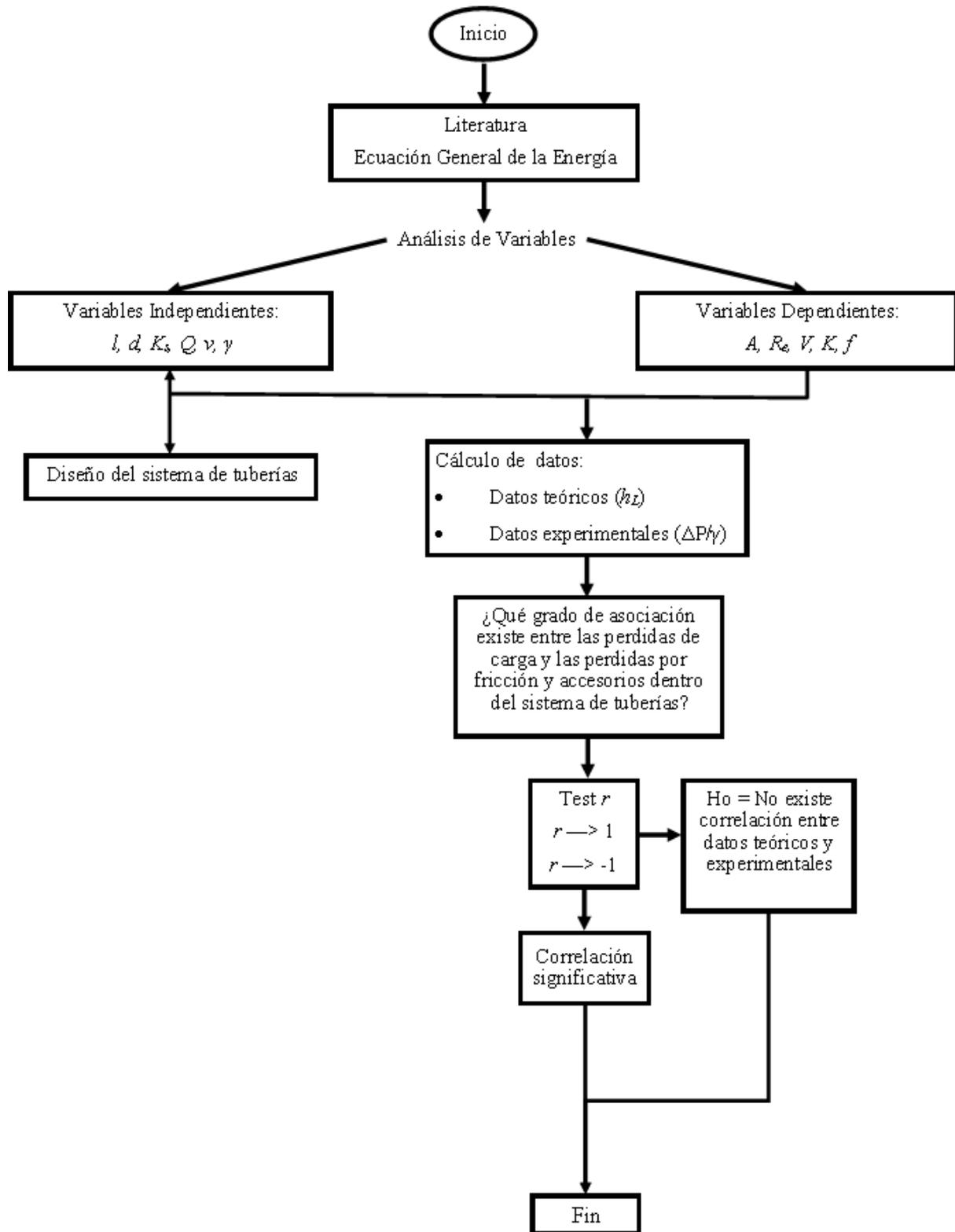


Figura 8. Resumen de la metodología y analisis realizados. Fuente: elaboración propia.

## 8. Resultados

### 8.1. Análisis de la ecuación general de la energía aplicado al sistema de tuberías.

1. Selección del tramo a analizar



Figura 9. Esquema simple de un tramo de tubería analizado. Fuente: elaboración propia.

2. Analizar la ecuación de la energía (Ec. 1) con base al tramo seleccionado:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V^2_1}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V^2_2}{2g}$$

3. Se anulan los datos  $h_A$  y  $h_R$  debido a la ausencia de equipos mecánicos dentro del tramo analizado y se procede a despejar la diferencia de presiones:

$$p_1 - p_2 = \gamma \left[ (z_2 - z_1) + \frac{V^2_2 - V^2_1}{2g} + h_L \right]$$

4. Se anulan las variables de diferencia de altura y velocidades, partiendo de que es un tramo recto completamente horizontal (sin diferencia de altura) y sección transversal continua, resultando la igualdad de la diferencia de presión al producto de las pérdidas por fricción y accesorios y peso específico del fluido.

$$p_1 - p_2 = \gamma * h_L$$

5. Finalmente, para poder analizar los datos en las mismas unidades, se tiene que:

$$h_L = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma}$$

**8.2.Cálculo de pérdidas por fricción y accesorios del sistema por tramo de tubería.**

Como resumen a los pasos anteriores se elabora una tabla dinámica en Excel con el fin de realizar todos los cálculos requeridos para hallar la cantidad de perdidas presentadas por fricción y accesorios, siguiendo los pasos de la Figura 10.

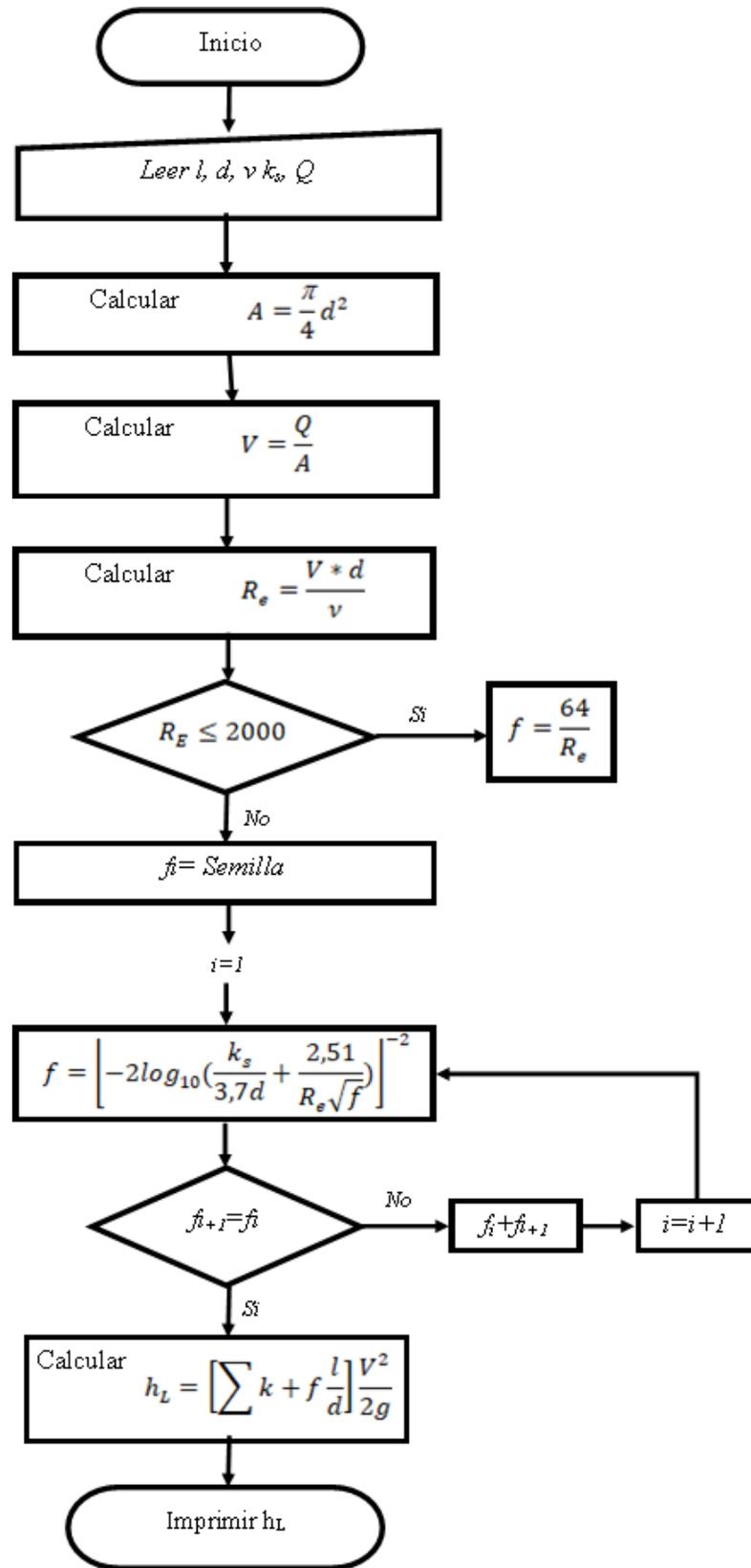


Figura 10. Diagrama de Flujo para el calculo de  $h_L$ . Adaptado de: Hidráulica de tuberías: abastecimiento de agua, redes, riego 2do capítulo, (Saldarriaga, 2007).

- Se relaciona accesorios ubicados entre cada tramo de tubería analizado con su respectivo coeficiente  $k_s$ :

Tabla 5

Factor  $K_s$  de accesorios dentro del tramo de tubería analizado.

Material	Accesorios	$K_s$	Cantidad		
			1/2"	1"	1-1/2"
Acero	Unión hembra roscada	0,08*	2	-	-
PVC	Unión lisa	0,08*	2	-	1

Nota: (-) no aplica el accesorio. Fuente: \* (Çengel & Cimbala, 2012, p. 351)

### 8.2.1. Relación de pérdidas por fricción y accesorios.

Como resultado a la tabla dinámica de Excel se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 6

Datos obtenidos de los calculos teoricos.

Materia	$l$	$d$	Área	$v$	$K_s$	$Q$	$V$	$f$	$h_L$		
I	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /s)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)	Re	Calc.	$\Sigma k$	(m)
Acero	1,1	0,0158	0,00020	8,97E-07	4,60E-05	2,60E-04	1,33E+0	2,34E+0	0,030		<b>0,205</b>
							0	4	7	0,16	<b>9</b>
							1,75E+0	3,09E+0	0,029		<b>0,349</b>
							0	4	7	0,16	<b>7</b>
							2,13E+0	3,75E+0	0,029		<b>0,504</b>
					4,17E-04	0	4	2	0,16	<b>8</b>	
PVC	1,1	0,0170	0,00023	8,97E-07	1,50E-06	2,60E-04	1,15E+0	2,17E+0	0,025		<b>0,121</b>
							0	4	6	0,16	<b>4</b>
							1,52E+0	2,87E+0	0,024		<b>0,200</b>
							0	4	0	0,16	<b>2</b>

						1,84E+0	3,48E+0	0,022		<b>0,282</b>
					4,17E-04	0	4	9	0,16	<b>9</b>
						4,47E-01	1,36E+0	0,028		<b>0,011</b>
					2,60E-04		4	6	0	<b>8</b>
1,1	0,027	0,0005	8,97E-	1,50E-		5,92E-01	1,80E+0	0,026		<b>0,019</b>
	2	8	07	06	3,44E-04		4	7	0	<b>3</b>
						7,18E-01	2,18E+0	0,025		<b>0,027</b>
					4,17E-04		4	5	0	<b>0</b>
						2,86E-01	1,09E+0	0,030		<b>0,004</b>
					2,60E-04		4	3	0,08	<b>4</b>
1,1	0,034	0,0009	8,97E-	1,50E-		3,79E-01	1,44E+0	0,028		<b>0,007</b>
	0	1	07	06	3,44E-04		4	2	0,08	<b>3</b>
						4,59E-01	1,74E+0	0,026		<b>0,010</b>
					4,17E-04		4	9	0,08	<b>2</b>

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la Tabla 6. Se grafican como se muestra la figura 10 para su respectivo análisis.

**8.2.2. Relación de datos experimentales (Medición de presión diferencial).**

Se realizaron tres ensayos de laboratorio para cada tramo de tubería siguiendo en el procedimiento para manejo del sistema de tuberías elaborado, manteniendo los mismos caudales como se menciona anteriormente para un mejor análisis y comparativo de los resultados.

Tabla 7

Resultados obtenidos del procedimiento experimental.

Material	d (m)	Q			ΔP (KPa)	Pmax (KPa)	Pmín (KPa)	ΔP / Δ (m)
		(l/min)	(l/s)	(m3/s)				
ACERO	0,0158	15	0,26	0,00026	1,77	2,94	1,02	0,1810
		20	0,344	0,00034	3,85	5,78	0,46	0,3937
		25	0,417	0,00042	5,20	7,15	3,50	0,5318
PVC	0,0170	15	0,26	0,00026	1,19	2,00	0,15	0,1217
		20	0,344	0,00034	1,78	3,05	0,30	0,1820

	25	0,417	0,00042	2,38	3,84	1,50	0,2434
	15	0,26	0,00026	0,10	1,13	-1,34	0,0102
0,0272	20	0,344	0,00034	0,24	1,81	-1,43	0,0245
	25	0,417	0,00042	0,36	1,75	-0,71	0,0368
	15	0,26	0,00026	0,13	0,51	-0,36	0,0133
0,0340	20	0,344	0,00034	0,21	0,71	-0,56	0,0215
	25	0,417	0,00042	0,19	1,25	-0,76	0,0194

*Fuente:* elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la Tabla 6. Se grafican como se muestra la figura 11 para su respectivo análisis.

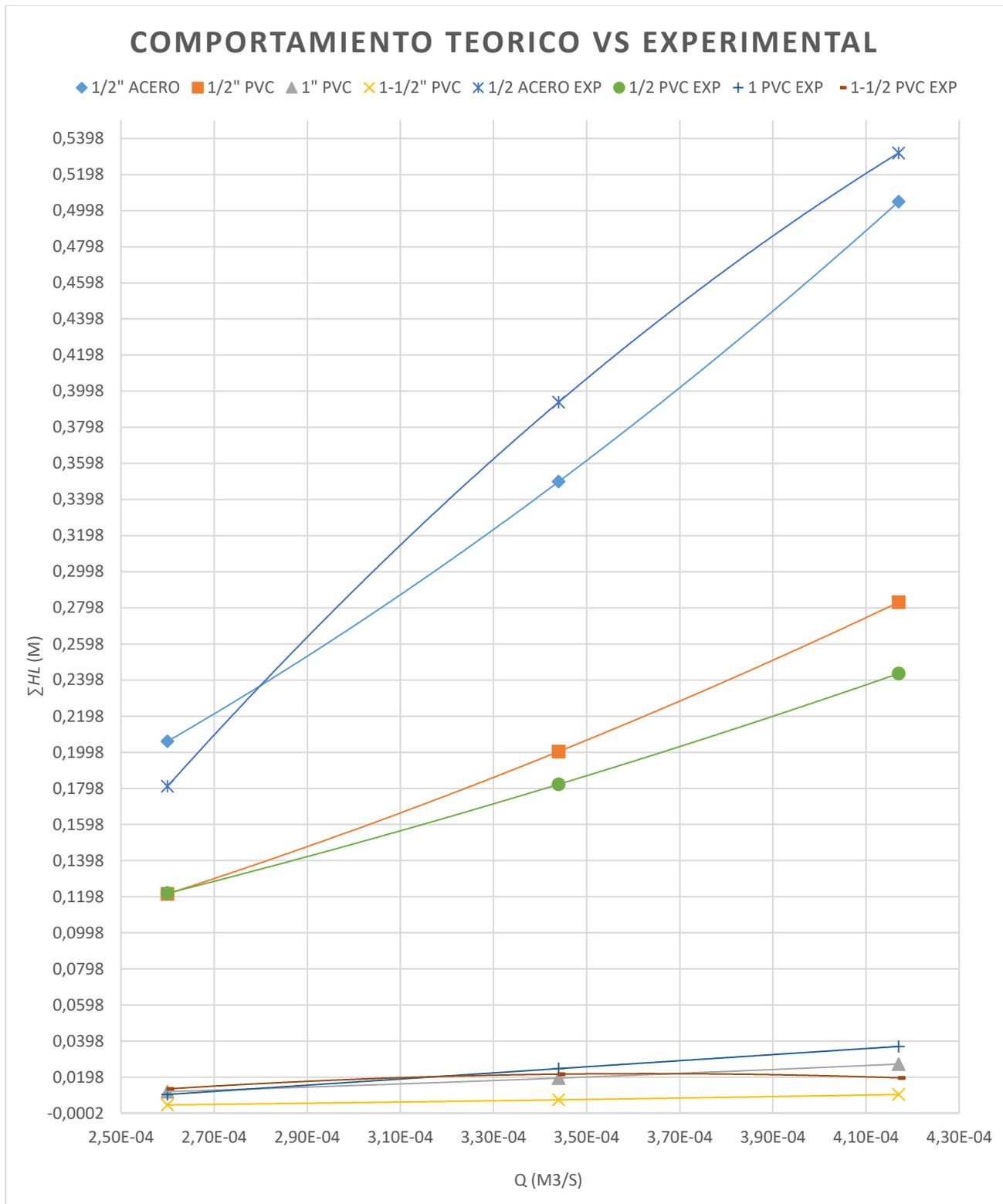


Figura 11.. Grafica Q Vs DP/g de los tramos analizados. Fuente: elaboración propia

Como se logra apreciar en la figura 11, si bien ambos comportamientos, teórico vs practico, trabajan los mismos caudales, los datos variables son las perdidas por fricción y accesorios y el cociente del diferencial de presión y peso específico del fluido utilizado, ambos muestran un comportamiento bastante similar lo cual indica comprobación de la igualdad supuesta. Sin embargo, para realizar evaluaciones más certeras y precisas, procedemos a graficar los resultados por cada tramo de tubería que conforman el sistema de estudio.

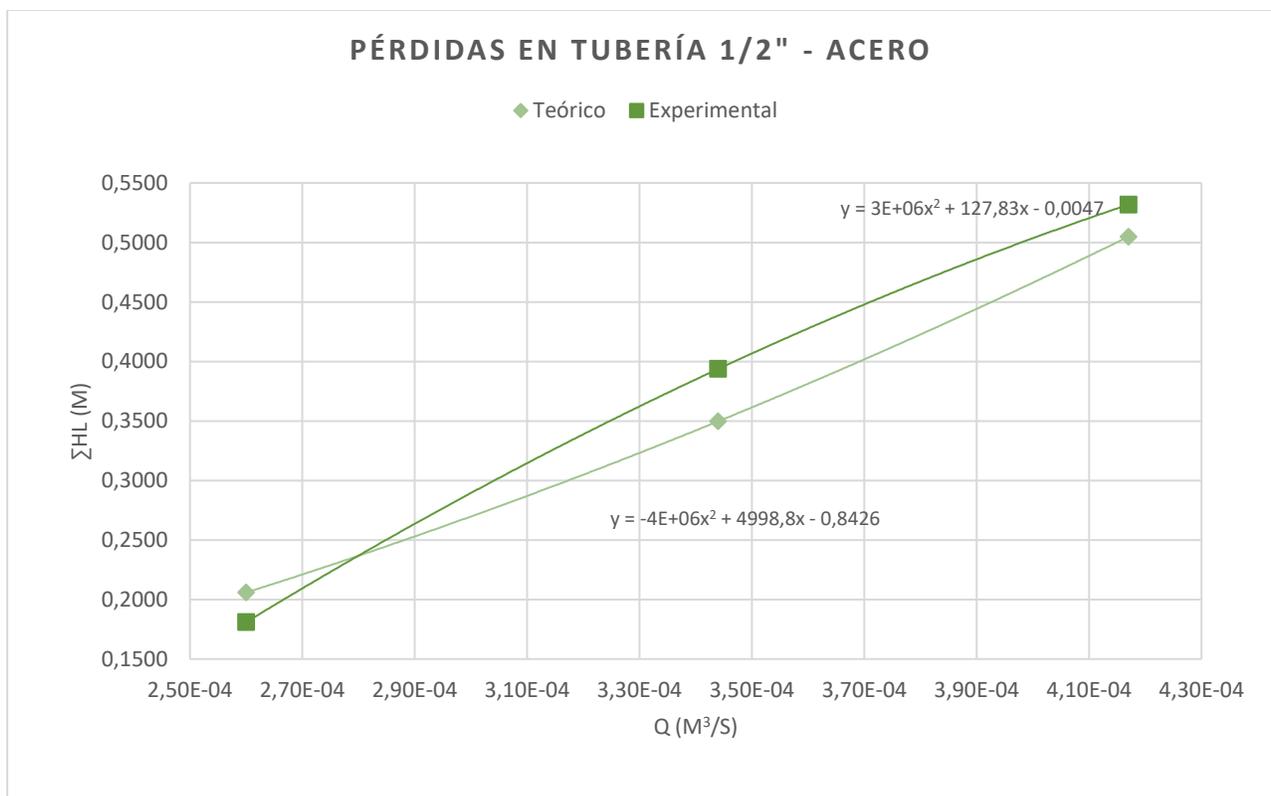


Figura 12. Grafica Q Vs Perdidas de la tuberia de 1/2" en acero comercial. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la Figura 12 se aprecia que a medida que el caudal va aumentando, las perdidas por fricción y el diferencial de presión también aumentan proporcionalmente, para un mismo diámetro y material. Ambos resultados muestran unos valores muy similares, pero el

comportamiento en conjunto varía, los datos experimentales muestran una parábola cóncava y los teóricos, convexa.

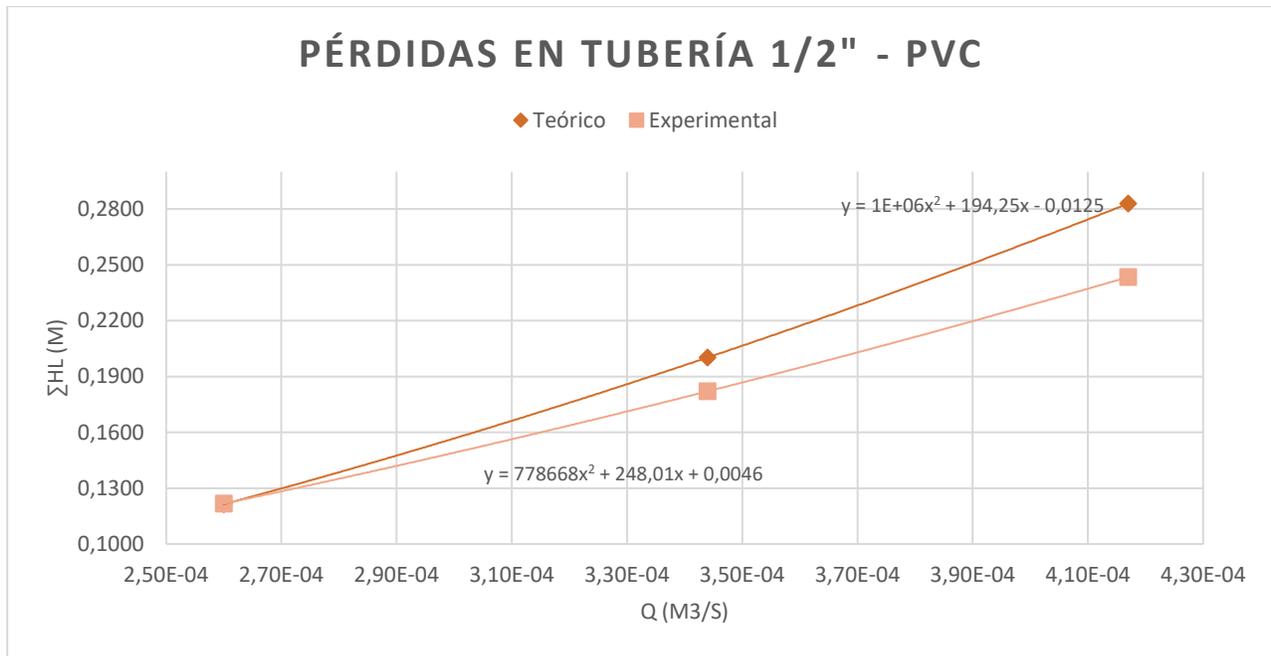


Figura 13. Grafica Q Vs Perdidas de la tubería de 1/2" en pvc. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la Figura 13 se aprecia que a medida que el caudal va aumentando, las perdidas por fricción y el diferencial de presión también aumentan proporcionalmente, para un mismo diámetro y material. Los valores de datos experimentales como los teóricos se comportan de una manera similar, ambos conjuntos se comportan como cóncava.

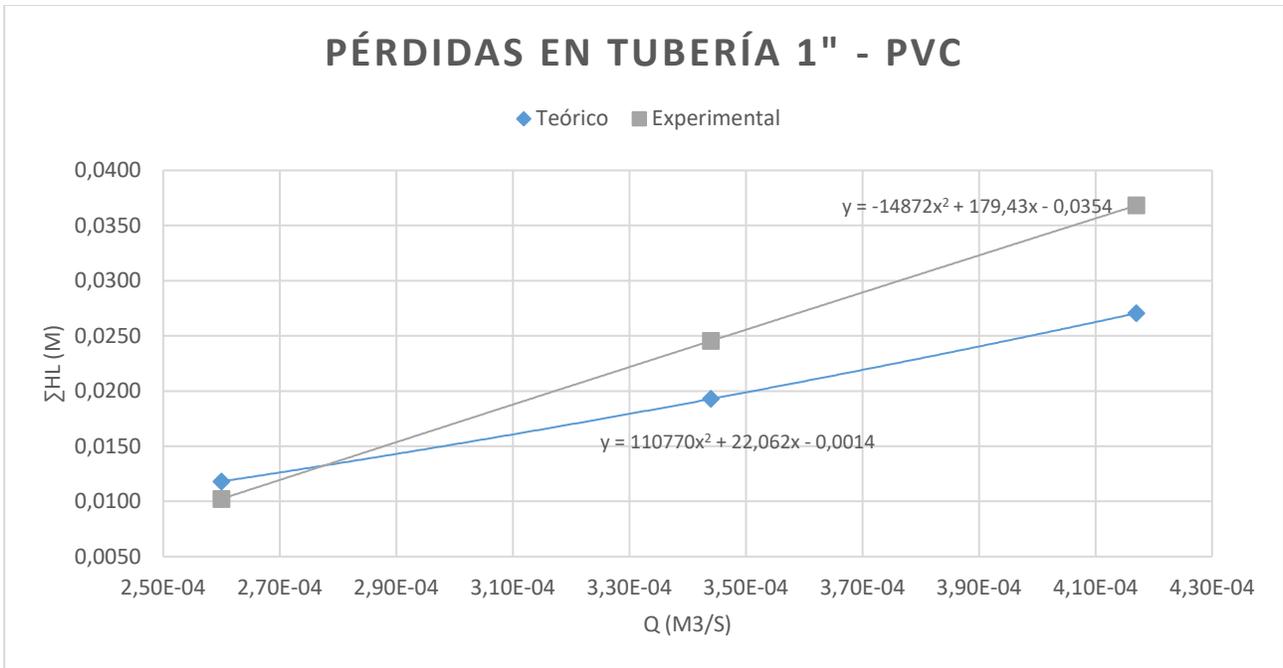


Figura 14. Grafica Q Vs Perdidas de la tuberia de 1" en pvc. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la Figura 14 se aprecia que a medida que el caudal va aumentando, las pérdidas por fricción y el diferencial de presión también aumentan proporcionalmente, para un mismo diámetro y material. Los valores de datos teóricos y experimentales son similares, pero a medida que aumenta el caudal presentan mayor discrepancia, el comportamiento en conjunto de los datos experimentales muestran una parábola convexa y los teóricos, cóncava.

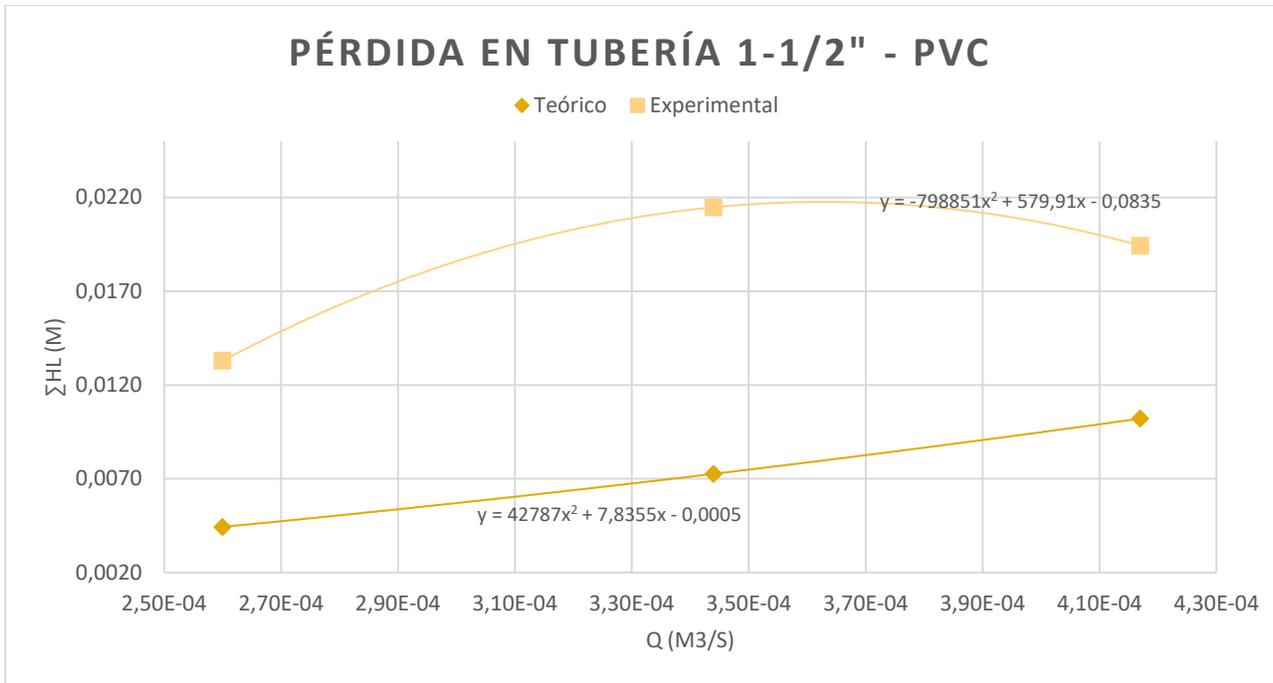


Figura 15. Grafica Q Vs Perdidas de la tubería de 1-1/2'' en pvc. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la Figura 15 se observa una significativa diferencia entre las pérdidas teóricas y experimentales, donde los datos experimentales arrojan valores más altos que los teóricos. Se presume como posible causa, errores en la medición o fugas dentro del tramo. Esto con base en que, durante el proceso de montaje del sistema, la tubería de 1-1/2'' represento más trabajo debido a las múltiples veces que fue intervenido a causa de fallas en la aplicación de la soldadura y el correcto ensamble de los elementos. Factores que pueden haber influido en el ensayo:

- Lecturas del manómetro.
- Posibles vacíos de aire en la tubería.
- Fuertes presiones de salida del agua hacia el banco hidráulico debido a la rugosidad de la manguera.

**8.3. Análisis de tuberías mismo diámetro nominal, distinto material.**

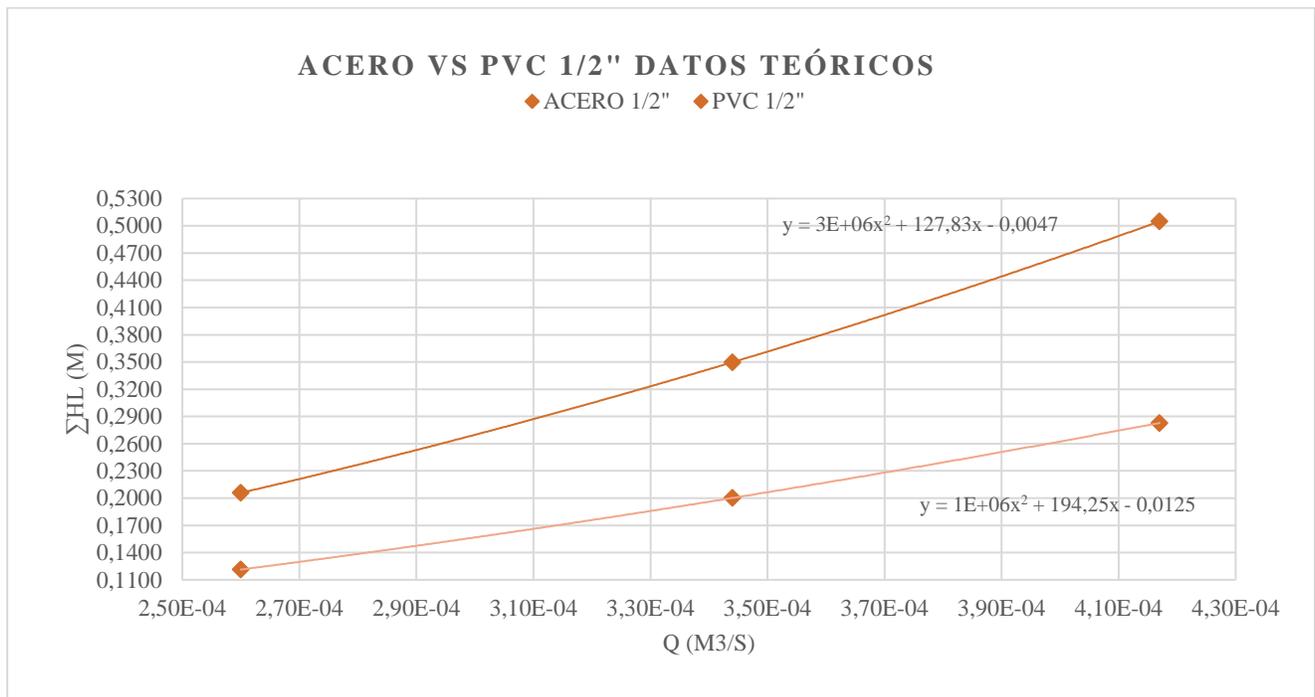


Figura 16. Gráfica Q vs h<sub>L</sub> para tubería de 1/2" en acero y PVC. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la figura 16 se observa que la rugosidad de las paredes de la tubería con base al cálculo de las pérdidas de carga afecta al flujo de manera considerable, ya que presenta una notoria diferencia entre ambas aún con diámetros bastante similares, se puede visualizar que las perdidas por el tramo de tubería de acero son mayores que en el tramo de PVC. Se podría realizar un mejor análisis si se mantuviera el mismo diámetro, pero comercialmente esto no es constante en los materiales y fabricante. Los valores difieren en un promedio de 42,59%.

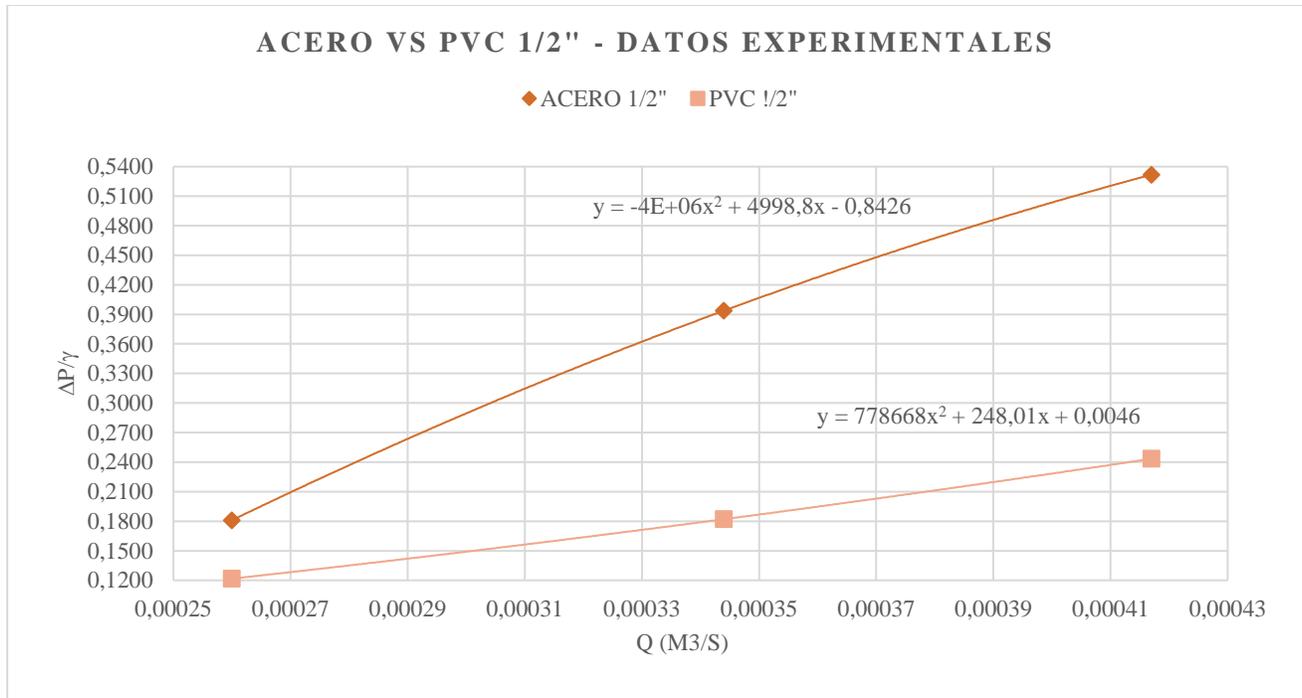


Figura 17. Grafica Q vs. DP/g para tubería de 1/2" en acero y PVC. Fuente: elaboración propia.

Se puede observar la similitud de las gráficas en las figuras 16 y 17, dado que en ambas la rugosidad altera las pérdidas en el flujo a pesar de tener diámetros similares, se demuestra que efectivamente hay mayores pérdidas en el tramo de acero que en el de pvc. Las pérdidas son directamente proporcionales a la rugosidad de la tubería.

Cuanto menor sea la rugosidad de la pared interna de las tuberías, menores serán los diámetros resultantes de procesos de diseño. Esta relación no se aplica en todos los casos (por eso se habla de una tendencia) debido a los valores discretos de los diámetros de tuberías comercialmente disponibles. (Saldarriaga, 2007). Debido a que cada material tiene su propia rugosidad absoluta, los diseños deben hacerse tantas veces como materiales estén disponibles, con el fin de escoger la alternativa óptima.

**8.4. Análisis de mismo material diferente diámetro.**

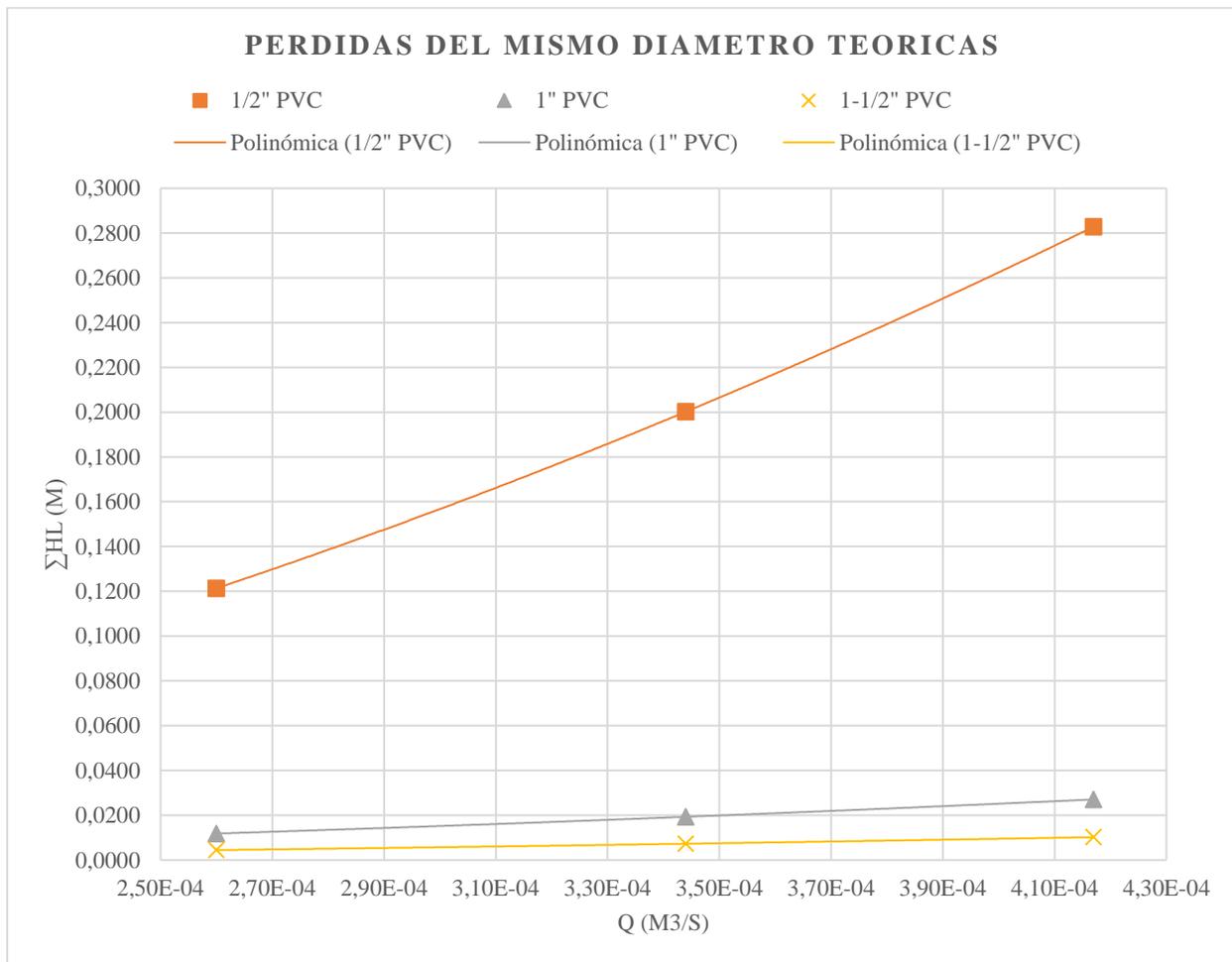


Figura 18. Grafica Q vs h<sub>L</sub> para tubería PVC de 1/2", 1" y 1-1/2". Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la figura 18 se observa que se genera una gran pérdida debido al cambio de diámetro de la tubería, en el tramo de tubería de 1/2" las pérdidas son mucho mayores en comparación con los tramos de tubería de 1" y 1-1/2". La diferencia en pérdidas por tramo es entre 62 y 90%.

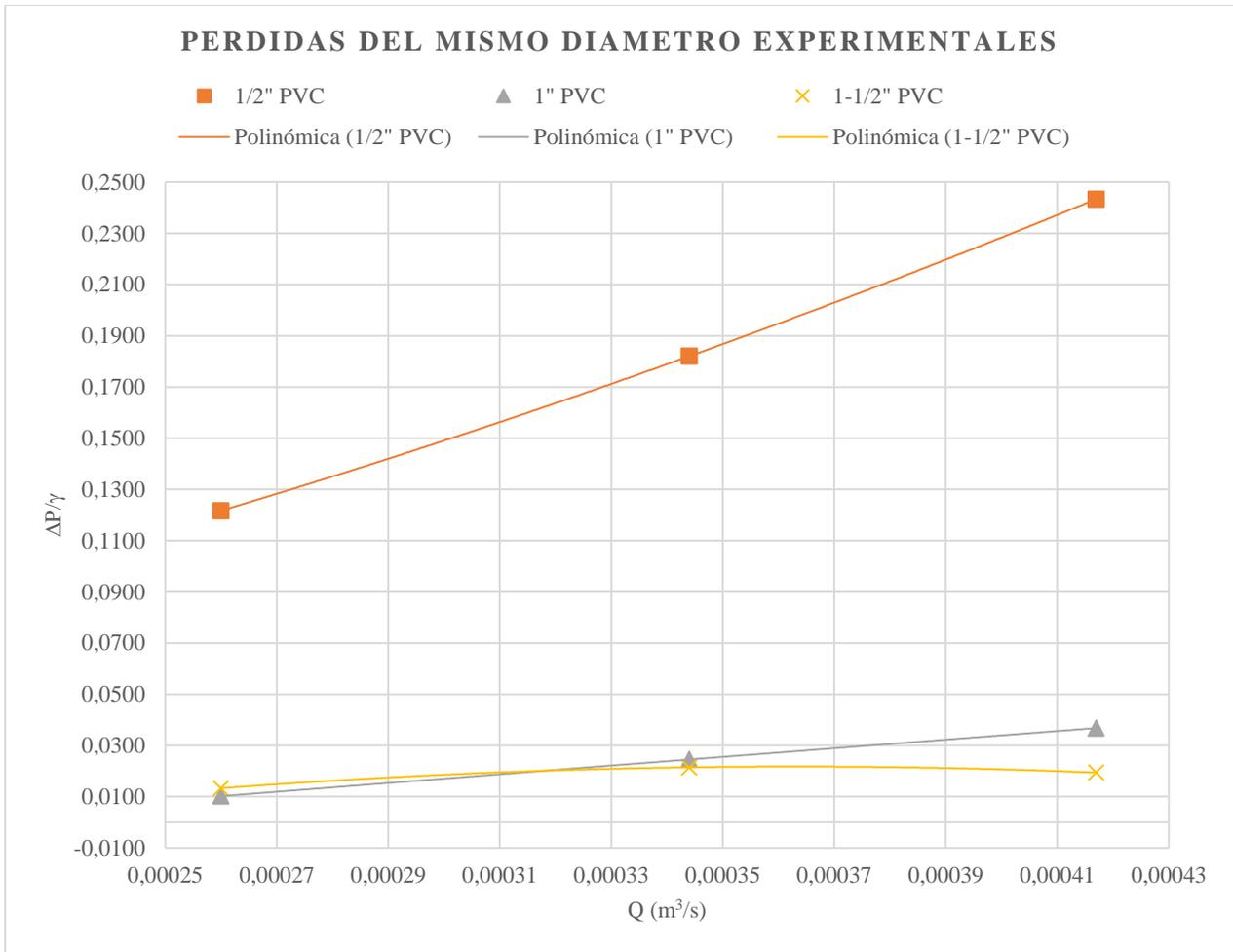


Figura 19. Grafica Q vs. DP/g para tubería PVC de 1/2", 1" y 1-1/2". Fuente: elaboración propia.

Analizando las figuras 18 y 19 las gráficas presentan gran similitud, la pérdida disminuyen entre mayor es el diámetro de la tubería, presenta un comportamiento inversamente proporcional.

Adicional, se presume que los márgenes de error se ven influenciados también por falta de precisión en sensores del manómetro digital debido a que el equipo no ha sido calibrado desde su compra.

**8.5. Coeficiente de correlación de Pearson.**

Se realizo como análisis estadístico el coeficiente de correlación de Pearson, el cual nos permite evaluar si la hipótesis propuesta es verdadera. En este caso nuestra hipótesis ( $H_0$ ) *No existe correlación entre las perdidas por fricción y accesorios y el cociente del diferencial de presión y el peso específico del fluido.*

Los valores fueron exportados al programa IBM SPSS®, donde se realizó el análisis estadístico global de los resultados obtenidos.

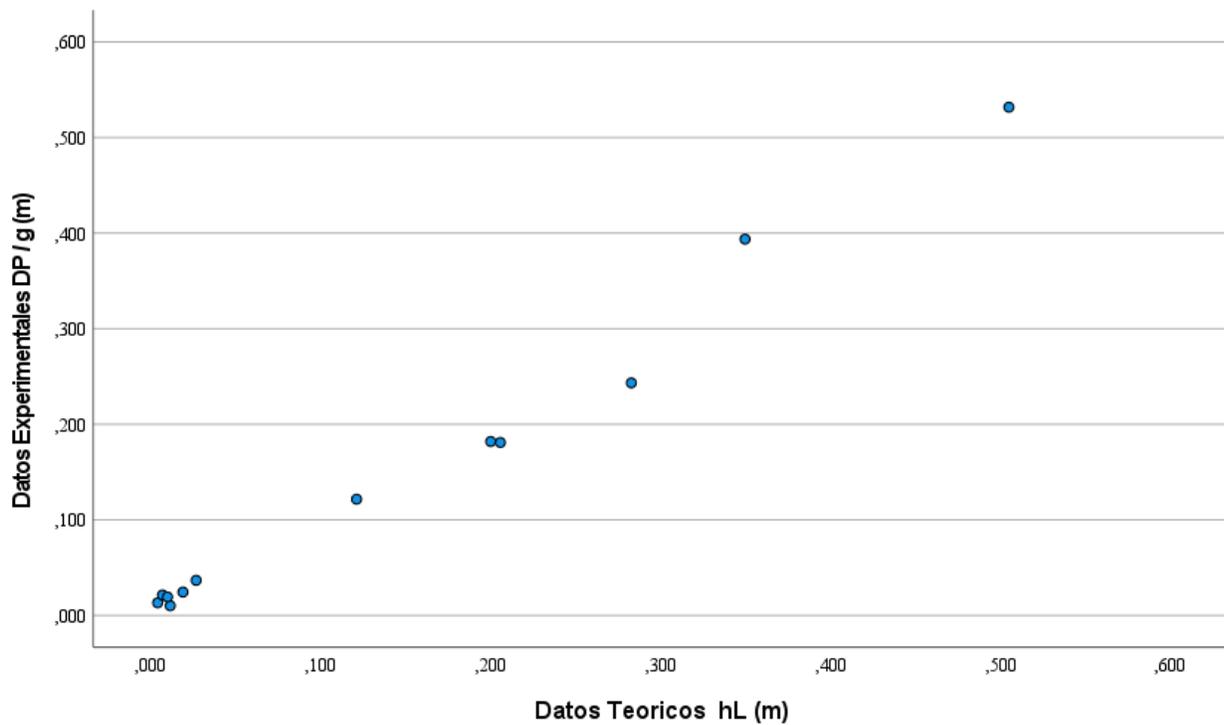


Figura 20. Datos experimentales (DP/g ) vs. Datos teóricos (h<sub>L</sub>). Fuente: IBM SPSS®.

**Tabla 8**

*Correlaciones entre resultados "Teóricos h<sub>L</sub>" y "Experimentales DP/g".*

		Datos Teóricos h <sub>L</sub> (m)	Datos Experimentales DP / g (m)
Datos Teóricos h <sub>L</sub> (m)	Correlación de Pearson	1	,991**
	Sig. (bilateral)		<,001
	N	12	12
Datos Experimentales DP / g (m)	Correlación de Pearson	,991**	1
	Sig. (bilateral)	<,001	
	N	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: IBM SPSS®.

En la tabla 8 la correlación aparece dos veces, porque es una tabla que hace todas las comparaciones posibles entre las variables y al hacerlo, genera un eje diagonal (representado por las correlaciones de las variables contra ellas mismas), y por encima de ese eje aparecen todos los coeficientes, y se repiten por debajo del eje. La correlación es de 0.991 y es significativa en el nivel del 0.001 (menor del 0.01). N representa el número de casos correlacionados.

El coeficiente de determinación es:

$$r^2 = 0,991^2 = 0,982$$

“Las pérdidas por fricción y accesorios” constituye a, o explica, 98,2% de la variación del “Cociente del diferencial de presión y el peso específico del fluido” y viceversa. Esto quiere decir que casi el 100% de la variabilidad de un constructo depende de la otra.

Usando la herramienta Excel se procedió a calcular el coeficiente correlación por cada uno de los tramos de tubería analizados.

**Tabla 9**

*Coefficientes de correlación de pearson por tramo de tubería.*

<b>Material</b>	<b>d (mm)</b>	<b>Datos teóricos hL (m)</b>	<b>Datos experimentales DP / g (m)</b>	<b>Coefficiente de correlación</b>	<b>Interpretación</b>
ACERO	15,80	0,2059	0,1810	0,9897	Correlación positiva muy fuerte
		0,3497	0,3937		
	17,00	0,5048	0,5318	1,0000	Correlación positiva perfecta
		0,1214	0,1217		
PVC	27,20	0,2002	0,1820	0,9985	Correlación positiva muy fuerte
		0,2829	0,2434		
		0,0118	0,0102		
	34,00	0,0193	0,0245	0,7122	Correlación positiva considerable
		0,0270	0,0368		
		0,0044	0,0133		
		0,0073	0,0215		
		0,0102	0,0194		

*Fuente:* elaboración propia.

La tabla 9 permite analizar la correlación de los datos por tramo de tubería, donde se aprecia y/o comprueba lo mencionado anteriormente respecto al tramo de tubería pvc de 1-1/2”.

Los datos teóricos y experimentales tienen una buena correlación, pero no es tan alta como en los demás tramos analizados.

## 9. Conclusiones

En el presente proyecto fue presentado un diseño experimental para calcular y analizar las pérdidas de energía que se presentan a lo largo de tuberías simples, utilizando para este propósito un sistema de tuberías donde se evalúan las diferentes caídas de presión. Se desarrolló y analizó de manera exitosa la metodología para el uso de este equipo en el laboratorio de mecánica de fluidos e hidráulica de la Universidad de la costa. Los principales datos son las perdidas por fricción, accesorios y la caída de presión, obtenidos a partir de cálculos y 12 ensayos realizados. Con base a bibliografía estudiada, los datos utilizados y los resultados obtenidos, relacionamos las siguientes conclusiones:

El efecto de la rugosidad sobre el diseño final de un sistema de tuberías resulta claro en el presente proyecto para condiciones hidráulicas y diámetros similares, la tubería más lisa tiende a tener perdidas menores que la tubería más rugosa. Sin embargo, el que los distintos materiales tengan diámetros internos exactamente iguales es una condición difícil de tener en la realidad. Por esta razón, cada vez que se haga un diseño de un sistema de tuberías, este se debe hacer tantas veces como materiales haya disponibles, cada uno de ellos con sus propios diámetros reales internos.

Cuando se trata de conductos cerrados simples, el único tipo de energía que puede perderse por razón del movimiento del fluido es la energía de presión, ya que la energía cinética permanece constante si el área es constante, y la energía potencial sólo depende de la posición. Las pérdidas de presión comúnmente se expresan en términos de la altura de la columna de fluido equivalente, llamada pérdida de carga  $h_L$ . Esta representa la altura adicional que el fluido necesita con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería.

*La pérdida de carga se produce por la viscosidad y se relaciona directamente con el esfuerzo de corte de la pared de la tubería (Çengel & Cimbala, 2012), ya que este último es el responsable de las pérdidas de energía por fricción. Ese argumento se relaciona básicamente de la siguiente manera: el factor de fricción disminuye a medida que la velocidad aumenta y las pérdidas de energía disminuyen; es decir, es más eficiente mover un fluido con números de Reynolds altos que con números de Reynolds bajos en una tubería dada. (Saldarriaga, 2007).*

Se inicia con una ecuación de conservación de la energía para el análisis de distintas problemáticas que pueden presentarse en la modelación matemática en el flujo de tuberías. En este caso mediante el uso de las ecuaciones de Colebrook-White (Ecuación 12) juntamente con la ecuación de Darcy-Weisbach (Ecuación 8) se puede desarrollar el procedimiento con el fin de obtener las ecuaciones necesarias para llevar a cabo los cálculos de pérdida de carga en los tramos de tuberías de sistema construido. Es importante tener en cuenta que en el momento de programar este procedimiento existió la homogeneidad dimensional, además de utilizar los diámetros internos de las tuberías.

Se demostró gracias al análisis estadístico de la correlación de Pearson que experimentalmente entre las pérdidas de carga y el cociente entre las caídas de presión y el peso específico del fluido usado, existe una correlación positiva muy fuerte (0.991) y una variación o dependencia del 98,2%.

Teniendo en cuenta que la principal finalidad del presente proyecto es complementar las experiencias de laboratorio de la Universidad de la Costa CUC, basándonos en una temática que hasta la fecha no cuenta con equipo teórico-práctico, se elaboró y ensayó el sistema de tuberías pensado de la manera más sencilla y práctica para ser replicado por los estudiantes de Ingeniería civil y ambiental en el laboratorio de Mecánica de fluidos e Hidráulica. Razón principal por la que

solo se tomaron 3 lecturas por tramos de tubería, solo variando el caudal. De esta manera al replicar los ensayos se obtendrán resultados muy similares.

### Referencias

- Cassiolato, G., Carvalho, E. P., Caballero, J. A., & Ravagnani, M. A. S. S. (2020). Optimization of water distribution networks using a deterministic approach. *Engineering Optimization*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2019.1702980>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2012). *Mecánica de Fluidos* (2da edición).
- Colombo, M., & Fairweather, M. (2015). Multiphase turbulence in bubbly flows: RANS simulations. *International Journal of Multiphase Flow*, 77, 222–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.09.003>
- Comark. (2015). *Comark Pressure Meters*. [www.comarkinstruments.com](http://www.comarkinstruments.com)
- Crane Engineering Department. (1982). Flow of Fluids Through Valves, Fitting and Pipe. In *Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe: Technical Paper No. 410*.
- El-Reedy, M. A. (2017). Loads on the Industrial Structures. *Onshore Structural Design Calculations*, 13–73. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101944-3.00002-4>
- Farshad, F., Rieke, H., & Garber, J. (2001). New developments in surface roughness measurements, characterization, and modeling fluid flow in pipe. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 29(2), 139–150. [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(01\)00096-1](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(01)00096-1)
- Hedland. (2010). *Installation Instructions For EZ-View® Flow Meter and EZ-View® Flow-Alert™ Flow Meter FORM # HLIT 300HEDLAND • FAX 800-CHK-FLOW*.
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta Edición). Mc Graw Hill Education.
- Jia, W., Wu, X., Li, C., & He, Y. (2017). Characteristic analysis of a non-equilibrium thermodynamic two-fluid model for natural gas liquid pipe flow. *Journal of Natural*

*Gas Science and Engineering*, 40, 132–140.

<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.01.036>

Medina, L. v, Contreras, G. A., Roa B, O. L., & Vega, H. M. (2017). Modelado matemático, simulación, análisis y control de un sistema hidráulico interactivo-tres tanques en serie  
Mathematical modeling, simulation, analysis and control of an interactive hydraulic system-three tanks in series E I. *Journal of Technology*, 16, 77–98.

Mott Robert L., & Untener Joseph A. (2015). *Applied Fluid Mechanics* (Seven Edition).

Nakayama, A., & Kuwahara, F. (2008). A General Macroscopic Turbulence Model for Flows in Packed Beds, Channels, Pipes, and Rod Bundles. *Journal of Fluids Engineering*, 130(10). <https://doi.org/10.1115/1.2969461>

Plastic pipe systems. (2006). *Standardization News*, 30(4), 1–27.

<https://doi.org/10.1016/B978-185617496-1/50002-1>

QuestionPro. (n.d.). *¿Que es el coeficiente de correlacion de pearson?*

Rabinovich, E., Freund, N., Kalman, H., & Klinzing, G. (2012). Friction forces on plugs of coarse particles moving upwards in a vertical column. *Powder Technology*, 219, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.12.030>

Rodríguez Montes, D. J., Redondo Salcedo, J. C., & Guapachá Cristancho, S. V. (2019).

*Revisión de Literatura para la Elaboración de un prototipo del sistema de tubería en serie en tubería lisa PVC, para el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Villavicencio.*

Saldarriaga, Juan. (2007). *Hidráulica de tuberías : abastecimiento de agua, redes, riegos.*

Alfaomega.

- Santoro, V. C., Crimi, A., & Pezzinga, G. (2018). Developments and Limits of Discrete Vapor Cavity Models of Transient Cavitating Pipe Flow: 1D and 2D Flow Numerical Analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*, *144*(8), 04018047.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001490](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001490)
- Sati, V., Kaushik, S., Singh, S., Kshetri, R., & Pandey, R. (2019a). Reduction of losses in 90 degree pipe bends by varying design parameters using CFD software. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, *8*(5 Special Issue 3), 78–87.  
<https://doi.org/10.35940/ijeat.E1022/0785S319>
- Sati, V., Kaushik, S., Singh, S., Kshetri, R., & Pandey, R. (2019b). Reduction of losses in 90 degree pipe bends by varying design parameters using CFD software. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, *8*(5 Special Issue 3), 78–87.  
<https://doi.org/10.35940/ijeat.E1022/0785S319>
- Sullivan, L. E. (2009). *The SAGE Glossary of the social and behavioral Sciences*. R. Burke Jonhson.
- Tecquipment. (2017, May 12). *HIF Digital Hydraulic Bench*. Digital Hydraulic Bench H1F | Fluid Mechanics.
- Tong, L., Xiao, J., Yang, T., Bénard, P., & Chahine, R. (2019). Complete and reduced models for metal hydride reactor with coiled-tube heat exchanger. *International Journal of Hydrogen Energy*, *44*(30), 15907–15916.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.07.102>
- Vargas Mesías, F. (2018). *Diagnóstico e identificación de problemas y objetivos, evaluación y selección de la mejor alternativa*. [www.cra.gov.co](http://www.cra.gov.co)

Zerihun, D., & Sanchez, C. A. (2017). Irrigation Lateral Hydraulics with the Gradient Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(8), 04017023.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001195](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001195)

Zhang, J. H., Yan, C. Q., Cao, X. X., & Sun, Z. N. (2008). Experimental study on single-phase liquid friction factor in rolling Horizontal pipe. *Hedongli Gongcheng/Nuclear Power Engineering*, 29(4), 44–49.

Anexos

De la figura 21 se utilizaron los valores de rugosidad relativa correspondientes a los materiales utilizados en el sistema de tuberías diseñado.

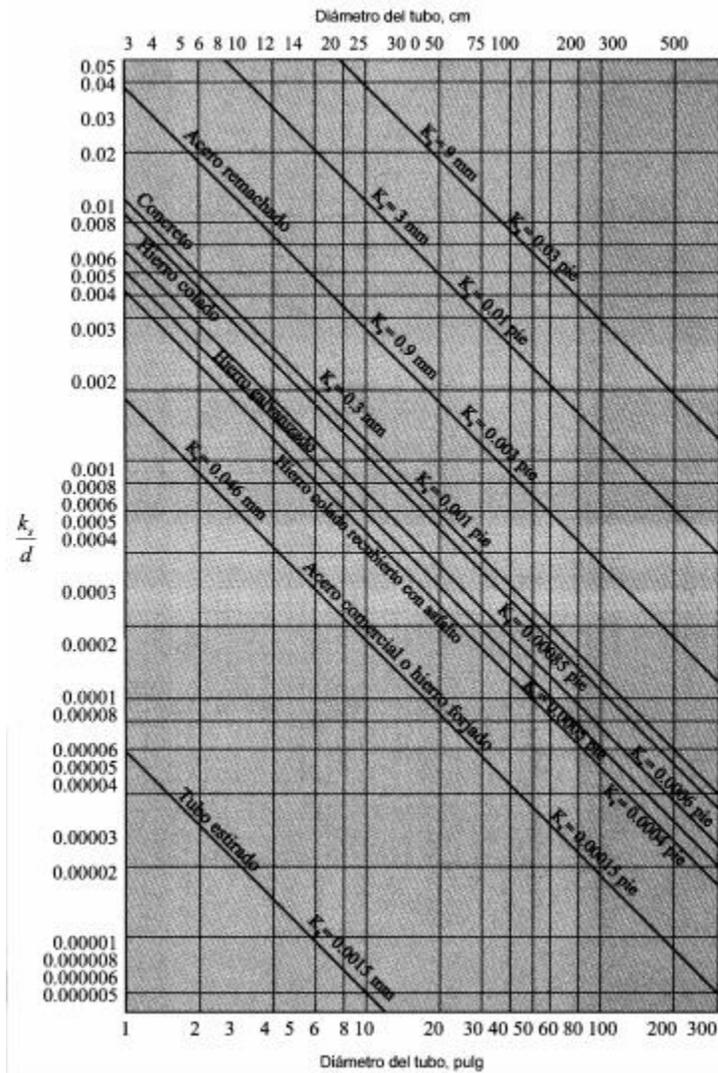


Figura 21. Diagrama de Moody modificado (rugosidades relativas). (Figura 1-26). Adaptada de: Hidraulica de Tuberias. (Saldarriaga, 2007)

**Propiedades del agua**

Tabla 10

Propiedades del agua. Unidades SI. (Tabla A.1). Mecanica de Fluidos Aplicada.

Temperature (°C)	Specific Weight $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Density $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Dynamic Viscosity $\eta$ (Pa·s)	Kinematic Viscosity $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	9.71	990	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	9.69	988	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	9.67	986	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	9.65	984	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	9.62	981	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	9.59	978	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	9.56	975	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	9.53	971	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	9.50	968	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	9.47	965	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	9.44	962	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	9.40	958	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

Fuente: (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015)

**Tubería Schedule 40**

Tabla 11

Dimensiones de tubería en acero schedule 40 (Tabla F.1). Mecanica de Fluidos Aplicada.

Nominal Pipe Size		Outside Diameter		Wall Thickness		Inside Diameter			Flow Area	
NPS (in)	DN (mm)	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(ft)	(mm)	(ft <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1/8	6	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 <sup>-5</sup>
1/4	8	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 <sup>-5</sup>
3/8	10	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 <sup>-4</sup>
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 <sup>-4</sup>
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 <sup>-4</sup>
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 <sup>-4</sup>
1 1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 <sup>-4</sup>
1 1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 <sup>-3</sup>
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 <sup>-3</sup>
2 1/2	65	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 <sup>-3</sup>
3	80	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 <sup>-3</sup>
3 1/2	90	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 <sup>-3</sup>
4	100	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 <sup>-3</sup>
5	125	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 <sup>-2</sup>
6	150	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 <sup>-2</sup>
8	200	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 <sup>-2</sup>
10	250	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 <sup>-2</sup>
12	300	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 <sup>-2</sup>
14	350	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 <sup>-2</sup>
16	400	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	450	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	500	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	600	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Fuente: (Mott Robert L. & Untener Joseph A., 2015)

### Accesorios



*Figura 22. Accesorios PVC utilizados para reducción de tuberías de 1-1/2" a 1"*

*Fuente: elaboración propia.*



*Figura 23. Accesorios PVC y de acero comercial.*

*Fuente: elaboración propia.*