

**INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
PÉRDIDAS EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS CON FINES ACADÉMICOS.**

**JONATHAN ANDRÉS GÓMEZ COPETE
JAIME ALEBERTO RESTREPO VALENCIA
CRISTIAN RIOS AGUDELO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE MECÁNICA
MEDELLÍN
2016**

**INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
PÉRDIDAS EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS CON FINES ACADÉMICOS.**

**JONATHAN ANDRÉS GÓMEZ COPETE
JAIME ALEBERTO RESTREPO VALENCIA
CRISTIAN RIOS AGUDELO**

Trabajo para optar al título de Ingeniero Mecánico

**Director:
ARLEY SALAZAR HINCAPIÉ
Ingeniero Mecánico**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE MECÁNICA
MEDELLÍN
2016**

CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES.....	6
TABLAS.....	7
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 ¿POR QUÉ ES NECESARIO IMPLEMENTAR UN BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS EN TUBERIAS EN LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO?	10
1.3. ¿EN QUÉ CONSISTE EL PROYECTO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS EN TUBERÍAS?	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. MARCO TEÓRICO.....	13
4.1 Definición de banco de pruebas	13
4.2 Pérdida de carga en tuberías.....	13
4.3 Conducción de Fluidos.....	14
4.3.1 Pérdida de Carga en un conducto rectilíneo	14
a. Pérdidas de carga localizadas.....	15
b. Tipo de fluidos.....	16
4.4 Flujo Laminar.....	16
4.5 Flujo Turbulento.....	17
4.6 Número de Reynolds.....	17
4.7 Tuberías inclinadas.....	18
4.8 Factor de Fricción de Darcy.....	19
4.8.1 Régimen Laminar	19
4.8.2 Régimen turbulento	19
4.8.2.1 Régimen turbulento liso.....	19
4.8.2.2 Régimen turbulento intermedio.....	20
4.8.2.3 Régimen turbulento Rugoso	20

4.9	Condición de No-Deslizamiento	20
4.10	Pérdidas menores	21
4.11	Elementos de Medición	31
4.11.1	Sonda de Pitot	31
4.11.2	Placa Orificio	32
4.11.3	Medidor o tubo Venturi	33
4.11.4	Tobera de flujo	33
4.11.5	Flujómetro o Caudalímetro	34
5.	METODOLOGÍA	36
5.1.	RECURSOS	36
5.1.1	Humanos	36
5.1.2	Económicos	36
5.1.3	Técnicos	37
6.	RESULTADOS DEL PROYECTO	38
6.1	DISEÑO DEL BANCO	38
6.2	DESARROLLO DEL PROYECTO	41
7.	CONCLUSIONES	44
8.	RECOMENDACIONES	45
9.	Bibliografía	46
	CIBERGRAFÍA	46

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Banco de pruebas para el cálculo de pérdidas en tuberías.....	13
Ilustración 2: Descripción gráfica de un flujo laminar.....	16
Ilustración 3: Descripción gráfica del flujo turbulento.	17
Ilustración 4 : Tubería con accesorio.....	22
Ilustración 5: Pérdida de carga provocada por accesorio.....	23
Ilustración 6 : Contracción de flujo y de la pérdida de carga.....	25
Ilustración 7: Redondeo de la entrada de una tubería VS coeficiente de pérdida.	25
Ilustración 8: Mezcla de flujo ambiental y flujo de tubería.....	26
Ilustración 9: Codo circular y recto para facilitar el giro del fluido.....	27
Ilustración 10: Pérdida de carga por una válvula parcialmente cerrada.....	28
Ilustración 11: Conexión de tubería en serie.....	29
Ilustración 12: Conexión de tubería en paralelo.	30
Ilustración 13: Sonda o tubo de Pitot.....	31
Ilustración 14: Placa orificio.	32
Ilustración 15: Tubo Venturi.....	33
Ilustración 16: Tobera de Flujo.....	34
Ilustración 17: Flujómetro o Caudalímetro.....	34
Ilustración 18: Banco de pruebas para pérdidas en tuberías y accesorios.	39
Ilustración 19: Fabricación de la estructura del módulo.....	41
Ilustración 20: Diseño y desarrollo.....	42
Ilustración 21: Punto principal para medición de presión.	43
Ilustración 22: Tubo Venturi Instalado en el banco.....	43

TABLAS

Tabla 1 : Singularidad.	15
Tabla 2: Gastos del proyecto.	36
Tabla 3: especificaciones bomba de agua Discover.	40

RESUMEN

Un banco para el cálculo de pérdida de carga en tuberías y accesorios es un equipo hidráulico diseñado y elaborado bajo análisis previos y con conceptos claros en la mecánica de fluidos, en donde se trabaja principalmente pérdidas de presión, haciendo circular el fluido (agua) por un circuito o sistema de tuberías, con diferentes cambios de sección, longitudes, materiales y diferentes tipos de accesorios.

El sistema es llenado por la acción de una bomba Hidráulica de caudal de 35 litros por minuto y una potencia de $\frac{1}{2}$ HP o 350 W. Al llenar el sistema completamente y al no tener una resistencia al fluir (válvulas abiertas), el líquido retorna al depósito generando solo recirculación; del mismo modo se escoge un trayecto o segmento del banco para realizar la prueba y conocer que cantidad de carga se está perdiendo por dicho segmento.

Con la ayuda de tubos manométricos se determina la cantidad de carga que se pierde, del mismo modo se hace con el rotámetro el cual determina el caudal que entrega el sistema o el tramo que se esté trabajando.

El equipo adicionalmente cuenta con cuatro tramos de tuberías de diferentes materiales con el fin de medir en éstas la pérdida que se genera por la rugosidad de la superficie interna del material. Los cuatro tramos son de acero galvanizado, acero al carbón, PVC y cobre, en donde las pérdidas que resultan se deben medir con equipos digitales especializados, ya que se necesita de precisión para determinar con exactitud la pérdida sufrida.

Un elemento principal del equipo es el tubo Venturi en donde se puede determinar uno de los cambios de presión más significativos del sistema, debido a su estrechamiento y cambio de área. Éste elemento determinará una guía de laboratorio que será entregada como anexo a este trabajo.

Otro punto importante del banco es un segmento que marca significativamente cambios en la sección, encontrándose con accesorios críticos como codos a 90° , codos a 45° , "Y" en acero galvanizado y válvulas tipo circular, en donde la presión sufre cambios y pérdidas considerables.

INTRODUCCIÓN

La mecánica de fluidos es una rama de la física que estudia el movimiento de los fluidos (gases o líquidos) y del mismo modo las fuerzas que los provocan, así como también la relación que existe entre los diferentes tipos de fluidos y el contorno que los limita.

Los fluidos transportados por tuberías tienden a presentar pérdidas en la presión debido al choque que se da entre sus partículas y el roce entre las paredes de los tubos que los contienen.

Esto sucede de forma continua y está ligado directamente al cambio de sección en el trayecto de la tubería, inclusión de accesorios o al encontrarse con una válvula.

Conocer las pérdidas que se presentan en tuberías depende del manejo que se tenga de los conceptos relacionados a los fluidos y los diferentes tipos de canales que son utilizados para transportarlos, adicional a los tipos de accesorios utilizados y el por qué se presenta un cambio en la sección de un trayecto.

Un banco de pruebas para el cálculo de pérdidas (con fines académicos) encierra este tipo de circunstancias y ayuda de una forma práctica a clarificar el por qué se presenta y en la cotidianidad cuáles pueden ser sus principales causas para contrarrestar dichas pérdidas.

La construcción de este banco de pruebas contará con cuatro trayectos o caminos de diferentes materiales como PVC, acero al carbón, acero galvanizado y cobre. Adicional contará con accesorios en PVC, un tanque de almacenamiento, una bomba y será necesaria la utilización de instrumentos de medición.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ¿POR QUÉ ES NECESARIO IMPLEMENTAR UN BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS EN TUBERIAS EN LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO?

Dentro de las adecuaciones que la institución ha venido realizando en los últimos años de forma estructural y locativa, se ve la necesidad de darle un giro y adecuación a cada uno de los laboratorios con que se cuenta a hoy. Por muchos años, los estudiantes han tenido que desplazarse a otras instituciones para realizar prácticas de laboratorio con el fin de cumplir con los planes de estudio propuestos por los docentes, dándole una visión a los estudiantes de lo que se puede vivir en la cotidianidad partiendo de una sencilla práctica de laboratorio. Aterrizando esta idea, a hoy la institución no cuenta con un laboratorio de Mecánica de fluidos estructurado y adolece de equipos y ayudas didácticas para clarificar ideas teóricas desde la práctica académica.

1.2. ¿CÓMO ESTÁ CONSTITUIDO EL PROCESO?

La caracterización de un banco de pruebas para pérdidas en tuberías está direccionado a la obtención de resultados académicos ligados a una guía de laboratorio, que amplía el concepto teórico desde la práctica. Con esta práctica se estudia principalmente la presión en un fluido (agua), con la medición en diferentes puntos del equipo y cómo esta puede variar por el cambio de materiales, sección, dirección, estrangulación Etc.

1.3. ¿EN QUÉ CONSISTE EL PROYECTO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS EN TUBERÍAS?

Todo el proyecto consiste en diseñar y hacer montaje del banco como prototipo universitario y con fines académicos, haciendo mediciones basados en conceptos existentes consolidando así un **BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS EN TUBERÍAS**.

2. JUSTIFICACIÓN

Conocer el tipo de pérdidas que se presenta en un sistema de tuberías es importante a la hora de diseño y determinación del material de un proyecto en particular. Tener este tipo de equipos en la institución, construido desde la necesidad y con recursos propios, servirá como motivación para aquellos estudiantes que harán uso de éste, dando sentido de pertenencia y obteniendo de éste el mayor provecho.

Al implementar un banco de pruebas en la institución se complementará el plan académico del área de Mecánica de Fluidos y demás asignaturas afines. Se dotará el laboratorio con un equipo muy útil y de fácil manejo, que por medio de prácticas de laboratorio servirá para aclarar dudas y afianzar conceptos.

Este proyecto beneficiará la comunidad pascualina, principalmente estudiantes de tecnología e ingeniería. Del mismo modo le dará un buen nombre a la institución, estandarizando sus procesos, logrando mejores niveles de aceptación en futuros estudiantes, que vean en la institución una opción para sus vidas y del mismo modo ganará prestigio ante entes reguladores.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Instalar y caracterizar un banco de pruebas para pérdidas en tuberías y accesorios con el fin de dotar el laboratorio de Mecánica de fluidos de la institución.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar por medio de conceptos de mecánica de fluidos el esquema de un banco de tubos.
- Realizar una guía de laboratorio práctica con la cual se puedan realizar prácticas con fines académicos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Definición de banco de pruebas

Un banco de pruebas es una plataforma para experimentación de proyectos de gran desarrollo. Los bancos de pruebas brindan una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, elementos computacionales, y otras nuevas tecnologías.¹

Ilustración 1: Banco de pruebas para el cálculo de pérdidas en tuberías.



Tomado de: <http://www.topoequipos.com/dem/laboratorios-did%C3%A1cticos/mec%C3%A1nica-de-fluidos-y-aerodin%C3%A1mica>

4.2 Pérdida de carga en tuberías

La pérdida de carga en una tubería o canal es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.²

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Banco_de_pruebas

² https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga

4.3 Conducción de Fluidos

4.3.1 Pérdida de Carga en un conducto rectilíneo

Las pérdidas de carga en un conductor rectilíneo o pérdidas primarias son pérdidas de carga debidas a la fricción del fluido contra sí mismo y contra las paredes de la tubería rectilínea. Si el flujo es uniforme, es decir que la sección es constante, y por lo tanto la velocidad también es constante, el principio de Bernoulli, entre dos puntos puede escribirse de acuerdo a la ecuación 1:

$$y_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum \lambda \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

g = es la aceleración de la gravedad

y_i = altura geométrica en la dirección de la gravedad en la sección $i = 1$ o 2

P = presión a lo largo de la línea de corriente

ρ = densidad del fluido

v = velocidad del fluido

$\sum \lambda$ = pérdida de carga

$$\sum \lambda = J \cdot L \quad (\text{Ec.2})$$

La pérdida de carga se puede expresar de acuerdo a la ecuación 2; siendo L la distancia entre las secciones 1 y 2; y, J la variación de la presión manométrica por unidad de longitud o pendiente piezométrica, valor que se determina empíricamente para los diversos tipos de material, y función del radio hidráulico, de la rugosidad de las paredes de la tubería, de la velocidad media del flujo y de su viscosidad.

Existen diversos métodos, obtenidas empíricamente, para calcular la pérdida de carga a lo largo de tuberías y canales abiertos:³

- Ecuación de Darcy Weisbach
- Factor de fricción de Darcy
- Ecuación de Colebrook White

³ https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga

- Fórmula de Hasen – Williams
- Diagrama de Moody
- Fórmula de Basín

a. Pérdidas de carga localizadas

Las pérdidas de carga localizadas o pérdidas secundarias son pérdidas de carga debidas a elementos singulares de la tubería tales como codos, estrechamientos, válvulas, etc. Las pérdidas localizadas se expresan como una fracción o un múltiplo de la llamada "altura de velocidad" según ecuación 3:

$$h_v = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{Ec.3})$$

h_v = Pérdida de carga localizada

K = coeficiente determinado en forma empírica para cada tipo de punto singular.

V = velocidad media del agua, antes o después del punto singular, conforme el caso.

La siguiente tabla da algunos de los valores de K para diferentes tipos de punto singulares:⁴

Tabla 1 : Singularidad.

TIPO DE SINGULARIDAD	K
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	5,6
Curva de 90°	1
Curva de 45°	0,4
Válvula de pie	2,5
Emboque (entrada en una tubería)	0,5
Salida de una tubería	1
Ensanchamiento brusco	$(1-D_1/D_2)^2$
Reducción brusca de sección	$0,5 (1-D_1/D_2)^2$

Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga

⁴ https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga

b. Tipo de fluidos.

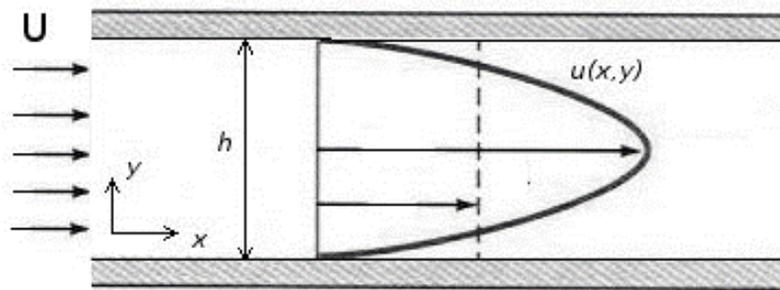
4.4 Flujo Laminar

Es uno de los dos tipos principales de flujo en fluido. Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular. Se puede presentar en las duchas eléctricas vemos que tienen líneas paralelas

El flujo laminar es típico de fluidos a velocidades bajas o viscosidades altas, mientras fluidos de viscosidad baja, velocidad alta o grandes caudales suelen ser turbulentos. El número de Reynolds es un parámetro adimensional importante en las ecuaciones que describen en qué condiciones el flujo será laminar o turbulento. En el caso de fluido que se mueve en un tubo de sección circular, el flujo persistente será laminar por debajo de un número de Reynolds crítico de aproximadamente 2040.¹ Para números de Reynolds más altos el flujo turbulento puede sostenerse de forma indefinida. Sin embargo, el número de Reynolds que delimita flujo turbulento y laminar depende de la geometría del sistema y además la transición de flujo laminar a turbulento es en general sensible a ruido e imperfecciones en el sistema.²

El perfil laminar de velocidades en una tubería tiene forma de una parábola, donde la velocidad máxima se encuentra en el eje del tubo y la velocidad es igual a cero en la pared del tubo. En este caso, la pérdida de energía es proporcional a la velocidad media, mucho menor que en el caso de flujo turbulento.⁵

Ilustración 2: Descripción gráfica de un flujo laminar.



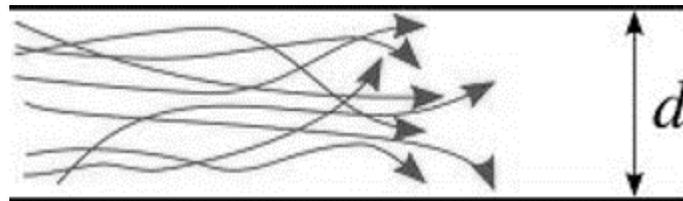
Tomado de: <https://cfdconopenfoam.wordpress.com/2013/01/28/flujo-laminar-en-ducto-cuadrado/>

⁵ https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_laminar

4.5 Flujo Turbulento

En mecánica de fluidos, se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos periódicos, (no coordinados) como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente. Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica.⁶

Ilustración 3: Descripción gráfica del flujo turbulento.



Tomada de: <https://sabdifisica.wordpress.com/dinamica-de-fluidos/daniel-bernoulli/flujo-laminar/>

4.6 Número de Reynolds

El número de Reynolds se puede definir como la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas presentes en un fluido. Éste relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por la ecuación 4:⁷

$$Re = \frac{\rho v s D}{\mu} \text{ equivalente a } Re = \frac{v s D}{\nu} \quad (\text{Ec.4})$$

⁶ https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_turbulento

⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds

En donde:

ρ = densidad del fluido.

V_s = Velocidad característica del fluido.

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

μ = Viscosidad dinámica del fluido.

ν = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s) - μ / ρ

Además el número de Reynolds permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos.

Según otros autores:

- Para valores **$Re \leq 2.100$** (para flujo interno en tuberías circulares) el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan sólo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama flujo laminar.
- Para valores de **$2.100 \leq Re < 4.000$** (para flujo interno en tuberías circulares) se dice que el fluido pierde estabilidad en relación al caso anterior, formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.
- Para valores de **$Re \geq 4.000$** (para flujo interno en tuberías circulares) después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.⁸

4.7 Tuberías inclinadas.

Partir de un equilibrio de fuerzas en la dirección del flujo. La única fuerza adicional en este caso es la componente del peso del fluido en la dirección del flujo, cuya magnitud está dada según la ecuación 5:⁹

$$W_x = w \operatorname{sen}\theta = \rho g \text{Velemento} \operatorname{sen}\theta = \rho g (2\pi r \operatorname{dr} \operatorname{dx}) \operatorname{sen}\theta \quad (\text{Ec.5})$$

⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds

⁹ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

En donde θ es el ángulo formado entre la horizontal y la dirección de flujo.

En tuberías inclinadas, el efecto que se combina en la dirección de presión y de la gravedad dirige el flujo. La gravedad ayuda al flujo colina abajo, pero se opone al flujo colina arriba. Por lo tanto, se necesita aplicar diferencias de presión mayores para mantener una razón de flujo específica en el flujo colina arriba, aunque esto se vuelve importante solo para líquidos, porque la densidad de los gases generalmente es baja.¹⁰

4.8 Factor de Fricción de Darcy

También conocido como coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach es un parámetro adimensional que se utiliza en dinámica de fluidos para calcular una pérdida de carga en una tubería debido a la fricción.

El cálculo del factor de fricción y la influencia de dos parámetros (número de Reynolds, Re y rugosidad relativa, ϵ_r) depende del régimen de flujo.

4.8.1 Régimen Laminar

Para régimen laminar ($Re < 2300$), el factor de fricción se calcula de acuerdo a la ecuación 6:

$$f_{laminar} = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ec.6})$$

4.8.2 Régimen turbulento

Para régimen turbulento ($Re > 4000$) el factor de fricción se calcula en función del tipo de régimen.

4.8.2.1 Régimen turbulento liso

Se utiliza la primera ecuación de Karmann-Prandtl según ecuación 7:¹¹

¹⁰ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

¹¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_fricci%C3%B3n_de_Darcy

$$f \text{ turbulento liso} = \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec.7})$$

En régimen turbulento liso, el factor de fricción es independiente a la rugosidad relativa y depende únicamente del número de Reynolds.

4.8.2.2 Régimen turbulento intermedio

Para el régimen turbulento intermedio se utiliza la ecuación de **Colebrook** simplificada según ecuación 8:

$$f \text{ turbulento intermedio} = \frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} \right) + \left(\frac{\epsilon r^{1,11}}{3,7} \right) \quad (\text{Ec.8})$$

En régimen turbulento intermedio el factor de fricción depende de la rugosidad relativa y del número de Reynolds.

4.8.2.3 Régimen turbulento Rugoso

Para el régimen turbulento rugoso se utiliza la 2ª ecuación de Karmann-Prantl según la ecuación 9:

$$f \text{ turbulento rugoso} = \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon r^{1,11}}{3,7} \right) \quad (\text{Ec.9})$$

En régimen turbulento rugoso el factor de fricción depende solamente de la rugosidad relativa¹²

4.9 Condición de No-Deslizamiento

Considérese el flujo de un fluido en un tubo estacionario o sobre una superficie sólida que es no porosa (es decir, impermeable al fluido). Todas las observaciones experimentales indican que un fluido en movimiento llega a detenerse por completo en la superficie y adquiere una velocidad cero con relación a ella. Esto es, un fluido en contacto directo con un sólido “se pega” a la superficie debido a los efectos viscosos y no hay deslizamiento. A esta característica se le conoce como **Condición de no deslizamiento**.

La capa que se pega a la superficie desacelera la capa adyacente de fluido, debido a las fuerzas viscosas entre las capas de ese fluido, la cual desacelera la capa

¹²https://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_fricci%C3%B3n_de_Darcy

siguiente y así sucesivamente. Por lo tanto la condición de no deslizamiento es responsable del desarrollo del perfil de velocidad. La región del fluido adyacente a la pared, en la cual los efectos viscosos (y, por consiguiente las grandes velocidades) son significativos se llama **capa límite**. La propiedad del fluido responsable de No-deslizamiento y del desarrollo de la capa límite es la viscosidad.

Una capa de un fluido adyacente en una superficie en movimiento que tiene la misma velocidad que ésta. Una consecuencia de la condición de no deslizamiento es que todos los perfiles de velocidades deben tener valores de cero respecto a la superficie en los puntos de contacto entre un fluido y una superficie sólida.

Otra consecuencia de la condición de no deslizamiento es la resistencia al movimiento de una superficie, la cual es la fuerza que un fluido ejerce sobre una superficie en la dirección del flujo.

4.10 Pérdidas menores

El fluido en un sistema de tubería típico pasa a través de varias uniones, válvulas, flexiones, codos, ramificaciones en forma de T (conexiones en T), entradas, salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tubos. Dichos componentes (accesorios) interrumpen el suave flujo del fluido y provocan pérdidas 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 (pérdidas mayores) y se llaman **pérdidas menores**. Aunque por lo general esto es cierto, en algunos casos las pérdidas menores pueden ser más grandes que las pérdidas mayores. Este es el caso de los sistemas con varias vueltas y válvulas en una distancia corta. Las pérdidas de carga que resultan de una válvula totalmente abierta, pueden ser despreciables. Pero una válvula cerrada parcialmente puede provocar la pérdida de carga más grande del sistema, como pone en evidencia la caída de la razón del flujo.

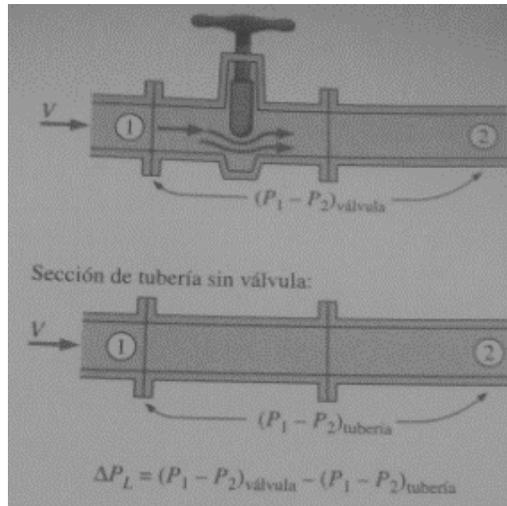
El flujo a través de válvulas y uniones es muy complejo, y por lo general no es lógico un análisis teórico, en consecuencia, usualmente los fabricantes de accesorios son los que determinan las pérdidas menores de manera experimental. Las pérdidas menores se expresan en términos del **coeficiente de pérdida K_L** (también llamado **coeficiente de resistencia**) se define de acuerdo a la ecuación 10:¹³

¹³ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

Coeficiente de pérdida

$$Kl = \frac{hl}{\left(\frac{v^2}{2g}\right)} \quad (\text{Ec.10})$$

Ilustración 4 : Tubería con accesorio.



Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

Para un tramo de tubería de un diámetro constante con un accesorio de pérdida menor (como la válvula de compuerta que se muestra), el coeficiente de pérdida se determina cuando se mide la pérdida de presión adicional que el accesorio provoca y se divide por la presión dinámica en la tubería.

Donde h_L es la pérdida de carga irreversible *adicional* en el sistema de tuberías provocados por la inserción del accesorio, y se define según la ecuación 11:

$$h_L = \frac{\Delta p L}{\rho g} \quad (\text{Ec.11})$$

Pérdida menor

$$h_L = KL \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (\text{Ec.12})$$

En general, el coeficiente de pérdida depende de la geometría del accesorio y del número de Reynolds, tal como el factor de fricción. Sin embargo, usualmente se supone que es independiente del número de Reynolds. Esta es una solución

razonable porque, en la práctica, la mayoría de flujos tienen números de Reynolds grandes y los coeficientes de pérdida (que incluyen el factor de fricción) tienen a ser independientes de número de Reynolds grandes.

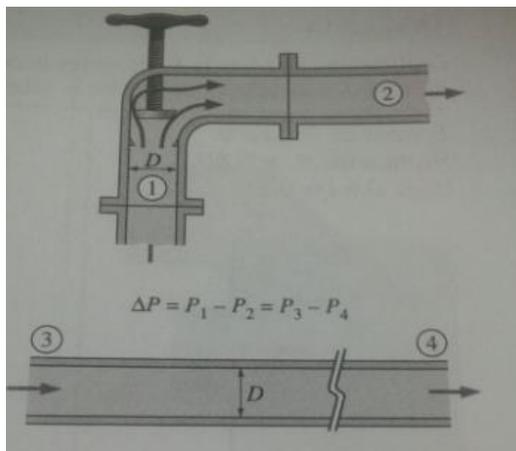
Las pérdidas menores también se expresan en términos de Longitud equivalente (L_{equiv}) se define según ecuación 13:

Longitud equivalente:

$$h_l = KL \left(\frac{v^2}{2g} \right) = f \left(\frac{L_{equiv}}{D} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad L_{equiv} = KL \left(\frac{D}{f} \right) \quad (\text{Ec.13})$$

Donde f es el factor de fricción y D es el diámetro de la tubería que contiene el accesorio. La pérdida de carga que provoca el accesorio equivale a la pérdida de carga causada por un tramo de tubería cuya longitud es L_{equiv} . Por lo tanto, la aportación de un accesorio a la pérdida de carga se puede explicar simplemente con añadir L_{equiv} a la longitud de la tubería total.

Ilustración 5: Pérdida de carga provocada por accesorio.



Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

La pérdida de carga provocada por un accesorio (como una válvula de ángulo que se muestra) equivale a la pérdida de carga provocada por una sección de la tubería cuya longitud es la longitud equivalente.

En la práctica se usan ambos procedimientos, pero el uso del coeficiente de pérdida es más común. La pérdida de carga total en un sistema de tubería se determina mediante la ecuación 14: ¹⁴

Pérdida de carga total (general):

$$\begin{aligned}
 hL \text{ total} &= hL \text{ mayor} + hL \text{ menor} && \text{(Ec.14)} \\
 &= \sum i f_i \left(\frac{L_i}{D_i} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \sum j K_{Lj} \left(\frac{v^2}{2g} \right)
 \end{aligned}$$

Donde *i* representa cada tramo de tubería con diámetro constante y *j* representa cada accesorio que representa una pérdida menor. Si todo el sistema de tubería por analizar tiene un diámetro constante la ecuación 15 se reduce a:

Pérdida de carga total (D = constante):

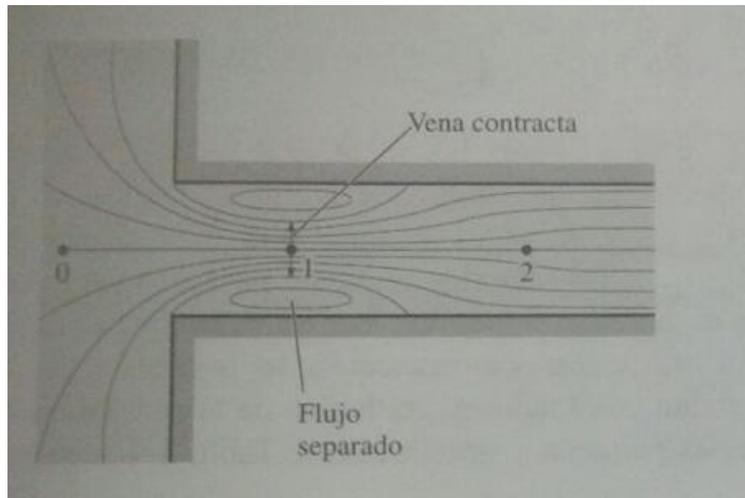
$$hL \text{ total} = f \left(\frac{L}{D} + \sum K_L \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{(Ec.15)}$$

Donde **V** es la velocidad de flujo promedio a través del todo el sistema (**V** = constante entonces **D** = constante).

Una entrada de borde agudo actúa como una constricción de flujo. La velocidad aumenta en la región de vena contracta (y la presión disminuye) debido a la reducida área de flujo efectiva y luego disminuye conforme el flujo llena toda la sección transversal de la tubería. Si la presión aumentara en concordancia con la ecuación de Bernoulli, habría pérdida de presión despreciable (la carga de velocidad simplemente se convertiría en carga de presión). Sin embargo, este proceso de desaceleración está lejos del ideal y la dispersión viscosa provocada por la intensa mezcla y los remolinos turbulentos convierten parte de la energía cinética en calentamiento por la fricción, como se puede observar por un ligero aumento en el aumento de la temperatura del fluido. El resultado final es una caída en la velocidad sin mucha recuperación de presión, y la pérdida de entrada es una medida de esta caída de presión irreversible.

¹⁴ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

Ilustración 6 : Contracción de flujo y de la pérdida de carga.

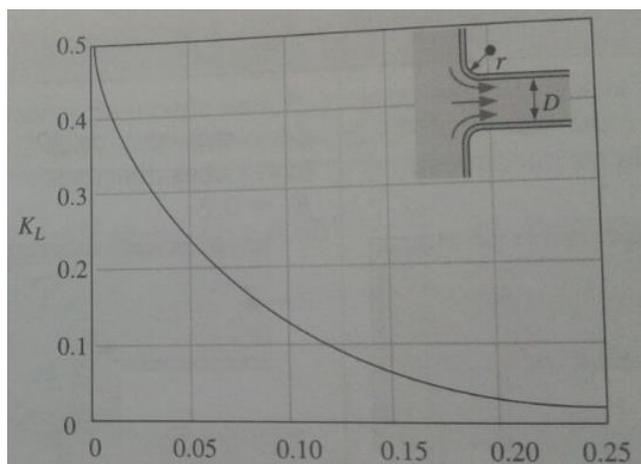


Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006

Representación gráfica de la contracción del flujo de la pérdida de carga relacionada con una entrada de tubería de borde agudo.

Inclusive el ligero redondeo de los bordes puede resultar en una disminución significativa de K_L ; el coeficiente de pérdida aumenta de manera pronunciada (hasta casi $K_L = 0.8$) cuando la tubería se proyecta hacia al depósito porque parte del fluido cerca del borde se fuerza en este caso a efectuar una vuelta de 180° .

Ilustración 7: Redondeo de la entrada de una tubería VS coeficiente de pérdida.

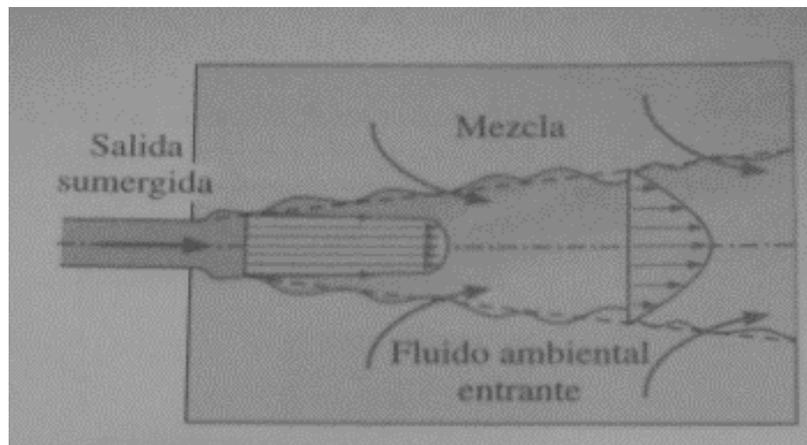


Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006

Efecto del redondeo de una entrada de tubería sobre el coeficiente de pérdida.

El coeficiente de pérdida para una salida de tubería sumergida con frecuencia se menciona en los manuales como $K_L = 1$. Sin embargo, con más precisión, K_L es igual al factor de corrección de energía cinética α en la salida de la tubería. Aunque de hecho α está cerca de 1 para flujo turbulento totalmente desarrollado en tubería, es igual a 2 para flujo laminar totalmente desarrolla en tubería. Entonces, para evitar posibles errores cuando se analiza flujo laminar en tubería, es mejor siempre establecer $K_L = \alpha$ en una salida de tubería sumergida. En cualquiera de estas salidas, ya sea laminar o turbulento, el fluido que sale de la tubería pierde *toda* energía cinética conforme se mezcla con el fluido del depósito y finalmente llega al Reposo a través de la acción irreversible de la viscosidad. Por lo tanto es necesario redondear la salida de la tubería.¹⁵

Ilustración 8: Mezcla de flujo ambiental y flujo de tubería.



Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

Toda la energía cinética del flujo se "pierde" (se convierte en energía térmica) por medio de fricción conforme el chorro desacelera y se mezcla con el flujo ambiental corriente abajo de una salida sumergida.

Con frecuencia los sistemas de tuberías incluyen en secciones de ensanchamiento o contracción *repentinos* o *graduales* para ajustar los cambios en las razones de flujo o propiedades como la densidad y la velocidad. Las pérdidas usualmente son mucho más grandes en el caso de los ensanchamientos y contracciones *repentinos* (o ensanchamientos de gran ángulo) debido a la separación del flujo. Cuando se combinan las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento, y

¹⁵ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

energía, el coeficiente de pérdida para el caso de un **ensanchamiento repentino** se aproxima con:

Ensanchamiento repentino:

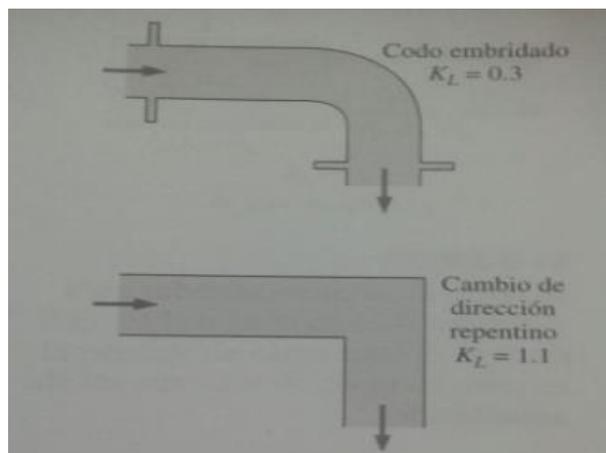
$$K_L = \left(\frac{A_{\text{pequeña}}}{A_{\text{grande}}} \right)^2 \quad (\text{Ec.16})$$

Donde $A_{\text{pequeña}}$ y A_{grande} son las áreas de las tuberías pequeña y grande, respectivamente. Note que $K_L = 0$ cuando no hay cambio de área ($A_{\text{pequeña}} = A_{\text{grande}}$) y $K_L = 1$ cuando una tubería descarga en un depósito ($A_{\text{pequeña}} \gg A_{\text{grande}}$). Las pérdidas debidas a expansión y contracción se pueden reducir considerablemente cuando se instalan cambiadores graduales de área cónicos (toberas y difusores) entre las tuberías pequeña y grande.¹⁶

Los sistemas de tubería también implican cambios en la dirección sino un cambio en el diámetro. A tales secciones de flujo se les llama *codos o flexiones*.

Las pérdidas en estos accesorios se deben a la separación del flujo (como un automóvil que sale del camino cuando entra muy rápido a una curva) en el lado interior y en los flujos arremolinados secundarios que se provocan por diferentes longitudes de trayectoria. Se puede minimizar las pérdidas debidas al cambio de dirección “facilitando el giro del fluido” al usar los codos circulares en el lugar de los esquinados. Pero puede ser necesario el uso de flexiones de vueltas agudas (y por lo tanto sufrir un castigo en el coeficiente de pérdida) cuando el espacio para dar vuelta está limitado. En estos casos, las pérdidas se pueden minimizar al utilizar las alabes directores colocadas adecuadamente para ayudar a que el flujo dé vuelta de manera ordenada sin que salga del curso.¹⁷

Ilustración 9: Codo circular y recto para facilitar el giro del fluido.



Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. “*Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones*” MEXICO 2006.

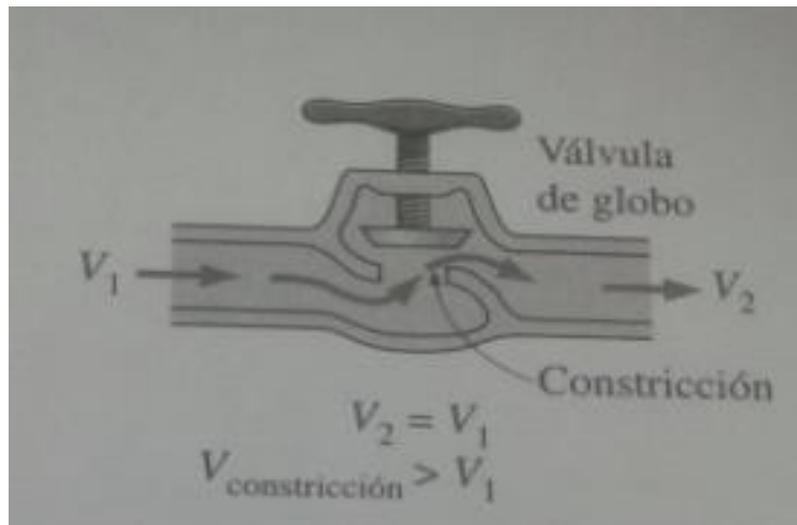
¹⁶ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. “*Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones*” MEXICO 2006.

¹⁷ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. “*Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones*” MEXICO 2006.

Se pueden minimizar las pérdidas debidas al cambio de dirección “facilitando el giro del fluido” al usar los codos circulares en vez de los esquinados.

Comúnmente, las *válvulas* se usan en los sistemas de tuberías para controlar las razones de flujo al simplemente alterar la pérdida de carga hasta que se logra la razón de flujo deseada. Para las válvulas es deseable tener un coeficiente de pérdida muy bajo cuando están totalmente abiertas, de modo que causen la mínima pérdida de carga durante la operación de carga completa. En la actualidad, son de uso común varios diseños distintos de válvulas, cada uno con ventajas y desventajas. La *válvula de compuerta* se desliza arriba y abajo como una compuerta, la *válvula de globo* cierra un agujero colocado en la válvula, la *válvula de ángulo* es una válvula de globo con una vuelta de 90° y la *de retención* permite que el fluido fluya solo en una dirección, como un diodo en un circuito eléctrico. Note que el coeficiente de pérdida aumenta notablemente conforme la válvula se cierra. Además, la desviación en los coeficientes de pérdida para diferentes fabricantes es más grande para las válvulas debido a sus geometrías complejas.¹⁸

Ilustración 10: Pérdida de carga por una válvula parcialmente cerrada.



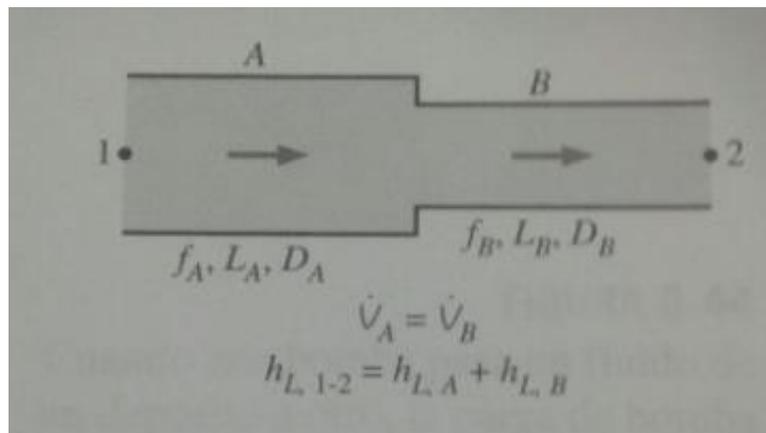
Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006

La gran pérdida de carga en una válvula parcialmente cerrada se debe a desaceleración irreversible, separación de flujo y mezcla de fluido de alta velocidad que llega del paso estrecho de la válvula.

¹⁸ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

Cuando las tuberías se conectan en **serie**, la razón de flujo a través de todo el sistema permanece constante sin importar los diámetros de las tuberías individuales en el sistema. Esta es una consecuencia natural del principio de la conservación de la masa para flujo estacionario incompresible. La pérdida de carga total en este caso es igual a la suma de las pérdidas de carga en las tuberías individuales en el sistema, que incluyen las pérdidas menores. Se consideran que las pérdidas de ensanchamiento o contracción en las conexiones pertenecen a la tubería de diámetro más pequeño, pues los coeficientes de pérdida de ensanchamiento y contracción se definen sobre la base de la velocidad promedio en la tubería de diámetro más pequeño.¹⁹

Ilustración 11: Conexión de tubería en serie.



Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006

Para tuberías en serie, la razón de flujo es la misma en cada tubería, y la pérdida de carga total es la suma de las pérdidas de carga en tuberías individuales.

Para una tubería que se ramifica en dos (o más) **tuberías paralelas** y luego se vuelve a juntar en una unión corriente abajo, la razón de flujo total es la suma de las razones de flujo en las tuberías individuales. La caída de presión (o pérdida de carga) en cada tubería individual conectada en paralelo debe ser la misma porque de acuerdo con la ecuación 17 las presiones de p_A y p_B son las mismas para todas las tuberías individuales. Para un sistema de dos tuberías paralelas 1 y 2 entre las uniones A y B con pérdidas menores despreciables, esto se puede expresar según la ecuación 18:²⁰

$$\Delta p = p_A - p_B \quad (\text{Ec.17})$$

¹⁹ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

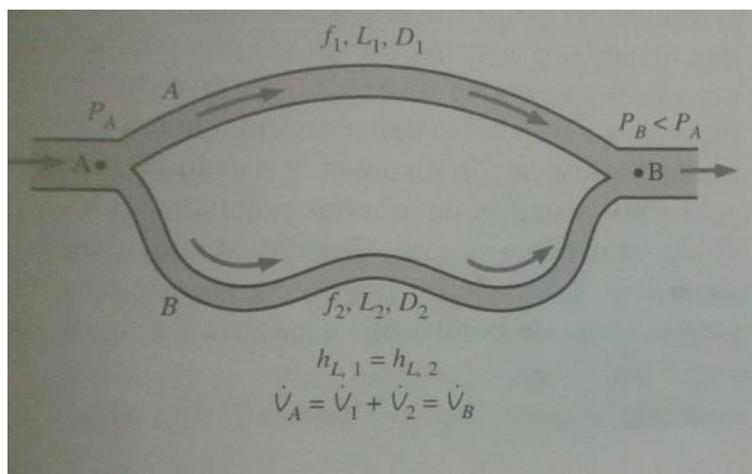
²⁰ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

$$h_{L,1} = h_{L,2} = f_1 \left(\frac{L_1}{D_1} \right) \cdot \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) = f_2 \left(\frac{L_2}{D_2} \right) \cdot \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (\text{Ec.18})$$

Entonces las razones de las velocidades promedio y los flujos volumétricos en las dos tuberías paralelas se convierten de acuerdo a la ecuación 19 en:

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\left(\frac{f_2}{f_1} \right) \cdot \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \text{ y } \frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{A_{c,1} v_1}{A_{c,2} v_2} \right) = \left(\left(\frac{f_2}{f_1} \right) \cdot \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec.19})$$

Ilustración 12: Conexión de tubería en paralelo.



Tomado de: YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006

Para tuberías en *paralelo*, la pérdida de carga es la misma en cada tubería, y la razón de flujo total es la suma de las razones de flujo en las tuberías individuales.

Por lo tanto, los flujos relativos en las tuberías paralelas se establecen a partir del requisito de que la pérdida de carga en cada tubería es la misma. Este resultado se puede extender a cualquier número de tuberías conectadas en paralelo. El resultado también es válido para las tuberías en donde las pérdidas menores son significativas y las longitudes equivalentes para los accesorios que contribuyen a las pérdidas menores se suman a la longitud de la tubería. Note que la razón de flujo en una de las ramas paralelas es proporcional a su diámetro a la potencia 5/2 y es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su longitud y factor de fricción.²¹

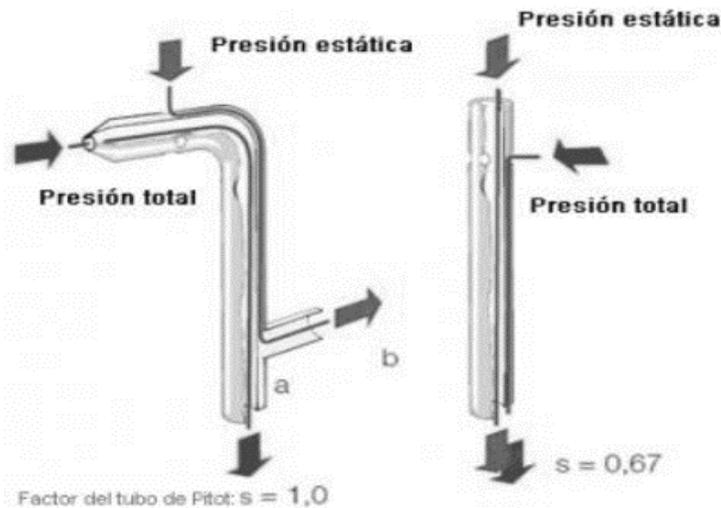
²¹ YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. "Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones" MEXICO 2006.

4.11 Elementos de Medición

4.11.1 Sonda de Pitot

La abertura del tubo de Pitot registra la presión total y la transmite a la conexión **(a)** de la sonda de presión. La presión puramente estática se registra a través de las rendijas laterales y se transmite a la conexión **(b)**. La presión diferencial resultante es la presión dinámica que depende de la velocidad. Esta luego se analiza y se visualiza. Como las sondas térmicas, el tubo de Pitot tiene una respuesta a los flujos turbulentos superior a la de una sonda de paletas. Por ello también se debe seleccionar una vía de entrada y salida de flujo son perturbaciones cuando se realice una medición mediante tubo de Pitot.²²

Ilustración 13: Sonda o tubo de Pitot.



Tomado de: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sonda-de-pitot>

Algunas influencias del tubo de Pitot:²³

- La densidad
- La temperatura
- La humedad
- La presión absoluta

²² <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sonda-de-pitot>

²³ <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sonda-de-pitot>

$$V = S \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}} \quad (\text{Ec.20})$$

V= Velocidad de flujo [m/s]

S= Factor del tubo de Pitot

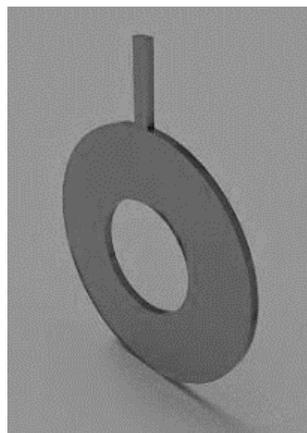
ρ = Densidad del aire [Kg/m³]

P= Presión diferencial medida en pascal en el tubo de Pitot.

4.11.2 Placa Orificio

Una placa de orificio es una placa delgada con un agujero en él, que generalmente se coloca en un tubo. Cuando un fluido (ya sea líquido o gaseoso) pasa a través del orificio, su presión se acumula ligeramente aguas arriba del orificio, pero como el fluido es forzado a converger para pasar a través del agujero, la velocidad aumenta y la presión disminuye. Un poco después del orificio el flujo llega a su punto de máxima convergencia, la *vena contracta* en donde la velocidad alcanza su máximo y la presión alcanza su mínimo. Más allá de eso, el flujo se expande, la velocidad cae y la presión aumenta. Mediante la medición de la diferencia de presión de fluido a través tomas de aguas arriba y aguas abajo de la placa, la velocidad de flujo se puede obtener de la ecuación de Bernoulli utilizando coeficientes establecidos.²⁴

Ilustración 14: Placa orificio.



Tomado de: <https://www.atareao.es/otros/placas-de-orificio-calculo-y-diseno/>

²⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Orifice_plate

4.11.3 Medidor o tubo Venturi

El medidor de Venturi consiste en dos troncos de cono unidos por un tubo y éste a su vez está conectado a la conducción por otro tubo, este tubo contiene mercurio y constituye un manómetro diferencial que determina la diferencia de presiones entre esos dos puntos. Por lo general es una pieza fundida formada por una porción corriente arriba del mismo tamaño que la tubería, forrada de bronce y provista de un anillo piezométricos para medir la presión estática; una región cónica convergente; una garganta cilíndrica forrada de bronce y provista de otro anillo piezométricos; y una sección cónica gradualmente divergente forrada de bronce, la cual desemboca en una sección cilíndrica del tamaño de la tubería. Un manómetro diferencial está conectado a los dos anillos piezométricos. El tamaño del medidor Venturi se da con el diámetro de la tubería y la garganta; por ejemplo, un medidor Venturi de 6 * 4 in puede ser instalado en una tubería de 6" y tiene una garganta de 4". Para obtener resultados adecuados el medidor Venturi debe ser precedido al menos por una longitud de 10 diámetros de tubería recta. En el flujo de la tubería a la garganta la velocidad aumenta mucho y la presión disminuye en forma correspondiente.²⁵ Se demuestra que la magnitud de la descarga para flujo incompresible es función de la lectura del manómetro.

Ilustración 15: Tubo Venturi



Tomado de: <http://eptamexico.com/equipos.html>

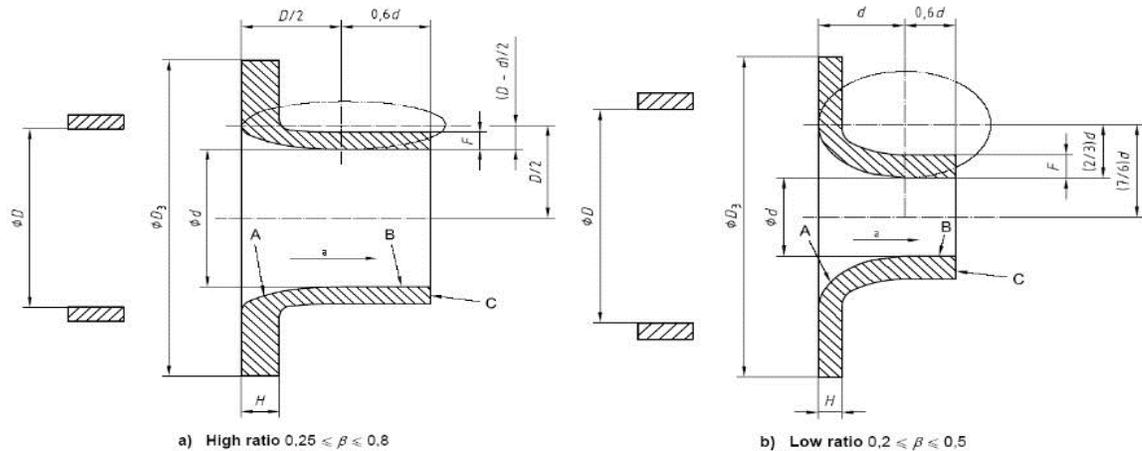
4.11.4 Tobera de flujo

La tobera consiste en una entrada de forma cónica y restringida mientras que la salida de una expansión abrupta. En este caso la toma de alta presión se ubica en la tubería a un diámetro de la entrada aguas arriba y la toma de baja presión se ubica en la tubería final de la garganta. Este tipo de sensor de flujo permite flujos hasta 60% superiores a los de placa orificio, siendo la caída de presión del orden del 30 al 80% de la presión diferencial medida. Estos instrumentos se utilizan en

²⁵ <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/tuboventuri/tuboventuri.html>

aplicaciones donde el fluido trae consigo sólidos en suspensión, aunque si estos son abrasivos pueden afectar la precisión del instrumento.²⁶

Ilustración 16: Tobera de Flujo.



Tomado de:

http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/medidoresflujovolumetrico/toberadeflujo%20II.html

4.11.5 Flujómetro o Caudalímetro

Un Caudalímetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o Flujómetro.²⁷

Ilustración 17: Flujómetro o Caudalímetro.



Tomado de: <http://www.ceasaespana.com/productos/equipos-de-medida/medida/caudalimetro-z-300/>

²⁶http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/medidoresflujovolumetrico/toberadeflujo.html

²⁷<https://es.wikipedia.org/wiki/Caudal%C3%ADmetro>

Existen varios tipos de Caudalímetro como son:

- Mecánicos visuales (de área variable) (rotámetros)
- Mecánico de molino
- Electrónicos de molino
- Electrónicos de turbina
- Diferencial de presión
- V-cone
- Magnéticos
- Vortex
- De desplazamiento positivo
- Ultrasónicos
- De diferencial de temperatura
- Medidor de colicolis

5. METODOLOGÍA

Los resultados en este proyecto se obtuvieron en varias fases:

La primera fase fue el diseño, designación de los componentes, compra e instalación de cada uno de ellos. Del mismo modo el corte de material para la construcción del módulo que soporta el banco; una vez el módulo estuvo terminado, los elementos tomaron su forma, obteniendo así el banco de pruebas para el cálculo de pérdidas en tuberías y accesorios.

En la segunda fase se llevó a cabo la puesta a punto del banco, validando que no se presentaran fugas en todo el sistema. Del mismo modo se realizaron guías de laboratorio, bajo parámetros de la institución, que complementaron la elaboración del banco y que quedaron como soporte para los alumnos que harán uso del banco.

5.1. RECURSOS

5.1.1 Humanos

Contar con la ayuda de personal especializado en sistemas hidráulicos que orienten en la estructuración y desarrollo del proyecto. Tomar los consejos dados por el asesor del proyecto, en pro del desarrollo de un buen banco de pruebas, con que la Institución y promociones venideras puedan contar.

5.1.2 Económicos

Este proyecto se desarrolló con los aportes de cada uno de los estudiantes reseñados en este trabajo. A continuación se relacionan los gastos:

Tabla 2: Gastos del proyecto.

ACCESORIOS	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
TUBERIA PVC 3/4	18	\$ 1.800	\$ 32.400
CODO PVC ¾	12	\$ 577	\$ 6.924
TEE PVC ¾	13	\$ 755	\$ 9.815
VALVULA DE BOLA PVC 3/4	17	\$ 1.768	\$ 30.056
UNIVERSAL PVC ¾	15	\$ 3.338	\$ 50.070
BUJE SOLDADO 3/4 A 1/2	22	\$ 400	\$ 8.800
BUJE PVC ROSCAR 1/2 A 1/4	22	\$ 590	\$ 12.980
CHEQUE CORTINA BRONCE 3/4	1	\$ 9.969	\$ 9.969
ADAPTADOR MACHO PVC 3/4	2	\$ 423	\$ 846
YEE GALVANIZADA ¾	1	\$ 7.038	\$ 7.038
SEMICODO PVC ¾	1	\$ 949	\$ 949
NIPLE TUERCA PVC ½	2	\$ 364	\$ 728
VALVULA CORTINA BRONCE 3/4	1	\$ 42.800	\$ 42.800

NIPLE GALV 3/4 X 1m	1	\$ 14.540	\$ 14.540
NIPLE ACERO CARBONO 3/4 X 1m	1	\$ 11.400	\$ 11.400
ADAPTADOR HEMBRA PVC 3/4	8	\$ 468	\$ 3.744
BUJE SOLDADO 1 A ¾	2	\$ 650	\$ 1.300
VALVULA BOLA MINI ¼	22	\$ 7.138	\$ 157.036
RACOR RECTO 1/4 X 6mm	22	\$ 1.881	\$ 41.382
TUBERIA CUADRADA ACERO CARBONO 1 X 1 IN	6	\$ 4.000	\$ 24.000
MACHO 1/2 COBRE	2	\$ 1.950	\$ 3.900
TUBERIA CUADRADA ACERO CARBONO 1, 1/2 X 1, 1/2 IN	12	\$ 4.500	\$ 54.000
MANGUERA 1 IN	1	\$ 8.000	\$ 8.000
FIFTEEN 1 IN PARA MANGERA	2	\$ 6.000	\$ 12.000
LAMINA COLD ROLLED CALIBRE 18 1, 20 m x 2,40 m	3	\$ 56.000	\$ 168.000
RUEDAS CHINAS 3 IN	4	\$ 15.000	\$ 60.000
ANTICORROSIVO GRIS 1/8	1	\$ 6.000	\$ 6.000
PINTURA AZUL ¼	1	\$ 16.000	\$ 16.000
LIMPIADOR PVC 1/8	1	\$ 10.000	\$ 10.000
SOLDADURA PAVCO	1	\$ 35.000	\$ 35.000
CARRETA TEFLON 1/2 X 12 m		\$ -	\$ -
SOPORTE PARA TUBOS 3/4	12	\$ 2.000	\$ 24.000
NIPLE COBRE 1/2	1	\$ 8.800	\$ 8.800
SILICONA TRANS	1	\$ 4.500	\$ 4.500
TRANSPOTE DE MODULO A LA IUPB	1	\$ 30.000	\$ 30.000
TOTAL			\$ 906.977

5.1.3 Técnicos

Asesorías directas de proveedores y técnicos en sistemas hidráulicos los cuales entregaron la información necesaria y precisa para llevar a cabo hasta el final dicho proyecto.

6. RESULTADOS DEL PROYECTO

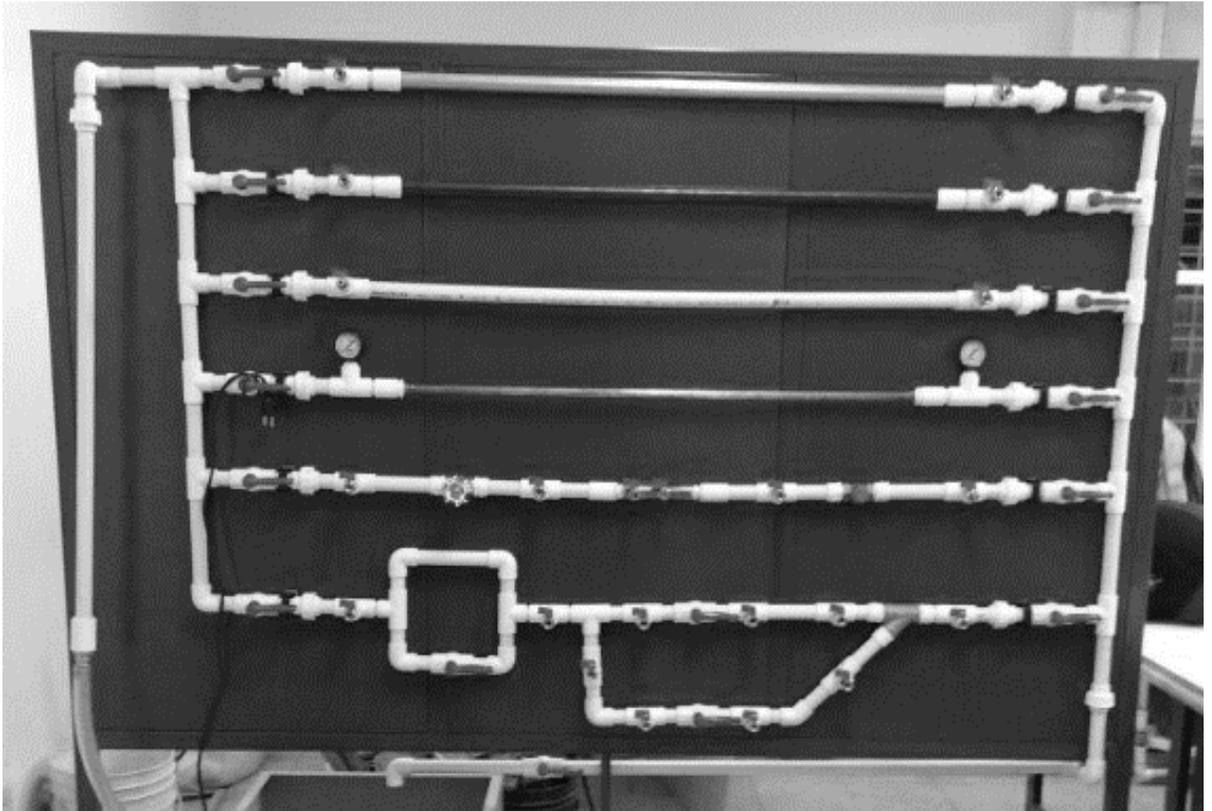
Como complemento a este trabajo se entregarán como anexos, una guía de laboratorio para trabajos de aula y los planos de fabricación del banco.

6.1 DISEÑO DEL BANCO

Para la realización del banco se hizo necesario los siguientes componentes:

- Bomba Hidráulica de $\frac{1}{2}$ HP de potencia. A 110 voltios.
- Módulo construido en lámina de acero y tubería de acero de 2.50 m X 1.20 m.
- Tubería de PVC de 3 / 4 de pulgada
- Segmento de tubería de acero al carbón de 1 m longitud.
- Segmento de tubería de galvanizado de 1 m de longitud.
- Segmento de tubería de cobre de 1 m de longitud.
- 34 T's de $\frac{3}{4}$ de pulgada, 22 de ellas con reducción de área para instalar puntos de medición, de $\frac{1}{8}$ de pulgada.
- 22 válvulas de $\frac{1}{4}$ de pulgada.
- 22 racores OD que funcionan como tomas de presión a lo largo de todo el sistema.
- 16 válvulas estranguladores tipo circular de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- 14 universales de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- 12 codos de 90° de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- 1 codo de 45° de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- 1 Y de acero galvanizado de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- 2 manómetros de Bourdon.
- 9 uniones hembra - rosca de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- 1 válvula de cortina.
- 1 tubo Venturi
- Una válvula cheque o anti retorno.
- Un segmento de manguera de 1 metro de longitud.
- 2 acoples de manguera en aluminio de 1 pulgada roscados.
- Tanque fabricado en cold roll y pintado con pintura electrostática

Ilustración 18: Banco de pruebas para pérdidas en tuberías y accesorios.



Este equipo basa su funcionamiento en la circulación de agua a través de tuberías de diferentes dimensiones y longitudes, adicional de accesorios de diferentes formas y longitudes, que son instalados en diferentes tramos del sistema con el fin de medir la presión en varios puntos y cómo es su comportamiento en éstos.

Se debe tener en cuenta que para que el sistema sea eficiente debe tener un sellado perfecto en cada terminal o unión, que garantice cero fugas de agua y preservación de la estética del equipo. Por esto se debe hacer chequeos previos al sistema para corregir si es el caso y poder entregar un equipo con un porcentaje de eficiencia alto.

Tabla 3: especificaciones bomba de agua Discover.

BOMBA DE AGUA				
REF: QB60		n.		
Altura max : 35 m		Cap max : 35 l / min		
110 V	//	60 Hz	5.4 A	1/2 HP
3.650 RPM		Cap. Suc : 8m	16 µ F / 250 V	
Class : B	//	Ip 44	S 1	conex. : 1"X1"

Una vez el sistema está perfectamente sellado, se procede con el encendido de la bomba la cual trabaja a un voltaje de 110V a corriente alterna, entregando un caudal de 35 litros por minuto con una potencia de 350w. La bomba se considera el elemento principal del banco ya que sin ella no habría generación de flujo a través de las tuberías del sistema.

Las válvulas cilíndricas a su vez trabajan como elementos de protección para la bomba, las cuales se encuentran al principio y al final de cada segmento de tubería, permitiendo la inundación de los ductos o la anulación de los mismos, con el objetivo de poder realizar tomas de presión en diferentes puntos del sistema.

A lo largo del sistema también se encuentran pequeñas válvulas de ¼ de pulgada y unión roscada, las cuales están unidas a su vez a acoples o racores tipo OD que permiten tanto la toma de carga en cualquier punto del banco, como el fácil acople para los tubos manométricos a la hora de realizar una medición.

En el caso posible de querer hacer modificaciones futuras al banco, como cambios en las secciones de las tuberías o anexar un nuevo material como elemento de prueba, también hacer correcciones a posibles fallas, el sistema cuenta con acoples o uniones universales, las cuales facilitan el desarme o anclaje de cualquier tubo o accesorio, según sea la situación mencionada.

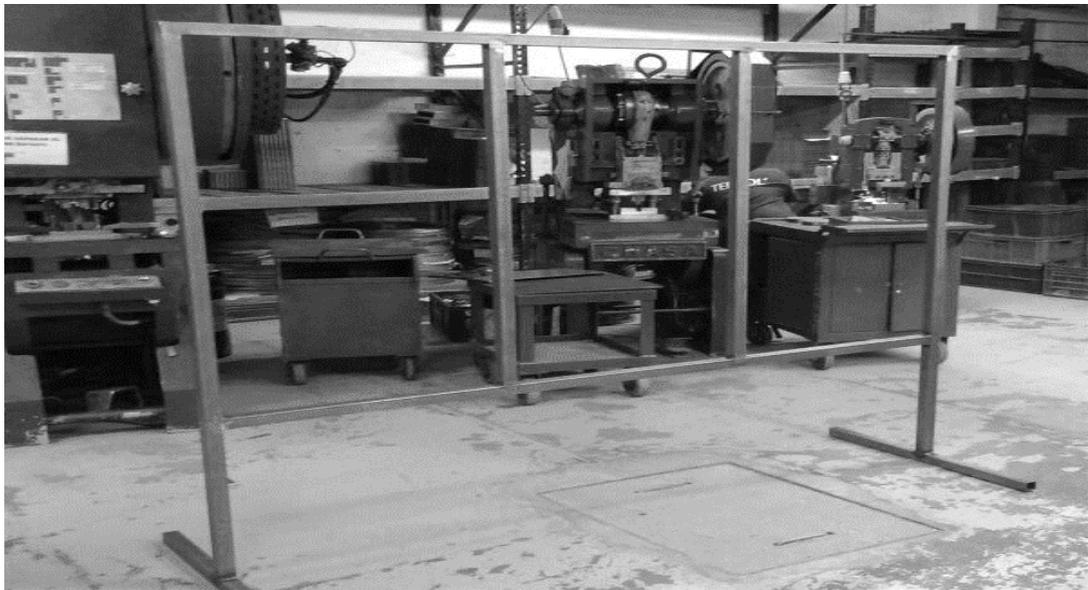
El banco cuenta con otro tipo de elementos como una válvula de cortina, válvula cheque o anti retorno y tubo Venturi, siendo este último de mucha importancia en el sistema, pero que se consideran como puntos críticos de presión a lo largo de todo el sistema, por su estructura y funcionamiento.

6.2 DESARROLLO DEL PROYECTO.

La construcción final del banco tomó varios pasos y fue necesario usar espacios especializados, principalmente para aplicar la soldadura, con el fin de dar forma a un módulo rectangular de 2.0m X 1.20m, usando tubos cuadrados de acero al carbón y lámina de acero cold roll. Así mismo fueron instaladas 4 ruedas plásticas giratorias de 3 pulgadas de diámetro, con capacidad de carga de 50kg cada una.

Para completar la parte metálica se fabricó un tanque de almacenamiento de agua, de longitudes 55cm X 45cm X 45cm, con lamina de acero cold roll, pigmentado al horno con pintura electrostática.

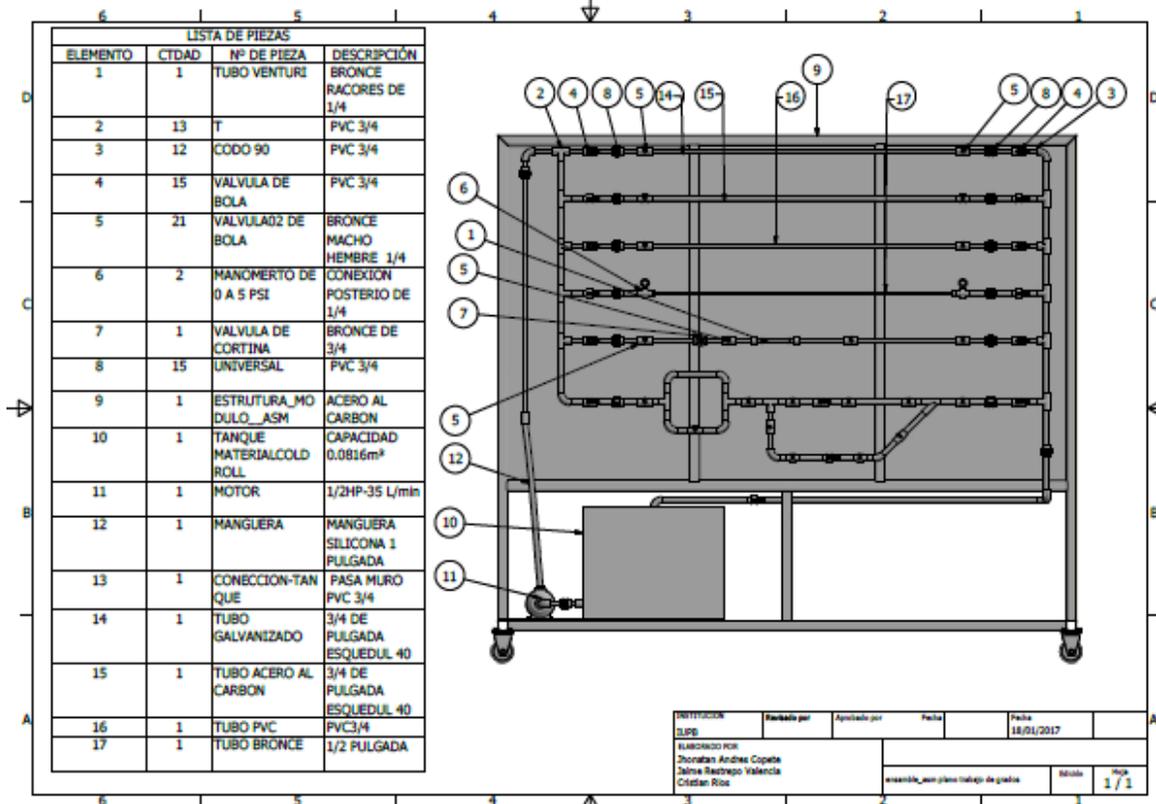
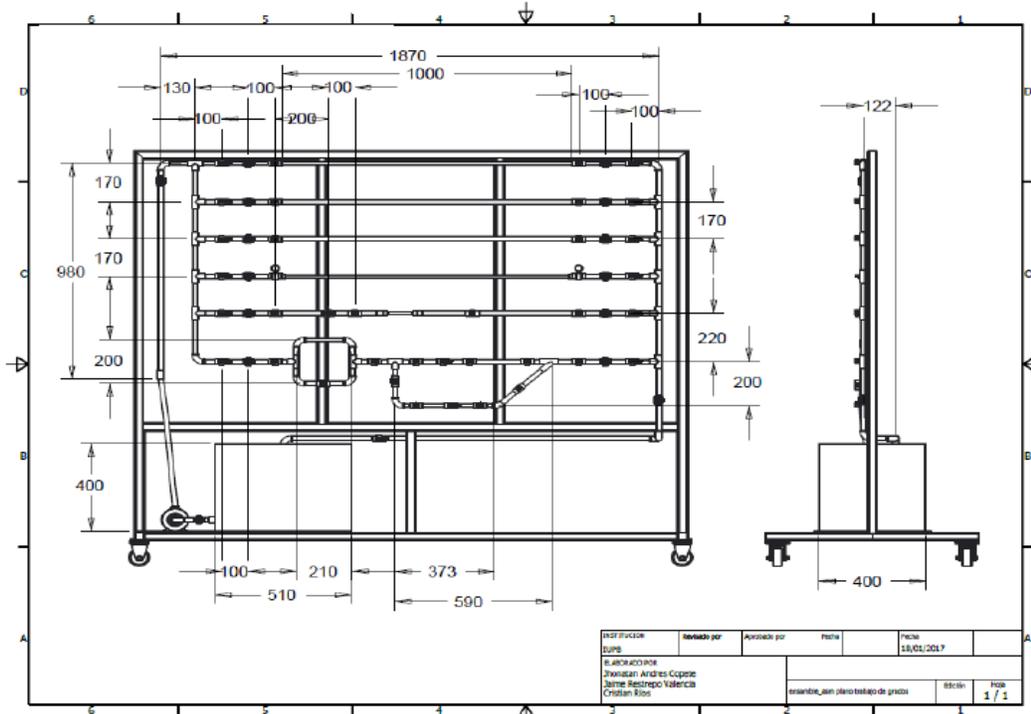
Ilustración 19: Fabricación de la estructura del módulo.



Luego de tener cada uno de los componentes citados en el numeral 6.1, se dio lugar a la construcción del banco, como sistema principal del proyecto. Para esto fue necesario usar soldadura especial para PVC y limpiador de impurezas para garantizar un sellado perfecto y cero fugas. Una vez terminado el banco con todos sus componentes, éste se fijó al módulo con soportes plásticos de 3/4 de pulgada y de fácil ajuste.

Para hacer fluir el agua desde el tanque de almacenamiento hasta la tubería, se usó una bomba de 1/2 HP de potencia, unida al banco por medio de una manguera de plástico de 1 pulgada de diámetro, hasta el tubo de alimentación, con acoples de aluminio en ambos extremos de la manguera, también de 1 pulgada de diámetro.

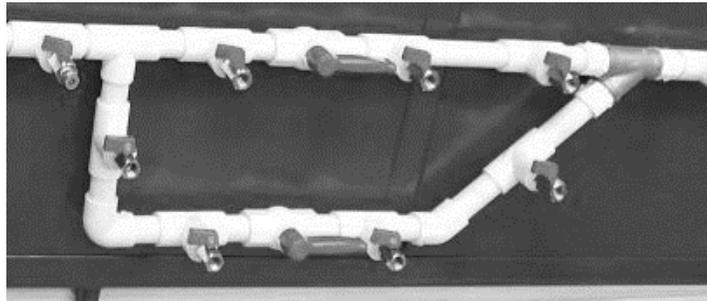
Ilustración 20: Diseño y desarrollo.



Finalmente se adiciona agua al tanque y esta se hace recircular por todo el banco, con el fin de probar todo el sistema y chequear que no hubiese fugas. Una vez constatado esto, se dio por finalizado la construcción del banco para pérdidas en tuberías y accesorios.

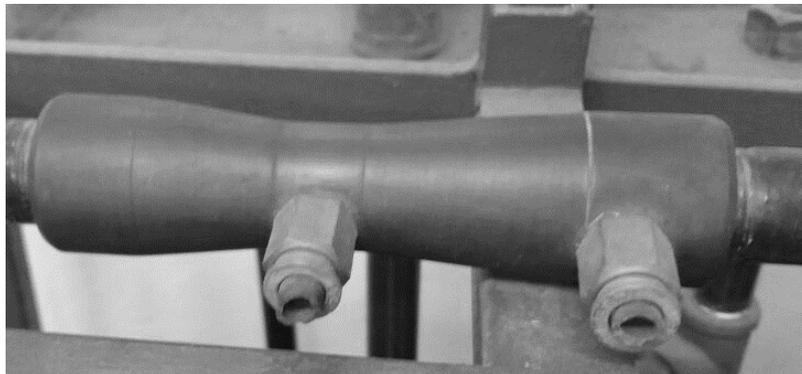
Con el banco ya construido se logró conocer las pérdidas en los diferentes tramos del banco, según materiales, cambios de sección, tipos de accesorios, material de los accesorios, caudal entregado entre otros, con el ideal de ser probados en las ecuaciones propuestas en este trabajo.

Ilustración 21: Punto principal para medición de presión.



El banco cuenta con dos focos principales, en donde se evidencia la mayor cantidad de pérdida; el tubo Venturi y un circuito con cambios de sección en codos de 45° y 90° , adicional de un accesorio tipo Y en acero galvanizado. En estos dos puntos se hará hincapié y serán puntos de estudio, anexando a este trabajo una guía de laboratorio.

Ilustración 22: Tubo Venturi Instalado en el banco.



Al entregar el banco terminado, el trabajo escrito y la guía de laboratorio se da cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos en este trabajo entregando un elemento al laboratorio de mecánica de fluidos de la institución con fines académicos y de apoyo a la asignatura.

7. CONCLUSIONES

- Al presurizar el sistema se debe tener presente que las válvulas de paso o de llenado de los canales estén abiertas, ya que de no estarlo, esto alteraría el funcionamiento de la bomba y se pueden presentar rupturas en los elementos del banco.
- Para realizar las pruebas se debe contar como mínimo con un caudalímetro y tubos manométricos, que determinen las pérdidas presentes en cambios de sección o elementos como válvulas o tubos Venturi.
- para la medición de pérdidas por rugosidad se hace necesario la adquisición de un elemento especializado y de mayor precisión, **(preferiblemente digital)**.
- El tanque de almacenamiento siempre deberá estar con los niveles mínimos de agua, ya que de no estarlo, esto puede generar daños irreversibles a la bomba.
- Este banco se donará al laboratorio de mecánica de fluidos de la institución con fines académicos y de apoyo a la asignatura.

8. RECOMENDACIONES

- Para salvaguardar la bomba, conectar solo en una alimentación eléctrica de 110V. si se excede esta carga, se generarán daños en el equipo.
- Al terminar la práctica se debe vaciar todo el sistema y asegurarse que no quede agua en él.
- Desconectar el equipo una vez se terminen las pruebas.
- Mantener siempre seco y limpio el equipo, así el grupo siguiente podrá trabajar en las mejores condiciones.

9. Bibliografía

YUNUS A CENGEL, JHON M. CIMBALA. “*Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones*” MEXICO 2006.

CIBERGRAFÍA

1. https://es.wikipedia.org/wiki/Banco_de_pruebas
2. https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga
3. https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga
4. https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rdida_de_carga
5. https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_laminar
6. https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_turbulento
7. https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds
8. https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds
9. https://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_fricci%C3%B3n_de_Darcy
10. https://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_fricci%C3%B3n_de_Darcy
11. <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sonda-de-pitot>
12. <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sonda-de-pitot>
13. https://en.wikipedia.org/wiki/Orifice_plate
14. [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/tuboventuri/tubove
nturi.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/tuboventuri/tuboven
nturi.html)
15. [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/me
didoresflujovolumetrico/toberadeflujo.html](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/me
didoresflujovolumetrico/toberadeflujo.html)
16. <https://es.wikipedia.org/wiki/Caudal%C3%ADmetro>