

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE PVC Y  
ACCESORIOS DE DIÁMETROS DE 1” Y 1 ½” MEDIANTE UN  
BANCO DE PRUEBAS EN FLUJO PRESURIZADO”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**Línea de Investigación: HIDRAULICA**

**AUTORES:   Bach.   ASTO CONTRERAS, EDUAR**  
**Bach.   PEREDA CALDERON, ARTURO**

**ASESOR:    Ms. Ing. SERRANO HERNANDEZ, JOSÉ**

**Trujillo-Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE PVC Y  
ACCESORIOS DE DIÁMETROS DE 1” Y 1 ½” MEDIANTE UN  
BANCO DE PRUEBAS EN FLUJO PRESURIZADO”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**Línea de Investigación: HIDRAULICA**

**AUTORES: Bach. ASTO CONTRERAS, EDUAR**  
**Bach. PEREDA CALDERON, ARTURO**

**ASESOR: Ms. Ing. SERRANO HERNANDEZ, JOSÉ**

**Trujillo-Perú**

**2018**

**TESIS:** “DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE PVC Y ACCESORIOS DE DIÁMETROS DE 1” Y 1 ½” MEDIANTE UN BANCO DE PRUEBAS EN FLUJO PRESURIZADO”.

**Presentada por:**

**Bach. ASTO CONTRERAS, EDUAR HIVAN**

**Bach. PEREDA CALDERON, JUAN ARTURO**

Aprobado por el jurado:

---

Ms. Ing. Ricardo Andres Narváez Aranda  
**PRESIDENTE**  
**CIP: 58776**

---

Ing. Vertiz Malabrigo Manuel Alberto  
**SECRETARIO**  
**CIP: 71188**

---

Ing. Vega Benites Jorge Antonio  
**VOCAL**  
**CIP: 78666**

---

Ms. Ing. Serrano Hernández José Luis  
**ASESOR**  
**CIP: 54464**

# **DEDICATORIA**

La presente tesis se ha realizado gracias a la guía de nuestro padre celestial DIOS, que nos ha dado sabiduría y dedicación para culminar la presente.

Esta meta alcanzada está dedicada a nuestras familias que plasmaron en nosotros valores y enseñanzas que lo vamos a llevar por el resto de nuestras vidas.

## **EDUAR:**

-CONTRERAS RUIZ, ELIZABETH

-ASTO ALVA, EDUARDO

Y A USTEDES MIS HERMANOS.

## **ARTURO:**

-CALDERON PAIVA, ISABEL

-PEREDA VASQUEZ, JUAN

A USTEDES MIS HERMANOS

Y ATI MI AMOR D.G.C.G.

# **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro agradecimiento a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego que año tras año fueron compartiendo sus conocimientos y experiencias con nosotros, así mismo agradecer especialmente a nuestro asesor de tesis Ms C. Ing. SERRANO HERNANDEZ JOSÉ quien nos brindó su apoyo y siempre estuvo predispuesto a resolver nuestras inquietudes sobre este trabajo de investigación.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1 Descripción del Problema .....	4
1.2 Formulación del Problema .....	5
1.3 Objetivo General.....	5
1.4 Objetivos Específicos .....	6
1.5 Justificación de la Investigación .....	6
1.5.1 Justificación Académica .....	6
1.6 Viabilidad de Investigación.....	6
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	7
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	8
2.1.1 Estudio Consultado .....	8
2.2 Bases Teóricas .....	10
2.3 Definiciones Conceptuales .....	11
2.3.1 ¿Qué es un Fluido? .....	11
2.3.2 Propiedades Físicas de los Fluidos.....	11
2.3.2.1 Densidad.....	11
2.3.2.2 Peso Específico .....	12
2.3.2.3 Gravedad Específica.....	12
2.3.2.4 Viscosidad Dinámica .....	13
2.3.2.5 Viscosidad Cinemática .....	13
2.3.2.6 Presión absoluta y manométrica.....	15
2.3.2.7 Manómetros.....	15
2.3.3 Ecuación de Continuidad.....	16
2.3.4 Velocidad de Flujo Recomendable en Tuberías y Ductos .....	17
2.3.5 Conservación de la Energía - Ecuación de Bernoulli.....	18
2.3.5.1 Energía Cinética .....	18
2.3.5.2 Energía Potencial .....	19
2.3.5.3 Energía De Flujo.....	19

2.3.6	Ecuación General de la Energía .....	20
2.3.6.1	Pérdidas y Ganancias de Energía.....	20
2.3.6.1.1	Bombas.....	20
2.3.6.1.2	Motores de Fluido.....	21
2.3.6.1.3	Fricción del Fluido.....	21
2.3.6.1.4	Válvulas y Accesorios.....	21
2.3.6.2	Nomenclatura de las Pérdidas y Ganancias de Energía.....	22
2.3.6.3	Ecuación General de la Energía.....	23
2.3.7	Numero de Reynolds .....	24
2.3.8	Ecuación de Darcy.....	24
2.3.9	Perdida por Fricción en el Flujo Laminar .....	25
2.3.10	Pérdida de Fricción en el Flujo Turbulento .....	26
2.3.10.1	Rugosidad Relativa.....	26
2.3.11	Diagrama de Moody.....	27
2.3.12	Ecuaciones para el Factor de Fricción.....	28
2.3.13	Formula de Hazen-Williams para el Flujo De Agua .....	28
2.3.14	Otras Formas de la Fórmula de Hazen-Williams .....	29
2.3.15	Pérdidas de Energía en Accesorios.....	30
2.3.16	Coeficiente de Resistencia en Accesorios.....	31
2.3.17	Expansión Súbita.....	32
2.3.18	Expansión Gradual .....	34
2.3.19	Contracción Súbita.....	36
2.3.20	Contracción Gradual .....	37
2.3.21	Selección de La Bomba .....	40
2.4	Hipótesis.....	41
2.5	Variables.....	41
2.6	Operacionalización de las Variables .....	41
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		42
3.1	Tipo de la Investigación.....	43
3.2	Población y Muestra.....	43
3.3	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	43
3.3.1	Técnicas.....	43

3.3.2	Instrumentos .....	43
3.4	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos .....	44
CAPITULO IV: RESULTADOS .....		45
4.1	DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS.....	46
4.1.1	Introducción .....	46
4.1.2	Como Nació la Idea de Hacer un Banco de Pruebas.....	47
4.1.3	Diseño Propuesto del Banco de Ensayos de Pérdidas de Carga .....	47
4.1.3.1	Tablero .....	47
4.1.3.2	La Estructura.....	48
4.1.3.3	Tanque de Almacenamiento y Tanque de Aforo .....	49
4.1.4	Propiedades de la Tubería.....	50
4.1.5	Determinamos la Curva de Operación en todas las trayectorias.....	51
4.1.5.1	Trayectoria 1.....	52
4.1.5.2	Trayectoria 2.....	59
4.1.5.3	Trayectoria 3.....	61
4.1.5.4	Trayectoria 4.....	63
4.1.5.5	Trayectoria 5.....	65
4.1.6	Resumen de curvas de operación del sistema.....	67
4.1.7	Selección de la Bomba. ....	68
4.1.7.1	Cálculo de la Potencia de la Bomba.....	68
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS .....	69
4.2.1	Introducción .....	69
4.2.2	Estructura del Banco Hidráulico .....	70
a.	Materiales en la Estructura del Banco Hidráulico.....	70
b.	Herramientas en la Estructura de Banco Hidráulico.....	71
c.	Proceso Constructivo en la Estructura de Banco Hidráulico .....	71
4.2.3	Tablero Provisto de Sistema de Tuberías y Accesorios .....	72
a.	Materiales Utilizados en la Construcción del Tablero de Pruebas .....	73
b.	Herramientas para la Construcción del Tablero de Pruebas.....	73
c.	Proceso de constructivo del tablero de pruebas. ....	73
4.2.4	Accesorios para la Bomba y la Recirculación de Agua.....	75
a.	Materiales para la Bomba y Recirculación del Agua.....	75
b.	Herramientas para la Bomba y Recirculación del Agua .....	75



c.	Proceso constructivo para la Bomba y Recirculación del Agua.....	76
4.2.5	Instalación Eléctrica de Empalme a la Bomba.....	77
a.	Materiales para la instalación eléctrica de empalme a la bomba .....	77
b.	Herramienta para la instalación eléctrica de empalme a la bomba .....	77
c.	Proceso constructivo para la instalación eléctrica de empalme a la bomba .....	77
4.3	ENSAYO EN EL BANCO DE PRUEBAS .....	78
4.3.1	Introducción. ....	78
4.3.2	Descripción del Equipo de Pruebas. ....	78
4.3.3	Ensayo 1. Pérdidas de Carga por Fricción en Tuberías. ....	79
a.	Objetivos. ....	79
b.	Descripción del Ensayo. ....	79
c.	Calculo de resultados .....	80
4.3.4	Ensayo 2. Pérdidas de Carga en Accesorios. ....	81
a.	Objetivos. ....	81
b.	Descripción del ensayo. ....	81
a.	Calculo de resultados .....	82
4.4	ANÁLISIS DE COSTOS.....	85
4.4.1	Introducción .....	85
4.4.2	Costos Directos. ....	85
4.4.3	Costos Indirectos. ....	87
4.4.4	Costos Total. ....	87
4.4.5	Análisis de Costos por Operación y Mantenimiento. ....	88
4.5	MANUAL DE USO DE LABORATORIO. ....	90
4.5.1	Introducción .....	90
4.5.2	Objetivos .....	90
4.5.3	Glosario de Términos.....	91
4.5.4	Variables.....	93
4.5.5	Descripción del Banco de Ensayo .....	95
4.5.6	Consideraciones antes del Ensayo.....	96
4.5.7	Materiales e Instrumentos .....	99
4.5.8	Ensayos y Procedimiento de Cálculos en el Banco de Pruebas. ....	99
4.5.8.1	Calculo de Caudal (Q).....	99

4.5.8.2	Ensayo 1. Pérdidas de carga por fricción en tuberías.....	100
a.	Objetivos. ....	100
b.	Descripción del Ensayo. ....	100
c.	Calculo de resultados.....	101
4.5.8.3	Ensayo 2. Pérdidas de carga en accesorios.....	103
a.	Objetivos. ....	103
b.	Descripción del ensayo. ....	103
c.	Calculo de resultados .....	103
4.5.9	Resultados .....	106
a.	Calculo del Caudal por Trayectoria. ....	106
b.	Caudal Promedios Finales. ....	106
c.	Calculo Perdidas de Carga por Fricción en Tuberías de PVC. ....	107
d.	Calculo Perdidas de Carga por Accesorios en Tuberías de PVC.....	107
4.5.10	Conclusiones.....	107
4.5.11	Recomendaciones.....	107
4.5.12	Bibliografía .....	107
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		108
5.1	Conclusiones.....	109
5.2	Recomendaciones.....	111
BIBLIOGRAFÍA .....		112
ANEXOS .....		113

# LISTA DE TABLA

<b>Tabla N° 1.</b> Velocidades de flujo recomendables en tuberías.....	17
<b>Tabla N°2.</b> Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) en tubos comerciales.....	27
<b>Tabla N°3.</b> Valores de Coeficiente C de Hazen Williams.....	30
<b>Tabla N°4.</b> Relación de Longitud Equivalente en Diámetro de Tubería ( $\frac{Le}{D}$ ).....	31
<b>Tabla N°5.</b> Coeficiente de resistencia – expansión súbita.....	33
<b>Tabla N°6.</b> Coeficiente de resistencia – expansión gradual.....	35
<b>Tabla N°7.</b> Coeficiente de resistencia – contracción súbita.....	37
<b>Tabla N°8.</b> Características físicas de Tuberías.....	50
<b>Tabla N°9.</b> Límites máximos de velocidad para conductos a presión.....	50
<b>Tabla N°10.</b> Pérdidas de energía por fricción de tubería-trayectoria 1.....	54
<b>Tabla N°11.</b> Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 1.....	56
<b>Tabla N°12.</b> Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 1.....	57
<b>Tabla N°13.</b> Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 2.....	60
<b>Tabla N°14.</b> Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 3.....	62
<b>Tabla N°15.</b> Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 4.....	64
<b>Tabla N°16.</b> Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 5.....	66
<b>Tabla N°17.</b> Resumen de curvas de operación del sistema.....	67
<b>Tabla N°18.</b> Propiedades de la Tubería.....	69
<b>Tabla N°19.</b> Resultados de pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC (Q=0.71)....	83
<b>Tabla N°20.</b> Resultados de pérdidas de carga por accesorios (Q=0.71).....	83
<b>Tabla N°21.</b> Resultados de pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC (Q=1.43)....	84
<b>Tabla N°22.</b> Resultados de pérdidas de carga por accesorios (Q=1.43).....	84
<b>Tabla N°23.</b> Calculo del caudal por trayectoria.....	99
<b>Tabla N°24.</b> Calcles Promedios Finales.....	100
<b>Tabla N°25.</b> Comparación de resultados de trayectoria 1 y 3.....	109
<b>Tabla N°26.</b> Comparación de resultados de trayectoria 5 .....	109

# LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación N°1.</b> Densidad.....	11
<b>Ecuación N°2.</b> Peso Específico.....	12
<b>Ecuación N°3.</b> Gravedad Específica.....	12
<b>Ecuación N°4.</b> Ley de Viscosidad de Newton.....	13
<b>Ecuación N°5.</b> Viscosidad Dinámica.....	13
<b>Ecuación N°6.</b> Viscosidad Cinemática.....	13
<b>Ecuación N°7.</b> Viscosidad Cinemática en Función a la Temperatura.....	14
<b>Ecuación N°8.</b> Presión Absoluta y Manométrica.....	15
<b>Ecuación N°9.</b> Ecuación de Continuidad.....	16
<b>Ecuación N°10.</b> Ecuación de Continuidad para Líquidos.....	17
<b>Ecuación N°11.</b> Energía Cinética.....	18
<b>Ecuación N°12.</b> Energía Potencial.....	19
<b>Ecuación N°13.</b> Energía de Flujo.....	19
<b>Ecuación N°14.</b> Energía Total.....	19
<b>Ecuación N°15.</b> Ecuación de Bernoulli.....	20
<b>Ecuación N°16.</b> Principio de Conservación de la Energía.....	23
<b>Ecuación N°17.</b> Energía Fluido por Unidad de Peso.....	23
<b>Ecuación N°18.</b> Ecuación General de Energía.....	23
<b>Ecuación N°19.</b> Número de Reynolds.....	24
<b>Ecuación N°20.</b> Ecuación de Darcy.....	24
<b>Ecuación N°21.</b> Ecuación de Hagen-Poiseuille.....	25
<b>Ecuación N°22.</b> Factor de Fricción ( <b>f</b> ).....	25
<b>Ecuación N°23.</b> Factor Fricción para Flujo Laminar.....	28
<b>Ecuación N°24.</b> Factor Fricción para Flujo Turbulento.....	28
<b>Ecuación N°25.</b> Velocidad Promedio del Flujo.....	29
<b>Ecuación N°26.</b> Perdida de Energía en Accesorios.....	30
<b>Ecuación N°27.</b> Coeficiente de Resistencia en Accesorios.....	31
<b>Ecuación N°28.</b> Expansión Súbita.....	32

<b>Ecuación N°29.</b> Coeficiente de Resistencia Expansión Súbita.....	32
<b>Ecuación N°30.</b> Expansión Gradual.....	34
<b>Ecuación N°31.</b> Contracción Súbita.....	36

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N°1.</b> Viscosidad Cinemática de Fluidos Comunes a 1atm.....	14
<b>Figura N°2.</b> Relación entre las presiones manométricas y absolutas.....	15
<b>Figura N°3.</b> Ecuación de continuidad.....	16
<b>Figura N°4.</b> Ecuación de Bernoulli.....	18
<b>Figura N°5.</b> Elementos de fluido.....	19
<b>Figura N°6.</b> Sistema de flujo que ilustra la ecuación general de energía.....	23
<b>Figura N°7.</b> Rugosidad Exagerada de la Pared de un Tubo.....	26
<b>Figura N°8.</b> Expansión súbita.....	32
<b>Figura N°9.</b> Coeficiente de resistencia-expansión súbita.....	33
<b>Figura N°10.</b> Expansión súbita.....	34
<b>Figura N°11.</b> Coeficiente de resistencia – expansión gradual.....	35
<b>Figura N°12.</b> Contracción súbita.....	36
<b>Figura N°13.</b> Coeficiente de resistencia – contracción súbita.....	36
<b>Figura N°14.</b> Contracción gradual.....	37
<b>Figura N°15.</b> Coeficiente de resistencia-contracción gradual con $\theta \geq 15^\circ$ .....	38
<b>Figura N°16.</b> Coeficiente de resistencia-contracción gradual con $\theta < 15^\circ$ .....	39
<b>Figura N°17.</b> Mecanismo de la Bomba.....	40
<b>Figura N°18.</b> Bomba Seleccionada 1/2 HP.....	40
<b>Figura N°19.</b> Trayectoria 1 del sistema.....	52
<b>Figura N°20.</b> Curva de operación del sistema - trayectoria 1.....	58
<b>Figura N°21.</b> Trayectoria 2 del sistema.....	59
<b>Figura N°22.</b> Curva de operación del sistema - trayectoria 2.....	60
<b>Figura N°23.</b> Trayectoria 3 del sistema.....	61
<b>Figura N°24.</b> Curva de operación del sistema - trayectoria 3.....	62
<b>Figura N°25.</b> Trayectoria 4 del sistema.....	63
<b>Figura N°26.</b> Curva de operación del sistema - trayectoria 4.....	64
<b>Figura N°27.</b> Trayectoria 5 del sistema.....	65
<b>Figura N°28.</b> Curva de operación del sistema - trayectoria 5.....	66

<b>Figura N°29.</b> Resumen de curva de operación del sistema.....	67
<b>Figura N°30.</b> Estructura del Banco Hidráulico.....	70
<b>Figura N°31.</b> Tablero Provisto de Sistema de Tuberías y Accesorios.....	72
<b>Figura N°32.</b> Accesorio de Almacenamiento.....	75
<b>Figura N°33.</b> Medidor de Caudal mediante Válvula de bola.....	76
<b>Figura N°34.</b> Instalación Eléctrica de Empalme a la Bomba.....	77
<b>Figura N°35.</b> Banco de Pérdidas y sus Trayectorias.....	95
<b>Figura N°36.</b> Tapón de Purga.....	96
<b>Figura N°37.</b> Válvula de Control.....	96
<b>Figura N°38.</b> Válvulas para Purgar el Manómetro columna de Agua.....	97
<b>Figura N°39.</b> Trayectoria 5.....	97
<b>Figura N°40.</b> Válvulas que Conectan al Tanque Graduado .....	98
<b>Figura N°41.</b> Banco Pruebas en Buen Funcionamiento .....	98

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO N°1.** Diagrama Universal de Moody.
- ANEXO N°2.** Propiedades Físicas de Agua.
- ANEXO N°3.** Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 2.
- ANEXO N°4.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 2.
- ANEXO N°5.** Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 3
- ANEXO N°6.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 3.
- ANEXO N°7.** Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 4
- ANEXO N°8.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 4.
- ANEXO N°9.** Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 5.
- ANEXO N°10.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 5.

# SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

$\rho$ = Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ ).	$g$ = gravedad ( $\text{m/s}^2$ )
$m$ = Masa (kg).	$L$ = longitud de corriente del flujo (m)
$V$ = Volumen de la sustancia ( $\text{m}^3$ ).	$D$ = diámetro de la tubería (m)
$\gamma$ = Pesos específico del fluido ( $\text{N/m}^3$ ).	$f$ = factor de fricción (adimensional)
$g$ = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).	$C_h$ = Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)
$\nu$ = Viscosidad cinemática del fluido ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).	$R$ = Radio hidráulico del conducto de flujo (m)
$\mu$ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).	$s$ = Relación $h_L/L$ : pérdida de energía/longitud del conducto ( $\text{m/m}$ )
$\varepsilon$ = Rugosidad absoluta	$L_e$ = longitud equivalente.
$\varepsilon/D$ = Rugosidad Relativa.	$\frac{L_e}{D}$ = relación de longitud equivalente en diámetro de tubería.
$Re$ = Número de Reynolds	$TDH$ = Altura dinámica total de bombeo (m.c.a).
$T$ = Temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ ).	$H_o$ = Altura estática (m.c.a).
$P_{abs}$ = Presión Absoluta.	$P_b$ = Potencia a la entrada de la bomba hp.
$P_{man}$ = Presión Manométrica.	$\Delta T$ = tiempo de aforo
$P_{atm}$ = Presión Atmosférica.	$\Delta h$ = diferencia de altura $h_1-h_2$
$Q$ = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$K_{exp.}$ = coeficiente de resistencia experimental.
$v$ = velocidad (m/s)	$f_{exp.}$ = factor de fricción experimental.
$A$ = Área de sección de tubería ( $\text{m}^2$ )	$f_{teórico}$ = factor de fricción teórico.
$E_c$ = Energía cinética.	$\frac{L_e}{D}_{exp.}$ = relación de longitud. equivalente experimental.
$E_p$ = Energía potencial.	$\frac{L_e}{D}_{teórico}$ = relación de longitud equivalente teórico.
$E_f$ = Energía de flujo.	
$P$ = Peso del elemento (m).	
$Z$ = elevación del fluido sobre el nivel de referencia	
$h_f$ = pérdida de energía por fricción (m)	
$h_m$ = pérdida de energía en accesorios (m)	
$k$ = coeficiente de resistencia.	



# **RESUMEN**

La presente tesis tiene como finalidad encontrar las variaciones de pérdidas de cargas que se originan en tuberías con flujo presurizados de PVC y accesorios, por la que se requiere un instrumento el cual ha sido elaborado para fines prácticos y también para proveer al laboratorio de hidráulica de un Banco de Pruebas para Pérdidas de Carga en tuberías y accesorios de diámetros de 1" y 1 ½", que sea funcional y útil para el aprendizaje de quienes realizan prácticas en este laboratorio.

Para cumplir con este objetivo, en primer lugar, se tuvo que investigar el tema para entender el procedimiento de cálculo de las pérdidas de carga donde estudiamos los diferentes métodos y fórmulas como son la ecuación general de energía, ecuación de Darcy Weisbach, Diagrama de Moody, etc. Después se diseñó el banco de pruebas usando el programa AutoCad para dibujar los planos obtener las dimensiones reales de todos los elementos que conforman el banco de pruebas, también aplicando las fórmulas antes mencionadas simulamos caudales y determinamos la altura dinámica total (TDH) para determinar la potencia de la bomba.

La construcción del banco de pruebas se realizó en el laboratorio de la Universidad, el banco de pruebas cuenta con sistemas de tuberías que consta de 5 trayectorias y también cuenta con un manómetro diferencial de columna de agua (m.c.a.), En cada una de estas trayectorias se ha podido calcular las pérdidas de carga que se originan tanto a lo largo de tuberías 1" y 1 ½" como también en accesorios, que están en la trayectoria 5 observando las diferentes diferencias de altura dado por el manómetro diferencial.

Así también se realizó un manual didáctico del Banco de Pruebas, donde se han puesto algunas consideraciones para el buen funcionamiento de dicho equipo.

Se concluyó el diseño, construcción y puesta en funcionamiento del banco de pruebas de pérdidas de carga en tuberías y accesorios de diámetros de 1" y 1 ½" en flujo presurizado contrastando los resultados obtenido en los ensayos con resultados teóricos.

Los resultados experimentales en las pérdidas por fricción tenían una diferencia de 3% y 6% con los resultados teóricos.

Los resultados experimentales en pérdidas por accesorios tenían una diferencia muy alta con los resultados teóricos de hasta 88%.

# INTRODUCCIÓN

El banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías PVC y accesorios, es parte de un sistema de equipos necesario para realizar prácticas dentro de la formación del Ingeniero Civil especialmente en el campo de la Ingeniería Hidráulica.

Actualmente este ensayo no es posible realizarlo ya que el laboratorio no dispone de dicho equipo, por lo que es necesario proveer de dicho equipo para su correcto entendimiento del fenómeno que se analiza en esta práctica.

Con la presente tesis se busca satisfacer las necesidades que tienen los estudiantes para justificar la parte teórica que reciben dentro de la asignatura de hidráulica y permitir identificar lo que realmente sucede en un sistema hidráulico.

Se analizará en el diseño dos factores que se contradicen entre sí. Por un lado, está el diámetro de la tubería, el cual debe mantenerse al mínimo para reducir el costo de instalación, y por la otra parte conviene que el diámetro sea grande para reducir la fricción y por ende el costo de bombeo. A demás se incorporarán elementos de medición, como Manómetros, y otros elementos que restringen de caudal como válvulas para así poder controlar o decidir el recorrido que atravesará el fluido en su paso por el sistema diseñado.

Mediante el diseño y posterior construcción de este equipo, los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, dictada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego podrán enriquecer sus conocimientos y observar el comportamiento del fenómeno, lo que será de gran utilidad en su posterior desempeño profesional.

Se debe considerar que el tema tratado en esta tesis es un gran apoyo para el desarrollo de las prácticas que se desarrollan en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil y también está dirigido hacia el mejoramiento de las instalaciones del laboratorio en cuestión. Otro aspecto importante que se debe considerar en el diseño, es el costo de fabricación para lo cual se incluirán los costos relacionados con la construcción del equipo.

# **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## 1.1 Descripción del Problema

La pérdida de carga existente en conductos cerrados es la pérdida de energía necesaria para vencer las resistencias que se oponen al movimiento del fluido de un lugar a otro dentro de la tubería. Las pérdidas de carga pueden ser de fricción (tuberías) y singulares (accesorios). En Oleoductos, líneas de impulsión de agua, líneas de conducción de agua, son algunos de los proyectos de conductos presurizados que requieren determinar las pérdidas de carga más acertadas.

La ecuación de Darcy Weisbach es la más conveniente para calcular las pérdidas de energía debido a la fricción. Sin embargo, el coeficiente "f" de fricción debe ser determinado de forma experimental. Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga singulares (en accesorios) solo se pueden determinar de forma experimental puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura de velocidad corregida mediante un coeficiente empírico (k):  $h_m = k \left( \frac{v^2}{2g} \right)$

En la actualidad los estudiantes de la Universidad Privada Antenor Orrego no cuentan con un equipo que permita determinar de forma experimental la pérdida de carga en tuberías con flujo presurizado de PVC y accesorios y es de gran importancia que en su formación tenga la oportunidad de comprobar los conocimientos que se manejan en forma práctica, por lo cual es necesario proveer de dicho equipo y así contribuir con la formación integral de los futuros profesionales de la Universidad Privada Antenor Orrego.

El banco de pruebas de pérdidas de carga se construirá en el Laboratorio de Hidráulica de la escuela profesional de Ingeniería Civil, donde se realizará las pruebas necesarias para poner en funcionamiento dicho equipo.

### **Características de la realidad.**

- El flujo turbulento de un fluido en un conducto presurizado debido a la velocidad.
- La rugosidad de las tuberías.
- Presencia de accesorios que aumentan la pérdida de energía del fluido.
- La universidad no cuenta con un equipo para hacer los ensayos de pérdidas de carga.

### **Análisis de las características:**

El flujo turbulento en un conducto en tubería con flujo presurizado tiene una trayectoria completamente irregular, se caracteriza porque el fluido se mezcla de forma caótica como consecuencia de la ruptura de un fluido ordenado debido a la velocidad que se transporta dicho fluido, la longitud, el diámetro, la rugosidad de la tubería.

La pérdida de carga por singularidad en un fluido se da con la presencia de accesorios (codos, ampliaciones de diámetro de tubería, válvulas. Etc.), que debido al cambio de dirección pierde energía.

Por tal motivo es un problema en la mayoría de casos en conductos presurizado determinar las pérdidas de carga en tuberías y accesorios, pero debido a la turbulencia por la velocidad del fluido, la temperatura y otros factores, las pérdidas de carga más exactas solo se pueden determinar de forma experimental.

Mediante la construcción de un banco de pruebas implementado con un sistema de tuberías con flujo presurizado en paralelo de PVC de 1" y 1 1/2", calcularemos las pérdidas de carga por fricción y por singularidades con métodos experimentales.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿En cuánto varía las pérdidas de carga que se originan en las cinco trayectorias que tiene el banco de pruebas de tuberías de PVC y accesorios de diámetros de 1" y 1 1/2" en flujo presurizado?

## **1.3 Objetivo General**

- Determinar las pérdidas de carga mediante pruebas experimentales que se originan en tuberías de PVC y accesorios de diámetros de 1" y 1 1/2" en flujo presurizado.

## **1.4 Objetivos Específicos**

- Diseñar y Construir un banco de pruebas, en él se encuentran todos los cálculos necesarios para el diseño como son: área de cada tubería, velocidad del fluido, número de Reynolds, rugosidad relativa, factor de fricción y la pérdida de carga.
- Realizar las pruebas para simular el comportamiento hidráulico en régimen permanente de un fluido presurizado.
- Evaluar resultados de las pérdidas de carga obtenidas en el banco de pruebas, discusión y conclusión de resultados.
- Elaborar un manual de uso y formatos de ensayos de pérdidas de carga, tanto experimental como analítica considerando los parámetros de pérdidas de carga.

## **1.5 Justificación de la Investigación**

### **1.5.1 Justificación Académica**

Se justifica académicamente porque permitirá realizar simulaciones hidráulicas en las que se puedan comprobar los conceptos generales y aplicar las diferentes ecuaciones que rigen el comportamiento de los fluidos, el estudiante tendrá la capacidad de afianzar los conocimientos teóricos que fueron vistos en la asignatura y adquiridos en las aulas de clase para ponerlos en práctica.

## **1.6 Viabilidad de Investigación**

La presente investigación se basa de acuerdo a su fin es aplica, por lo tanto es experimental.

De acuerdo a los recursos de abastecimiento para el presente banco de pruebas hemos hecho uso de accesorios dispuestos en el mercado.

El tema de investigación cuenta con mucha información dado por internet, libros, revistas, etc.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

## 2.1 Antecedentes de la Investigación

### 2.1.1 Estudio Consultado

**ALEJANDRO R. & GORKA S.** Navarra-España 2007-2008 realizaron un estudio de investigación, Practica en laboratorio 4. “*PÉRDIDAS DE CARGA EN LOS COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS*”.<sup>[1]</sup>

En el banco de ensayo de la práctica se medirá el caudal que circula por cada elemento y la caída de presión que sufre el fluido que lo atraviesa. A partir de estos datos y utilizando la ecuación de Bernoulli es posible obtener las pérdidas de carga que sufre el fluido al circular por cada elemento. La posibilidad de modificar el caudal de fluido que circula por el elemento permitirá estudiar la influencia del número de Reynolds en el valor de las pérdidas de carga. Las medidas que van a realizarse en la práctica son todas de presión y para ello se utilizarán tomas piezométricas conectadas a manómetros de columna de dos fluidos o a un manómetro diferencial de tipo Bourdon. Cuando las pérdidas de carga a medir no son muy elevadas (medidas en m.c.a) se empleará el manómetro de columna Aire-Agua. Por el contrario, si las pérdidas son elevadas se utilizará un manómetro de columna Agua-Mercurio o uno diferencial tipo Bourdon.

**YAMBOMBO G, J. G.** Quito-Ecuador (2012) realizo una tesis para optar el título de Ingeniero Civil, con el nombre “*DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ENSAYOS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS*”.<sup>[2]</sup>

El presente estudio incluye la recopilación de información y parámetros que plantean la construcción de un banco de ensayos de perdida de carga en tuberías y accesorios. Este es un proyecto destinado al laboratorio de Hidráulica de la Universidad Central del Ecuador, ya que cuenta con un equipo similar, pero en mal estado porque es antiguo.

---

<sup>1</sup> Rivas A. & Sánchez G. (2007). Pérdidas de Carga en los Componentes de las Instalaciones Hidráulicas, Universidad de Navarra, Navarra, España. Pg. 1-10

<sup>2</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de perdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Pg. vi



**JAIME C. & CHRISTIAN P.**, Quito-Ecuador (2011), en la tesis *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERIAS Y ACCESORIOS CON SIMULACIÓN*".<sup>[3]</sup>

a) El capítulo 1 contiene la base teórica sobre las propiedades físicas de los fluidos, teoría de flujo en tuberías y accesorios, con las fórmulas características del flujo laminar y turbulento, la ecuación general de la teoría de Bernoulli y finalmente se presenta los coeficientes de resistencia "K" para válvulas y accesorios.

b) El capítulo 2 contiene la base teórica sobre el estudio de los métodos de medición y control de caudal, tipos de válvulas de control para fluidos, el estudio de los dispositivos para medir el caudal y velocidad de los fluidos, medidores de cabeza variable, medidores de área variable, medidores de desplazamiento positivo, entre otros.

c) El capítulo 3 describe el diseño y simulación del banco de pruebas, en él se encuentran todos los cálculos necesarios para el diseño como son: el área de cada tubería, la velocidad del fluido, el número de Reynolds, la rugosidad relativa, el factor de fricción y la pérdida de carga.

d) El capítulo 4 corresponde a las pruebas y resultados obtenidos al poner en funcionamiento el módulo. Se realizan pruebas a la bomba, a los accesorios y a las diferentes tuberías que se encuentran dentro del banco.

e) El capítulo 5 muestra el análisis de costos de la construcción del prototipo.

---

<sup>3</sup> Calderón J. & Pozo. C. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación (tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Pg. II

## 2.2 Bases Teóricas

En su hogar usted necesita agua para beber, cocinar, bañarse, limpiar y regar las plantas entre otros muy diversos usos. Además, elimina los desperdicios de la casa a través de coladeras, drenajes y excusados. En su encauzamiento, el agua de la lluvia, de la nieve que se derrite, y del subsuelo, debe manejarse para llevarla fuera del hogar por medio de canaletas, ductos, canales y bombas de fosas sépticas. Piense cómo llega el agua a su hogar ¿Cuál es el destino final de ella: el lecho de un río, el almacenamiento o el subsuelo? ¿Se almacena en tanques en algún lugar antes de llegar a su casa? Observe que el sistema hidráulico necesita una presión muy alta para que sea eficaz y para que fluya de modo confiable a través del sistema. ¿Cómo se genera dicha presión? ¿Existen bombas en el sistema? Describa su función y la forma en que operan, ¿Desde dónde impulsa el agua cada bomba? ¿A qué lugares se traslada el líquido? ¿Qué cantidad de fluido se necesita en los puntos de llegada? ¿Qué presiones se requiere? ¿Cómo se controla el flujo del agua? Piense en las situaciones en las que es importante medir la tasa de flujo del fluido en un sistema, o la cantidad total de fluido que se distribuye. Considere la medición de la gasolina que ingresa a su automóvil, de modo que pague sólo lo que obtiene. La compañía que distribuye el agua quiere saber cuánta consume usted en un mes dado. Es frecuente que los fluidos deben ser medidos con cuidado en los procesos de producción de las fábricas. Las medicinas líquidas y el oxígeno que se proporciona a los pacientes de un hospital deben ser medidos en forma continua para una mayor seguridad de los consumidores. <sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson., Pg. 2

## 2.3 Definiciones Conceptuales

### 2.3.1 ¿Qué es un Fluido?

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar que tan pequeño sea ese esfuerzo cortante. Un esfuerzo cortante es el componente de fuerza tangente a una superficie, y esta fuerza dividida por el área de la superficie es el esfuerzo cortante promedio sobre dicha superficie.<sup>5</sup>

### 2.3.2 Propiedades Físicas de los Fluidos

Debido a que el estudio de la mecánica de fluidos, por lo general tiene que ver con fluidos que circulan en forma continua o con una cantidad pequeña de ellos que permanece en reposo, es más conveniente relacionar la masa y el peso del fluido con un volumen dado de éste. Por ello, las propiedades de la densidad y el peso específico se definen así:<sup>4</sup>

#### 2.3.2.1 Densidad

La densidad de un fluido se define como su masa por unidad de volumen de una sustancia.

Las variaciones de la densidad y otras propiedades del agua con relación a su temperatura se indican en el **ANEXO 2**.<sup>3</sup>

$$\rho = m/V$$

(Ecuación 1)

Donde:

$\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

m = Masa (kg)

V = Volumen de la sustancia (m<sup>3</sup>)

---

<sup>5</sup> Streeter, V L, E.B.Wylie, y K.W.Bedford. (1999). Mecánica de fluidos, Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill. Pg. 3

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 15Pg. 14-15

<sup>3</sup> Calderón J. & Pozo. C. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación (tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Pg. 3

### 2.3.2.2 Peso Específico

Es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia. El peso específico de un líquido es la relación de su densidad a cierta temperatura, con respecto al agua a una temperatura normalizada. A menudo estas temperaturas son las mismas y se suele utilizar 60°F (15.6°C). Al redondear 15.0°C no se introduce ningún error apreciable.<sup>5</sup>

$$\gamma = \rho \cdot g$$

(Ecuación 2)

Donde:

$\gamma$  = Pesos específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

$\rho$  = Densidad de la sustancia (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

### 2.3.2.3 Gravedad Específica.

La gravedad específica es la razón de la densidad de una sustancia a la densidad del agua a 4 °C.<sup>4</sup>

$$Sg = \frac{\gamma_s}{\gamma_w @ 4^\circ C} = \frac{\rho_s}{\rho_w @ 4^\circ C}$$

(Ecuación 3)

Donde el subíndice *s* se refiere a la sustancia cuya gravedad específica se va a determinar, y el subíndice *w* se refiere al agua. Las propiedades del agua a 4 °C son constantes, y tienen los valores.

$$\gamma_w @ 4^\circ C = 9.81 \text{ kN m}^3 = 62.4 \text{ lb.pies}^3$$

$$\rho_w @ 4^\circ C = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1.94 \text{ slugs.pies}^3$$

$\gamma$  = Pesos específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

$\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

---

<sup>5</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 15

### 2.3.2.4 Viscosidad Dinámica

Es la propiedad del fluido mediante el cual este expresa resistencia al esfuerzo cortante, ofrecido por el fluido cuando se mueve. La viscosidad dinámica es directamente proporcional a la tensión de cortadura, e inversamente proporcional a la velocidad angular.<sup>6</sup>

Las dimensiones de la viscosidad se determinan utilizando la ley de viscosidad de Newton (Ecuación 4)

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Resolviendo para la viscosidad  $\mu$

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Insertando las dimensiones F, L y T para fuerza, longitud y tiempo respectivamente.

### 2.3.2.5 Viscosidad Cinemática

La viscosidad  $\mu$  frecuentemente se conoce como viscosidad absoluta o viscosidad dinámica,  $\nu$  es la relación de la viscosidad absoluta con la densidad de masa.<sup>5</sup>

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido

$\mu$  = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido

$\rho$  = Densidad del fluido

En los líquidos cuando la temperatura aumenta la viscosidad disminuye, a la inversa, en tanto en los gases, si la temperatura aumenta la viscosidad también aumenta. El efecto de la presión sobre la viscosidad de los líquidos y la de los gases perfectos es tan pequeño que no tiene interés práctico en la mayor parte de problemas para flujo de fluidos.<sup>1</sup>

---

<sup>6</sup> Streeter, V L, E.B. Wylie, y K.W. Bedford. (1999). Mecánica de fluidos, Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill. Pg. 9

<sup>1</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

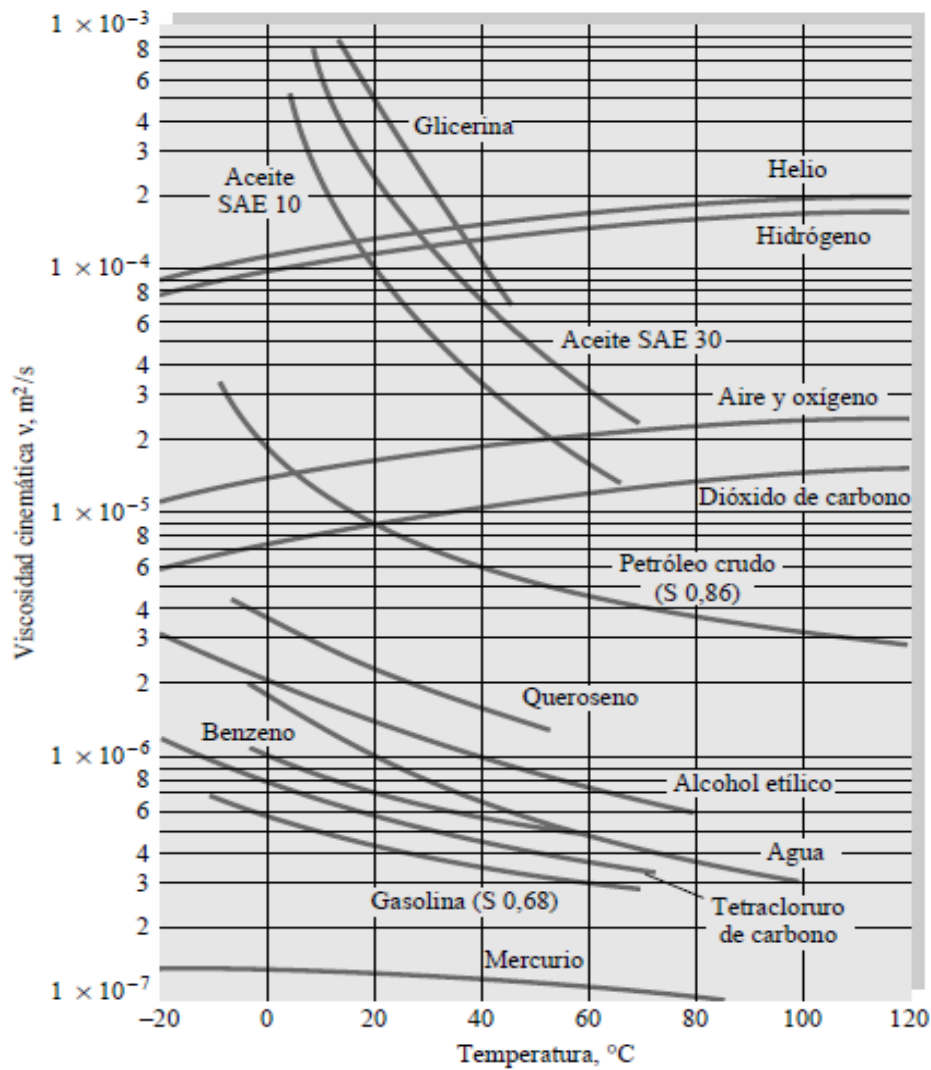
La viscosidad cinemática para el agua, en función de la temperatura está dado por la siguiente ecuación

$$\nu = \frac{0.000001771}{1+0.0337 T+0.000221 T^2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$\nu$  = Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

T = Temperatura del agua (°C)



**Figura N°1. Viscosidad cinemática de fluidos comunes a 1 atm.**<sup>6</sup> Esta figura nos permite determinar la viscosidad cinemática  $\nu$ , en diferentes fluidos el cual está en función de la temperatura del fluido.

<sup>6</sup>White, F M. (2004). Mecánica de fluidos, Madrid, España, Mc Graw Hill. Pg. 786

### 2.3.2.6 Presión absoluta y manométrica

A través de un **Figura N°2** mostraremos la relación de forma dinámica. El vacío perfecto no puede existir en la superficie de la tierra pero es, sin embargo, un punto de referencia conveniente para la medición de la presión. <sup>4</sup>

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

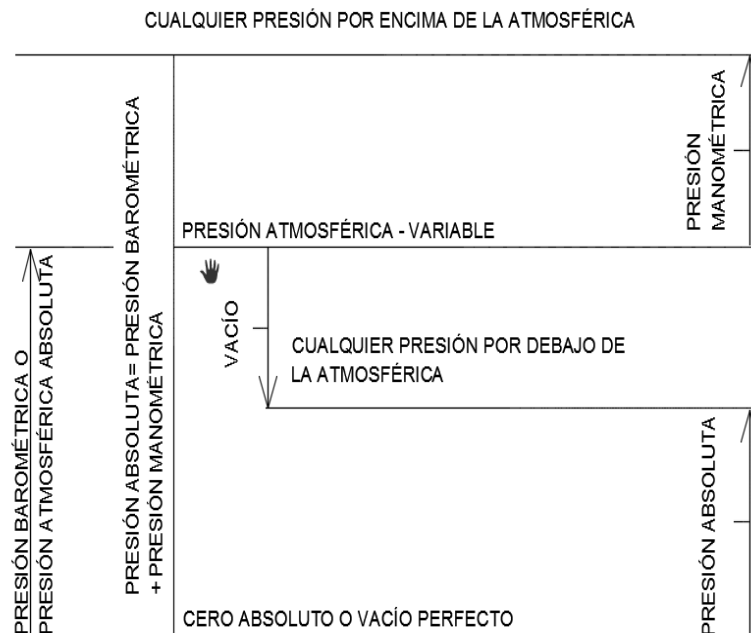
(Ecuación 8)

Donde:

$P_{abs}$  = Presión Absoluta

$P_{man}$  = Presión Manométrica

$P_{atm}$  = Presión Atmosférica



**Figura N°2. Relación entre las presiones manométricas y absolutas.** <sup>1</sup>

### 2.3.2.7 Manómetros

El manómetro es un dispositivo simple y preciso para medir presiones y la mayoría de estos operan bajo el principio de que las fuerzas resultantes de una presión producen la deflexión de un elemento elástico.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 53

<sup>1</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador., Pg. 10

Todos los dispositivos para medir presión miden diferencia de presión y no niveles de esta. Como con frecuencia una de las dos presiones que el instrumento detecta es la atmosférica, el término presión manométrica se emplea para describir la presión en relación con la presión atmosférica local.<sup>5</sup>

### 2.3.3 Ecuación de Continuidad.

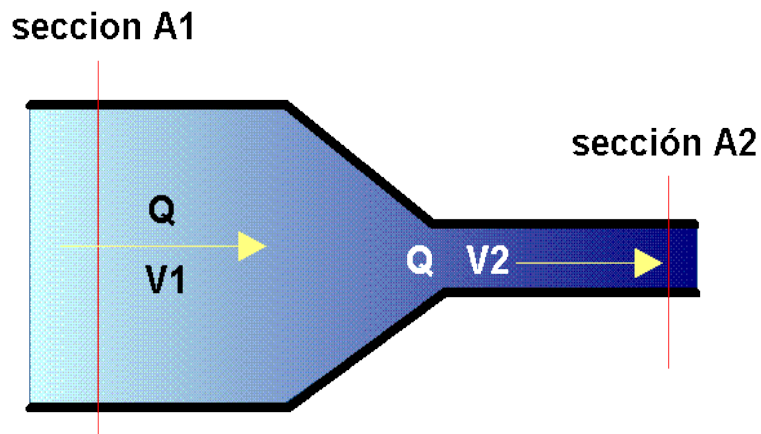
El método de cálculo de la velocidad de flujo en un sistema de ductos cerrados depende del principio de continuidad. Considere el conducto de la **Figura N°3**. Un fluido circula con un flujo volumétrico constante de la sección A1 a la sección A2. Es decir, la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. Por ello la masa de fluido que circula por la sección 1 debe ser similar a la que circula por la sección 2. Esto se expresa en términos del flujo másico así:<sup>4</sup>

$$M_1 = M_2$$

Debido a que  $M = \rho \cdot A \cdot V$ , tenemos la ecuación de continuidad para cualquier fluido:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

(Ecuación 9)



**Figura N°3. Ecuación de continuidad**<sup>7</sup> esta figura nos muestra un flujo volumétrico constante en una reducción del diámetro de la tubería.

<sup>5</sup> Streeter, V L, E.B.Wylie, y K.W.Bedford. (1999). Mecánica de fluidos, Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill. Pg. 44

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson., Pg.156

<sup>7</sup> [http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22\\_ecuacin\\_de\\_continuidad.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_ecuacin_de_continuidad.html)



La **ecuación 9** es el enunciado matemático del principio de continuidad y se denomina **ecuación de continuidad**. Se utiliza para relacionar la densidad de fluido el área de flujo y la velocidad de este en dos secciones del sistema donde existe flujo estable. Es válido para todos los fluidos ya sea líquidos o gases.

Si el fluido en el tubo del figura N°3 es un líquido incompresible, entonces los términos  $p_1$  y  $p_2$  de la ecuación 9 son iguales. Así la ecuación se convierte en, ecuación de continuidad para líquidos:

$$A_1.V_1 = A_2.V_2 \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Debido a que  $Q = A.V$ , tenemos

$$Q_1 = Q_2$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$V$  = Velocidad media de la sección ( $m/s$ )

$A$  = Área de la sección de la tubería ( $m^2$ )

### 2.3.4 Velocidad de Flujo Recomendable en Tuberías y Ductos

Las velocidades de flujo que resultan de los tamaños recomendables en la **tabla N° 1**, por lo general son más pequeñas para tuberías chicas que para grandes, como lo muestran los datos siguientes:<sup>4</sup>

**Tabla N° 1.** Velocidades de flujo recomendables en tuberías.<sup>4</sup>

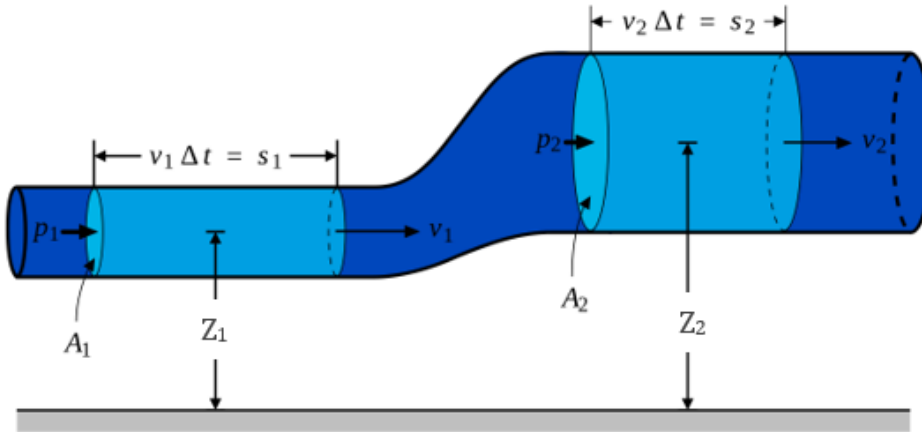
flujo volumétrico		línea de succión			línea de descarga		
gal/min	$m^3/h$	Diámetro de tub. (pulg)	Velocidad		Diámetro de tub. (pulg)	Velocidad	
			pie/s	m/s		pie/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	3/4	6.0	1.8
100	22.7	2 1/2	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114.0	5	8.0	2.4	3 1/2	16.2	4.9
2000	454.0	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

Esta tabla muestra las velocidades recomendables de los fluidos en diferentes diámetros de tubería respecto al caudal del flujo.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson., Pg. 161-162

### 2.3.5 Conservación de la Energía - Ecuación de Bernoulli.

El análisis de un problema de tubería como el que ilustramos en la **Figura N°4**. Toma en cuenta toda la energía dentro del sistema. En física aprendimos que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de una forma en otra. Este es el enunciado de la ley de conservación de la energía.<sup>4</sup>



**Figura. N°4. Ecuación de Bernoulli.**<sup>8</sup> figura sacada de internet donde plasma los diferentes tipos de energía en el sistema.

Hay tres formas de energía que se toman siempre en consideración cuando se analiza un problema de flujo en tubería. Consideramos un elemento de fluido como el que ilustramos en el **Figura N°4**. Dentro de una tubería en un sistema de flujo. Se localiza a cierta elevación  $z$ , tiene velocidad  $v$  y presión  $p$ . El elemento del fluido posee las siguientes formas de energía.

#### 2.3.5.1 Energía Cinética

Es la medida de la capacidad del fluido de hacer un trabajo en virtud de su velocidad.<sup>1</sup>

$$E_c = \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$v$  = Velocidad media (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad del lugar (m/s<sup>2</sup>).

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson., Pg. 156

<sup>8</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_Bernoulli](https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli)

<sup>1</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador., Pg.11

### 2.3.5.2 Energía Potencial

Debido a su elevación, la energía potencial del elemento en relación con algún nivel de referencia es.<sup>4</sup>

$$E_p = z \quad (\text{Ecuación 12})$$

### 2.3.5.3 Energía De Flujo

Es la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión  $p$ .<sup>4</sup>

$$E_f = \frac{P}{\gamma} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

$P$  = Peso del elemento (m).

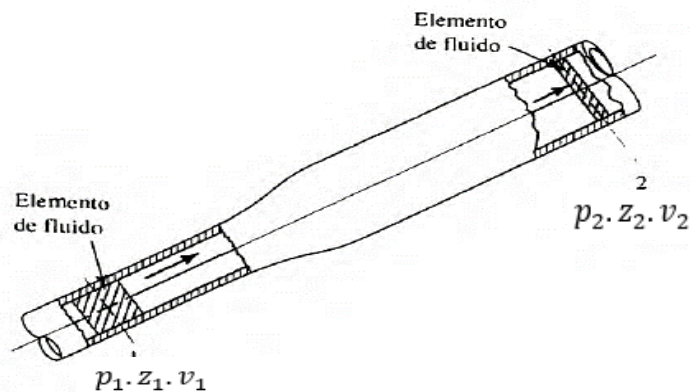
$\gamma$  = Peso específico del fluido ( $N/m^3$ ).

Entonces, la cantidad total de energía de estas tres formas que posee el elemento de fluido es la suma  $E$ .

$$E = E_c + E_p + E_f \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$E = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z$$

Ahora, considerando el elemento de fluido del **Figura N°5**, que se mueve de la sección 1 a la sección 2. Los valores de  $p$ ,  $z$  y  $v$  son diferentes en las dos secciones.



**Figura N°5. Elementos de fluido.**<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 166-167

En la sección 1 la energía total es:

$$E_1 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1$$

En la sección 2, la energía total es:

$$E_2 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Si no hay energía que se agregue o pierda en las secciones 1 y 2, entonces el principio de conservación de energía requiere que.

$$E_1 = E_2$$

$$\boxed{\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Conocida como *ecuación de Bernoulli*.

## 2.3.6 Ecuación General de la Energía

Gracias a los conceptos de la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli, seremos capaces de calcular el flujo volumétrico, el flujo de peso y el flujo másico.

### 2.3.6.1 Pérdidas y Ganancias de Energía.

En esta sección describiremos en términos conceptuales los diferentes dispositivos que agregan o quitan energía al fluido o provocan pérdidas indeseables en ella.<sup>4</sup>

#### 2.3.6.1.1 Bombas.

Una bomba es un ejemplo común de dispositivo mecánico que añade energía a un fluido. Un motor eléctrico o algún otro aditamento importante impulsa un eje rotatorio en la bomba. Entonces, la bomba aprovecha esta energía cinética y la transmite al fluido, lo que provoca el movimiento de éste y el incremento de su presión.

---

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 199-202

### **2.3.6.1.2 Motores de Fluido.**

Los motores de fluido, turbinas, actuadores rotatorios y lineales, son algunos ejemplos de dispositivos que toman energía de un fluido y la convierten a una forma de trabajo, por medio de la rotación de un eje o el movimiento de un pistón.<sup>4</sup>

### **2.3.6.1.3 Fricción del Fluido.**

Un fluido en movimiento presenta resistencia por fricción al fluir. Parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica (calor), que se disipa a través de las paredes de la tubería por la que circula el fluido. La magnitud de la energía que se pierde depende de las propiedades del fluido, velocidad del flujo, tamaño de la tubería, acabado de la pared de la tubería y longitud de la misma. En capítulos posteriores desarrollaremos métodos para calcular esta pérdida de energía por fricción.<sup>4</sup>

### **2.3.6.1.4 Válvulas y Accesorios.**

Es común que los elementos que controlan la dirección o el flujo volumétrico del fluido en un sistema generen turbulencia local en este, lo que ocasiona que la energía se disipe como calor. Siempre que hay una restricción: por ejemplo, un cambio en la velocidad o dirección del flujo, hay pérdidas de ese tipo. En un sistema grande la magnitud de las pérdidas por las válvulas y accesorios, por lo general es pequeña en comparación con las pérdidas por fricción en las tuberías. Por tanto, dichas pérdidas reciben el nombre de pérdidas menores.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 199-202

### 2.3.6.2 Nomenclatura de las Pérdidas y Ganancias de Energía.

Las pérdidas y ganancias de energía en un sistema se contabilizan en términos de energía por unidad de peso del fluido que circula por él. Esto también se conoce como carga.<sup>4</sup>

Como abreviación de la carga emplearemos el símbolo  $h$ , para las pérdidas y ganancias de energía. En específico, en los capítulos próximos manejaremos los términos siguientes:

$h_A$  = Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba; es frecuente que se le denomine carga total sobre la bomba.

$h_R$  = Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

$h_L$  = Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

La magnitud de las pérdidas de energía que produce la fricción del fluido, las válvulas y accesorios, es directamente proporcional a la carga de velocidad del fluido. Esto se expresa en forma matemática así:

$$h_f = k \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

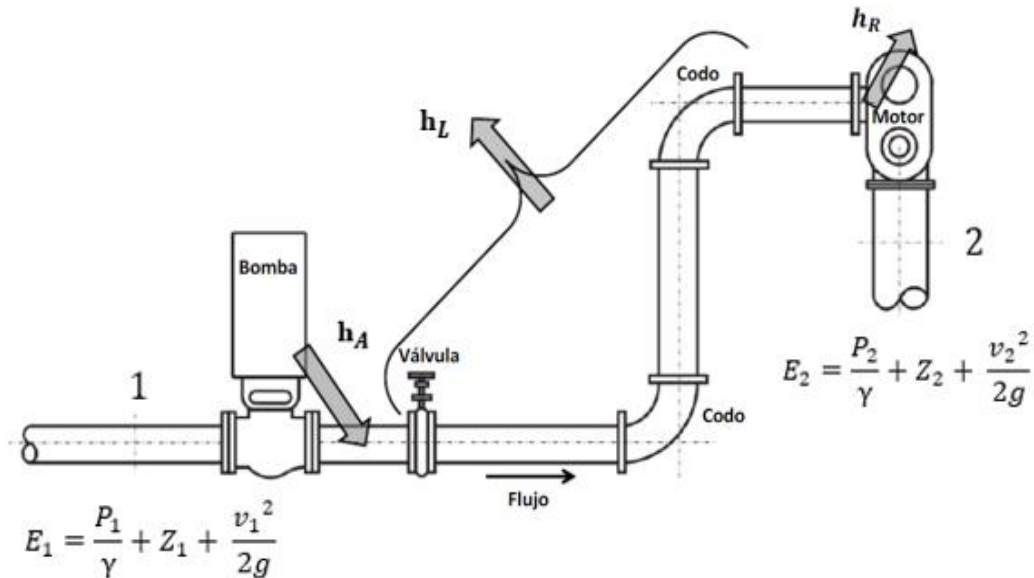
El término  $K$  es el *coeficiente de resistencia*. En los siguientes ítems aprenderemos a determinar el valor de  $K$  para la fricción del fluido, por medio de la ecuación de Darcy.

---

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 202

### 2.3.6.3 Ecuación General de la Energía.

La ecuación general de energía como extensión de la ecuación de Bernoulli, lo que posibilita resolver problemas en los que hay pérdida y ganancia de energía. En el **Figura N°6** se aprecia la interpretación lógica de la ecuación general de energía la cual presenta un sistema de flujo.<sup>4</sup>



**Figura N°6. Sistema de flujo que ilustra la ecuación general de energía.**<sup>4</sup>

Los términos  $E_1$  y  $E_2$  denotan la energía que posee el fluido por unidad de peso en las secciones 1 y 2, respectivamente. Se muestran la energía agregadas, removidas y perdidas  $h_A$ ,  $h_R$  y  $h_L$ . Para un sistema tal, la expresión del principio de conservación de energía es.

$$E_1 + h_A - h_R - h_L = E_2 \quad (\text{Ecuación 16})$$

La energía que posee el fluido por unidad de peso es:

$$E = \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Entonces, la ecuación (16) se convierte en

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Conocida como la **ecuación general de energía**.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 202-203

### 2.3.7 Numero de Reynolds

El comportamiento de un fluido, en particular, en lo que se refiere a pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento. El carácter de un flujo depende de cuatro variables; la densidad del fluido  $\rho$ , su viscosidad  $\mu$ , el diámetro del tubo  $D$ , y la velocidad promedio del flujo  $v$ . Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que es posible pronosticar el flujo laminar o turbulento si se conoce la magnitud de un número adimensional, al que hoy se le denomina número de Reynolds, la siguiente ecuación muestra la definición básica del número de Reynolds.<sup>9</sup>

$$Re = \frac{V.D.\rho}{\mu} = \frac{V.D}{\nu} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

$D$  = diámetro de la tubería (m o pies)

$v$  = velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s)

$\nu$  = viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

### 2.3.8 Ecuación de Darcy

Al término  $h_L$  se definió como la pérdida de energía en el sistema. Una componente de la pérdida de energía es la fricción en el fluido que circula. Para el caso del flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente esto se expresa en forma matemática como:<sup>4</sup>

*Ecuación de Darcy* para calcular la pérdida de energía.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

$h_f$  = pérdida de energía debido a la fricción (m o pies)

$L$  = longitud de la corriente del flujo (m o pies)

$D$  = diámetro de la tubería (m o pies)

<sup>9</sup> Saldarriaga J. G. (1998). Hidráulica de Tuberías, Bogotá, Colombia: Emma Ariza H. Pg. 5

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson., Pg. 233



$v$  = velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s)

$f$  = factor de fricción (adimensional)

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento.

### 2.3.9 Pérdida por Fricción en el Flujo Laminar

Cuando existe flujo laminar el fluido parece moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea un esfuerzo cortante entre sus capas. Se pierde energía del fluido por la acción de las fuerzas de fricción que hay que vencer, y que son producidas por el esfuerzo cortante. Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y los parámetros mensurables del sistema de flujo. Dicha relación se conoce como<sup>4</sup>

*Ecuación de Hagen-Poiseuille:*

$$h_L = \frac{32 \cdot \eta \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2}$$

(Ecuación 21)

Como se dijo en la sección anterior también se puede usar la ecuación de Darcy para calcular pérdidas por fricción en flujo laminar si igualamos las 2 ecuaciones podemos despejar el factor de fricción  $f$ .

$$f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{32 \cdot \eta \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2}$$

Al número de Reynolds se define como  $Re = v \cdot D \cdot \rho / \eta$ . Por lo tanto, tenemos

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

(Ecuación 22)

---

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson., Pg. 233

### 2.3.10 Pérdida de Fricción en el Flujo Turbulento

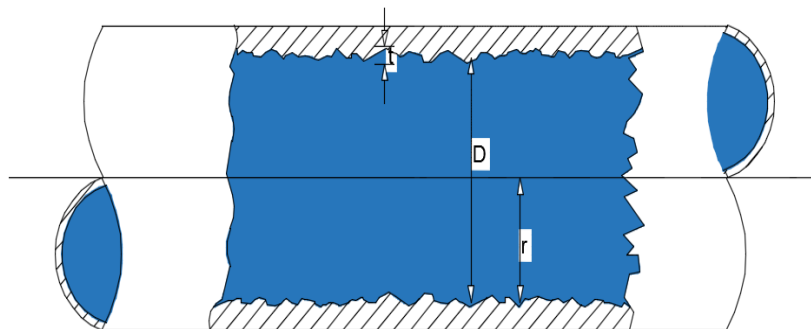
Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy para el cálculo de pérdidas de energía debido a la fricción. El flujo turbulento es caótico y varía de forma constante. Por estas razones, para determinar el valor de  $f$  debemos recurrir a los datos experimentales.<sup>4</sup>

#### 2.3.10.1 Rugosidad Relativa

Es la relación entre la rugosidad promedio de su pared o rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) y el diámetro interno ( $D_i$ ) de la tubería. Debido a que la rugosidad es algo irregular, se tomará valores promedios.<sup>1</sup>

Para su selección se deben considerar los siguientes factores:

- Material de fabricación de la tubería o conducto
- Proceso de fabricación de la tubería
- Naturaleza del líquido a ser conducido
- Edad del conducto o tubería (tiempo de servicio).



**Figura N°7. Rugosidad exagerada de la pared de un tubo.**<sup>1</sup>

Como se aprecia en la **Tabla N°2** se ha determinado el valor de la rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) para tubos existentes comercialmente. Estos son valores promedios para tuberías nuevas y limpias. Es de esperarse cierta variación una vez que una tubería ha estado en servicio durante algún tiempo, la rugosidad cambia debido a la corrosión y a la formación de depósitos en la pared.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 235

<sup>1</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador., Pg. 21

**Tabla N°2.** Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) en tubos comerciales.<sup>9</sup>

MATERIAL DE CONDUCTO	Rugosidad absoluta $\epsilon$ (mm)
Vidrio	0.0003
Plástico (PVC),CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltico	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.0300
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

**Fuente:** Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson

### 2.3.11 Diagrama de Moody.

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en el **Anexo 1**. El diagrama muestra la gráfica del factor de fricción / *versus* el número de Reynolds  $Re$ , con una serie de curvas paramétricas con la rugosidad relativa  $D/e$ . Estas curvas las generó L. F. Moody a partir de datos experimentales.

Para números de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación  $f = 64/Re$  para el flujo laminar, para  $2000 < Re < 4000$  no hay curvas, debido es una zona crítica y no es posible saber si será flujo turbulento o laminar, en cambio para números de Reynolds mayores de 4000 es decir de flujo turbulento, se grafica las curvas para distintos valores de  $D/e$ . podemos hacer algunas observaciones acerca de estas curvas.<sup>4</sup>

1. Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa  $D/e$ , el factor de fricción  $f$  disminuye.
2. Para una rugosidad relativa  $D/e$ , el factor de fricción  $f$  disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.

<sup>9</sup> Saldariaga J. G. (1998). Hidráulica de Tuberías, Bogotá, Colombia: Emma Ariza H. Pg. 113

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 236

3. Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tienen ningún efecto sobre el factor de fricción.
4. Conforme se incrementa la rugosidad relativa  $D/e$ , también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa.

### 2.3.12 Ecuaciones para el Factor de Fricción

El diagrama de Moody es un medio exacto para determinar el valor del factor de fricción. Las ecuaciones que utilizo Moody en su obra son ecuaciones muy engorrosas y requieren de un enfoque iterativo. A continuación, presentamos dos ecuaciones que permiten obtener una solución directa para el factor de fricción tanto para flujo laminar como para flujo turbulento.<sup>4</sup>

Factor de fricción para el flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{(Ecuación 23)}$$

Factor de fricción para el flujo turbulento<sup>9</sup>:

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{\epsilon}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad \text{(Ecuación 24)}$$

### 2.3.13 Formula de Hazen-Williams para el Flujo De Agua

Para flujos de agua en sistemas de tuberías la fórmula de Hazen Williams es una de las más populares para el diseño y análisis de sistemas hidráulicos. Su uso tiene limitaciones.<sup>4</sup>

- ✓ Solamente para tuberías mayores de 2 pulgadas y menores de 6 pies.
- ✓ La velocidad del flujo no debe exceder los 10 pies/s.
- ✓ Elaborada para agua de 60°F, su empleo con temperaturas más altas o más bajas ocasionaran cierto error.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 242

<sup>9</sup> Saldarriaga J. G. (1998). Hidráulica de Tuberías, Bogotá, Colombia: Emma Ariza H. Pg. 124

La fórmula de Hazen-Williams es específica en cuanto a las unidades. En el sistema de unidades tradicional de Estados Unidos adopta la forma siguiente:

$$v = 1.32 \cdot C_h \cdot R^{0.63} S^{0.54} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

$v$ =Velocidad promedio del Flujo (pies/s) ó (m/s)

$C_h$ =Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

$R$ =Radio hidráulico del conducto de flujo (pies) ó (m)

$s$ =Relación  $h_L/L$ : pérdida de energía/longitud del conducto (pies/pies)

### 2.3.14 Otras Formas de la Fórmula de Hazen-Williams

A continuación, presentamos varias formas que adopta la fórmula de Hazen Williams y que facilita dichos cálculos.<sup>10</sup>

$$v = 1.32 \cdot C_h \cdot R^{0.63} S^{0.54}$$

$$v = 0.85 \cdot C_h \cdot R^{0.63} S^{0.54}$$

$$Q = 1.32 \cdot A \cdot C_h \cdot R^{0.63} S^{0.54}$$

$$Q = 0.85 \cdot A \cdot C_h \cdot R^{0.63} S^{0.54}$$

$$h_L = L \cdot \left( \frac{Q}{1.32 A C_h R^{0.63}} \right)^{1.852}$$

$$h_L = L \cdot \left( \frac{Q}{1.32 A C_h R^{0.63}} \right)^{1.852}$$

$$D = \left( \frac{2.31 Q}{C_h \cdot S^{0.54}} \right)^{0.38}$$

$$D = \left( \frac{3.59 Q}{C_h \cdot S^{0.54}} \right)^{0.38}$$

Nota: Las unidades deben ser consistentes:

$Q$ =Caudal (pies<sup>3</sup>/s) ó (m<sup>3</sup>/s)

$A$ =Área (pies<sup>2</sup>) ó (m<sup>2</sup>)

<sup>10</sup> <https://es.slideshare.net/cybersuckoy/2-ecuacin-de-hazen-williams>

**Tabla N°3** Valores de Coeficiente C de Hazen Williams.<sup>10</sup>

DESCRIPCIÓN DE LA TUBERÍA	VALOR DE C
Tuberías rectas muy lisas	140
Tuberías de fundición lisas y nuevas	130
Tuberías de fundición usadas y de acero roblonado nuevas	110
Tuberías de alcantarillado vitrificado	110
Tuberías de fundición con algunos años de servicio	100
Tuberías de fundición en malas condiciones	80
Tuberías de concreto	120
Tuberías de plástico	150
Tuberías de asbesto - concreto	140

### 2.3.15 Pérdidas de Energía en Accesorios.

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por un codo, expansión o contracción de la sección de flujo, o por una válvula. Por lo general los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K como sigue:

$$h_m = k \frac{v^2}{2g}$$

(Ecuación 26)

Donde:

$h_m$ = pérdida de energía en accesorios (m)

$k$ = coeficiente de resistencia.

$v$ = velocidad del flujo (m/s)

$g$ =gravedad (m/s<sup>2</sup>)

En ciertos casos, puede haber más de una velocidad de flujo, como en las expansiones y contracciones. Es importante que sepa cuál velocidad usar con cada coeficiente de resistencia.<sup>4</sup>

<sup>10</sup> <https://es.slideshare.net/cybersuckoy/2-ecuacin-de-hazen-williams>

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 281

### 2.3.16 Coeficiente de Resistencia en Accesorios.

El método para calcular el coeficiente de resistencia  $k$  está dado por la siguiente ecuación.<sup>4</sup>

$$K = \frac{Le}{D} f \quad (\text{Ecuación 27})$$

Donde:  $Le$ = longitud equivalente  
 $D$ = diámetro interior real de la tubería  
 $f$ = factor de fricción en la tubería conectada a la válvula o acoplamiento.

**Nota:** el factor de fricción en accesorios se da por hecho que está en la zona de turbulencia completa.

En la **Tabla 4.** Presentamos el valor de  $\frac{Le}{D}$ , llamado relación de longitud equivalente y se considera constante para un tipo dado de accesorio.

**Tabla N°4.** Relación de longitud equivalente en diámetro de tubería  $\left(\frac{Le}{D}\right)$ . 4

TIPO	Longitud equivalente en diámetro de tubería ( $Le/D$ )
Válvula de globo-abierto por completo	349
Válvula de angulo-abierto por completo	150
Válvula de compuerta-abierto por completo	8
abierta 3/4	35
abierta 1/2	160
abierta 1/4	900
Válvula de verificación-tipo giratorio	100
Válvula de verificación-tipo bola	150
Válvula de mariposa-abierta por completo, 2 a 8 pulg.	45
10 a 14 pulg.	35
16 a 24 pulg.	25
Válvula de pie-tipo disco de bisagra	420
Válvula de pie-tipo disco de vágasto	75
Codo estándar a 90°	30
Codo curvo de 90°	20
Codo roscado de 90°	50
Codo estandar a 45°	16
Codo roscado de 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Tee estandar-con flujo directo	20
con flujo en el ramal	60

**Fuente:** Crane Valves, Signal Hill, CA.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 297

### 2.3.17 Expansión Súbita

Conforme un fluido pasa de una tubería pequeña a otra más grande a través de una expansión súbita, su velocidad disminuye de manera abrupta, lo que ocasiona turbulencia, que a su vez genera una pérdida de energía (vea el **figura N°8**). La cantidad de turbulencia, y por tanto de la pérdida de energía, depende de la razón de los tamaños de las dos tuberías.<sup>4</sup>

La pérdida menor se calcula por medio de la ecuación

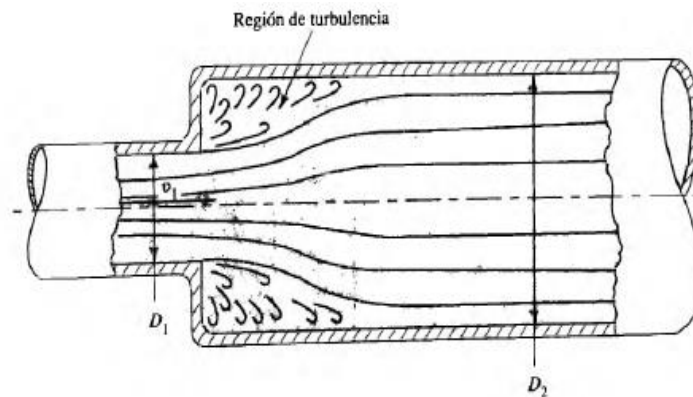
$$h_m = K \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

$V_1$  = es la velocidad promedio del flujo en la tubería antes de la expansión.

$K$  = es el coeficiente de resistencia expansión súbita.

El coeficiente de resistencia depende de la relación de diámetros de las dos tuberías como de la velocidad como se ilustra en el **figura N°9**, y en la forma tubular en la **Tabla N° 5**.



**Figura N° 8. Expansión súbita.**<sup>4</sup> muestra la transición de una tubería de diámetro menor a una de mayor diámetro de manera abrupta por la cual hay mayor pérdida de energía.

Al hacer algunas suposiciones simplificadoras sobre el carácter de la corriente de flujo, es posible predecir de manera analítica el valor de  $K$ , con la siguiente ecuación 29.

$$K = \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \quad (\text{Ecuación 29})$$

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 281-282



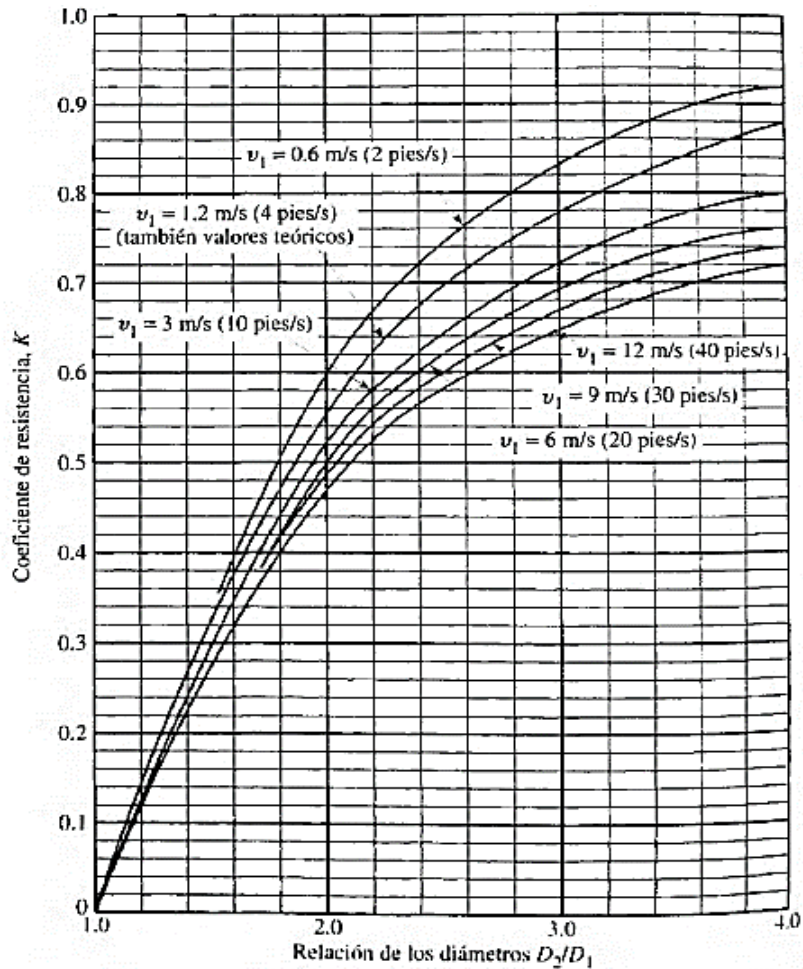


Figura N°9. Coeficiente de resistencia-expansión súbita.<sup>4</sup>

Tabla N°5. Coeficiente de resistencia – expansión súbita.

$D_2/D_1$	Velocidad, $v_1$ en m/s						
	0.6	1.2	3.0	4.5	6.0	9.0	12.0
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
1.8	0.51	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40
2.0	0.60	0.56	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65
4.0	0.92	0.87	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75
10.0	1.00	0.96	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80
$\infty$	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81

Fuente: Ring, H. W. y E. F. Brater, 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-7.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). *Mecánica de fluidos*, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 282-283

### 2.3.18 Expansión Gradual

En este caso la pérdida de energía se reduce porque la sección es cónica entre ambas tuberías como se ilustra en la **figura N°10**. Las paredes del cono Guian el flujo durante la desaceleración y expansión de la corriente de flujo. Por tanto, conforme el ángulo del cono disminuye, se reduce el tamaño de la zona de separación y la cantidad de turbulencia.<sup>4</sup>

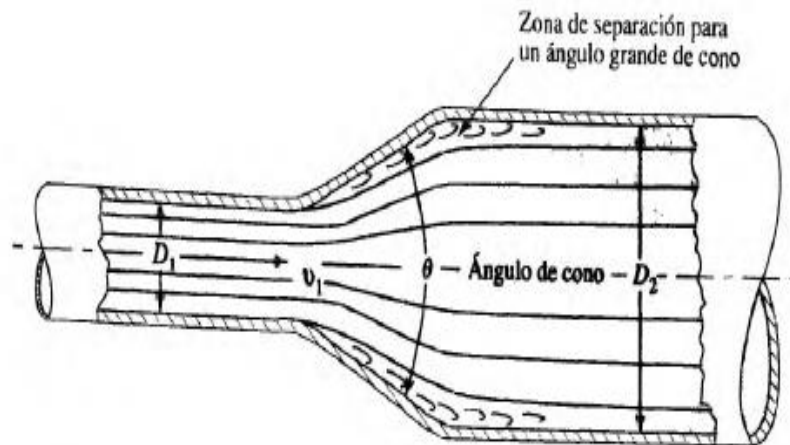
La pérdida de energía para una expansión gradual se calcula con la ecuación.

$$h_m = K \left( \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad \text{(Ecuación 30)}$$

Donde:

$v_1$  = es la velocidad promedio del flujo en la tubería antes de la expansión.

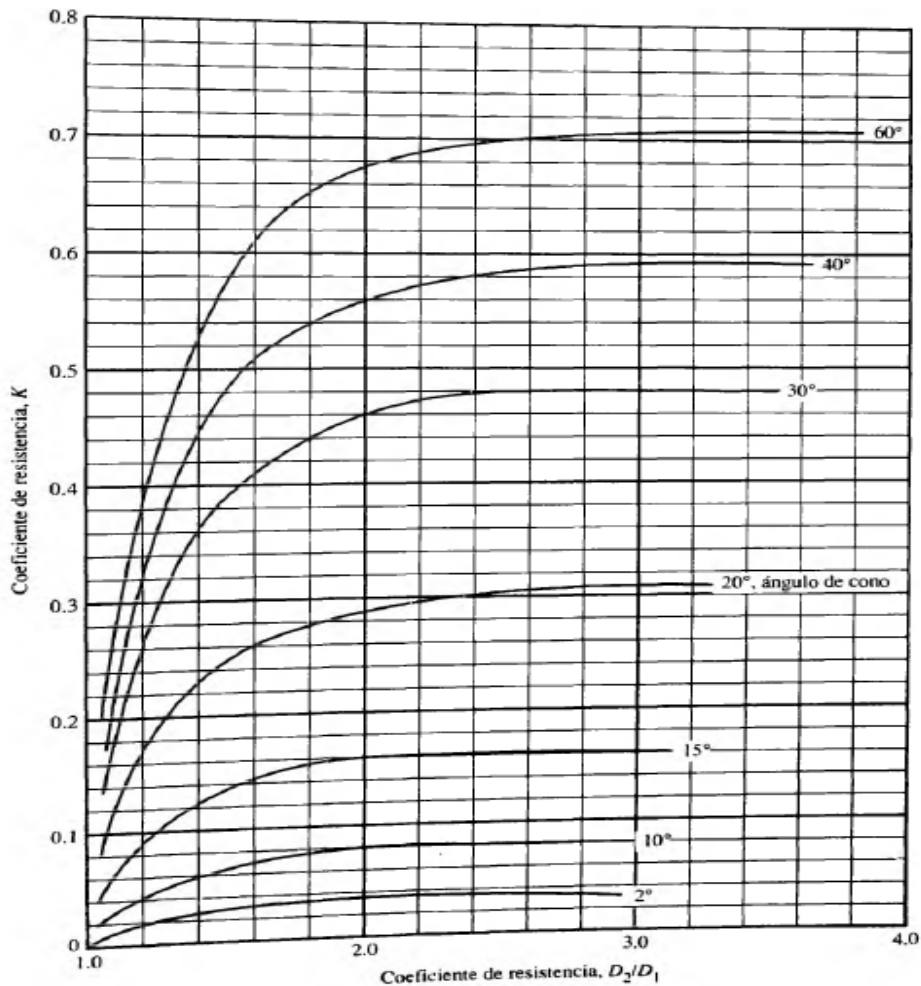
$K$  = es el coeficiente de resistencia expansión súbita.



**Figura N°10. Expansión Gradual.**<sup>4</sup> muestra la transición de una tubería pequeña a una mas grande, pero es menos abrupta que la expansión súbita. Por tener la forma de un cono

El coeficiente de resistencia  $K$  depende de la relación de diámetros  $D_2/D_1$  de las dos tuberías como del Angulo del cono  $\theta$ , como se ilustra en la **figura N°11**.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 285-286



**Figura N°11. Coeficiente de resistencia – expansión gradual.**<sup>4</sup> con esta figura determinamos de forma rápida el coeficiente de resistencia k dependiendo del Angulo del cono de la expansión.

**Tabla N°6.** Coeficiente de resistencia – expansión gradual.

$D_2/D_1$	Angulo del cono, $\theta$ en grados											
	2	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
$\infty$	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

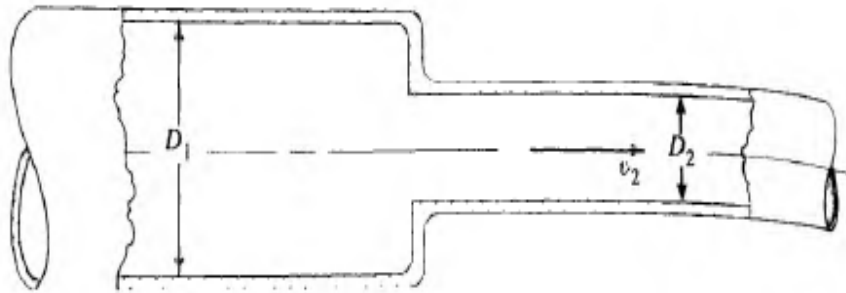
**Fuente:** King, H.W. y H. F Braier. 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-8.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). *Mecánica de fluidos*, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 285

### 2.3.19 Contracción Súbita

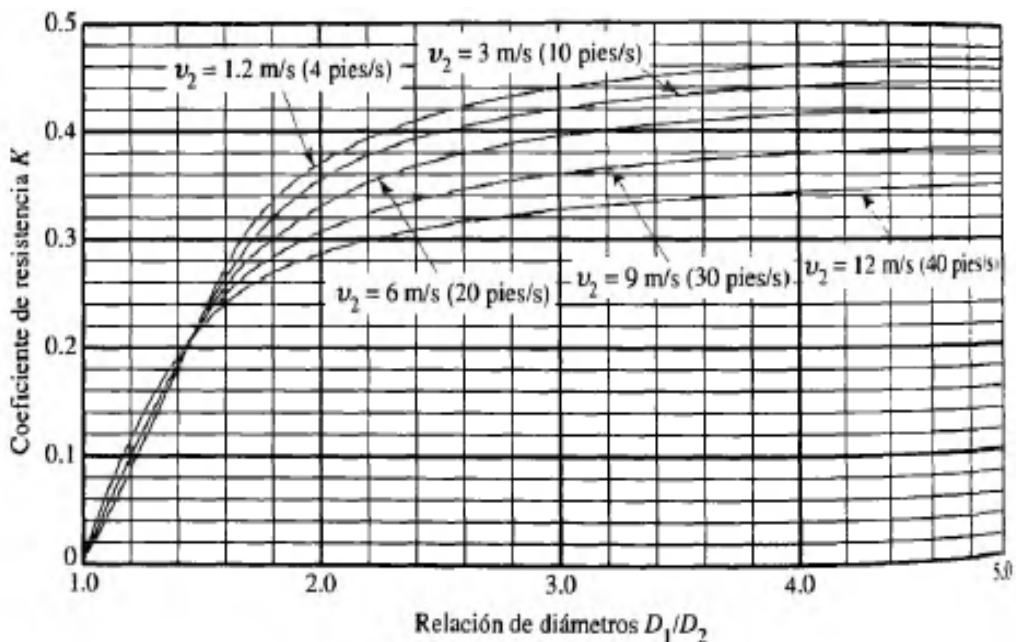
La pérdida de energía debida a una contracción súbita, como la que se ilustra en el **Figura N°12**, se calcula por medio de.<sup>4</sup>

$$h_m = K \left( \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad \text{(Ecuación 31)}$$



**Figura N°12. Contracción súbita.**<sup>4</sup>

Donde  $v_2$  es la velocidad en la tubería pequeña aguas abajo de la contracción. El coeficiente de resistencia  $K$  depende de la relación de los tamaños de las dos tuberías  $D_1/D_2$  y de la velocidad de flujo, como se muestra en el **Figura N°13** y en la **Tabla N°7**.



**Figura N°13. Coeficiente de resistencia – contracción súbita.**<sup>4</sup>

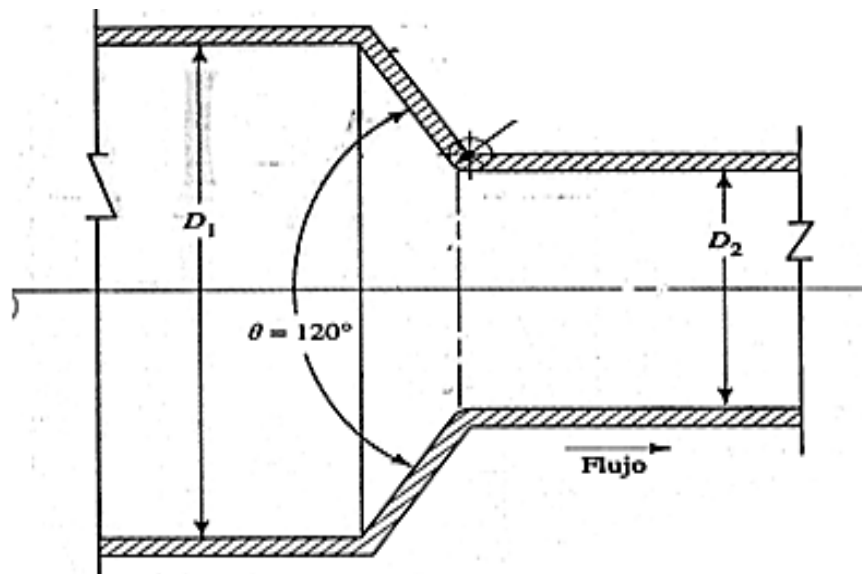
<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson., Pg. 288

**Tabla N°7.** Coeficiente de resistencia – contracción súbita.<sup>11</sup>

$D_1/D_2$	Velocidad, $v_1$ en m/s								
	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	4.5	6.0	9.0	12.0
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
$\infty$	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

### 2.3.20 Contracción Gradual

La pérdida de energía en una contracción puede disminuir en forma sustancial si la contracción se hace más gradual. La **Figura N°14** muestra tal contracción, formada por una sección cónica entre los dos diámetros, con bordes afilados en las uniones. El ángulo  $\theta$  se denomina ángulo del cono.<sup>4</sup>

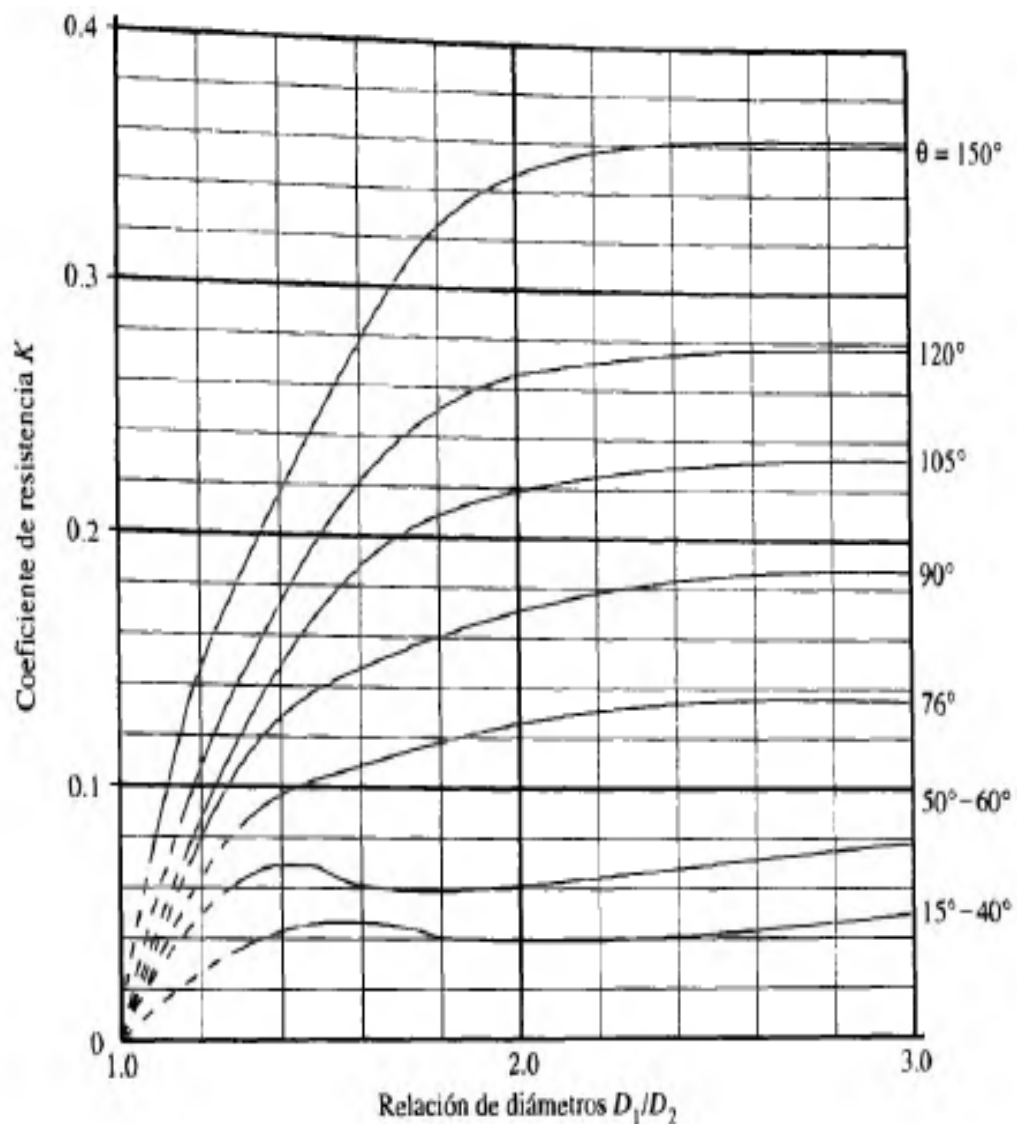


**Figura N°14.** Contracción gradual.<sup>4</sup>

<sup>11</sup> <https://mecanicadefluidosunah.wordpress.com/2015/page/3/>

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 290

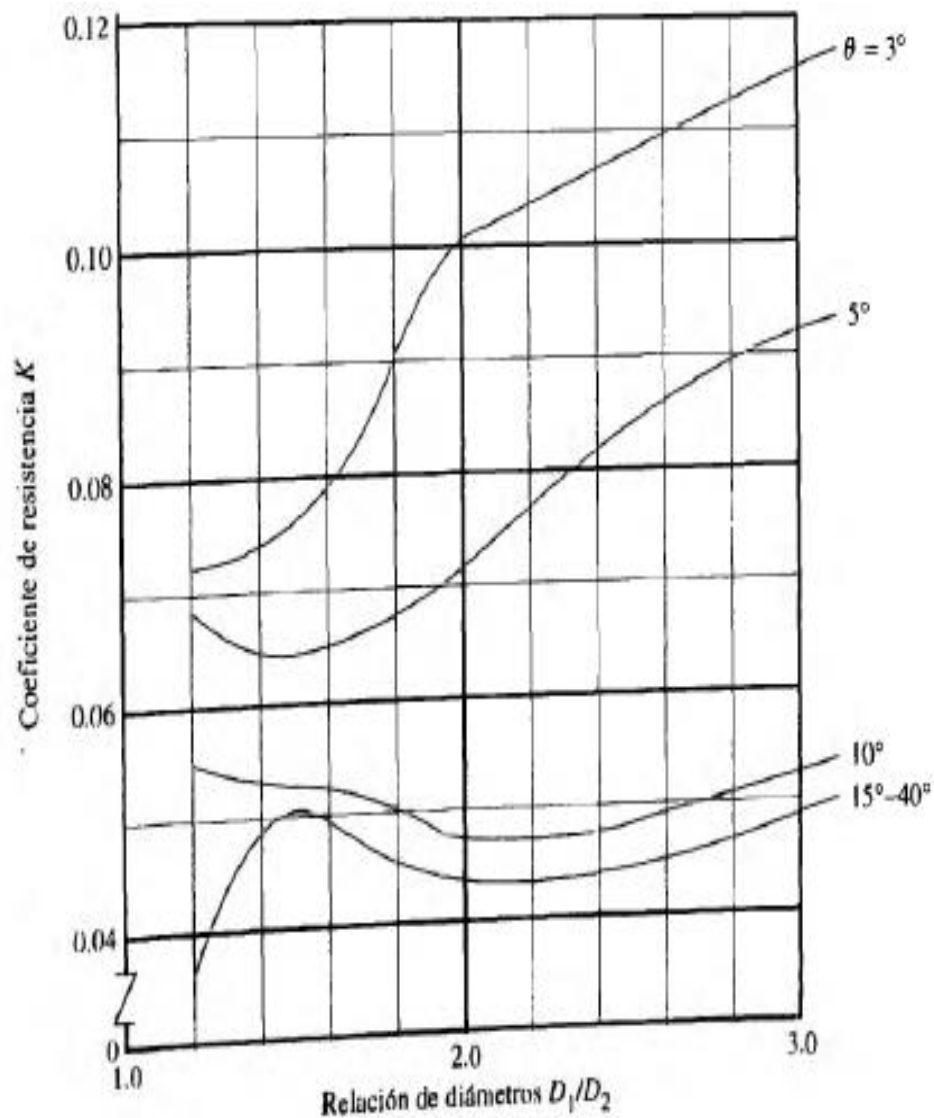
La **Figura N°15**. Muestra los datos para el coeficiente de resistencia versus la relación de diámetros para distintos valores del ángulo  $\theta$  del cono. La pérdida de energía se calcula con la **ecuación 31**, donde el coeficiente de resistencia se basa en la carga de velocidad en un tubo más pequeño después de la contracción. Estos datos son para números de Reynolds mayores que  $1.0 \times 10^5$ . Observe que para ángulos en el rango de  $15^\circ$  a  $40^\circ$ ,  $K = 0.05$  o menos, un valor pequeño. Para ángulos hasta de  $60^\circ$ ,  $K$  es menor que  $0.08$ .<sup>4</sup>



**Figura N°15. Coeficiente de resistencia-contracción gradual con  $\theta \geq 15^\circ$ .**<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 290-291

Conforme el ángulo del cono de la contracción disminuye a menos de  $15^\circ$ . El coeficiente de resistencia en realidad se incrementa, como se aprecia en la **Figura N°16**. La razón es que los datos incluyen los efectos, tanto de la turbulencia local que ocasiona la separación del flujo como los de la fricción con el tubo. Para ángulos del cono más pequeños, la transición entre los dos diámetros es muy larga, lo que aumenta las pérdidas por fricción.<sup>4</sup>

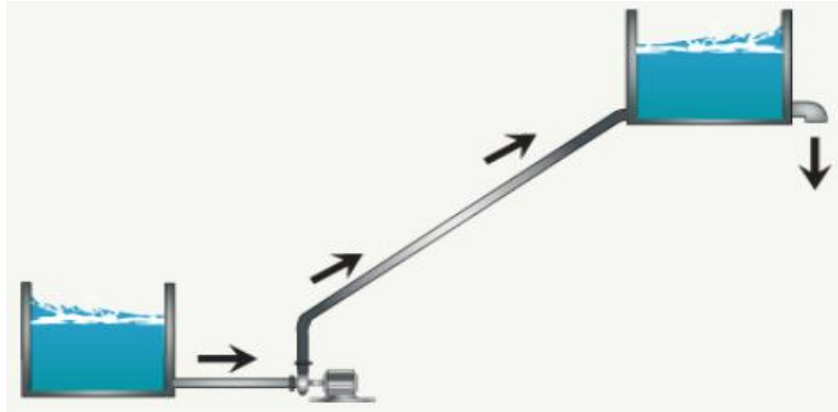


**Figura N°16. Coeficiente de resistencia-contracción gradual con  $\theta < 15^\circ$ .**<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. pg. 291

### 2.3.21 Selección de La Bomba

Como sabemos la bomba es una máquina hidráulica capaz de convertir la energía mecánica en energía hidráulica, por tal son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante diferentes transformaciones de energía.<sup>12</sup>



**Figura N°17. Mecanismo de la Bomba.<sup>12</sup>**

Se propuso la bomba de 1hp para que con mayor potencia pueda presurizar la tubería de 1 ½". Sin embargo, cuando se realizó la prueba con la bomba de 1 HP verificamos que la columna de agua era muy alta y sobrepasaba el manómetro de columna de agua que nosotros realizamos para nuestro banco de pruebas, por tal motivo decidimos cambiar la potencia de la bomba de 1 hp a ½ hp.

Con esta bomba realizamos las pruebas en todas las trayectorias de circulación de flujo y obteniendo resultados favorables de acuerdo a nuestro manómetro.



**Figura N°18. Bomba Seleccionada 1/2 HP.<sup>P</sup>**

---

<sup>12</sup> [http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=151](http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=151)



## 2.4 Hipótesis

Hi: Las pérdidas de carga en tuberías de PVC y accesorios de Ø 1” y Ø 1 ½” varían en un 40% de acuerdo al diámetro y trayectoria del flujo presurizado.

## 2.5 Variables

Variable independiente (V1)= tuberías de PVC y accesorios.

Variable dependiente (V2) = pérdidas de carga.

## 2.6 Operacionalización de las Variables

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Instrumento de Investigación</b>
Tuberías de PVC y accesorios	Longitud y diámetro	Medición	m.	Características de tuberías y Accesorios
Pérdidas de Cargas	Diferencia de Alturas	Determinar mediante ensayo con un manómetro diferencial	m.c.a.	Observación

# **CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo de la Investigación.**

- a. De acuerdo al nivel de investigación:

**Investigación Descriptiva**, porque consiste en caracterizar el comportamiento del fluido en flujo presurizado en tuberías de PVC y accesorios.

- b. De acuerdo al diseño de investigación:

**Investigación experimental**, porque realizaremos ensayos en el laboratorio para determinar las pérdidas de carga en por fricción y por accesorios en tuberías de PVC con dos caudales.

### **3.2 Población y Muestra.**

La población es solo una por lo cual es igual a la muestra  $N=n$

- a. Población (N) : pérdidas de carga
- b. Muestra (n) : pérdidas de carga

### **3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Un buen instrumento determina en gran medida la calidad de la información, siendo esta la base para las etapas subsiguientes y para los resultados.

#### **3.3.1 Técnicas**

- a. La observación.

Se realizará los ensayos en el banco de pruebas en el laboratorio para obtener los datos de pérdidas de carga en las diferentes trayectorias por lo cual se observará de forma minuciosa y detallada el comportamiento del fluido presurizado.

#### **3.3.2 Instrumentos**

- a. Manual de Uso.
- b. Formatos de Ensayos de pérdidas de carga.
- c. Formularios de las ecuaciones de Darcy Weisbach. y Hazen Williams.

### 3.4 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

- **Medición.** de los caudales con los que se realizara las pruebas.
- **Clasificación.** de la pérdida de carga de acuerdo a los caudales en tablas de Excel.
- **El procesamiento.** y análisis de los datos, se realizarán después de la recolección de datos en tablas y gráficos de Excel dando a demostrar la variación de pérdidas de carga que existen entre las tuberías de PVC y los accesorios.

## **CAPITULO IV: RESULTADOS**

## **4.1 DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS**

### **4.1.1 Introducción**

El diseño del banco de pruebas será realizado con cálculos teóricos teniendo en cuenta las características físicas de los materiales y estudiando minuciosamente el comportamiento de estos.

El banco de pruebas consta de tres partes que son La estructura, el tablero y dos tanques conectados.

La estructura está conformada por tubos cuadrados de fierro 1 ½" x 1 ½". Que están soldados dando la forma del tablero para que resista el peso de los tubos cargados con agua y la presión que le da la bomba. De igual manera se puso una plancha de tol de 2 mm de espesor sobre barras del tubo cuadrado para resistir el peso de los tanques de agua.

El tablero está formado por 5 trayectorias de tubos, está hecho de triplay de 2.40 m x 1.20 m x 14mm fijado sobre la estructura de fierro con pernos coche de Ø ¼ x 2 ½", los tubos están fijados al tablero con abrazaderas de tubo tipo omega de 1" y 1 ½", todo el tablero está cubierto de esmalte blanco para protegerlo del agua.

Por ultimo están los tanques conectados, el primer tanque de plástico que es de almacenamiento de agua de 110 litros que garantiza la circulación del agua por todos los tubos presurizados y suficientes litros para medir el caudal, está conectado a la bomba que succiona el agua para distribuirla por todas las trayectorias de tuberías y al final de todas las trayectorias se unen a un tubo de descarga que almacena el agua en un segundo tanque más pequeño que el primero de solo 50 litros que esta graduado para que nos permita medir el caudal. Este tanque pequeño está conectado al tanque grande mediante un tubo de 1 ½" con una llave para abrir y cerrar cuando sea necesario, así se garantiza la recirculación del líquido el cual nos permite tener encendida la bomba el tiempo que sea necesario para calcular las pérdidas en todos los puntos de pérdidas colocadas en el sistema.

### **4.1.2 Como Nació la Idea de Hacer un Banco de Pruebas**

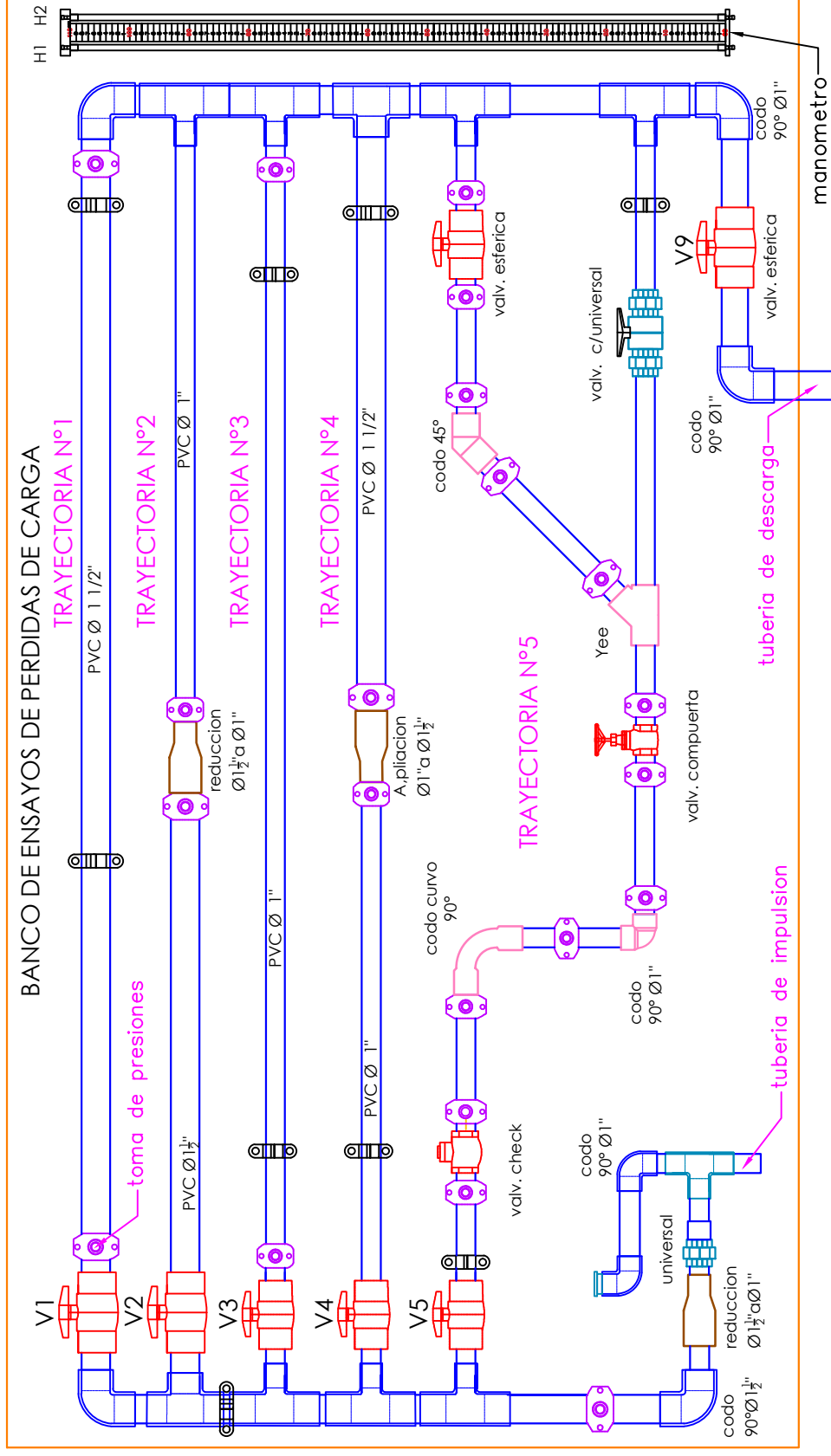
En el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada Antenor Orrego hay algunos equipos de ensayos experimentales, pero hay muchos que no están implementados en dicho laboratorio. Por lo cual nosotros investigamos con los equipos que no cuenta la universidad. El banco de pérdidas de carga era uno de ellos. Con la ayuda del ingeniero encargado del laboratorio y su aprobación de la idea de hacer un banco de ensayos diseñamos un modelo de banco con materiales que encontrábamos en nuestra localidad pero que puedan simular perfectamente las pérdidas de carga. Tuvimos que cambiar muchos materiales para poder definir cuál era el ideal para el equipo. Como válvulas, piezómetros, tanques y el electro-bomba.

### **4.1.3 Diseño Propuesto del Banco de Ensayos de Pérdidas de Carga**

Para diseñar el equipo tuvimos que buscar información de modelos de bancos automatizados que se fabrican especialmente en Italia y también proyectos tanto de tesis como investigativos, al tener esa información planteamos un modelo al ingeniero que posteriormente fue nuestro asesor y también al ingeniero encargado del laboratorio con sus observaciones fuimos cambiando algunas partes del diseño principal hasta tener el actual modelo que acá presentamos. El diseño se realizó en AutoCAD, una herramienta que nos permite determinamos las medidas necesarias de los materiales para el armado de la estructura, el tablero de piezas de tuberías y válvulas y los tanques.

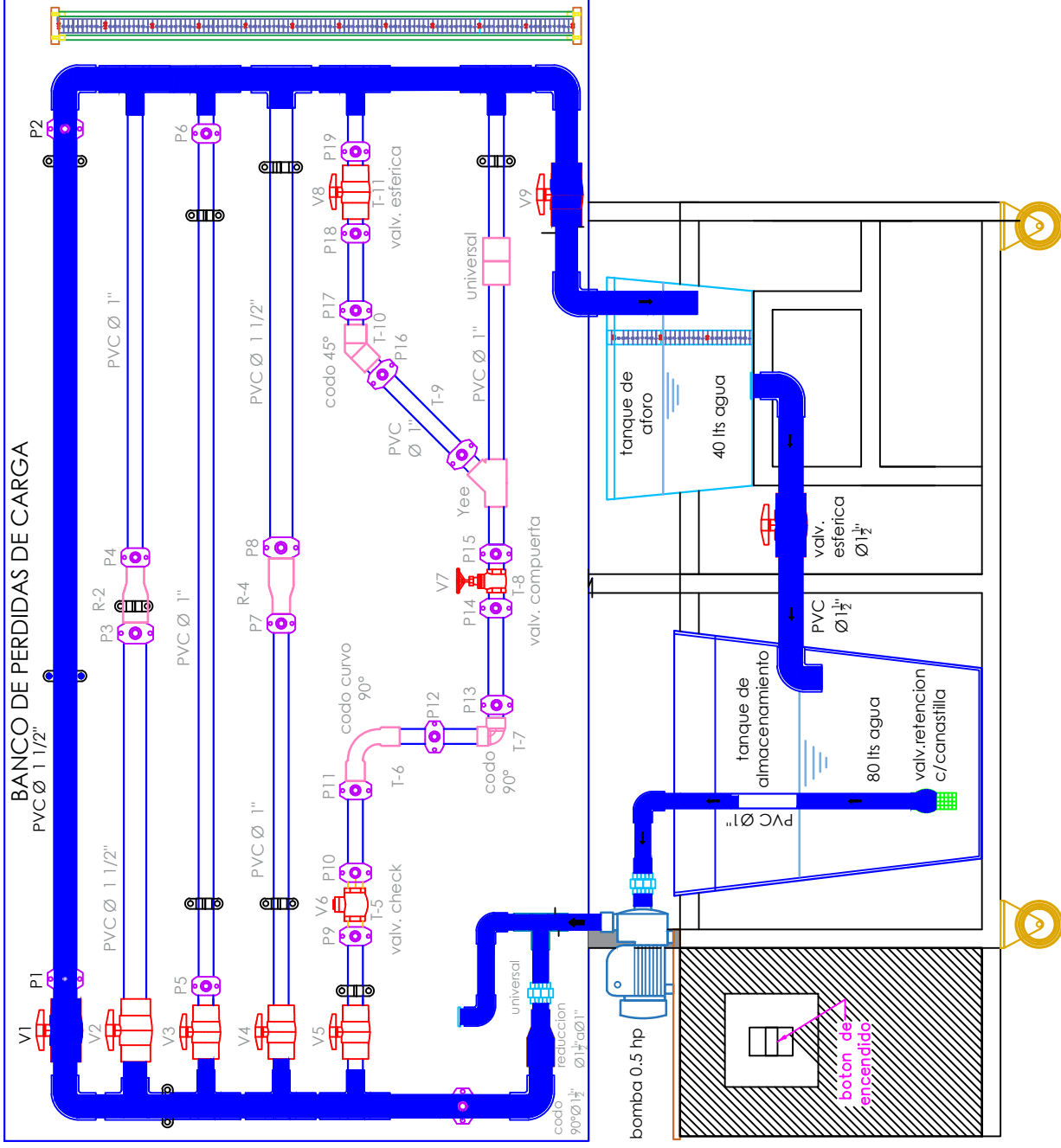
#### **4.1.3.1 Tablero**

El tablero está compuesto por las trayectorias de tuberías y el manómetro de columna de agua que está fijadas sobre una plancha de triplay.



1. Un sistema de pérdida de carga por fricción en tubería de PVC de diámetro nominal 1 1/2".
2. Un sistema de pérdida de carga por contracción gradual en tuberías de PVC de diámetro de entrada 1 1/2" y de salida 1".
3. Un sistema de pérdida de carga por fricción en tubería de PVC de diámetro nominal 1".
4. Un sistema de pérdida de carga por expansión gradual en tuberías de PVC de diámetro de entrada 1" y de salida 1 1/2".
5. Pérdidas de carga en los siguientes accesorios:
  - Válvula de bola de media vuelta
  - Válvula de retención o check
  - Codo curvo 90°
  - Codo estándar de 90°
  - Válvula de compuerta.
  - Codo estándar de 45°
  - Válvula de globo

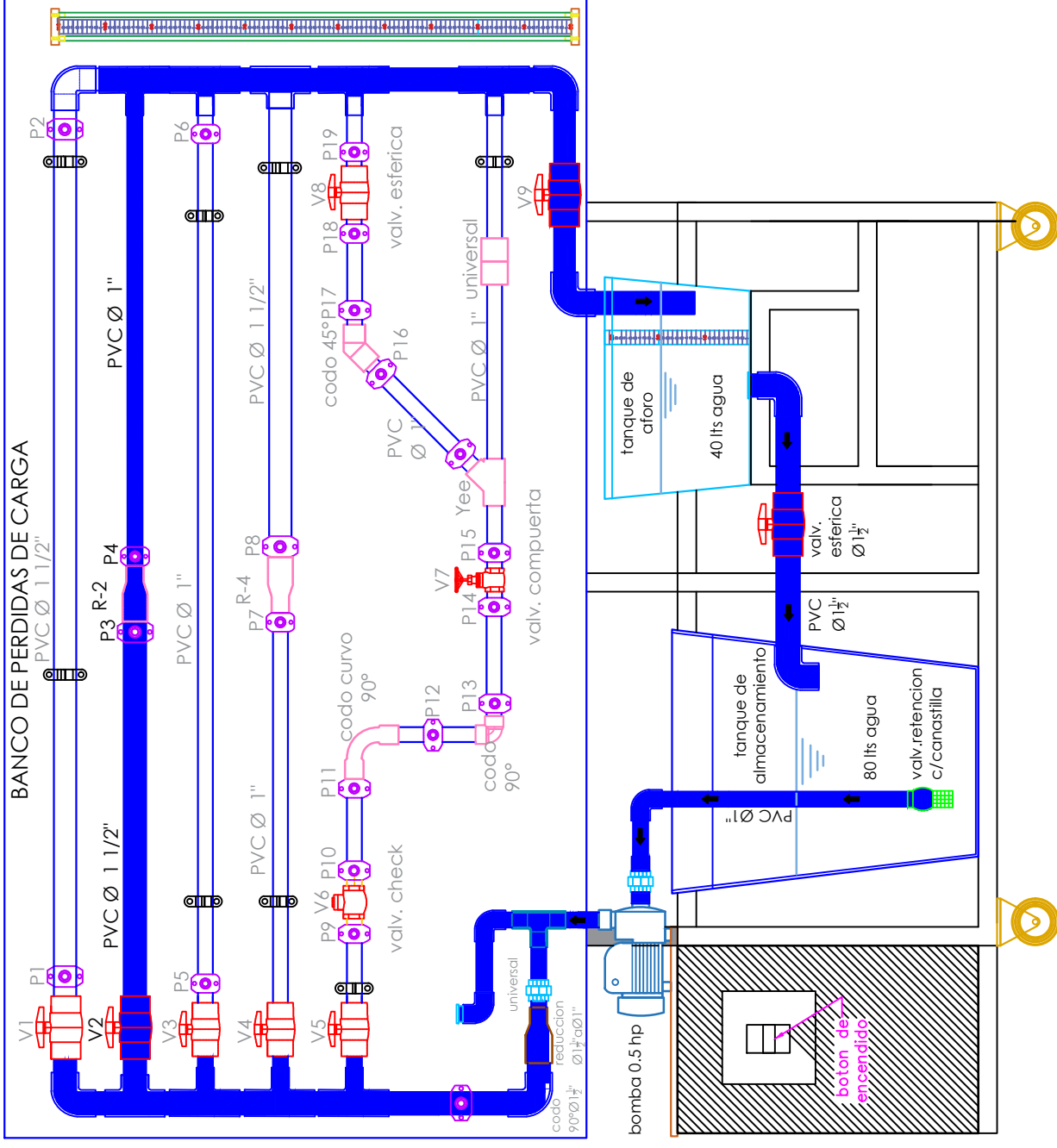




**Trayectorias de circulación de agua N°1.**

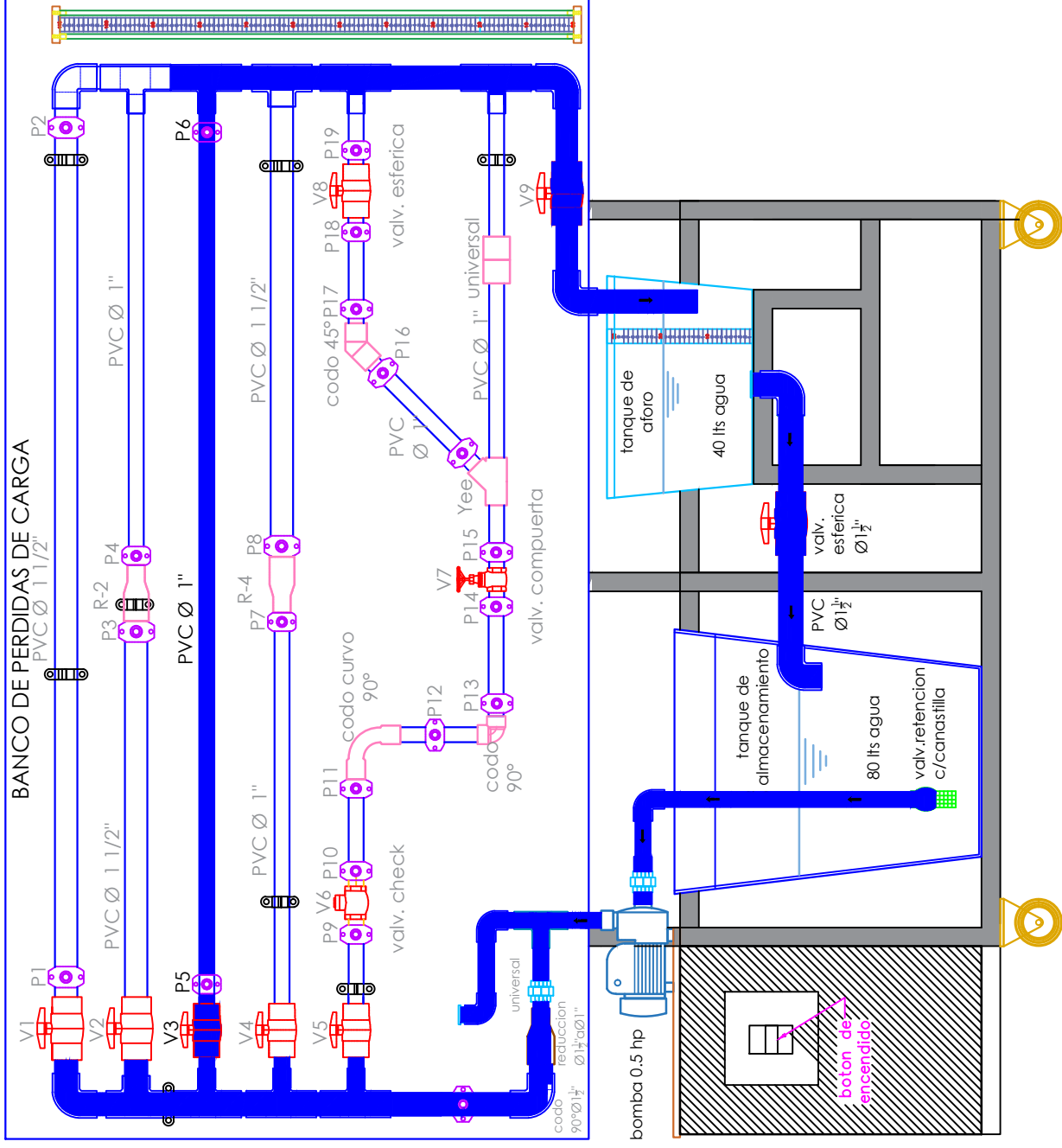
Un sistema en el cual se obtendrá las pérdidas de carga por fricción en tubería de PVC de diámetro nominal 1 1/2". Esta trayectoria consta de una válvula bola de Ø1 1/2" colocada al inicio de esta el cual tiene la función de bloquear o permitir el paso de agua cuando se quiera hacer el ensayo para esta tubería. Luego unido a la Válvula esta un tubo de Ø1 1/2" de 2.00 m de largo al inicio y al final se colocaron tomas de presión para ver las pérdidas de carga por fricción

**TRAYECTORIA DE CIRCULACION DE AGUA N° 1**



### Trayectorias de circulación de agua N°2.

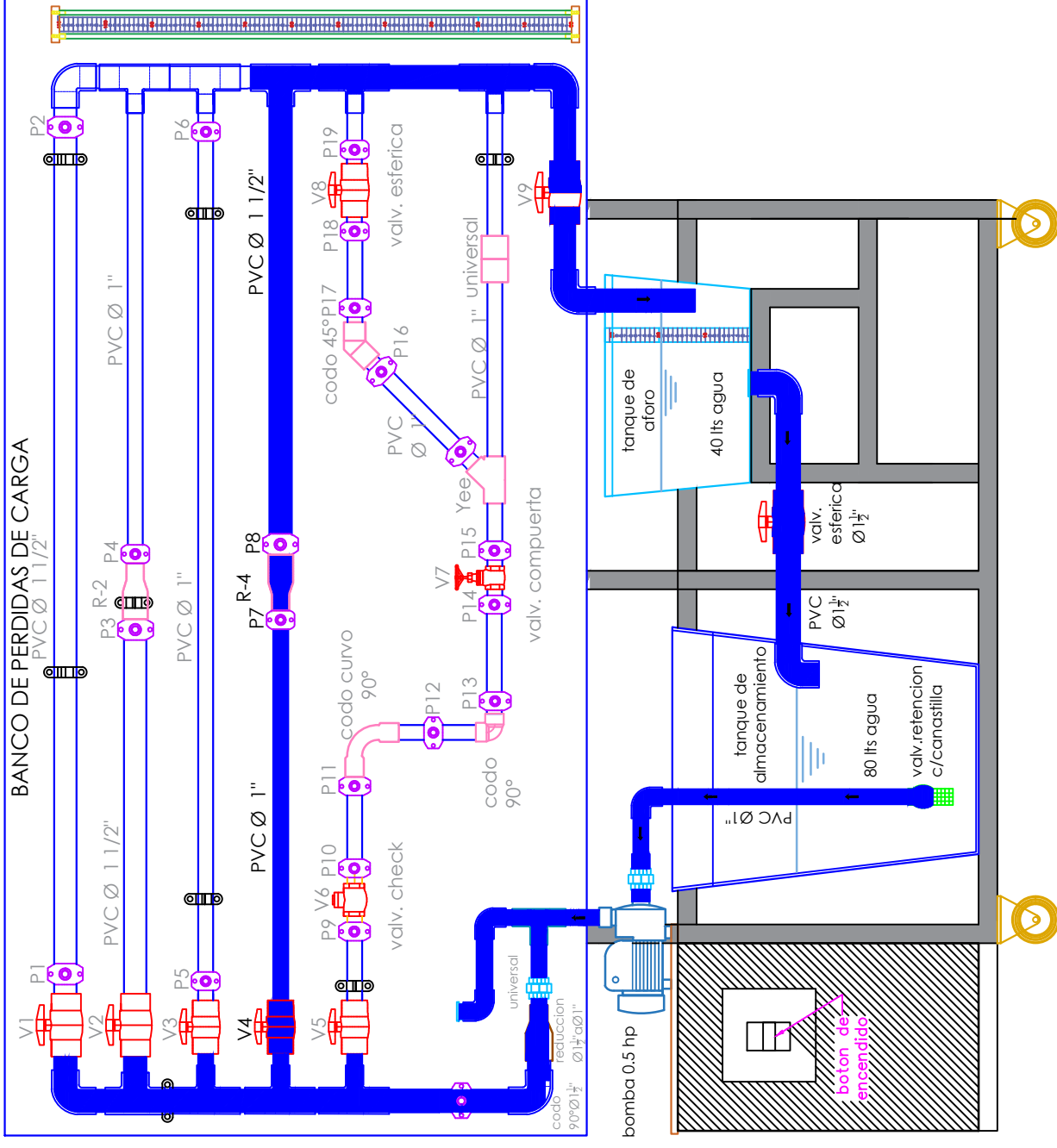
Un sistema en el cual se obtendrá las pérdidas de carga por una reducción de diámetro en tubería de PVC de 1 1/2" a 1". Esta trayectoria al igual que la anterior consta de una válvula bola de Ø 1 1/2" colocada al inicio de esta el cual tiene la función de bloquear o permitir el paso de agua cuando se quiera hacer el ensayo para esta trayectoria. Luego unido a la Válvula esta un tubo de Ø 1 1/2" de 0.90m de largo seguido va la reducción a 1" y al inicio y al final de la reducción se colocaron tomas de presión para ver las pérdidas por reducción de sección en tuberías.



**Trayectorias de circulación de agua N°3.**

Un sistema en el cual se obtendrá las pérdidas de carga por fricción en tubería de PVC de diámetro nominal 1". Esta trayectoria consta de una válvula bola de Ø1 "colocada al inicio de esta el cual tiene la función de bloquear o permitir el paso de agua. Luego unido a la Válvula esta un tubo de Ø1" de 1.98 m de largo al inicio y al final se colocaron tomas de presión para ver las pérdidas de carga por fricción, Finalmente va conectada a una tubería de descarga.

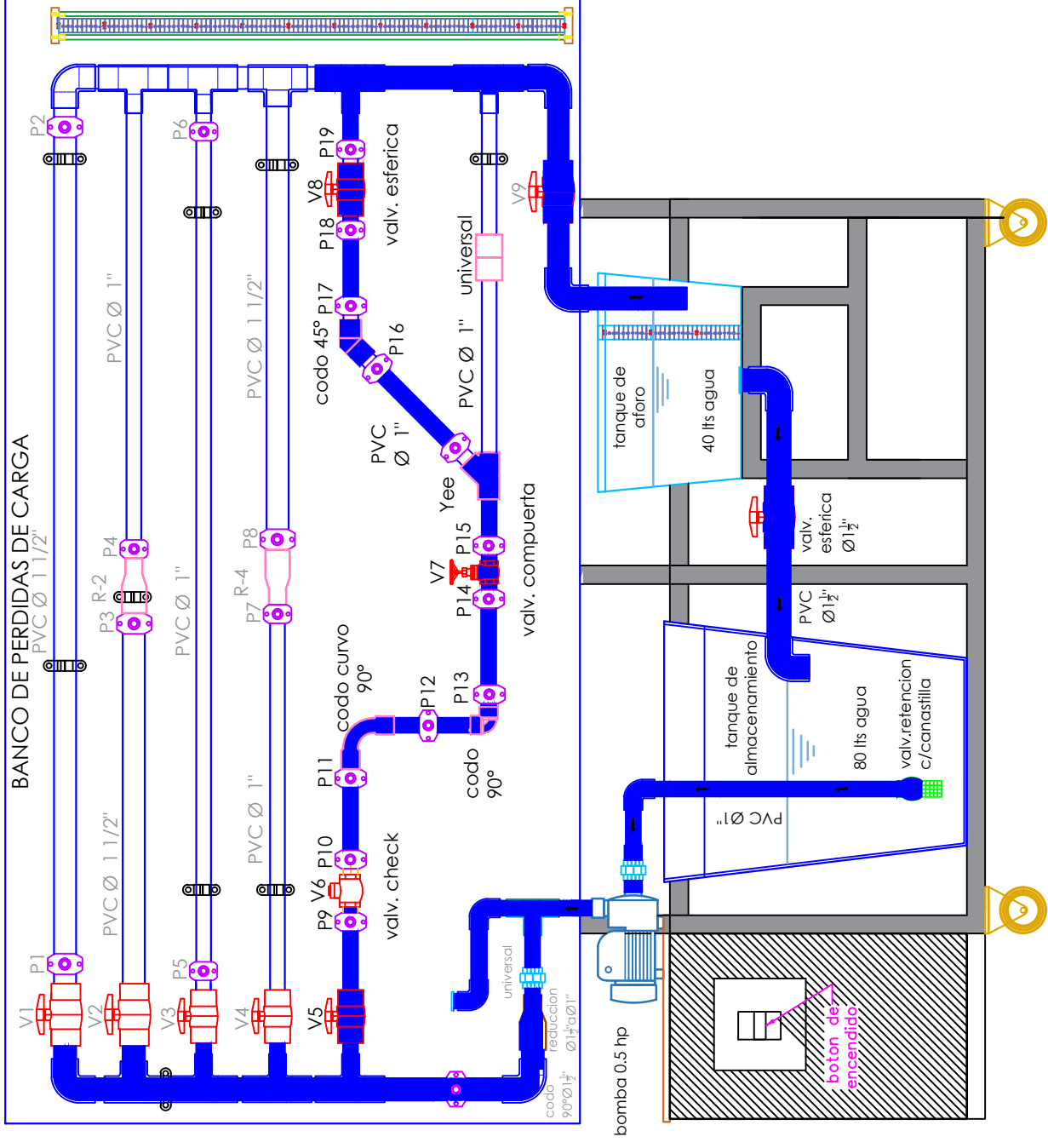
**TRAYECTORIA DE CIRCULACION DE AGUA N° 3**



**Trayectorias de circulación de agua N°4.**

Un sistema en el cual se obtendrá las pérdidas de carga por una ampliación de diámetro en tubería de PVC de 1" a 1 1/2". Esta trayectoria consta de una válvula bola de Ø1" colocada al inicio de la tubería. Luego unido a la Válvula esta un tubo de Ø1" de 0.90m de largo seguido va la ampliación de 1" a 1 1/2", al inicio y al final de la ampliación se colocaron tomas de presión para ver las pérdidas por ampliación de sección en tuberías. Finalmente va una tubería de 1 1/2" está conectada a una tubería de descarga.

**TRAYECTORIA DE CIRCULACION DE AGUA N° 4**



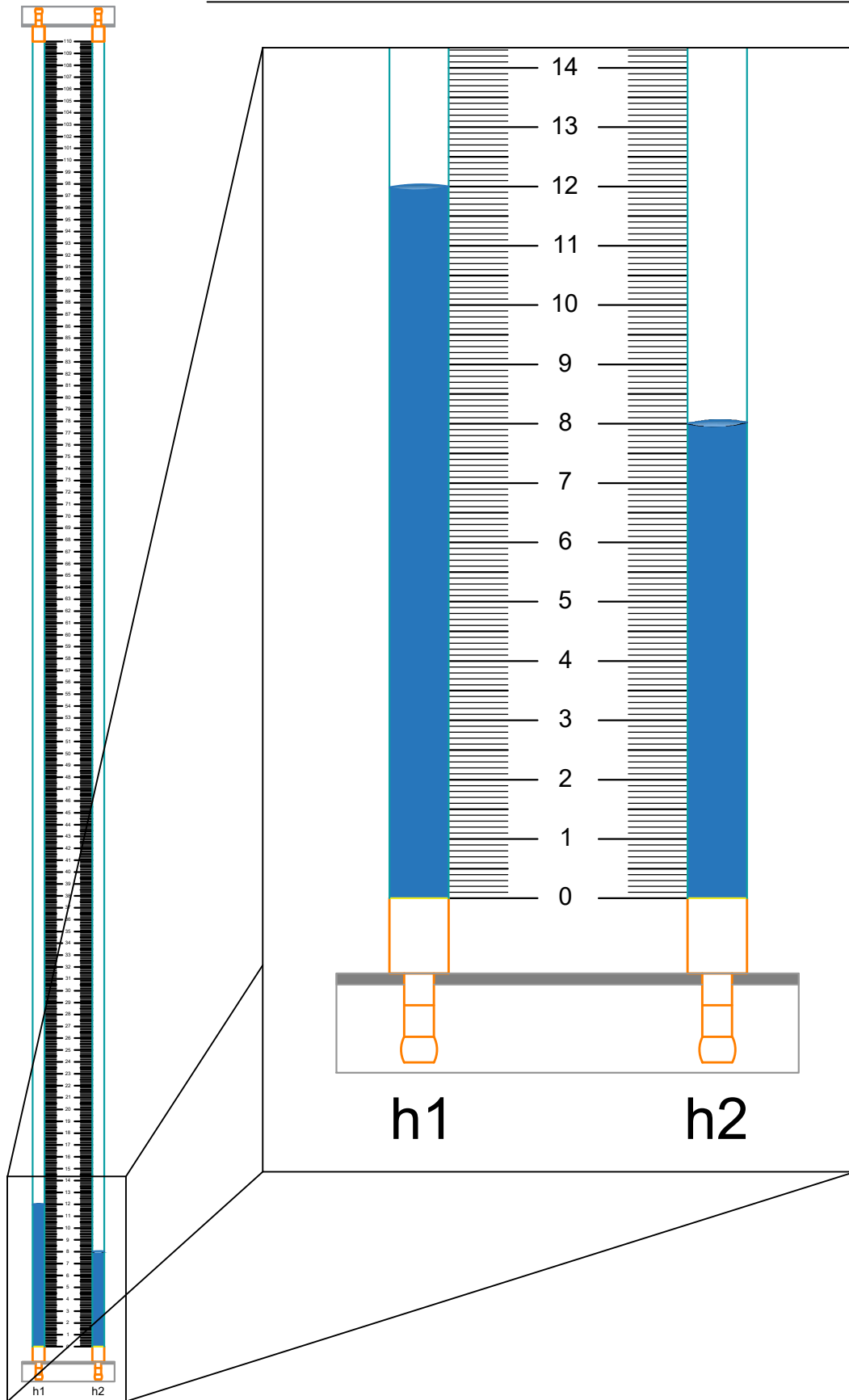
**Trayectorias de circulación de agua N°5.**

Un sistema en el cual se obtendrá las pérdidas de carga por accesorios en tubería de PVC de 1". Esta trayectoria consta de una válvula bola de Ø1" colocada al inicio de la trayectoria. A continuación, se coloca de forma ordenada los accesorios que conforman esta trayectoria

- Válvula de retención o check
- Codo curvo de 90°
- Codo estándar de 90°
- Válvula de compuerta.
- Codo estándar de 45°
- Válvula de bola o esférica
- Unión Universal

**TRAYECTORIA DE CIRCULACION DE AGUA N° 5**

## MANOMETRO DIFERENCIAL DE COLUMNA DE AGUA



### Manómetro de columna de agua.

Existen diferentes tipos de manómetros para determinar la presión, sin embargo, en este caso creímos conveniente usar un manómetro de columna de agua de 110 cm. para poder calcular la diferencia de altura de  $H_1$  y  $H_2$ .

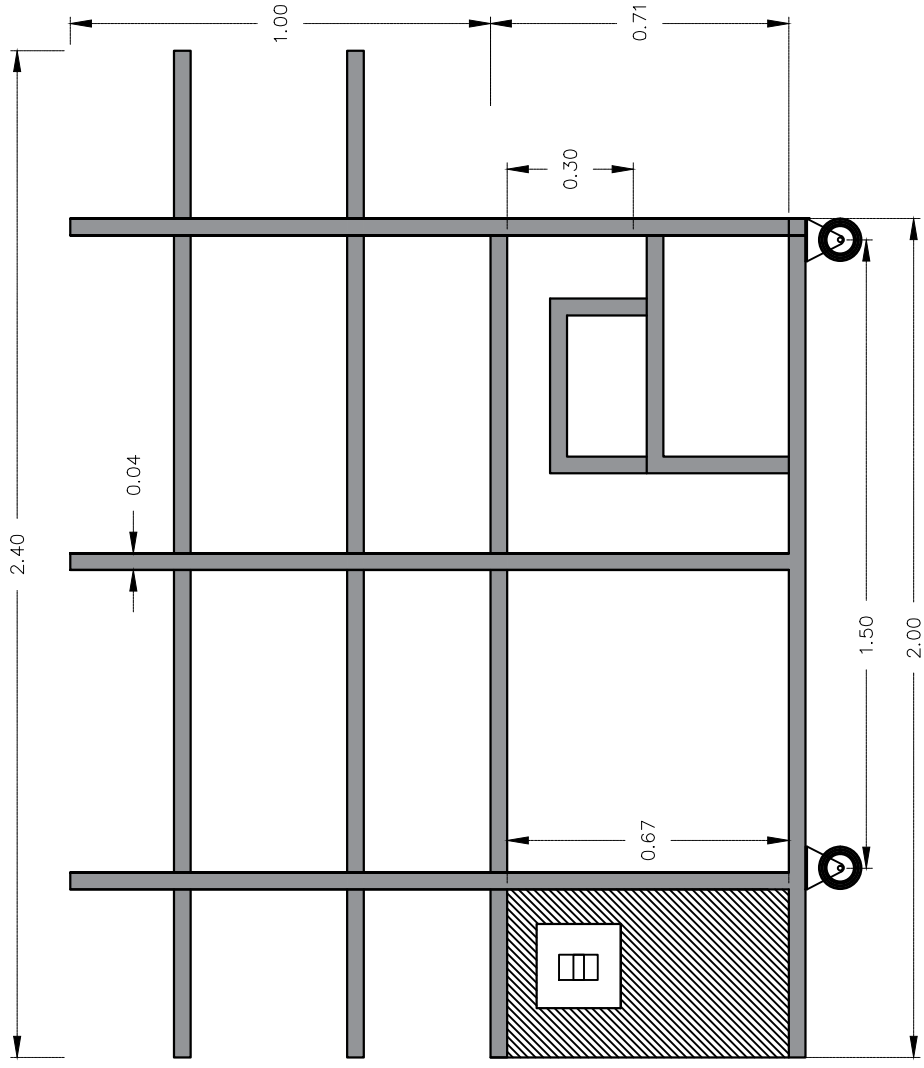
#### **4.1.3.2 La Estructura**

La estructura se diseñó considerando el peso que tendría las tuberías de las 5 trayectorias cargadas de agua, por eso se propuso que el material sea tubos de fierro cuadrado de 1 ½" x 1 ½" x 1mm. Para los tanques de almacenamiento de agua se colocó una plancha de tol de 2mm de espesor que reforzaba la estructura de tubos de fierro cuadrado, estos tubos fueron unidos y soldados según las dimensiones propuestas. También se le coloco cuatro ruedas para poder movilizar el banco para cargarlo y descargarlo de agua.

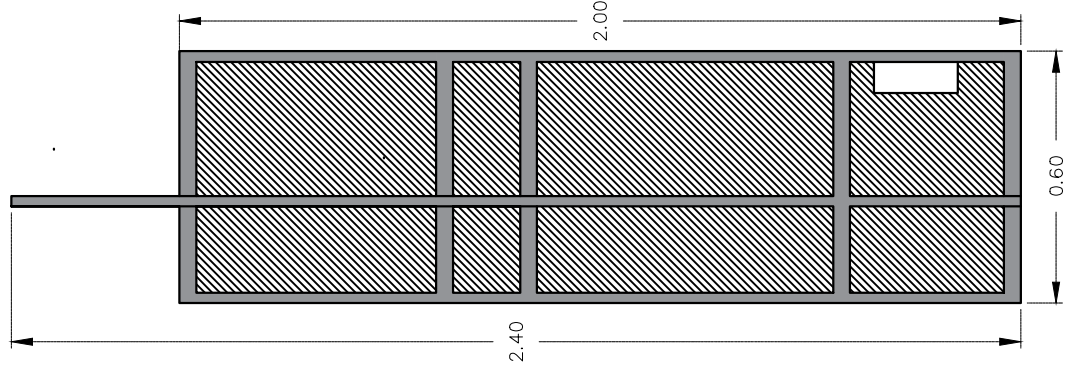
Y finalmente se lijo y pinto la estructura cubriéndola de esmalte azul para evitar la corrosión y el deterioro de la estructura.

 plancha de tol de 2mm.

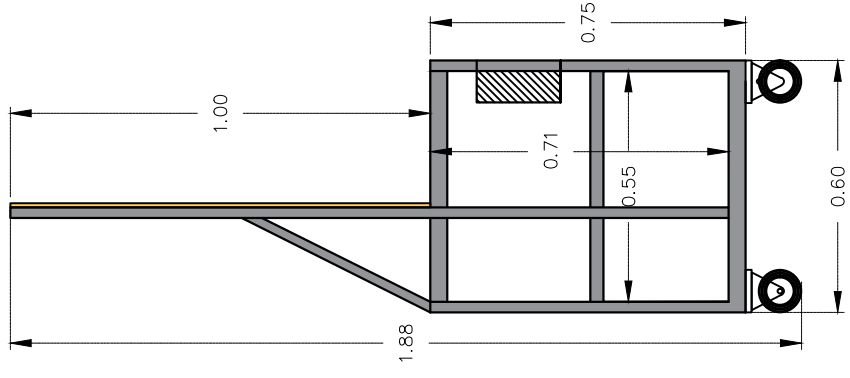
 tubo de fierro cuadrado 1 1/2" x 1 1/2" x 2mm.



VISTA FRONTAL



VISTA EN PLANTA



VISTA LATERAL

## ESTRUCTURA

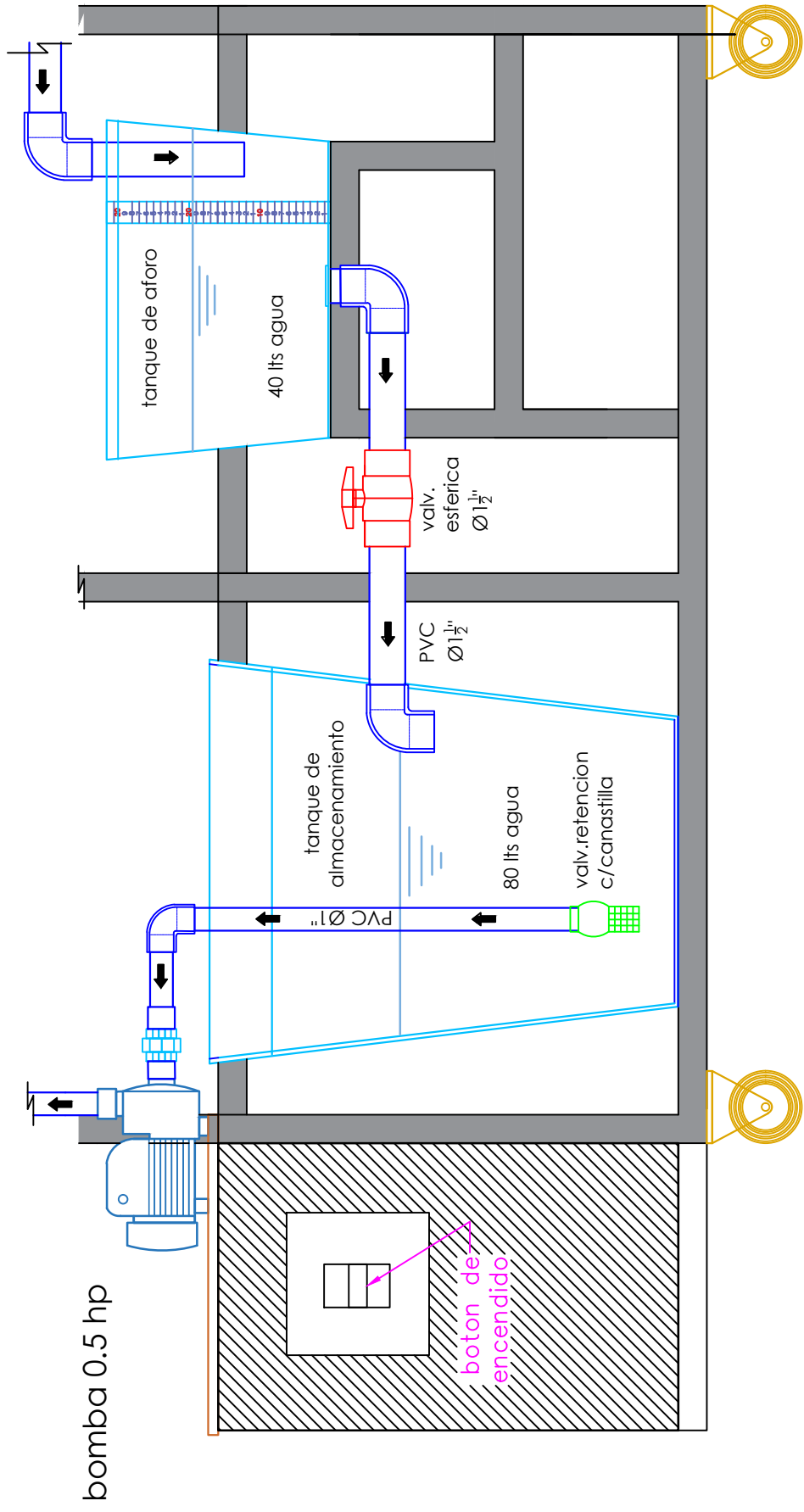


### **4.1.3.3 Tanque de Almacenamiento y Tanque de Aforo**

Los tanques de almacenamiento son de PVC, son tanques de almacenamiento de agua que se encuentran en el mercado de diferentes marcas y tamaños y fueron adaptados en el sistema que se muestra en el plano,

*El tanque de almacenamiento* de agua tiene una capacidad de 110 litros, esta cantidad de agua garantiza la circulación por todos los tubos presurizados para medir el caudal, está conectado a la bomba de 0.5hp que succiona el agua para distribuirla por todas las trayectorias de tuberías y al final de todas las trayectorias se unen a un tubo de descarga que almacena el agua en un segundo tanque es más pequeño que el primero llamado *Tanque de aforo* de solo 50 litros que esta graduado para que nos permita medir el caudal.

Del tanque de aforo se conecta una tubería de diámetro 1 ½" al tanque de almacenamiento con una llave de paso que tiene la función de cerrar el paso del agua para así mediante un cronometro calcular el caudal, esto se hace con mayor exactitud de los 20 a los 40 litros del tanque de aforo. Y después abrir el paso del agua para la recirculación del mismo. Así garantizamos el funcionamiento continuo de la bomba.



## TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y DE AFORO

**Tabla N°8.** Características físicas de Tuberías

Descripción	Diámetro o Nominal (pulg)	Diámetro Exterior (mm)	Espesor de pared (mm)	Diámetro Interno (mm)
PVC roscado en trayectoria 5	1"	33.00	3.50	26.00
PVC	1"	32.00	2.00	28.00
PVC	1 1/2"	48.00	2.50	43.00

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.1.4 Propiedades de la Tubería.

##### a) Velocidad Mínima en Tuberías

Para el cálculo del diámetro de las tuberías de distribución, la velocidad mínima sea de 0.60m/s.<sup>17</sup>

##### b) Velocidad Máxima en Tuberías

La velocidad máxima debe limitarse según el material del conducto y del material transportado por el agua, con el objeto de evitar erosión del conducto. Es necesario consultar los catálogos de la tubería para definir la velocidad máxima recomendada.

**Tabla N°9.** Límites máximos de velocidad para conductos a presión.

Materiales de las paredes	Velocidad máxima (m/s)
Hormigón (simple o armado)	4.5 a 5.0
Hierro fundido y hierro dúctil	4.0 a 5.0
Asbesto-cemento	4.5 a 5.0
Acero	6
Cerámica vitrificada	4.0 a 6.0
Plástico	4.5

<sup>17</sup> Reglamento Nacional Edificaciones. (2018). INSTALACIONES SANITARIAS. P. 545.

**c) Condiciones en las que va a Trabajar el Equipo.**

El banco de pruebas estará ubicado en el laboratorio de hidráulica de la UPAO.

En Trujillo y el fluido que se usará en el equipo será agua. Por lo tanto:

La temperatura ambiente promedio es de 20°C

La temperatura del agua promedio es de 10°C

**Con estas condiciones las propiedades del agua son:<sup>1</sup>**

Peso específico ( $\gamma$ ) = 9803 N/m<sup>3</sup>

Viscosidad dinámica ( $\mu$ ) = 1.31 x 10<sup>-3</sup> kg/m.s

Viscosidad cinemática ( $\nu$ ) = 1.31 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

**4.1.5 Determinamos la Curva de Operación en todas las trayectorias.**

Determinamos esta curva para saber la trayectoria con mayor Perdida y así calcular la potencia de la bomba necesaria para hacer circular el agua en las tuberías.

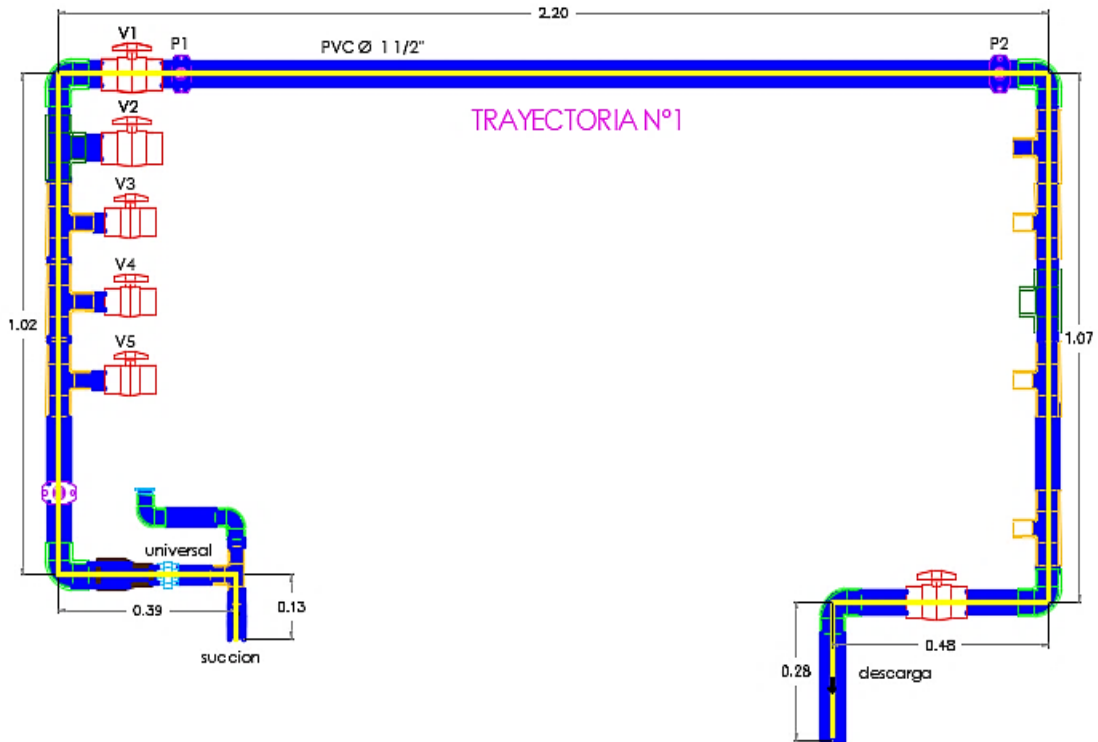
Vamos a simular caudales de 0.2 lts/s hasta 1.0 lts/s para hacer un cálculo teórico de todas las propiedades y así llegar a obtener la altura dinámica total HDT. de cada trayectoria.

---

<sup>1</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de perdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

### 4.1.5.1 Trayectoria 1.

En esta trayectoria el fluido circulara por el tramo de 1 ½” de diámetro, que esta resaltado de color azul y ciertos accesorios que se indican en el siguiente gráfico.



**Figura N°19. Trayectoria 1 del sistema.**  
**Fuente:** elaboración propia

*El procedimiento de cálculo es el siguiente,*

#### 1) Determinamos el caudal (Q)

Este es el primer paso, sin embargo, vamos a adoptar caudales de 0.2 lts/s hasta 1.0 lts/s para determinar la trayectoria con mayor pérdida de energía.

#### 2) Pérdidas de energía por fricción de tubería (hf)

El procedimiento aplicado para su determinación el siguiente:

1. Determinar el material y diámetro de tubería del sistema. Si existen dos o más tramos que difieran sea en diámetro o en material se analizara independiente cada uno de ellos.
2. Determinar la longitud de cada tramo.

3. Determinar el diámetro interno de tubería (tabla N°1).
4. Con la ayuda de la ecuación de continuidad determinamos la velocidad del fluido.
5. Calcular el número de Reynolds, pero antes obtener la viscosidad cinemática para el agua para las condiciones antes señaladas.
6. Calcular la rugosidad relativa ( $\epsilon/D_i$ ). Pero antes obtener la rugosidad absoluta  $\epsilon$  (tabla N°2).
7. Con la obtención del número de Reynolds y la rugosidad relativa obtenemos el coeficiente de fricción  $f$  para lo cual hay dos métodos el primero con la ayuda del diagrama universal de Moody (anexo 1) o con la ayuda de las ecuaciones empíricas.
8. Calcular las pérdidas por fricción para cada tramo con la ecuación de Darcy-Weisbach.
9. Finalmente, para obtener la pérdida de energía por fricción del sistema hidráulico se realizará la sumatoria de las pérdidas por fricción para cada tramo.

En la tabla N°9 se resume el cálculo de las pérdidas de energía por fricción del sistema hidráulico, para la trayectoria 1.

**Tabla N°10.** Pérdidas de energía por fricción de tubería-trayectoria 1

TRAMO	MATERIAL	Q (Lts/s)	L. (m)	D (mm)	A (mm)	v (m/s)	$\nu$	Re	$\epsilon$	$\epsilon/Di$	f	h <sub>fi</sub>	h <sub>f</sub>
SUCCION-BOMBA	PVC	0.2	0.90	28.0	615.75	0.3248	1.3031E-06	6979	0.0015	0.00005	0.034	0.006	0.011
BOMBA-IMPULSION			5.57	43.0	1452.20	0.1377	1.3031E-06	4545	0.0015	0.00003	0.039	0.005	
SUCCION-BOMBA	PVC	0.4	0.90	28.0	615.75	0.6496	1.3031E-06	13959	0.0015	0.00005	0.028	0.020	0.036
BOMBA-IMPULSION			5.57	43.0	1452.20	0.2754	1.3031E-06	9089	0.0015	0.00003	0.032	0.016	
SUCCION-BOMBA	PVC	0.6	0.90	28.0	615.75	0.9744	1.3031E-06	20938	0.0015	0.00005	0.026	0.040	0.072
BOMBA-IMPULSION			5.57	43.0	1452.20	0.4132	1.3031E-06	13634	0.0015	0.00003	0.029	0.032	
SUCCION-BOMBA	PVC	0.8	0.90	28.0	615.75	1.2992	1.3031E-06	27917	0.0015	0.00005	0.024	0.066	0.119
BOMBA-IMPULSION			5.57	43.0	1452.20	0.5509	1.3031E-06	18179	0.0015	0.00003	0.027	0.053	
SUCCION-BOMBA	PVC	1.0	0.90	28.0	615.75	1.6240	1.3031E-06	34897	0.0015	0.00005	0.023	0.098	0.177
BOMBA-IMPULSION			5.57	43.0	1452.20	0.6886	1.3031E-06	22723	0.0015	0.00003	0.025	0.079	

**Fuente:** Elaboración Propia.

### **Pérdidas de energía por accesorios (hm)**

El procedimiento para calcular la pérdida de energía que causan los diferentes accesorios de un sistema es:

1. Determinar el material y diámetro de tubería del sistema. Si existen dos o más tramos donde están acoplados los accesorios, que difieran sea en diámetro o en material se analizara independiente cada uno de ellos.
2. Determinar la cantidad de accesorios similares en el tramo.
3. Determinar el diámetro interno de tubería (tabla N° 1) de cada tramo donde se acoplarán los accesorios.
4. Con la ayuda de la ecuación de continuidad determinamos la velocidad del fluido.
5. En la tabla N°3 encontrar  $(Le/Di)$  para la válvula o accesorio.
6. Para tubo de cualquier material donde esta acoplado el accesorio de análisis:
  - ✓ Calcular la rugosidad relativa  $(\epsilon/Di)$  del tubo.
  - ✓ Emplear el diagrama de Moody (anexo 1), para determinar  $f$  en la zona de turbulencia completa.
7. Calcular el coeficiente de resistencia (K) con la siguiente ecuación:

$$K = f (Le/Di).$$

8. Calcular  $hm = K (v^2/2g)$ , donde  $v$  es la velocidad en el tubo.

En la tabla N°10 se resume el cálculo de las pérdidas de energía por accesorios del sistema hidráulico, para la trayectoria 1 con caudales propuestos de 0.2lt/s. a 1.0lt/s



**Tabla N°11.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 1

TRAMO	ACCESORIOS	cant.	Le/Di	f	k	Q = 0.2 Lt/s		Q = 0.4 Lt/s		Q = 0.6 Lt/s		Q = 8.0 Lt/s		Q = 1.0 Lt/s	
						$v^2/2g$ (m)	$h_{mi}$ (m)	$v^2/2g$ (m)	$h_{mi}$ (m)	$v^2/2g$ (m)	$h_{mi}$ (m)	$v^2/2g$ (m)	$h_{mi}$ (m)	$v^2/2g$ (m)	$h_{mi}$ (m)
<b>SUCCION - BOMBA</b>	codo estándar	1	30	0.014	0.42	0.005	0.002	0.022	0.009	0.048	0.020	0.086	0.036	0.134	0.056
	Universal	1	6	0.014	0.08	0.005	0.000	0.022	0.002	0.048	0.004	0.086	0.007	0.134	0.011
	Universal	1	6	0.012	0.07	0.001	0.000	0.004	0.000	0.009	0.001	0.015	0.001	0.024	0.002
	Tee estándar	2	20	0.012	0.24	0.001	0.000	0.004	0.002	0.009	0.004	0.015	0.007	0.024	0.012
<b>BOMBA - IMPULSION</b>	Tee reductora	7	20	0.012	0.24	0.001	0.002	0.004	0.006	0.009	0.015	0.015	0.026	0.024	0.041
	codo estándar	5	30	0.012	0.36	0.001	0.002	0.004	0.007	0.009	0.016	0.015	0.028	0.024	0.044
	válvula de bola	2	150	0.012	1.80	0.001	0.003	0.004	0.014	0.009	0.031	0.015	0.056	0.024	0.087
	Expansión gradual	1			0.59	0.001	0.001	0.004	0.002	0.009	0.005	0.015	0.009	0.024	0.014
	hm =						0.011		0.043		0.096		0.171		0.266

**Fuente:** Elaboración Propia.

### Cálculo de la altura dinámica total de bombeo

En resumen, la altura dinámica total de bombeo se puede calcular con la siguiente expresión:

$$THD = H_o + P + \frac{V_2^2}{2g} + \sum(Hf + hm)$$

Dónde:

TDH = Altura dinámica total de bombeo (m.c.a).

H<sub>o</sub> = Altura estática (m.c.a).

P = Energía de presión (m.c.a).

V<sup>2</sup>/2g = Energía de velocidad en la descarga (m.c.a).

En donde para todos los sistemas P = 0 debido a que no se necesita una presión adicional en la entrega del líquido.

En la siguiente **Tabla N°12**. Indica un resumen de las pérdidas de carga por fricción (**hf**), pérdidas de carga por accesorios (**hm**) y altura dinámica total (**TDH**) obtenida para diferentes caudales de bombeo, siguiendo la trayectoria 1.

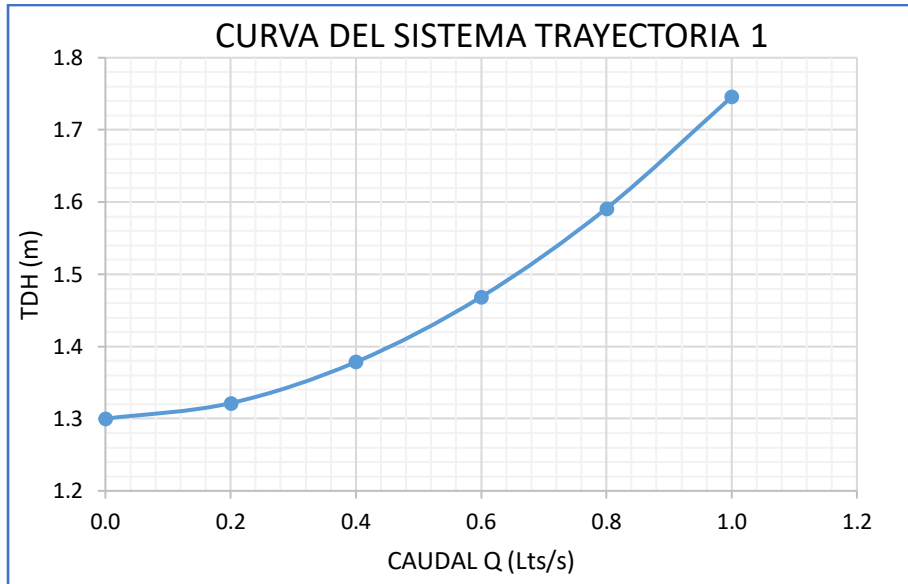
**Tabla N°12.** Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 1

Q (Lt/S)	H <sub>o</sub> (m)	hf (m)	Hm (m)	TDH (m)
0.0		..	..	1.3
0.2		0.01	0.01	1.32
0.4	1.3	0.04	0.04	1.38
0.6		0.07	0.10	1.47
0.8		0.12	0.17	1.59
1.0		0.18	0.27	1.75

**Fuente:** Elaboración Propia.

### Gráfica de la curva del sistema

Con la tabla anterior se obtiene la curva del sistema (caudal vs altura dinámica total de bombeo).

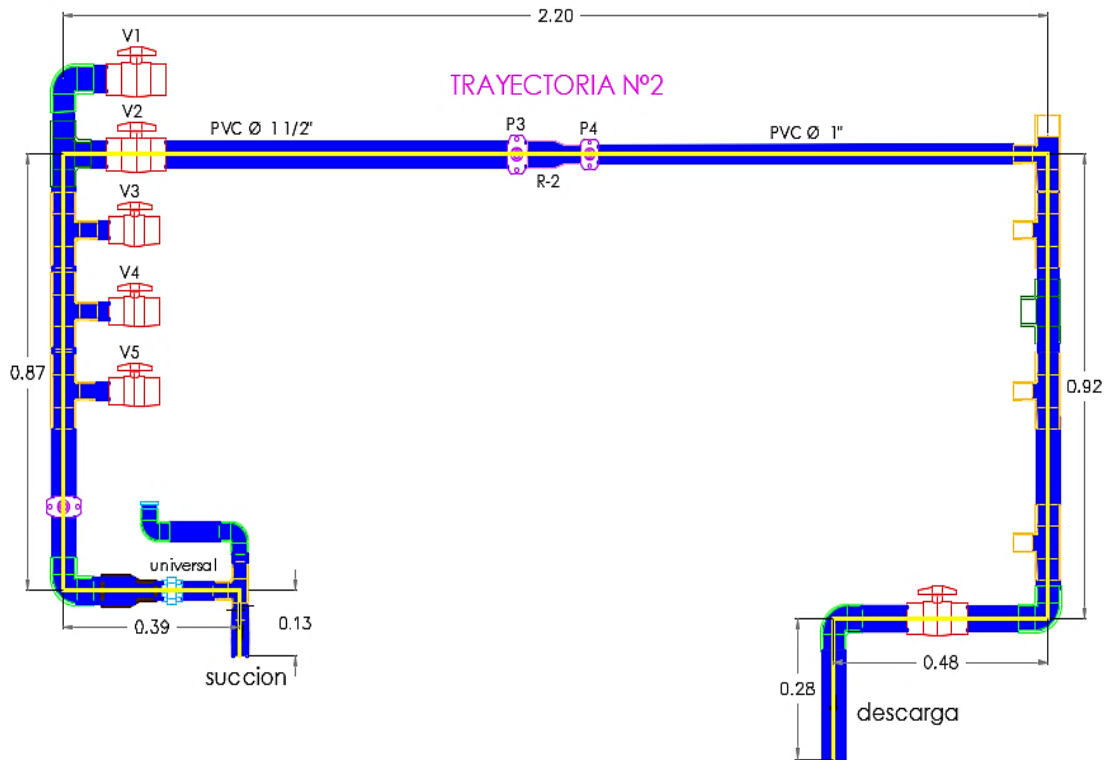


**Figura N°20. Curva de operación del sistema - trayectoria 1**

**Fuente:** elaboración propia

### 4.1.5.2 Trayectoria 2.

En esta trayectoria el fluido circulara como se indican en el *Figura N°21* teniendo en cuenta que, para el análisis de esta trayectoria, el fluido en este caso el agua esta presurizado en todas las demás trayectorias.



**Figura N° 21. Trayectoria 2 del sistema.**

**Fuente:** elaboración propia

El procedimiento de cálculo de este tramo es similar al anterior con la única diferencia que en este tramo hay una reducción gradual de tubería de PVC de Ø1½" a Ø1" en el centro de la trayectoria.

Analizamos la pérdida de carga por esta reducción con los mismos procedimientos y tablas (**Anexo N°3** y **Anexo N°4**).

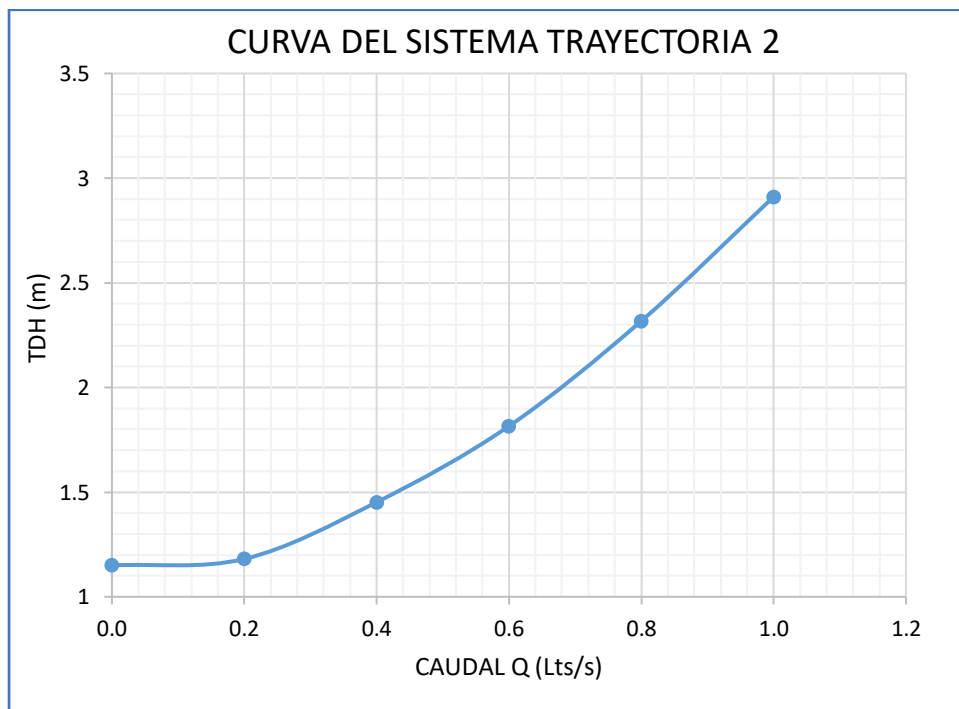
En la siguiente **Tabla N°13**. Indica un resumen de las pérdidas de carga por fricción (**hf**), pérdidas de carga por accesorios (**hm**) y altura dinámica total (**TDH**) obtenidas para diferentes caudales de bombeo, siguiendo el análisis de la trayectoria 2.

**Tabla N°13.** Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 2

<b>Q (Lt/S)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Hm (m)</b>	<b>TDH (m)</b>
0.0				1.15
0.2		0.02	0.01	1.18
0.4	1.15	0.07	0.23	1.45
0.6		0.14	0.53	1.82
0.8		0.23	0.93	2.32
1.0		0.30	1.46	2.91

**Fuente:** Elaboración Propia.

De la tabla anterior se obtiene la curva del sistema para la trayectoria 2.

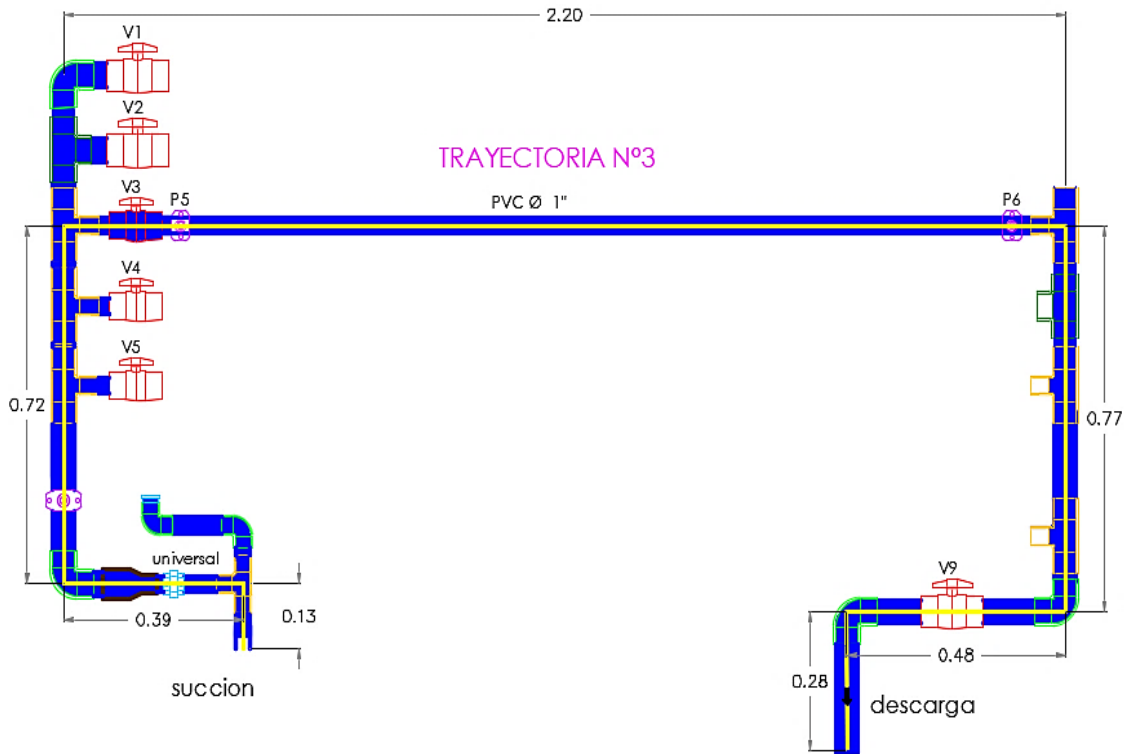


**Figura N°22** Curva de operación del sistema - trayectoria 2

**Fuente:** elaboración propia

### 4.1.5.3 Trayectoria 3.

En esta trayectoria el fluido circulara como se indican en el *Figura N°23* teniendo en cuenta que, para el análisis de esta trayectoria, el fluido en este caso el agua esta presurizado en todas las demás trayectorias.



**Figura N°23. Trayectoria 3 del sistema.**  
**Fuente:** elaboración propia

El procedimiento de cálculo de esta trayectoria es similar al cálculo de la *trayectoria N°1* con la diferencia que la tubería de PVC del tramo en el cual se determinó las pérdidas de carga de un fluido presurizado tiene un diámetro de 1" y con menor longitud de recorrido.

Analizamos la pérdida de carga para este tramo con los mismos procedimientos y tablas (**Anexo N°5 y Anexo N°6**).

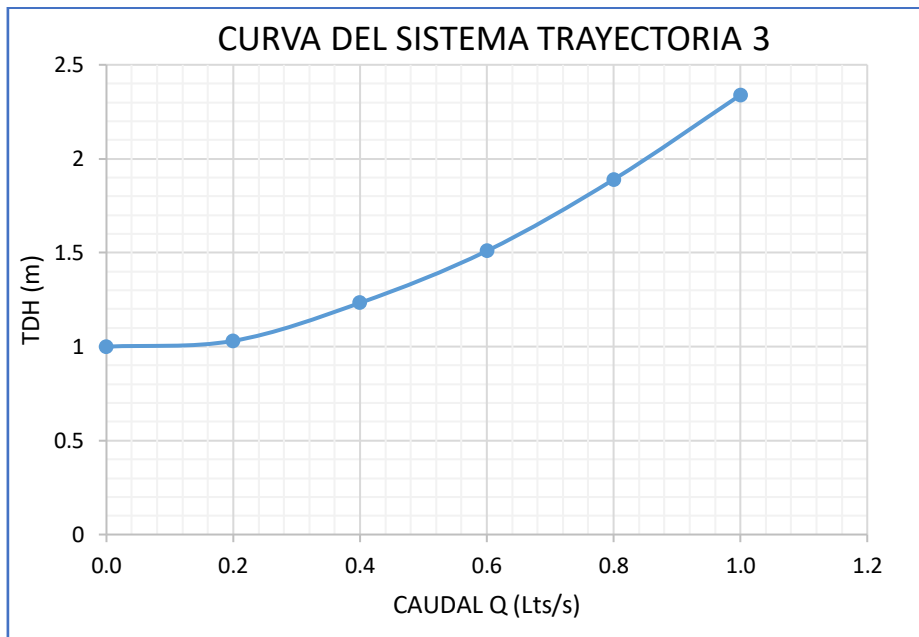
En la siguiente **Tabla N°14**. Indica un resumen de las pérdidas de carga por fricción (**hf**), pérdidas de carga por accesorios (**hm**) y altura dinámica total (**TDH**) obtenidas para diferentes caudales de bombeo, siguiendo el análisis de la trayectoria 3.

**Tabla N°14.** Cálculo de curva de operación del sistema-trayectoria 3

Q (Lt/S)	H <sub>o</sub> (m)	h <sub>f</sub> (m)	H <sub>m</sub> (m)	TDH (m)
0.0				1.00
0.2		0.02	0.01	1.03
0.4	1	0.07	0.16	1.23
0.6		0.15	0.36	1.51
0.8		0.24	0.65	1.89
1.0		0.33	1.01	2.34

**Fuente:** Elaboración Propia.

Con la tabla anterior se obtiene la curva del sistema para la trayectoria 3.

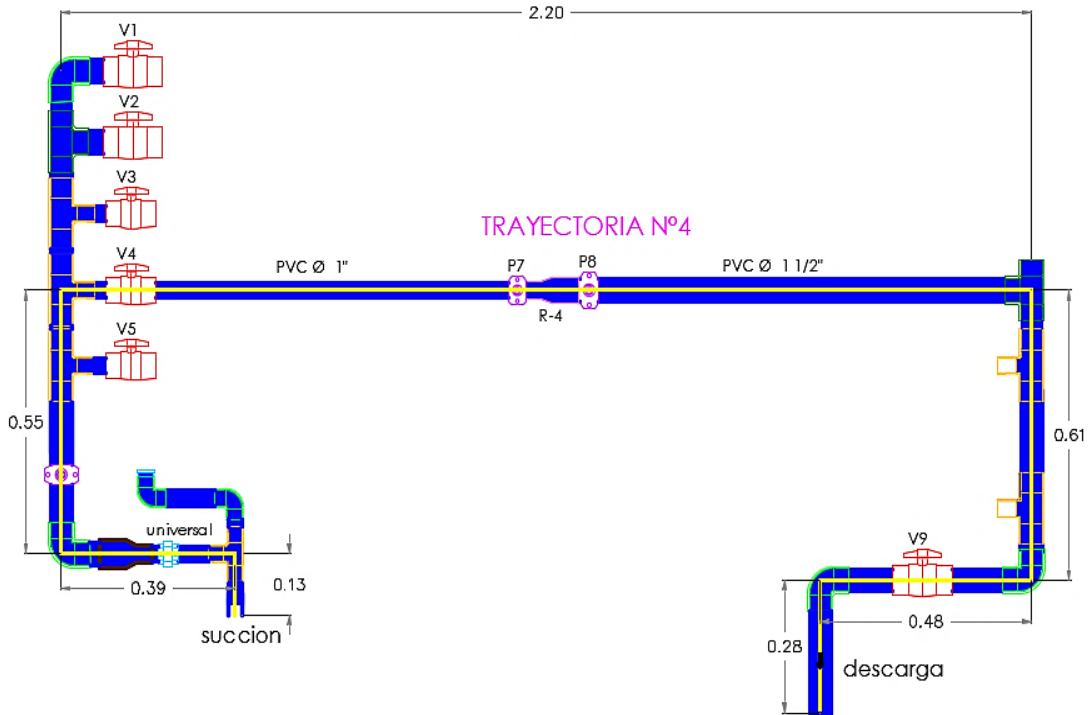


**Figura N° 24.** Curva de operación del sistema - trayectoria 3.

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.1.5.4 Trayectoria 4.

En esta trayectoria el fluido circulara como se indican en el *Figura N°25* teniendo en cuenta que, para el análisis de esta trayectoria, el fluido en este caso el agua esta presurizado en todas las demás trayectorias.



**Figura N°25. Trayectoria 4 del sistema.**  
**Fuente:** Elaboración Propia.

El procedimiento de cálculo de esta trayectoria es muy similar al análisis de la *trayectoria N°2* con la única diferencia que en este tramo es una ampliación gradual de tubería de PVC de Ø1" a Ø1½" en el centro de la trayectoria.

Analizamos la pérdida de carga en esta ampliación de sección con los mismos procedimientos y tablas (*Anexo N°7* y *Anexo N°8*).

En la siguiente *Tabla N°15*. Indica un resumen de las pérdidas de carga por fricción (**hf**), pérdidas de carga por accesorios (**hm**) y altura dinámica total (**TDH**) obtenidas para diferentes caudales de bombeo, siguiendo el análisis de la trayectoria 4.

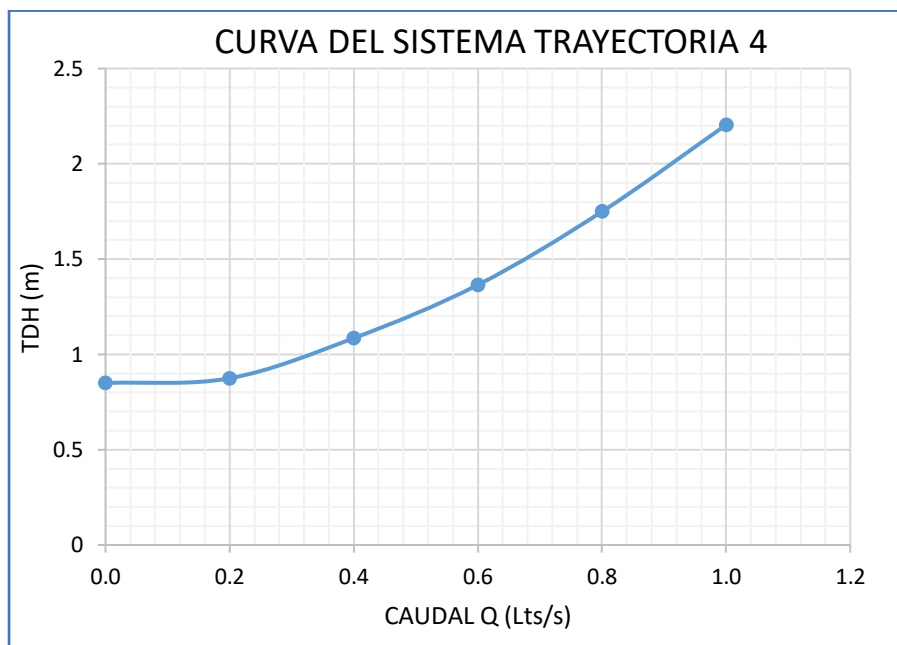


**Tabla N°15.** Cálculo de la curva de operación del sistema - trayectoria 4

<b>Q (Lt/S)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Hm (m)</b>	<b>TDH (m)</b>
0.0				0.85
0.2		0.02	0.01	0.87
0.4	0.85	0.07	0.16	1.09
0.6		0.15	0.37	1.36
0.8		0.24	0.66	1.75
1.0		0.33	1.03	2.20

**Fuente:** Elaboración Propia.

Con la tabla anterior se obtiene la curva del sistema para la trayectoria 4.

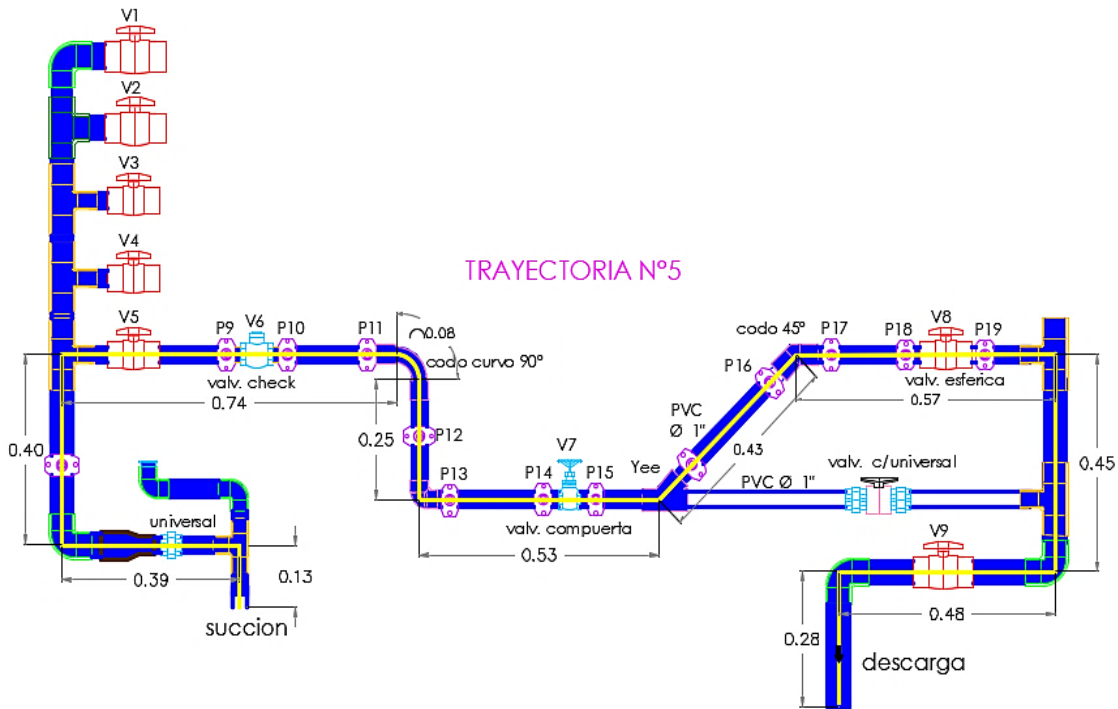


**Figura N° 26.** Curva de operación del sistema - trayectoria 4.

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.1.5.5 Trayectoria 5.

En esta trayectoria el fluido circulara como se indican en el **Figura N° 27** teniendo en cuenta que, para el análisis de esta trayectoria, el fluido en este caso el agua esta presurizado en todas las demás trayectorias.



**Figura N°27. Trayectoria 5 del sistema.**

**Fuente:** Elaboración Propia.

El procedimiento de cálculo de esta trayectoria es similar al análisis de las demás trayectorias con la diferencia que en este tramo se calculó las pérdidas de carga de varios accesorios que ya describimos anteriormente en el **Capítulo 1.3.1 – trayectoria 5**. que están dentro del tramo de análisis a diferencia de las demás trayectorias que los accesorios están en el recorrido habitual de bombeo y descarga. Analizamos la pérdida de carga para este tramo de accesorios con los mismos procedimientos y tablas (**Anexo N°9 y Anexo N°10**).

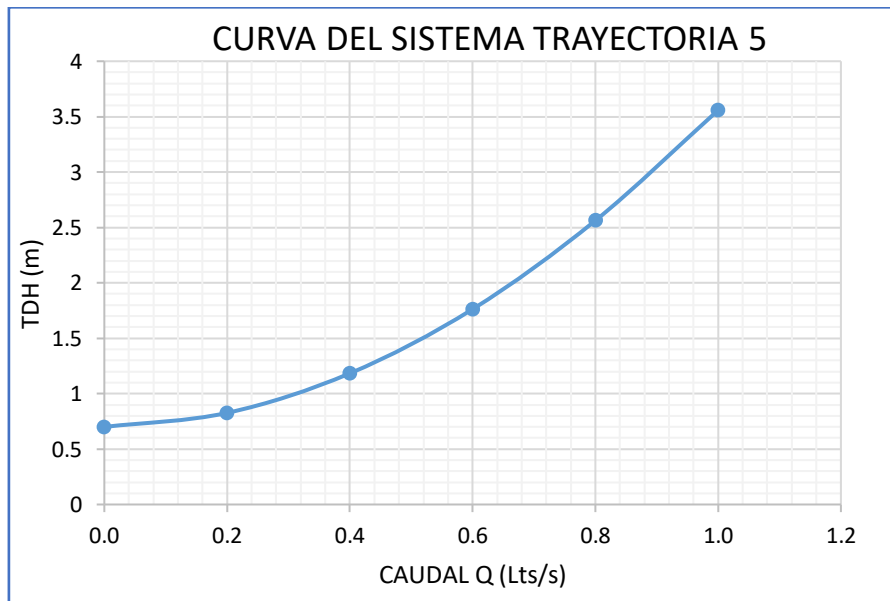
En la siguiente **Tabla N°16**. Indica un resumen de las pérdidas de carga por fricción (**hf**), pérdidas de carga por accesorios (**hm**) y altura dinámica total (**TDH**) obtenidas para diferentes caudales de bombeo, siguiendo el análisis de la trayectoria 4.

**Tabla N°16.** Cálculo de la curva de operación del sistema - trayectoria 5

<b>Q (Lt/S)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>hf (m)</b>	<b>Hm (m)</b>	<b>TDH (m)</b>
0.0				0.70
0.2		0.04	0.09	0.83
0.4	0.7	0.12	0.36	1.18
0.6		0.25	0.81	1.76
0.8		0.42	1.44	2.56
1.0		0.61	2.25	3.56

**Fuente:** Elaboración Propia.

Con la tabla anterior se obtiene la curva del sistema para la trayectoria 5.



**Figura N° 28** Curva de operación del sistema - trayectoria 5.

**Fuente:** Elaboración Propia.

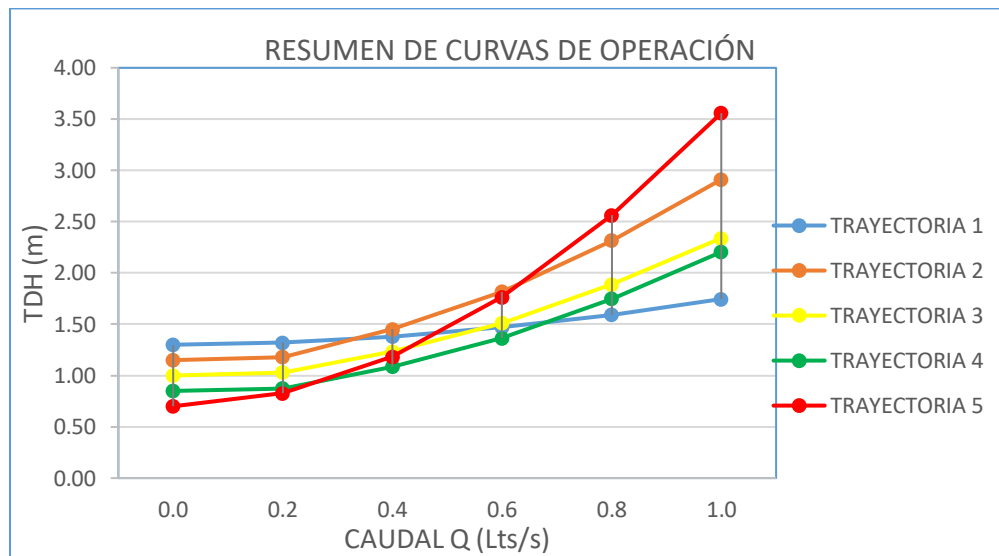
#### 4.1.6 Resumen de curvas de operación del sistema.

A continuación, se presenta un resumen de curvas de operación del sistema hidráulico para las diferentes trayectorias de flujo.

**Tabla N°17.** Resumen de curvas de operación del sistema

Q (Lt/S )	TRAYECTORIA 1	TRAYECTORIA 2	TRAYECTORIA 3	TRAYECTORIA 4	TRAYECTORIA 5
0.0	1.30	1.15	1.00	0.85	0.70
0.2	1.32	1.18	1.03	0.87	0.83
0.4	1.38	1.45	1.23	1.09	1.18
0.6	1.47	1.82	1.51	1.36	1.76
0.8	1.59	2.32	1.89	1.74	2.55
1.0	1.74	2.90	2.33	2.20	3.54

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura N°29.** Resumen de curva de operación del sistema.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Como podemos observar el resumen de curvas de operación, siguiendo independientemente las diferentes trayectorias del fluido, la curva del sistema hidráulico conformado por la trayectoria con accesorios y presenta la mayor pérdida de energía, por lo tanto, la trayectoria 5 será el caso más crítico con el cual se debe seleccionar la potencia de la bomba.

#### 4.1.7 Selección de la Bomba.

Seleccionaremos la bomba con el cálculo de potencia que haremos a continuación usando el resumen de la curva de operación.

##### 4.1.7.1 Cálculo de la Potencia de la Bomba.

Para la determinación de la potencia transmitida por la bomba al fluido, se aplicará la siguiente ecuación.

$$P_b = \frac{Q * TDH * \gamma}{750 * \eta}$$

Dónde:  $P_b$  = Potencia a la entrada de la bomba (HP)

$Q$  = Capacidad o caudal de la bomba (lt/s).

$TDH$  = Altura dinámica total de bombeo (m).

$\gamma$  = Peso específico del fluido (kN/m<sup>3</sup>).

750 = Coeficiente para transformación de unidades.

$\eta$  = Eficiencia del conjunto motor bomba, para el caso presente todos sistemas hidráulicos tomaremos el 60%, ya que está dentro del rango recomendado (60-90%) por la referencia bibliográfica 2.

El caudal máximo que utilizaremos para el bombeo será 1.0 lt/s y su correspondiente altura dinámica total es de 3.54m (trayectoria 5), que es el caso donde se tiene las mayores pérdidas de energía.

Entonces la potencia de la bomba necesaria para hacer circular el agua siguiendo la trayectoria 5 es de:

$$P_b = \frac{1.0(\text{lt/s}) * 3.54(\text{m}) * 9.803(\text{kN/m}^3)}{750 * 0.6}$$

$$P_b = 0.077hp$$

Por lo tanto, será suficiente para la circulación del fluido una bomba de 0.5hp.

## 4.2 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

### 4.2.1 Introducción

El desarrollo de la construcción del banco de pérdidas de carga para flujo presurizado está de acuerdo al diseño elaborado de 4 partes:

- Estructura del banco hidráulico.
- Tablero provisto de sistemas de tuberías y accesorios.
- Accesorios para la bomba y la recirculación del agua.
- Instalación eléctrica de empalme a la bomba.

En el ensamblaje de estas 4 partes nos permitirá realizar los ensayos de pérdidas de carga por fricción en tuberías y por accesorios.

La construcción del banco de pérdidas fue realizada con materiales que se disponen en el mercado.

La tesis: “**DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE PVC Y ACCESORIOS DE DIÁMETROS DE 1” Y 1 ½” MEDIANTE UN BANCO DE PRUEBAS EN FLUJO PRESURIZADO**”, cabe recalcar como su propio nombre lo dice se ha hecho uso en el proceso constructivo solo de tubería de diámetro de 1” Y 1 ½” .

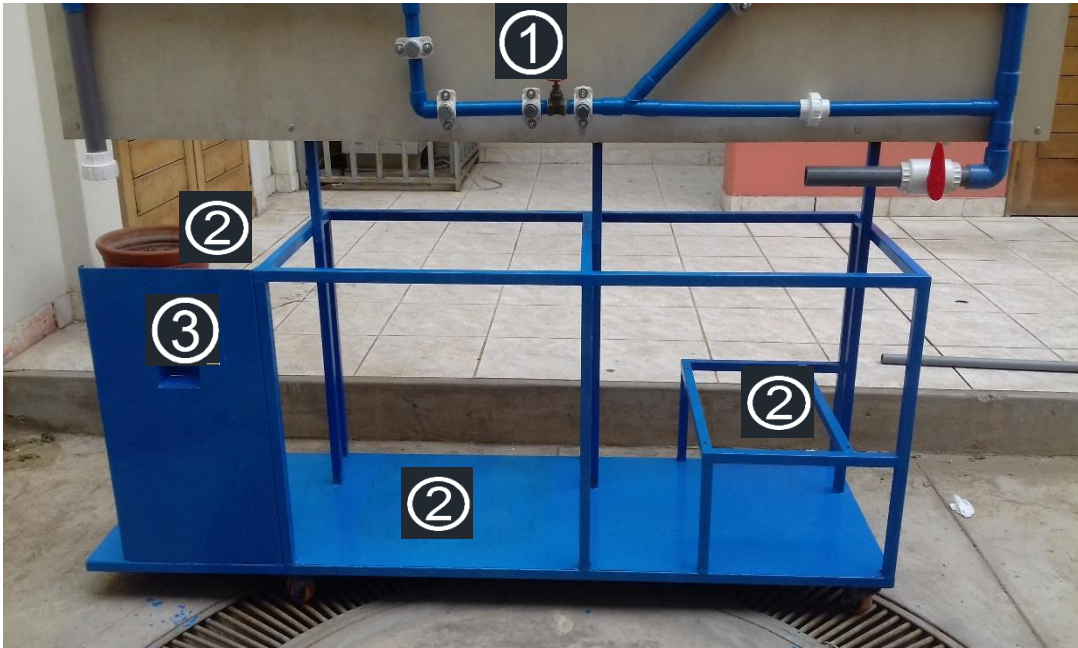
**Tabla N°18.** Propiedades de la Tubería.

<b>TAMAÑO NOMINAL DE LA TUBERÍA</b>	<b>DIÁMETRO EXTERIOR (mm)</b>	<b>DIÁMETRO INTERIOR (mm)</b>	<b>RUGOSIDAD (m)</b>
1” PVC	32.00	28.00	0.0000015
1 ½” PVC	48.00	43.0	0.0000015

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.2.2 Estructura del Banco Hidráulico

El banco hidráulico fue diseñado para la incorporación de los siguientes elementos:



**Figura N°30. Estructura del Banco Hidráulico.**

**Fuente:** Elaboración Propia.

1. Tablero provisto de sistemas de tuberías y accesorios.
  - ✓ Triplay de 2.40m x 1.20m.
2. Accesorios para la Bomba y la recirculación de agua.
  - ✓ Tanque de almacenamiento de 110L.
  - ✓ Tanque de aforo graduado de 50L.
  - ✓ Bomba de ½ Hp.
3. Instalación eléctrica de empalme a la bomba.
  - ✓ Caja llave térmica de 16Amp.

##### **a. Materiales en la Estructura del Banco Hidráulico**

A continuación, se detalla los materiales utilizados en la construcción del banco hidráulico.

- ✓ Plancha de Tol 2mm.
- ✓ Pintura azul eléctrico y blanco tipo esmalte.
- ✓ Tubo cuadrado de e=1.5mm.

- ✓ Soldadura.
- ✓ Rueda giratoria de caucho.

## **b. Herramientas en la Estructura de Banco Hidráulico**

Las herramientas y equipos necesarios para su construcción son los siguientes:

- ✓ Cizalla para cortar tol.
- ✓ Compresor para pintar.
- ✓ Pistola de soplete para pintar.
- ✓ Amoladora de esmeril.
- ✓ Taladro.
- ✓ Máquina de Soldar.
- ✓ Cepillo metálico.
- ✓ Sierra de arco.
- ✓ Herramienta menor (martillo, alicate, prensas, destornillador, etc.).

## **c. Proceso Constructivo en la Estructura de Banco Hidráulico**

A continuación, se explica brevemente el proceso constructivo de estructura del banco hidráulico.

Con los planos y detalles elaborados en la etapa de diseño, se procedió a cortar los tubos cuadrados, de acuerdo a lo señalado en la misma.

La plancha de tol de 2mm también se corta, de acuerdo a las dimensiones indicadas en los planos para posteriormente ser soldada.

Se unieron los perfiles cortados con puntos de suelda, esto en el caso de que se produjera un cambio en el diseño o se detectara algún problema en la construcción.

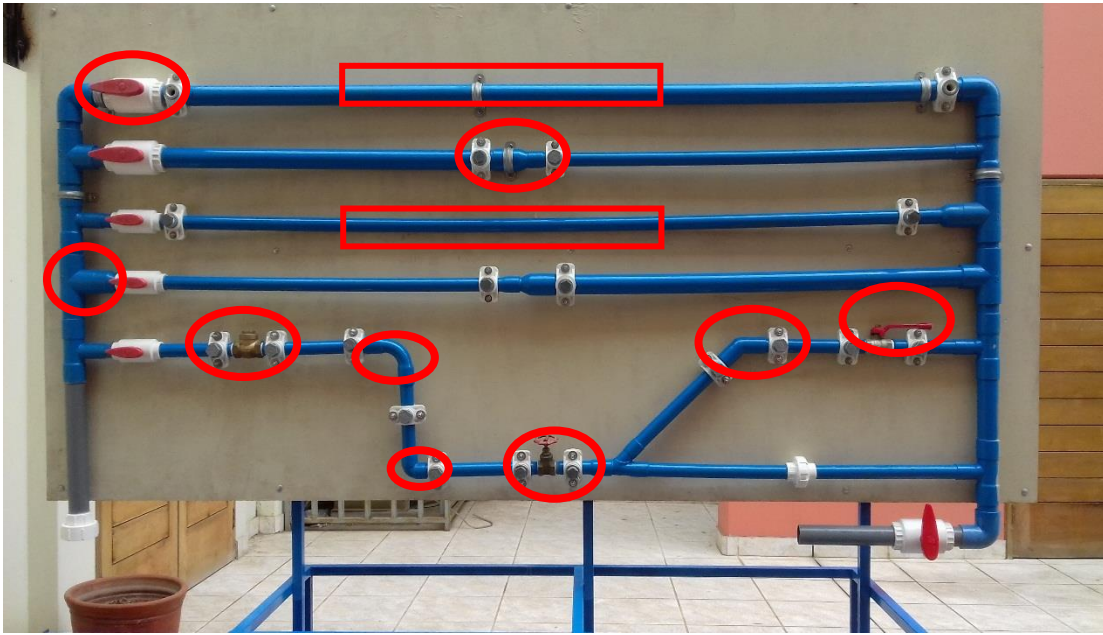
Una vez ajustado los últimos detalles se procede a soldar la estructura de forma definitiva, al mismo tiempo se acoplamos la plancha de tol de 2mm, de tal manera que la estructura quede rígida.

Ya obtenida la estructura, procedemos a soldar las ruedas giratorias de caucho para que así tenga un desplazamiento uniforme.

Se pulen las soldaduras de las estructuras para dar un mejor acabado al banco hidráulico y se procede a pintar la estructura, la cual es aplicada con compresor.



### 4.2.3 Tablero Provisto de Sistema de Tuberías y Accesorios



**Figura N°31. Tablero Provisto de Sistema de Tuberías y Accesorios.**

**Fuente:** Elaboración Propia.

El tablero de pruebas consta de los siguientes elementos:

- Tuberías de PVC de 1 1/2" y 1".
- Codo 90° de PVC de 1 1/2" y 1".
- Codo curvo de 90° de PVC DE 1".
- Codo de 45° de PVC de 1".
- Universal de PVC DE 1".
- YEE de PVC DE 1".
- TEE de PVC de 1 1/2" y 1".
- Válvula de bola de PVC de 1 1/2" y 1".
- Válvula compuerta PVC de 1".
- Válvula Check de 1".
- Válvula Check Canastillas de 1".
- Válvula de Bola con pitón 1/4".
- Manguera Transparente de 1/4" y 3/4".

## **a. Materiales Utilizados en la Construcción del Tablero de Pruebas**

En la construcción del tablero de pruebas, además de los materiales que se indican anteriormente, se utilizaron los siguientes:

- Abrazadera acero inoxidable.
- Bushing reductor HG 1/2" x 1/4".
- Collar derivación de 1 1/2" y 1" salida 1/2".
- Pitón de bronce hembra 1/4".
- Teflón 1/2" x 10m.
- Oatey 946ml.
- Silicona.
- Triplay de 2.40m x 1.20m.
- Pernos de 1" y 4".
- Escuadra metálica de 90°.

## **b. Herramientas para la Construcción del Tablero de Pruebas.**

A continuación, se detalla cada uno de los materiales utilizados en la construcción del tablero de pruebas.

- Conjunto de llave inglesa.
- Sierra de arco.
- Juego sierra copa.
- Wincha 7m.
- Herramienta menor (martillo, alicate, prensas, desatornillador, etc.).

## **c. Proceso de constructivo del tablero de pruebas.**

A continuación se explicara brevemente el proceso constructivo aplicado para el tablero de pruebas.

Con el respectivo plano acotado hemos procedido a cortar todos los tubos de los distintos diámetros correspondientes y las distancias establecidas.

Comenzaremos por pegar (OATEY) todos los tubos con los accesorios (codos, tee, yee, adaptador, etc.) correspondientes a sus diámetros.

En los casos donde encontremos tubos y válvulas roscadas se hará uso de teflón de manera que no haya fuga de agua, por el contrario ayude con el acoplamiento para la alta presión.

Ante la eventual posibilidad de que se produzca filtraciones (fugas) de agua, para los acoples de tuberías con los diferentes accesorios se utilizará sellantes como silicona y/o otro material.

Las válvulas de globo y de retención (Check) se debe colocar tomando en cuenta la dirección en que circulara el agua.

Se harán todos los orificios (juego de copas) donde calcularemos las pérdidas tal como lo indica en el plano.

Colocaremos los collares derivación de 1 ½" y 1" salida 1/2", estos collares deben estar bien anclaros en los tornillos seguido colocamos su bushing reductor de HG ½" x ¼" del mismo modo su respectivo pitón ¼".

Dado que nuestra presión es baja hemos tenido la idea de realizar un manómetro de columna de agua, esto se ha ejecutado con la ayuda de dos escuadras de 90° colocada de manera vertical a una distancia de 1.10m antes de su colocación se ha realizado un orificio en cada escuadra de manera que pueda colocarse los pitones para así colocar la manguera Transparente de ¼" y ¾".

Procedemos a fijar nuestros circuitos de tuberías al triplay de la cual haremos uso de las abrazaderas inoxidable.

Por último lo anclaremos a la estructura de banco hidráulico junto al triplay abastecido de las tuberías y accesorios mediante pernos de tal forma que estos estén bien sujetos.

#### 4.2.4 Accesorios para la Bomba y la Recirculación de Agua



**Figura N°32. Accesorio de almacenamiento**

**Fuente:** Elaboración Propia.

##### **a. Materiales para la Bomba y Recirculación del Agua**

A continuación, se detalla los materiales utilizados:

- ✓ Unión universal de 1" de PVC sin rosca.
- ✓ Codos de PVC DE 1".
- ✓ Válvula de globo de 1 ½".
- ✓ Tapón de 1".
- ✓ Tee de PVC de 1".
- ✓ Adaptadores de 1" con rosca.
- ✓ Niples de 1 ½".
- ✓ Tanque de almacenamiento de 110L.
- ✓ Tanque de aforo graduado de 50L.
- ✓ Bomba de ½ Hp.

##### **b. Herramientas para la Bomba y Recirculación del Agua**

Las herramientas y equipos necesarios para su construcción son los siguientes:

- ✓ Conjunto de llave inglesas.
- ✓ Juego sierra copa.
- ✓ Sierra de arco.
- ✓ Herramienta menor (martillo, alicate, prensas, destornillador, etc.).

### c. Proceso constructivo para la Bomba y Recirculación del Agua

Con los planos y detalles elaborados en la etapa de diseño, se procedió a cortar los tubos de PVC para la instalación de la bomba y la recirculación del agua.

En la instalación de la bomba se ha tomado en cuenta dos aspectos fundamentales la succión e impulsión del agua de tal manera que los tendremos bien en cuenta

En la succión del agua colocaremos la válvula check con canastilla de manera que está no permita su regreso al tanque de almacenamiento.

Respecto a la impulsión siempre debemos colocar un tubo de reserva de penetración de agua de tal forma que este nos sirva como purga para la respectiva bomba dado que pueda estar absorbiendo aire.

Respecto al tanque de almacenamiento y de aforo estas han sido unidas a los tubos mediante niples que lo puedan dar sostenimiento y no filtración a su alrededor.

Esta evacuación del agua del tanque de aforo hacia el tanque de almacenamiento esta contralada mediante una válvula de 1 ½" de PVC de tal forma que podamos calcular el caudal de flujo de agua y al mismo tiempo la inmediata liberación del flujo de agua.



**Figura N°33. Medidor de Caudal mediante Válvula de Bola**

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.2.5 Instalación Eléctrica de Empalme a la Bomba



**Figura N°34. Instalación Eléctrica de Empalme a la Bomba**  
**Fuente:** Elaboración Propia.

##### **a. Materiales para la instalación eléctrica de empalme a la bomba**

A continuación, se detalla los materiales utilizados:

- ✓ Cinta adhesiva.
- ✓ Caja y llave térmica.

##### **b. Herramienta para la instalación eléctrica de empalme a la bomba**

Las herramientas y equipos necesarios para su construcción son los siguientes:

- ✓ Cutter.

##### **c. Proceso constructivo para la instalación eléctrica de empalme a la bomba**

La bomba cuenta con tres mechas para lo cual solo hemos tomado 2 la línea y el neutro estos han sido pelados con el cutter, esto ha sido conectado a la llave termo magnética de 16 Amp. Para luego dejar un enchufe para conectar al tomacorriente.

## **4.3 ENSAYO EN EL BANCO DE PRUEBAS**

### **4.3.1 Introducción.**

En los ensayos de laboratorio se va a evaluar las pérdidas de energía o pérdidas de carga que ocasionan un flujo al recorrer a través de un tubo (rozamiento o fricción) y las pérdidas de carga que sufre el flujo al pasar por válvulas, codos, reducciones, etc. (accesorios).

### **4.3.2 Descripción del Equipo de Pruebas.**

El equipo consta de 5 trayectorias de tuberías de PVC.

1. Un sistema de pérdida de carga por fricción en tubería de PVC de diámetro nominal 1 1/2".
2. Un sistema de pérdida de carga por contracción gradual en tuberías de PVC de diámetro de entrada 1 1/2" y de salida 1".
3. Un sistema de pérdida de carga por fricción en tubería de PVC de diámetro nominal 1".
4. Un sistema de pérdida de carga por expansión gradual en tuberías de PVC de diámetro de entrada 1" y de salida 1 1/2".
5. Pérdidas de carga en los siguientes accesorios:
  - Válvula de bola de media vuelta
  - Válvula de retención o check
  - Codo curvo 90°
  - Codo estándar de 90°
  - Válvula de compuerta.
  - Codo estándar de 45°
  - Válvula de globo

Cada accesorio se colocó entre dos tomas de presión que van conectados a un manómetro diferencial de agua que son para medir las alturas de columna de agua.

### 4.3.3 Ensayo 1. Pérdidas de Carga por Fricción en Tuberías.

#### a. Objetivos.

- Determinar la pérdida de carga por fricción en dos trayectorias de tuberías de PVC de  $\varnothing 1\frac{1}{2}$ " y  $\varnothing 1$ ", utilizando un manómetro diferencial de agua.
- Comprobar de forma teórica y experimental la fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas por fricción.

#### b. Descripción del Ensayo.

- a. Abrir todas las válvulas de la trayectoria a realizar el ensayo.
- b. Encender la bomba para que circule el fluido.
- c. Conectar las mangueras del manómetro de columna de agua en las tomas de presión de la trayectoria a realizar el ensayo. Y abrir las llaves de las tomas de presión.
- d. Purgar el aire de las mangueras cerrando la válvula final de descarga de agua, así aumentara la presión y empujara el aire que está en las manqueras conectadas al manómetro.
- e. Cerrar la llave de paso de agua que conecta a los tanques para calcular el caudal.
- f. Con la ayuda de un cronometro medir el tiempo de llenado del tanque graduado en litros. (se recomienda calcular el tiempo desde los 20 litros hasta los 40 litros). El tiempo se medirá en segundos.
- g. Tomar la altura de cada menisco del manómetro para luego calcular la diferencia de altura  $\Delta h$  en centímetros.
- h. Aplicamos el mismo procedimiento para las demás trayectorias.



### c. Cálculo de resultados

- a. Medir la longitud  $L$  (m) entre las dos tomas de presión en las trayectorias 1 y 3.
- b. De la **tabla N°8** determinamos el diámetro de tuberías  $D_i$ .
- c. Determinamos la velocidad con la fórmula  $V=Q/A$  los datos obtenidos en el ensayo.
- d. Determinamos las pérdidas de carga, que está en función de la diferencia de altura del manómetro  $\Delta h = h_f = h_1 - h_2$ .
- e. Calculamos la viscosidad cinemática para con una temperatura de agua promedio de  $10^\circ\text{C}$  con la **ecuación 7**.
- f. Calculamos el número de Reynolds (Re) con la **ecuación 19**
- g. Determinamos la rugosidad absoluta  $\varepsilon$  de la **tabla N°2**.
- h. calculamos la rugosidad relativa ( $\varepsilon/D_i$ ).
- i. Calculamos el coeficiente de fricción despejando la fórmula de Darcy-Weisbach. de la **ecuación 20**.

$$f = h_f \cdot \frac{D_i}{L} \cdot \frac{2g}{V^2}$$

#### 4.3.4 Ensayo 2. Pérdidas de Carga en Accesorios.

##### a. Objetivos.

- Determinar las pérdidas de carga que sufre el flujo al pasar por válvulas, codos, reducciones, etc. (accesorios).
- Determinar experimentalmente el coeficiente de resistencia “ $k$ ” y longitud equivalente  $Le/Di$  para los distintos tipos de accesorios o válvulas.

##### b. Descripción del ensayo.

- a. Abrir todas las válvulas de la trayectoria 5. (*muy importante*)
- b. Encender la bomba para que circule el fluido.
- c. Conectar las mangueras del manómetro de columna de agua en las tomas de presión que se encuentran al inicio y al final de cada accesorio de la trayectoria 5. Y abrir las llaves de las tomas de presión
- d. Purgar el aire de las mangueras cerrando la válvula final de descarga de agua, así aumentara la presión y empujara el aire que está en las manqueras conectadas al manómetro.
- e. Cerrar la llave de paso de agua que conecta a los tanques para calcular el caudal.
- f. Con la ayuda de un cronometro medir el tiempo de llenado del tanque graduado en litros. (se recomienda calcular el tiempo desde los 20 litros hasta los 40 litros). El tiempo se medirá en segundos.
- g. Tomar la altura de cada menisco del manómetro para luego calcular la diferencia de altura  $\Delta h$  en centímetros.

## a. Cálculo de resultados

- a. De la *tabla N°8* determinamos el diámetro de tuberías  $D_i$ .
- b. Determinamos la velocidad con la fórmula  $V=Q/A$  los datos obtenidos en el ensayo.
- c. Determinamos las pérdidas de carga, que está en función de la diferencia de altura del manómetro  $\Delta h = h_m = h_1 - h_2$ .
- d. Calculamos el coeficiente de resistencia  $K$  despejando la ecuación fundamental de la pérdida de carga por accesorios. *Ecuación 26.*

$$k = \frac{h_m \cdot 2g}{v^2}$$

- e. Calculamos la viscosidad cinemática para con una temperatura de agua promedio de  $10^\circ\text{C}$  con la *Ecuación 7.*
- f. Calculamos el número de Reynolds con la *Ecuación 19.*
- g. Determinamos la rugosidad absoluta  $\epsilon$  de la *Tabla N°2.*
- h. calculamos la rugosidad relativa ( $\epsilon/D_i$ ).
- i. Calculamos el coeficiente de fricción  $f$  con la ayuda del diagrama de Moody, o la *Ecuación 24* para flujo turbulento.

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{\epsilon}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

- j. Determinamos la longitud equivalente  $Le/D$  despejando la fórmula de Darcy-Weisbach. *Ecuación 20.*

$$h_f = f \cdot \frac{Le.}{D_i} \cdot \frac{v^2}{2g} = K \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{Le.}{D_i} = \frac{K}{f}$$

**Tabla N° 19. Resultados de pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC.**

TRAYECT.	L (m)	D (mm)	V (lt)	$\Delta T$ (S)	Q (Lts/s)	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	V (m/s)	presiones (cm)		$\Delta h = hf$ (cm)	Re	$\epsilon / Di$	f	
								h1	h2				experim.	teórico.
1	1.83	43.0	20	28.40	0.704	0.0000013	0.482	104.60	103.10	1.50	15891	0.00003	0.029	0.027
3	1.78	28.0	20	28.22	0.709	0.0000013	1.151	80.40	69.20	11.20	24732	0.00005	0.026	0.025

**Nota.** Comparación del coeficiente de fricción teórico y experimental para ensayos realizados con una electrobomba de 0.5hp, y un caudal promedio de 0.71 (Lts/s). **Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 20. Resultados de pérdidas de carga por accesorios.**

TRAYEC.	ACCESORIOS	Di (mm)	V (lt)	$\Delta T$ (S)	Q (Lts/s)	$v$ (m/s)	presiones (cm)		$\Delta h = h_m$ (cm)	$K_{exp.}$	Re	$\epsilon / Di$	f teórico	f	
							h1	h2						(Le/Di) experim.	(Le/Di) teórico
2	contracción gradual	43.0	20.0	28.50	0.702	0.483	80.5	69.1	11.40	9.578	15946	0.00003	0.027		
4	ampliación gradual	28.0	20.0	28.25	0.708	1.150	8.2	11.1	-2.90	-0.430	24706	0.00005	0.025		
5	Válvula check	26.0	20.0	28.03	0.714	1.344	47.4	25.8	21.60	2.346	26815	0.00006	0.024	97	50
5	codo curvo 90°	26.0	20.0	28.03	0.714	1.344	25.7	20.5	5.20	0.565	26815	0.00006	0.024	23	20
5	codo estándar 90°	26.0	20.0	28.03	0.714	1.344	27.0	11.7	15.30	1.662	26815	0.00006	0.024	69	30
5	válvula compuerta	26.0	20.0	28.03	0.714	1.344	23.1	4.1	19.00	2.064	26815	0.00006	0.024	85	10
5	codo de 45	26.0	20.0	28.03	0.714	1.344	46.3	39.4	6.90	0.750	26815	0.00006	0.024	31	16
5	válvula esférica	26.0	20.0	28.03	0.714	1.344	40.1	32.8	7.30	0.793	26815	0.00006	0.024	33	150

**Nota.** Comparación de la longitud equivalente  $Le/Di$  teórico y experimental para ensayos realizados con una electrobomba de 0.5hp, y un caudal promedio de 0.71 (Lts/s), **Fuente:** elaboración propia.

**Tabla N° 21. Resultados de pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC.**

TRAYECT.	L (m)	D (mm)	V (lt)	$\Delta T$ (S)	Q (Lts/s)	$v$ ( $m^2/s$ ).	v (m/s)	presiones (cm)		$\Delta h = hf$ (cm)	Re	$\epsilon / Di$	f	f
								h1	h2				experim.	teórico.
1	1.83	43.0	20	14.01	1.43	0.0000013	0.9830	48.00	42.70	5.30	32439	0.00003	0.025	0.023
3	1.78	28.0	20	13.98	1.43	0.0000013	2.3234	47.90	12.30	35.60	49924	0.00005	0.020	0.021

**Nota.** Comparación del coeficiente de fricción teórico y experimental para ensayos realizados con una electrobomba de 1.0hp, y un caudal promedio de 1.43 (Lts/s). **Fuente:** elaboración propia

**Tabla N° 22. Resultados de pérdidas de carga por accesorios.**

TRAYEC.	ACCESORIOS.	Di (mm)	V (lt)	$\Delta T$ (S)	Q (Lt/s)	v (m/s)	presiones(cm)		$\Delta h=hm$ (cm)	$K_{exp}$ .	Re	$\epsilon / Di$	f	Le/Di	Le/Di
							h1	h2					teórico.	experim.	teórico.
2	contracción gradual	43.0	20.0	13.75	1.455	1.002	49.8	2.3	47.50	9.29	33052	0.00003	0.023		
4	ampliación gradual	28.0	20.0	14.20	1.408	2.287	15.5	29.2	-13.70	-0.51	49150	0.00005	0.021		
5	Válvula check	26.0	20.0	14.04	1.425	2.683	30.5	17.3	13.20	0.36	53534	0.00006	0.021	17	50
5	codo curvo 90°	26.0	20.0	14.04	1.425	2.683	31.2	26.7	4.50	0.12	53534	0.00006	0.021	6	20
5	codo estándar 90°	26.0	20.0	14.04	1.425	2.683	30.4	19.5	10.90	0.30	53534	0.00006	0.021	14	30
5	Válvula compuerta	26.0	20.0	14.04	1.425	2.683	18.1	6.0	12.10	0.33	53534	0.00006	0.021	16	10
5	codo de 45	26.0	20.0	14.04	1.425	2.683	10.5	6.1	4.40	0.12	53534	0.00006	0.021	6	16
5	válvula esférica	26.0	20.0	14.04	1.425	2.683	24.6	10.4	14.20	0.39	53534	0.00006	0.021	19	150

**Nota.** Comparación de la longitud equivalente Le/Di teórico y experimental para ensayos realizados con una electrobomba de 1.0hp, y un caudal promedio de 1.43 (Lts/s). **Fuente:** elaboración propia

## 4.4 ANÁLISIS DE COSTOS

### 4.4.1 Introducción

En este capítulo se detallarán los costos que implica, la construcción y el ensamblaje del banco de pruebas, con esto se determinará los recursos económicos utilizados. Los costos analizados son:

- ✓ Costos Directos.
- ✓ Costos Indirectos.

### 4.4.2 Costos Directos.

Son aquellos costos que están relacionados directamente con la fabricación o construcción como son: materia prima, herramientas, mano de obra directa, transporte, entre otros.

#### COSTO DE MATERIALES UTILIZADOS

N°	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
1	Triplay de 2.40 x 1.20 mts.	Und.	1	75.00	75.00
2	Válvula Compuerta Bronce 1''	Und.	1	27.00	27.00
3	Válvula Check Bronce 1''	Und.	1	42.90	42.90
4	Válvula de Bola PVC 1 ½ ''	Und.	4	21.00	84.00
5	Válvula de Bola PVC Roscada 1 ½ ''	Und.	1	30.00	30.00
6	Válvula de Bola PVC 1 ''	Und.	3	15.50	46.50
7	Válvula de Esférica Bronce 1 ''	Und.	1	38.90	38.90
8	Reducción PVC 1 ½ '' a 1''	Und.	3	2.80	8.40
9	Codo 90° PVC 1''	Und.	5	1.50	7.50
10	Codo 90° PVC 1 ½''	Und.	5	4.00	20.00
11	Tee PVC 1 ½'' a 1''	Und.	7	3.00	21.00
12	Tee PVC 1 ½''	Und.	2	4.00	8.00
13	Tee PVC 1''	Und.	1	2.80	2.80
14	Abrazadera PVC 1'' a ½''	Und.	17	4.00	68.00
15	Abrazadera PVC 1 ½ '' a ½''	Und.	5	4.50	22.50
16	Curva PVC 90° 1''	Und.	1	3.10	3.10

17	Codo PVC 45° 1''	Und.	1	2.35	2.35
18	Tubo PVC 1''	Und.	2	15.00	30.00
19	Tubo PVC 1 ½ ''	Und.	3	16.20	48.60
20	Arco de Sierra	Und.	1	15.00	15.00
21	Pegamento 1/16 GLN - OATEY	Und.	3	9.80	29.40
22	Niple 1'' x 1mt	Und.	2	13.30	26.60
23	Lija	Und.	2	2.10	4.20
24	Teflón	Und.	4	1.50	6.00
25	Unión universal 1''	Und.	2	6.90	13.80
26	Esmalte Blanco	GLN	1	10.00	10.00
27	Esmalte Azul Eléctrico	GLN	1	10.00	10.00
28	Thiner Acrílico 1L.	Und.	4	8.00	32.00
29	Tacho Pachacutec 150L. Plástico	Und.	1	73.00	73.00
30	Hermético Cuadrado Alto 65L.	Und.	1	47.00	47.00
31	Broca ¼ ''	Und.	1	4.00	4.00
32	Llave de Paso PVC DE ¾ '' Rosca	Und.	2	5.00	10.00
33	Manguera Transparente ¾ ''	Mt.	12	1.50	18.00
34	Par Tornillos	Und.	30	0.30	9.00
35	Agarraderas FG 1 ½'' y 1''	Und.	15	0.80	12.00
36	Manómetro	Und.	3	25.95	77.85
37	Tapon del '' Macho	Und.	1	0.50	0.50
38	Adaptador 1''	Und.	10	1.00	10.00
39	Caja para Llave Termo magnética	Und.	1	5.00	5.00
40	Brocha 3''	Und.	2	4.50	9.00
41	Conector ¼ ''	Und.	31	4.00	124.00
42	Yee 1''	Und.	1	2.00	2.00
43	Electro bomba ½ HP.	Und.	1	160.00	160.00
44	Llave Termo magnética de 16 Amp.	Und.	1	25.00	25.00
45	Ruedas movibles de goma	Und.	4	15.00	60.00
46	Escuadra en L 2'' x2''	Und.	2	5.00	10.00

47	Pernos de 3''	Und.	10	0.60	6.00
48	Bridas de 1 ½''	Und	2	4.00	8.00
Total					1404.00

#### **COSTOS DE MANO DE OBRA E INSTALACION**

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
1	Anclaje del Tablero	hora	1	35.00	35.00
2	Soldadora Eléctrica 200 <sup>a</sup>	Día	4	55.00	220.00
3	Amoladora	Día	2	15.00	30.00
4	Compresor (pintura)	hora	4	10.00	40.00
5	Cortado y Empalme de la tubería	Día	2	40	80.00
Total					405.00

#### **4.4.3 Costos Indirectos.**

Son los costos que no intervienen directamente en la construcción: costos de insumos, diseño e ingeniería y mano de obra indirecta.

#### **COSTOS INDIRECTOS**

N°	Descripción	Precio Total S/
1	Diseño e Ingeniería	500.00
2	Transporte y varios	350.00
Total		850.00

#### **4.4.4 Costos Total.**

El costo total resulta de la suma de los costos directos y los costos indirectos. En la tabla costo total se detalla el costo total del Banco de Pruebas.

#### **COSTO TOTAL**

N°	Descripción	Precio Total S/
1	Costo de material	1404.00
2	Costo de mano de obra	405.00
3	Costo Indirecto	850.00
<b>Total</b>		<b>2659.00</b>



A través de un análisis económico se puede determinar la inversión que se necesitó en la construcción del equipo, dando una idea con la cual se puede establecer los recursos necesarios para poder renovar los equipos y aparatos que se encuentren en el laboratorio de hidráulica a través de un proyecto de tesis.

#### **4.4.5 Análisis de Costos por Operación y Mantenimiento.**

La operación y mantenimiento del equipo en si no representa ningún problema, debido a que la inversión no es grande comparado con otros equipos más sofisticados.

La inversión más significativa fue en la construcción tanto del Banco hidráulico como los ramales de tuberías, porque está conformado por un conjunto de elementos muy engorrosos de ensamblar.

El tanque de almacenamiento de agua debe ser vaciado para evitar la corrosión ya que puede producir daños, también se debe revisar que no exista basuras en el tanque, para evitar algún daño o problemas con el correcto funcionamiento de la bomba, esto se puede realizar una vez que hayan finalizado las prácticas en este equipo y no se necesita volver a realizar en el semestre respectivo.

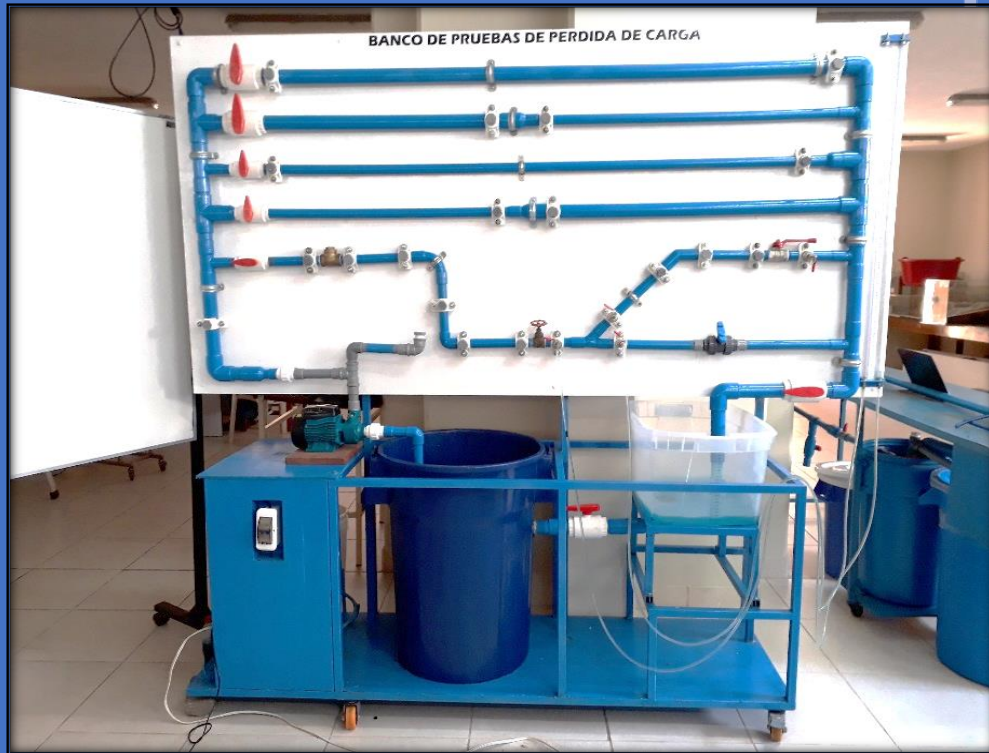
Se debe revisar la instalación eléctrica así como las conexiones de la bomba, ósea la instalación de succión e impulsión para evitar fugas e ingreso de aire a la bomba.

Un mantenimiento preventivo recomendado debería hacerse cada 6 meses.



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTEÑOR ORREGO

## MANUAL DE USO DE LABORATORIO



### ***BANCO DE PRUEBAS DE PERDIDAS DE CARGA***

***Autores:***

**Bach: Asto Contreras, Eduar Hivan**

**Bach: Pereda Calderón, Juan Arturo**

***Asesor:***

**Ms. Ing. Serrano Hernández, José Luis**

**TRUJILLO  
2018**

## **4.5 MANUAL DE USO DE LABORATORIO.**

### **4.5.1 Introducción**

En algunas de las aplicaciones de la Ingeniería, es trabajar con fluidos presurizados y/o dinámicos, donde se necesita saber ciertos conceptos, la manipulación de los instrumentos para la medición y la aplicación de estos; como algunos de los fenómenos básicos en el movimiento de los fluidos, como la existencia de pérdidas de carga en conductos o las diferencias entre régimen laminar y régimen turbulento, para lo cual, se realizan las lecturas en los diferentes instrumentos de medición.

Mediante el diseño y construcción de este banco de pruebas, los estudiantes de ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, podrán interiorizar con los distintos parámetros involucrados en el uso y comportamiento de los fluidos, lo que será de gran utilidad en su posterior desempeño profesional.

Por tal motivo en la presente tesis se hicieron usos de elementos de medición, como manómetros, cronometro, etc. y otros accesorios como válvulas.

### **4.5.2 Objetivos**

- Determinar la pérdida de carga por fricción en las 5 trayectorias de nuestro banco de pruebas de tuberías de PVC de  $\varnothing 1\frac{1}{2}$ " y  $\varnothing 1$ " en flujo presurizado, utilizando un manómetro diferencial de agua.
- Comprobar de forma teórica y experimental la fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas por fricción.
- Determinar experimentalmente el coeficiente de resistencia " $k$ " y longitud equivalente  $Le/Di$  para los distintos tipos de accesorios o válvulas.

### 4.5.3 Glosario de Términos

**Accesorios:** Los accesorios son complementos para la instalación y repuestos para el mantenimiento de los equipos, usar accesorios de calidad ayuda a prolongar la vida de los equipos y su funcionamiento es adecuado y la garantía ofrecida por cada fabricante nos da tranquilidad por cualquier defecto de fábrica que tenga.<sup>13</sup>

**Bridas:** Piezas roscadas o empernadas que unen dos componentes de un sistema de tuberías, las cuales pueden ser desmontada sin operaciones destructivas.<sup>714</sup>

**Bomba Centrifuga:** Se le denomina como bombas rotodinámicas; toda bomba centrífuga son rotativas y a la vez es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o como también se le dice presión de un fluido incompresible.<sup>3</sup>

**Fluido:** Son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes.<sup>6</sup>

**Flujo laminar:** Son partículas del fluido siguen trayectorias paralelas, formando junto de ellas capas o laminas. La velocidad de estas partículas es mayor cuando están más alejadas de las paredes del conducto.<sup>1</sup>

**Flujo turbulento:** Son partículas del fluido no siguen trayectorias paralelas, se mueven de forma desordenada en todas las direcciones. Es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente.<sup>1</sup>

---

<sup>13</sup> <http://www.perusupply.com/14-accesorios>

<sup>14</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Brida\\_\(tuber%C3%ADas\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Brida_(tuber%C3%ADas))

<sup>3</sup> Calderón J. & Pozo. C. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación (tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Pg. 77

<sup>1</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de perdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Pg. 15-16

<sup>6</sup> White, F M. (2004). Mecánica de fluidos, Madrid, España, Mc Graw Hill, Pg. 4

**Manómetro**: Es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.<sup>9</sup>

**Número de Reynolds**: Es un grupo adimensional, viene dado por el cociente de las fuerzas de inercia y las fuerzas debidas a la viscosidad. Si el número de Reynolds es menor de 2000 aproximadamente, el flujo a través de la tubería es siempre laminar; cuando los valores son más elevados se considera turbulento.<sup>4</sup>

**Tubería**: Transportan agua u otros fluidos, están hecho diversos materiales.

**Tubo Venturi**: Es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. El principio básico de estos medidores es que cuando una corriente de fluido se restringe, su presión disminuye por una cantidad que depende de la velocidad de flujo a través de la restricción, por lo tanto la diferencia de presión entre los puntos antes y después de la restricción puede utilizarse para indicar la velocidad del flujo.<sup>15</sup>

**Válvulas**: Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.<sup>3</sup>

**Abrazadera**: Construidas en acero inoxidable, se ha hecho para sujetas los tubos por donde circulan cualquier tipo de fluido, a su vez ayuda mantiene de forma estática la tubería que circula a presión. <sup>P</sup>

---

<sup>9</sup> Saldarriaga J. G. (1998). Hidráulica de Tuberías, Bogotá, Colombia: Emma Ariza H. Pg. 458

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson Pg. 230

<sup>15</sup> <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>

<sup>3</sup> Yambombo J. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de perdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Pg. 13-14

#### 4.5.4 Variables

Las variables que se contemplan a continuación, son las más indispensables para los conocimientos teóricos y prácticos en el tema de Mecánica de Fluidos.

**Diámetro:** Distancia de una línea recta que pasa por el centro de una sección circular conectando dos puntos de la circunferencia, esta será expresada en milímetros y pulgadas.

**Flujo:** Cantidad de fluido que pasa a través de una sección de referencia por unidad de tiempo, será expresada en metros cúbicos por minutos. <sup>5</sup>

**Fricción:** Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción, entre dos superficies en contacto, a aquella que se opone al movimiento entre ambas superficies (fuerza de fricción dinámica), o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). <sup>16</sup>

**Peso Específico:** Es el peso de la unidad de volumen de la sustancia. En líquidos, puede considerarse constante para las variaciones ordinarias de presión. El peso específico del agua para las temperaturas más comunes es de.

**Potencia:** Es un fluido a presión que produce una fuerza sobre todas las superficies que están en contacto con él.

**Presión:** Se actúa con igual intensidad en todas las direcciones y actúa normalmente a cualquier superficie plana. En este plano horizontal el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto. <sup>4</sup>

**Tiempo:** Intervalo durante el cual un sistema debe estar sometido a una variación de estado.

---

<sup>5</sup> Streeter, V L, E.B. Wylie, y K.W. Bedford. (1999). Mecánica de fluidos, Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill. Pg. 103-59

<sup>16</sup> <https://es.wikibooks.org/wiki/F%C3%ADsica/Est%C3%A1tica/Rozamiento>.

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 11

**Velocidad:** Es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.

**Viscosidad:** Propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe a las interacciones entre las moléculas del fluido.<sup>4</sup>

**Temperatura:** Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera. Se indica en °C o °F.<sup>4</sup>

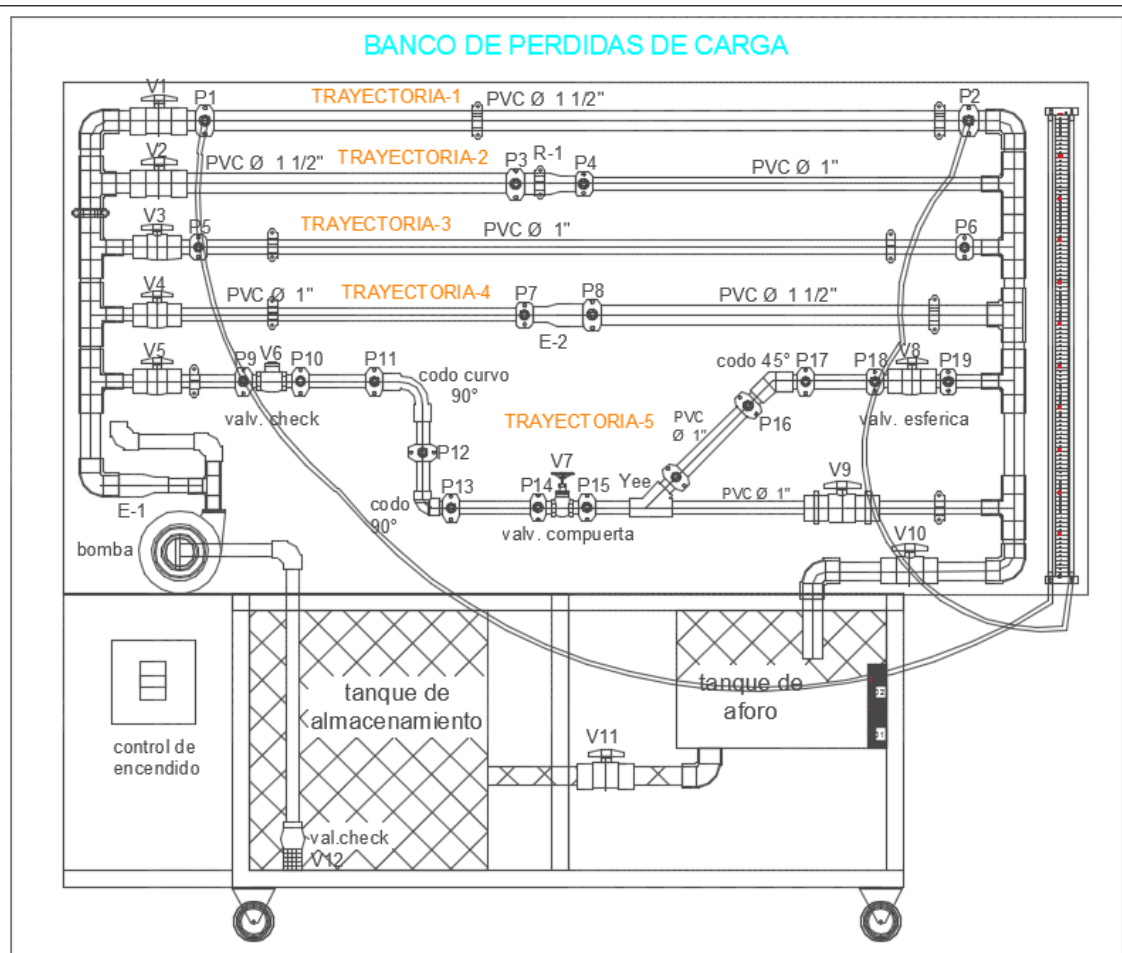
**Viscosidad absoluta o dinámica:** resistencia que éste opone a su deformación, o dicho de otro modo, a que las láminas de fluido deslicen entre sus inmediatas.<sup>4</sup>

**Viscosidad cinemática:** Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del producto en cuestión.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson. Pg. 8-27-29

#### 4.5.5 Descripción del Banco de Ensayo



**Figura N°35. Banco de Pérdidas y sus Trayectorias. P**

**Fuente:** elaboración propia.

En la Figura N°35 se muestra un esquema del banco de la práctica. Sus principales componentes son:

- V1-V2-V10-V11: Válvula de Bola PVC  $\phi$  1 1/2".
- V9: Válvula Universal de Bola PVC  $\phi$  1".
- V3-V4-V5: Válvula de Bola PVC  $\phi$  1".
- V6: Válvula Check de bronce  $\phi$  1".
- V7: Válvula Compuerta de bronce  $\phi$  1".
- V8: Válvula Esférica de bronce  $\phi$  1".
- V12: Válvula Check con Canastilla de bronce  $\phi$  1".
- P1 hasta P19: Boquillas de Toma de presión.
- E1-R1-E2: Reducciones  $\phi$  1 1/2" a 1".



#### 4.5.6 Consideraciones antes del Ensayo.

1. Purga siempre la bomba cuando esta se utilice por primera vez dado que esta se pueda llenar de aire el cual no trabaja correctamente, incluso podría quemarse al pasar aire en vez de agua.



**Figura N°36. Tapón de Purga. <sup>P</sup>**  
**Fuente:** elaboración propia.

2. Verificar que todas las válvulas estén cerradas excepto la válvula de la trayectoria a realizar el ensayo. Las válvulas V0 y V11 siempre deben estar abiertas, para la recirculación del agua.



**Figura N°37. Válvulas de Control. <sup>P</sup>**  
**Fuente:** elaboración propia.

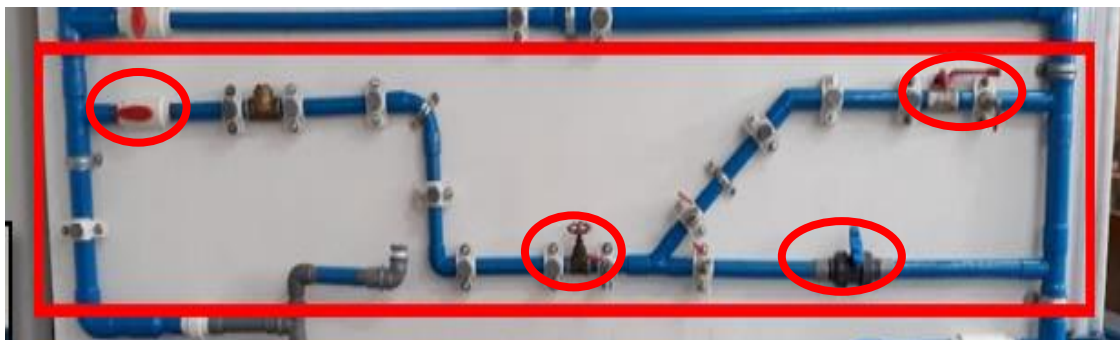
3. Tener en consideración que cada tramo de tuberías y accesorios mencionado se encuentra ubicado dos tomas de presión (salidas de agua), a los cuales se conecta un manómetro columna de agua. Estas salidas de agua hacia el manómetro deberán purgarse a través de la válvula V10 llegando así expulsar todas las burbujas de aire.



**Figura N°38. Válvulas para Purgar el Manómetro columna de Agua. <sup>P</sup>**

**Fuente:** elaboración propia.

4. En la trayectoria 5 por ser donde hay 4 válvulas de cierre de paso de agua, hay que verificar que todas estén abiertas para cuando se realice el ensayo en esa trayectoria excepto la válvula V9.



**Figura N°39. Trayectoria 5. <sup>P</sup>**

**Fuente:** elaboración propia.

**Nota:** Si todas las válvulas están cerradas la presión de la bomba puede filtrar agua por uno de los accesorios o incluso romper las tuberías.

5. La válvula del tubo de descarga y la válvula que conecta los tanques deben estar siempre abiertas a excepción si deseamos calcular el caudal.



**Figura N°40. Válvulas que Conectan al Tanque Graduado. <sup>P</sup>**

**Fuente:** elaboración propia.

6. Finalmente hay que asegurarse antes de encender la bomba, que se debe tener el paso libre para el fluido, es decir ninguna válvula debe estar cerrada en la trayectoria que vayamos a realizar el ensayo.



**Figura N°41. Banco Pruebas en Buen Funcionamiento. <sup>P</sup>**

**Fuente:** elaboración propia.

#### 4.5.7 Materiales e Instrumentos

MATERIALES	CARACTERISTICAS/CANTIDAD

INSTRUMENTO	CARACTERISTICAS/PRECISION

#### 4.5.8 Ensayos y Procedimiento de Cálculos en el Banco de Pruebas.

##### 4.5.8.1 Calculo de Caudal (Q).

- Llenar el tanque de almacenamiento entre 55 a 65 litros.
- Verificar siempre que al menos una de las válvulas de las trayectorias que calcularemos el caudal se encuentre abierta (V1-V2-V3-V4-V5) del mismo modo siempre deberá estar abierto la válvula V10 y V11, solo así procederemos al encendido de la bomba la cual el agua puede fluir de forma recíproca. Cabe recalcar que debemos purgar siempre la bomba en su primer uso. Luego de verificar el flujo es continuo apagar la bomba y procederemos hacer los ensayos para cálculo de caudal para cada trayectoria.
- Ya que tenemos el tanque de aforo totalmente vacío y graduado comenzamos por encender la bomba y abrir cada trayectoria de la cual se calculará el caudal (V1-V2-V3-V4-V5) sucesivamente, la válvula V10 siempre se mantendrá abierta pero la V11 se tendrá que cerrar con respecto al volumen correspondiente (20 lts.); por la que anotaremos el tiempo (seg.) y calcularemos el caudal.

$$Q = \frac{V}{t} \text{ (lt/s)}$$

**Tabla N°23.** Calculo Caudal por Trayectoria.

TRAYECTORIA 1			
ENSAYO	TIEMPO (seg.)	VOLUMEN (lit.)	Q. (lit./seg)
1	28.42		0.704
2	28.55	20	0.701
3	28.21		0.709
		Promedio	0.704

**Fuente:** Elaboración Propia.

- d. Tener en consideración que para cada trayectoria con respecto al caudal (Q) debemos siempre hacer 3 veces el ensayo y al final sacar un promedio.

**Tabla N°24.** Caudales Promedios Finales. <sup>P</sup>

TRAYECTORIA	Q. (lit./seg)
N° 1	0.704
N° 2	0.702
N° 3	0.709
N° 4	0.708
N° 5	0.714

**Fuente:** Elaboración Propia.

- e. Cabe recalcar que una vez calculado el caudal en un tiempo y volumen correspondiente se debe dejar pasar el flujo del agua inmediatamente procediendo a abrir la V11 para el libre desfogue del agua y la reciprocidad del agua.

#### **4.5.8.2 Ensayo 1. Pérdidas de carga por fricción en tuberías.**

##### **a. Objetivos.**

- Determinar la pérdida de carga por fricción en dos trayectorias de tuberías de PVC de  $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ " y  $\varnothing 1$ ", utilizando un manómetro diferencial de agua.
- Comprobar de forma teórica y experimental la fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas por fricción.

##### **b. Descripción del Ensayo.**

- a. Abrir las válvulas de la trayectoria (N°1 y N°3) a realizar el ensayo.
- b. Encender la bomba para que circule el fluido.
- c. Conectar las mangueras del manómetro de columna de agua en las tomas de presión de la trayectoria (N°1 y N°3) a realizar el ensayo. Abrir las llaves de las tomas de presión. Recalcar que la válvula (V10 y V11) siempre abierta.
- d. Purgar el aire de las mangueras cerrando la válvula final (V10) de descarga de agua, así aumentara la presión y empujara el aire que está en las manqueras conectadas al manómetro.

- e. Cerrar la llave de paso de agua (V11) que conecta a los tanques para calcular el caudal.
- f. Con la ayuda de un cronometro medir el tiempo de llenado del tanque graduado en litros. (se recomienda calcular el tiempo desde los 20 litros hasta los 40 litros). El tiempo se medirá en segundos.
- g. Tomar la altura de cada menisco del manómetro para luego calcular la diferencia de altura  $\Delta h$  en centímetros.
- h. Aplicamos el mismo procedimiento para las demás trayectorias.

**c. Calculo de resultados**

- a. Medir la longitud L (m) entre las dos tomas de presión en las trayectorias 1 y 3.
- b. De la **tabla N°8** determinamos el diámetro externo de tuberías Di.

**Tabla N°8.** Características físicas de Tuberías

Descripción	Diámetro Nominal (pulg.)	Diámetro Exterior (mm)	Espesor de pared (mm)	Diámetro Interno (mm)
PVC roscado en trayectoria 5	1"	33.00	3.50	26.00
PVC	1"	32.00	2.00	28.00
PVC	1 1/2"	48.00	2.50	43.00

**Fuente:** elaboración propia.

- c. Determinamos la velocidad con la fórmula:

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

, los datos obtenidos en el ensayo.

- d. Determinamos las pérdidas de carga, que está en función de la diferencia de altura del manómetro

$$\Delta h = hf = h1 - h2.$$

- e. Calculamos la viscosidad cinemática para con una temperatura de agua promedio de 10°C con la **ecuación 7**.

$$v = \frac{0.00000177}{1 + 0.0337T + 0.000221T^2} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

f. Calculamos el número de Reynolds con la *ecuación 19*.

$$Re = \frac{V.D.\rho}{\eta} = \frac{V.D}{\nu} \quad (\text{Ecuación 19})$$

g. Determinamos la rugosidad absoluta  $\epsilon$  de la *tabla N°2*.

**Tabla N°2.** Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) en tubos comerciales.

MATERIAL DE CONDUCTO	Rugosidad absoluta $\epsilon$ (mm)
Vidrio	0.0003
Plástico (PVC), CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfáltico	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.0300
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

**Fuente:** Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson

h. Calculamos la rugosidad relativa ( $\epsilon/D_i$ ).

i. Calculamos el coeficiente de fricción despejando la fórmula de Darcy-Weisbach. de la *ecuación 20*.

$$f = hf \cdot \frac{D_i}{L} \cdot \frac{2g}{V^2} \quad (\text{Ecuación 20})$$

PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERIAS DE PVC												
TRAY.	L (m)	D (mm)	Q (Lts/s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s).	V (m/s)	presiones (cm)		$\Delta h = hf$ (cm)	Re	E/Di	$f_{\text{exper.}}$	$f_{\text{teorico.}}$
						h1	h2					
1	1.83	43.0	0.704	0.0000013	0.482	104.60	103.10	1.50	15891	0.00003	0.029	0.027
3	1.78	28.0	0.709	0.0000013	1.151	80.40	69.20	11.20	24732	0.00005	0.026	0.025

### 4.5.8.3 Ensayo 2. Pérdidas de carga en accesorios.

#### a. Objetivos.

- Determinar las pérdidas de carga que sufre el flujo al pasar por válvulas, codos, reducciones, etc. (accesorios).
- Determinar experimentalmente el coeficiente de resistencia “ $k$ ” y longitud equivalente  $Le/Di$  para los distintos tipos de accesorios o válvulas.

#### b. Descripción del ensayo.

- a. Abrir todas las válvulas de la trayectoria (N°2, N°4 y N°5). (*muy importante*)
- b. Encender la bomba para que circule el fluido.
- c. Conectar las mangueras del manómetro de columna de agua en las tomas de presión que se encuentran al inicio y al final de la trayectoria (N°2 y N°4) y cada accesorio de la trayectoria 5. Y abrir las llaves de las tomas de presión
- d. Purgar el aire de las mangueras cerrando la válvula final (V10) de descarga de agua, así aumentara la presión y empujara el aire que está en las manqueras conectadas al manómetro.
- e. Cerrar la llave de paso de agua (V11) que conecta a los tanques para calcular el caudal.
- f. Con la ayuda de un cronometro medir el tiempo de llenado del tanque graduado en litros. (se recomienda calcular el tiempo desde los 20 litros hasta los 40 litros). El tiempo se medirá en segundos.
- g. Tomar la altura de cada menisco del manómetro para luego calcular la diferencia de altura  $\Delta h$  en centímetros.

#### c. Calculo de resultados

- a. De la *tabla N°8* determinamos el diámetro de tuberías  $D_i$ .

**Tabla N°8.** Características físicas de Tuberías

Descripción	Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Exterior (mm)	Espesor de pared (mm)	Diámetro Interno (mm)
PVC roscado en trayectoria 5	1"	33.00	3.50	26.00
PVC	1"	32.00	2.00	28.00
PVC	1 1/2"	48.00	2.50	43.00

**Fuente:** elaboración propia.



b. Determinamos la velocidad con la formula

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

, los datos obtenidos en el ensayo.

c. Determinamos las pérdidas de carga, que está en función de la diferencia de altura del manómetro

$$\Delta h = h_m = h_1 - h_2.$$

d. Calculamos el coeficiente de resistencia K despejando la ecuación fundamental de la pérdida de carga por accesorios. **Ecuación 26.**

$$k = \frac{h_m \cdot 2g}{v^2}$$

e. Calculamos la viscosidad cinemática para con una temperatura de agua promedio de 10°C con la **Ecuación 7.**

$$v = \frac{0.000001771}{1 + 0.0337T + 0.000221T^2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

f. Calculamos el número de Reynolds con la **Ecuación 19.**

$$Re = \frac{V.D.\rho}{\eta} = \frac{V.D}{v} \quad (\text{Ecuación 19})$$

g. Determinamos la rugosidad absoluta  $\epsilon$  de la **Tabla N°2.**

**Tabla N°2.** Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) en tubos comerciales.

MATERIAL DE CONDUCTO	Rugosidad absoluta $\epsilon$ (mm)
Vidrio	0.0003
Plástico (PVC), CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asphaltico	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.0300
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

**Fuente:** Robert L. Mott. (2006). Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México: Pearson

- h. Calculamos la rugosidad relativa ( $\epsilon/D_i$ ).
- i. Calculamos el coeficiente de fricción  $f$  con la ayuda del diagrama de Moody, o la **Ecuación 24** para flujo turbulento.

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{\epsilon}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (\text{Ecuación 19})$$

- j. Determinamos la longitud equivalente  $Le/D$  despejando la fórmula de Darcy-Weisbach. **Ecuación 20**.

$$h_f = f \cdot \frac{Le.}{D_i} \cdot \frac{v^2}{2g} = K \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{Le.}{D_i} = \frac{K}{f}$$

PERDIDAS DE CARGA POR ACCESORIOS EN TUBERIAS DE PVC													
TRA Y.	ACCESORIOS	D <sub>i</sub> mm	Q Lt/s	v m/s	presiones(cm)		$\Delta h = h_m$ (cm)	K <sub>exp.</sub>	Re	E/D <sub>i</sub>	f <sub>teor.</sub>	Le/D <sub>i</sub> exper.	Le/D <sub>i</sub> teorico.
					h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>							
2	contracción gradual	43.0	0.702	0.483	80.5	69.1	11.40	9.578	15946	0.00003	0.027	349	
4	Ampliación gradual	28.0	0.708	1.150	8.2	11.1	-2.90	-0.430	24706	0.00005	0.025	-17	
5	Válvula check	26.0	0.714	1.344	47.4	25.8	21.60	2.346	26815	0.00006	0.024	97	50
	codo curvo 90°				25.7	20.5	5.20	0.565				23	20
	codo estándar 90°				27.0	11.7	15.30	1.662				69	30
	válvula compuerta				23.1	4.1	19.00	2.064				85	10
	codo de 45				46.3	39.4	6.90	0.750				31	16
	válvula esférica				40.1	32.8	7.30	0.793				33	150

**Fuente:** elaboración propia.

## 4.5.9 Resultados

### a. Calculo del Caudal por Trayectoria.

TRAYECTORIA 1			
ENSAYO	TIEMPO (seg.)	VOLUMEN (lit.)	Q. (lit./seg)
1		20	
2			
3			
		Promedio	

TRAYECTORIA 2			
ENSAYO	TIEMPO (seg.)	VOLUMEN (lit.)	Q. (lit./seg)
1		20	
2			
3			
		Promedio	

TRAYECTORIA 3			
ENSAYO	TIEMPO (seg.)	VOLUMEN (lit.)	Q. (lit./seg)
1		20	
2			
3			
		Promedio	

TRAYECTORIA 4			
ENSAYO	TIEMPO (seg.)	VOLUMEN (lit.)	Q. (lit./seg)
1		20	
2			
3			
		Promedio	

TRAYECTORIA 5			
ENSAYO	TIEMPO (seg.)	VOLUMEN (lit.)	Q. (lit./seg)
1		20	
2			
3			
		Promedio	

### b. Caudal Promedios Finales.

TRAYECTORIA	Q. (lit./seg)
N° 1	
N° 2	
N° 3	
N° 4	
N° 5	

**c. Calculo Perdidas de Carga por Fricción en Tuberías de PVC.**

PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERIAS DE PVC												
TRAY.	L (m)	D (mm)	Q (Lts/s)	$v$ (m <sup>2</sup> /s).	v (m/s)	presiones (cm)		$\Delta h = hf$ (cm)	Re	E/Di	f <sub>experim.</sub>	f <sub>teor.</sub>
						h1	h2					
1												
3												

**d. Calculo Perdidas de Carga por Accesorios en Tuberías de PVC.**

PERDIDAS DE CARGA POR ACCESORIOS EN TUBERIAS DE PVC													
TRAY	ACCESORIOS	Di mm	Q Lt/s	v m/s	presiones(cm)		$\Delta h = hm$ (cm)	K <sub>exp.</sub>	Re	E/Di	f <sub>teor.</sub>	Le/Di experim.	Le/Di teórico.
					h1	h2							
2	contracción gradual												
4	Ampliación gradual												
5	Válvula check												
	codo curvo 90°												
	codo estándar 90°												
	válvula compuerta												
	codo de 45												
	válvula esférica												

**4.5.10 Conclusiones**

.....

.....

.....

.....

**4.5.11 Recomendaciones**

.....

.....

.....

.....

**4.5.12 Bibliografía**

.....

.....

## **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE **RESULTADOS****

## 5.1 Conclusiones.

- Se cumplió el objetivo principal que era determinar las pérdidas de carga mediante pruebas experimentales que se originan en tuberías de PVC y accesorios de diámetros de 1" y 1 ½ " en flujo presurizado, Se realizó las pruebas de pérdidas de carga por fricción en tuberías y comprobamos que los resultados experimentales tenían una diferencia de 3% y 6% con los resultados teóricos.

**Tabla N°25.** Comparación de resultados de trayectoria 1 y 3.

Trayec.	Material	caudal de 0.71 lt/s			caudal de 1.43 lt/s		
		$f_{\text{experim.}}$	$f_{\text{teórico}}$	variación	$f_{\text{experim}}$	$f_{\text{teórico}}$	variación
1	PVC Ø1 1/2"	0.029	0.027	6.2%	0.025	0.023	6.5%
3	PVC Ø1"	0.026	0.025	5.2%	0.020	0.021	3.0%

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se realizó las pruebas de pérdidas de carga en accesorios y comprobamos que la relación entre longitud y diámetro de los resultados experimentales tenían una diferencia muy alta con los resultados teóricos de hasta 88%.

**Tabla N°26.** Comparación de resultados de trayectoria 5.

Trayec.	Accesorios	caudal de 0.71 lt/s			caudal de 1.43 lt/s		
		Le/Di experim.	Le/Di teórico.	variación	Le/Di experim	Le/Di teórico.	variación
5	Válvula check	97	50	48.5%	17	50	65.2%
	codo curvo 90°	23	20	14.4%	6	20	70.4%
	codo estándar 90°	69	30	56.4%	14	30	52.1%
	válvula compuerta	85	10	88.3%	16	10	37.3%
	codo de 45	31	16	48.4%	6	16	63.8%
	válvula esférica	33	150	78.1%	19	150	87.5%

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se realizó la construcción del Banco de Perdidas de Carga, implementando así el Laboratorio de Hidráulica de la facultad de ingeniería de la UPAO.

- Analizando los resultados, podemos decir que los resultados de las pérdidas de carga en accesorios difieren entre 15% y 88% a comparación de las pérdidas de carga por fricción que son 3% y 6%, pues los accesorios que hemos colocado en el banco de pruebas tienen diámetros interiores, material y coeficientes de rugosidad diferentes a los que se usaron para obtener los datos teóricos que hemos considerado la relación  $Le/Di$ .
- El coeficiente de resistencia “K” para los accesorios no es constante, va a depender mucho del caudal que esté circulando y de la geometría utilizada por el fabricante.
- Se elaboró un manual de uso del Banco de Perdidas de Carga.

## 5.2 Recomendaciones.

- El encargado del laboratorio y las personas que hagan uso de este banco de pruebas deberán verificar que en las uniones no haya fugas de agua; al igual que al término de sus ensayos correspondientes deberán vaciar en su totalidad toda el agua de tal manera que deberán abrir todas las válvulas para evitar la corrosión en el impulsor de la bomba, en las válvulas de bronce y acumulación de suciedad dentro de las tuberías.
  
- Cuando se adquiere algún tipo de accesorio, es preferible que el fabricante proporcione toda la información acerca del accesorio, como por ejemplo el coeficiente de resistencia “K” para utilizarlo correctamente en el diseño.
  
- Cuando se realice el cálculo para seleccionar una bomba debemos considerar un cierto factor de seguridad, con esto evitamos que la bomba trabaje al límite o por debajo de lo deseado.
  
- Cuando se hace uso del Banco de Prueba por primera vez tendremos que purgar la bomba la cual nos servirá para su arranque correspondiente, al igual lo haremos con la manguera de conducción la cual se forma burbujas de aire.
  
- Para la obtención del coeficiente de fricción  $f$ , es recomendable que sea lo más exacto posible, ya que de él depende el resultado que se va a obtener del cálculo manual.

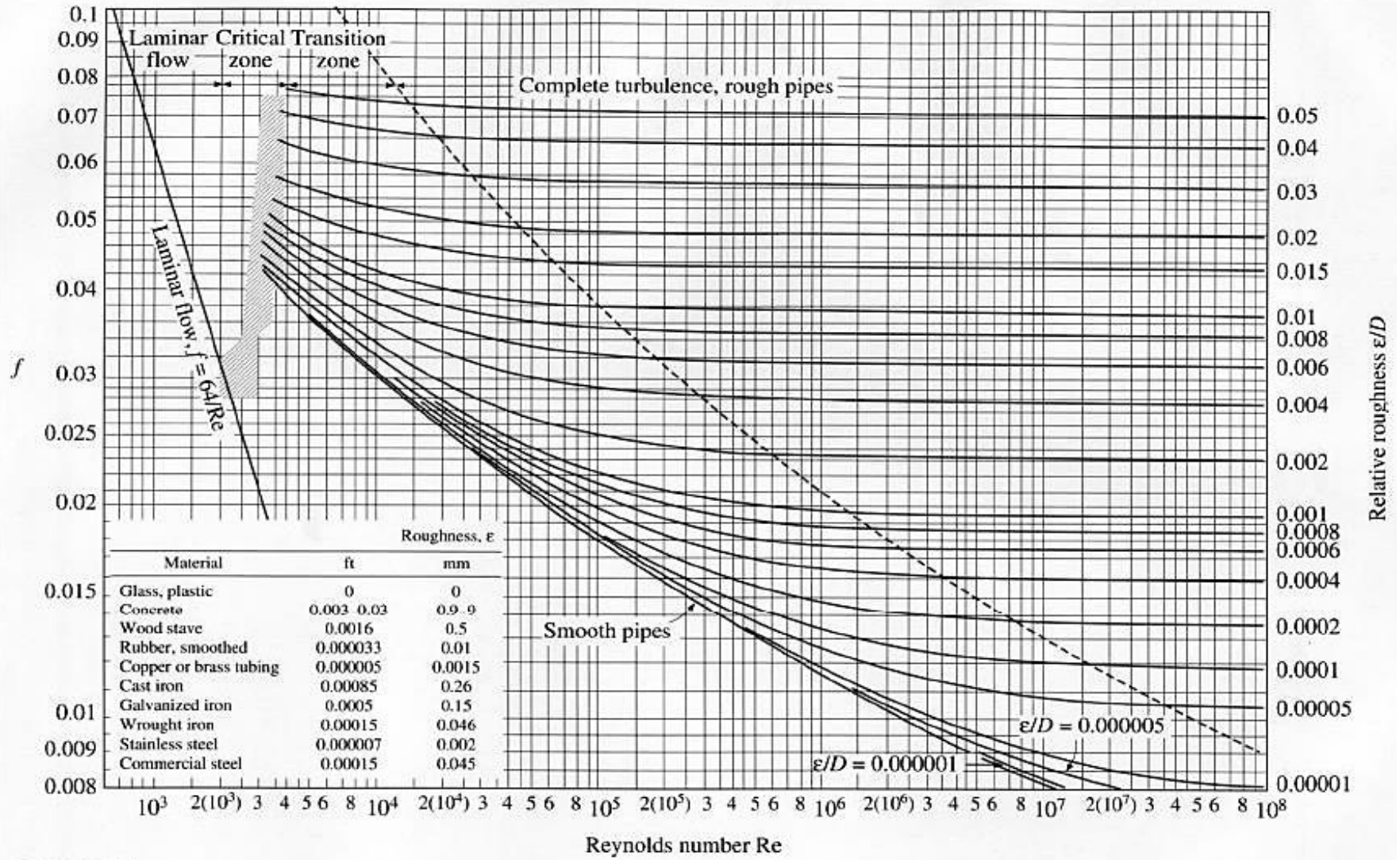


# **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Yambombo. G. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de perdidas en carga en tuberías y accesorios (tesis de pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito Ecuador.
- [2] Rivas A. & Sánchez G. (2007). Pérdidas de Carga en los Componentes de las Instalaciones Hidráulicas, Universidad de Navarra, Navarra, España.
- [3] Calderón J. & Pozo. C. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación (tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador
- [4] Robert L. Mott. (2006) Mecánica de fluidos, Naucalpan de Juárez, México, Pearson.
- [5] Streeter, V L, E.B. Wylie, y K.W. Bedford. (1999). Mecánica de fluidos, Bogotá, Colombia. Mc Graw Hill.
- [6] White, F M. (2004). Mecánica de fluidos, Madrid, España, Mc Graw Hill.
- [7] [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22\\_ecuacin\\_de\\_continuidad.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_ecuacin_de_continuidad.html).
- [8] [https://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_Bernoulli](https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli).
- [9] Saldarriaga J. G. (1998). Hidráulica de Tuberías, Bogotá, Colombia: Emma Ariza H.
- [10] <https://es.slideshare.net/cybersuckoy/2-ecuacin-de-hazen-williams>.
- [11] <https://mecanicadefluidosunah.wordpress.com/2015/page/3/>.
- [12] [http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=151](http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=151).
- [13] <http://www.perusupply.com/14-accesorios>.
- [14] [https://es.wikipedia.org/wiki/Brida\\_\(tuber%C3%ADas\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Brida_(tuber%C3%ADas)).
- [15] <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>.
- [16] <https://es.wikibooks.org/wiki/F%C3%ADsica/Est%C3%A1tica/Rozamiento>.
- [17] Reglamento Nacional de Edificaciones- Instalaciones Sanitarias.

## **ANEXOS**

ANEXO N°1. Diagrama Universal de Moody.



**ANEXO N°2.** Propiedades Físicas de Agua.

Temperatura	Masa Específica	Peso Específico	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática
T °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\gamma$ N/m <sup>3</sup>	$\mu$ 10 <sup>-3</sup> kg/m.s	$\nu$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
0	999,9	9805	1,79	1,79
5	999,9	9806	1,52	1,52
10	999,7	9803	1,31	1,31
15	999,1	9798	1,14	1,14
20	998,2	9789	1,01	1,01
25	997,1	9779	0,89	0,90
30	995,7	9767	0,80	0,80
35	994,1	9752	0,72	0,73
40	992,2	9737	0,66	0,66
45	990,2	9720	0,60	0,61
50	988,1	9697	0,55	0,56
55	985,7	9679	0,51	0,51
60	983,2	9658	0,47	0,48
65	980,6	9635	0,44	0,44
70	977,8	9600	0,41	0,42
75	974,9	9589	0,38	0,39
80	971,8	9557	0,36	0,37
85	968,6	9529	0,34	0,35
90	965,3	9499	0,32	0,33
95	961,9	9469	0,30	0,31
100	958,4	9438	0,28	0,30

**ANEXO N°3.** Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 2

TRAMO	MATERIAL	Q (Lts/s)	L (m)	D (mm)	A (mm)	v (m/s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s).	Re	$\epsilon$	$\epsilon/D_i$	f	$h_{fi}$	$h_f$
SUCCION- BOMBA	PVC	0.2	0.90	26.0	530.93	0.3767	1.0296E-06	9513	0.0015	0.00006	0.032	0.008	0.020
BOMBA- IMPULSION			3.87	44.0	1520.53	0.1315	1.0296E-06	5621	0.0015	0.00003	0.037	0.003	
			1.10	26.0	530.93	0.3767	1.0296E-06	9513	0.0015	0.00006	0.032	0.010	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.4	0.90	26.0	530.93	0.7534	1.0296E-06	19025	0.0015	0.00006	0.026	0.026	0.068
BOMBA- IMPULSION			3.87	44.0	1520.53	0.2631	1.0296E-06	11242	0.0015	0.00003	0.030	0.009	
			1.10	26.0	530.93	0.7534	1.0296E-06	19025	0.0015	0.00006	0.026	0.032	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.6	0.90	26.0	530.93	1.1301	1.0296E-06	28538	0.0015	0.00006	0.024	0.054	0.138
BOMBA- IMPULSION			3.87	44.0	1520.53	0.3946	1.0296E-06	16863	0.0015	0.00003	0.027	0.019	
			1.10	26.0	530.93	1.1301	1.0296E-06	28538	0.0015	0.00006	0.024	0.066	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.8	0.90	26.0	530.93	1.5068	1.0296E-06	38050	0.0015	0.00006	0.022	0.089	0.230
BOMBA- IMPULSION			3.87	44.0	1520.53	0.5261	1.0296E-06	22484	0.0015	0.00003	0.025	0.031	
			1.10	26.0	530.93	1.5068	1.0296E-06	38050	0.0015	0.00006	0.022	0.109	
SUCCION- BOMBA	PVC	1.0	0.90	26.0	530.93	1.8835	1.0296E-06	47563	0.0015	0.00006	0.021	0.133	0.295
BOMBA- IMPULSION			3.87	44.0	1520.53	0.6577	1.0296E-06	28105	0.0015	0.00003	0.024	0.046	
			1.10	26.0	530.93	1.8835	1.0296E-06	47563	0.0015	0.00006	0.021	0.162	

**Fuente:** elaboración propia

#### ANEXO N°4. Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 2

TRAMO	ACCESORIOS	cant.	Le/Di	f	K	Q = 0.2 Lts/s		Q = 0.4 Lts/s		Q = 0.6 Lts/s		Q = 0.8 Lts/s		Q = 1.0 Lts/s	
						v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)
<b>SUCCION - BOMBA</b>	codo estándar	1	30	0.014	0.42	0.007	0.003	0.029	0.012	0.065	0.027	0.116	0.049	0.181	0.076
	Universal	1	6	0.014	0.08	0.007	0.001	0.029	0.002	0.065	0.005	0.116	0.010	0.181	0.015
	Universal	1	6	0.012	0.07	0.001	0.000	0.029	0.002	0.065	0.005	0.116	0.008	0.181	0.013
	Tee estándar	2	20	0.012	0.24	0.001	0.000	0.029	0.014	0.065	0.031	0.116	0.056	0.181	0.087
	Tee reductora	7	20	0.012	0.24	0.001	0.001	0.029	0.049	0.065	0.109	0.116	0.194	0.181	0.304
<b>BOMBA - IMPULSION</b>	codo estándar	3	30	0.012	0.36	0.001	0.001	0.029	0.031	0.065	0.070	0.116	0.125	0.181	0.195
	válvula de bola	2	150	0.012	1.80	0.001	0.003	0.029	0.104	0.065	0.234	0.116	0.417	0.181	0.651
	Expansión gradual	1			0.59	0.001	0.001	0.029	0.017	0.065	0.038	0.116	0.068	0.181	0.107
	Contracción gradual	1			0.06	0.001	0.000	0.029	0.002	0.065	0.004	0.116	0.007	0.181	0.011
$\Sigma$ hm =								0.010	0.233	0.525	0.933	1.458			

**Fuente:** elaboración propia.

**ANEXO N°5. Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 3.**

TRAMO	MATERIAL	Q (Lts/s)	L. (m)	D (mm)	A (mm)	v (m/s)	$v^2$ (m <sup>2</sup> /s).	Re	$\epsilon$	$\epsilon/Di$	f	$h_{fi}$	$h_f$
SUCCION- BOMBA	PVC	0.2	0.90	28.0	615.75	0.325	1.0296E-06	8833	0.0015	0.00005	0.032	0.006	0.021
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.138	1.0296E-06	5752	0.0015	0.00003	0.036	0.002	
			2.20	28.0	615.75	0.325	1.0296E-06	8833	0.0015	0.00005	0.032	0.014	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.4	0.90	28.0	615.75	0.650	1.0296E-06	17666	0.0015	0.00005	0.027	0.019	0.070
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.275	1.0296E-06	11504	0.0015	0.00003	0.030	0.007	
			2.20	28.0	615.75	0.650	1.0296E-06	17666	0.0015	0.00005	0.027	0.045	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.6	0.90	28.0	615.75	0.974	1.0296E-06	26499	0.0015	0.00005	0.024	0.038	0.143
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.413	1.0296E-06	17255	0.0015	0.00003	0.027	0.013	
			2.20	28.0	615.75	0.974	1.0296E-06	26499	0.0015	0.00005	0.024	0.092	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.8	0.90	28.0	615.75	1.299	1.0296E-06	35332	0.0015	0.00005	0.023	0.063	0.238
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.551	1.0296E-06	23007	0.0015	0.00003	0.025	0.022	
			2.20	28.0	615.75	1.299	1.0296E-06	35332	0.0015	0.00005	0.023	0.153	
SUCCION- BOMBA	PVC	1.0	0.90	28.0	615.75	1.624	1.0296E-06	44165	0.0015	0.00005	0.022	0.093	0.321
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.689	1.0296E-06	28759	0.0015	0.00003	0.024	0.033	
			2.20	28.0	615.75	1.624	1.0296E-06	44165	0.0015	0.00005	0.022	0.228	

**Fuente:** elaboración propia.

**ANEXO N°6.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 3.

TRAMO	ACCESORIOS	cant.	Le/Di	f	K	Q = 0.2 Lts/s		Q = 0.4 Lts/s		Q = 0.6 Lts/s		Q = 0.8 Lts/s		Q = 1.0 Lts/s	
						$v^2/2g$ (m)	hm (m)	$v^2/2g$ (m)	hm (m)	$v^2/2g$ (m)	hm (m)	$v^2/2g$ (m)	hm (m)	$v^2/2g$ (m)	hm (m)
SUCCION - BOMBA	codo estándar	1	30	0.014	0.42	0.005	0.002	0.022	0.009	0.048	0.020	0.086	0.036	0.134	0.056
	Universal	1	6	0.014	0.08	0.005	0.000	0.022	0.002	0.048	0.004	0.086	0.007	0.134	0.011
	Universal	1	6	0.012	0.07	0.001	0.000	0.022	0.002	0.048	0.003	0.086	0.006	0.134	0.010
	Tee estándar	1	20	0.012	0.24	0.001	0.000	0.022	0.005	0.048	0.012	0.086	0.021	0.134	0.032
	Tee reductora	6	20	0.012	0.24	0.001	0.001	0.022	0.031	0.048	0.070	0.086	0.124	0.134	0.194
BOMBA - IMPULSION	codo estándar	3	30	0.012	0.36	0.001	0.001	0.022	0.023	0.048	0.052	0.086	0.093	0.134	0.145
	válvula de bola	2	150	0.012	1.80	0.001	0.003	0.022	0.077	0.048	0.174	0.086	0.310	0.134	0.484
	Expansión gradual	1			0.59	0.001	0.001	0.022	0.013	0.048	0.029	0.086	0.051	0.134	0.079
	Contracción gradual	0			0.06	0.001	0.000	0.022	0.000	0.048	0.000	0.086	0.000	0.134	0.000
$\Sigma hm =$								0.009		0.162		0.364		0.647	1.012

**Fuente:** elaboración propia.



**ANEXO N°7. Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 4.**

TRAMO	MATERIAL	Q (Lts/s)	L. (m)	D (mm)	A (mm)	v (m/s)	$v^2$ (m <sup>2</sup> /s).	Re	$\epsilon$	$\epsilon/Di$	f	$h_{fi}$	$h_f$
SUCCION- BOMBA	PVC	0.2	0.90	28.0	615.75	0.325	1.03E-06	8833	0.0015	0.00005	0.032	0.006	0.015
BOMBA- IMPULSION			3.24	43.0	1452.20	0.138	1.03E-06	5752	0.0015	0.00003	0.036	0.003	
			1.10	28.0	615.75	0.325	1.03E-06	8833	0.0015	0.00005	0.032	0.007	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.4	0.90	28.0	615.75	0.650	1.03E-06	17666	0.0015	0.00005	0.027	0.019	0.070
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.275	1.03E-06	11504	0.0015	0.00003	0.030	0.007	
			2.20	28.0	615.75	0.650	1.03E-06	17666	0.0015	0.00005	0.027	0.045	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.6	0.90	28.0	615.75	0.974	1.03E-06	26499	0.0015	0.00005	0.024	0.038	0.143
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.413	1.03E-06	17255	0.0015	0.00003	0.027	0.013	
			2.20	28.0	615.75	0.974	1.03E-06	26499	0.0015	0.00005	0.024	0.092	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.8	0.90	28.0	615.75	1.299	1.03E-06	35332	0.0015	0.00005	0.023	0.063	0.238
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.551	1.03E-06	23007	0.0015	0.00003	0.025	0.022	
			2.20	28.0	615.75	1.299	1.03E-06	35332	0.0015	0.00005	0.023	0.153	
SUCCION- BOMBA	PVC	1.0	0.90	28.0	615.75	1.624	1.03E-06	44165	0.0015	0.00005	0.022	0.093	0.321
BOMBA- IMPULSION			2.46	43.0	1452.20	0.689	1.03E-06	28759	0.0015	0.00003	0.024	0.033	
			2.20	28.0	615.75	1.624	1.03E-06	44165	0.0015	0.00005	0.022	0.228	

**Fuente:** elaboración propia.

**ANEXO N°8.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 4.

TRAMO	ACCESORIOS	cant.	Le/Di	f	K	Q = 0.2 Lts/s		Q = 0.4 Lts/s		Q = 0.6 Lts/s		Q = 0.8 Lts/s		Q = 1.0 Lts/s	
						v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)
SUCCION - BOMBA	codo estándar	1	30	0.014	0.42	0.005	0.002	0.022	0.009	0.048	0.020	0.086	0.036	0.134	0.056
	Universal	1	6	0.014	0.08	0.005	0.000	0.022	0.002	0.048	0.004	0.086	0.007	0.134	0.011
	Universal	1	6	0.012	0.07	0.001	0.000	0.022	0.002	0.048	0.003	0.086	0.006	0.134	0.010
	Tee estándar	1	20	0.012	0.24	0.001	0.000	0.022	0.005	0.048	0.012	0.086	0.021	0.134	0.032
	Tee reductora	4	20	0.012	0.24	0.001	0.001	0.022	0.021	0.048	0.046	0.086	0.083	0.134	0.129
BOMBA - IMPULSION	codo estándar	3	30	0.012	0.36	0.001	0.001	0.022	0.023	0.048	0.052	0.086	0.093	0.134	0.145
	válvula de bola	2	150	0.012	1.80	0.001	0.003	0.022	0.077	0.048	0.174	0.086	0.310	0.134	0.484
	Expansión gradual	2			0.59	0.001	0.001	0.022	0.025	0.048	0.057	0.086	0.102	0.134	0.159
	Contracción gradual	0			0.06	0.001	0.000	0.022	0.000	0.048	0.000	0.086	0.000	0.134	0.000
	$\sum hm =$						0.010		0.164		0.370		0.657		1.026

**Fuente:** elaboración propia.

**ANEXO N°9.** Pérdidas de energía por fricción en tuberías - trayectoria 5.

TRAMO	MATERIAL	Q (Lts/s)	L. (m)	D (mm)	A (mm)	v (m/s)	$v$ (m <sup>2</sup> /s).	Re	$\epsilon$	$\epsilon/Di$	f	$h_{fi}$	$h_f$
SUCCION- BOMBA	PVC	0.2	0.90	26.0	530.93	0.3767	1.0296E-06	9513	0.0015	0.00006	0.032	0.008	0.037
BOMBA- IMPULSION			1.61	43.0	1452.20	0.1377	1.0296E-06	5752	0.0015	0.00003	0.036	0.001	
			3.12	26.0	530.93	0.3767	1.0296E-06	9513	0.0015	0.00006	0.032	0.027	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.4	0.90	26.0	530.93	0.7534	1.0296E-06	19025	0.0015	0.00006	0.026	0.026	0.122
BOMBA- IMPULSION			1.61	43.0	1452.20	0.2754	1.0296E-06	11504	0.0015	0.00003	0.030	0.004	
			3.12	26.0	530.93	0.7534	1.0296E-06	19025	0.0015	0.00006	0.026	0.091	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.6	0.90	26.0	530.93	1.1301	1.0296E-06	28538	0.0015	0.00006	0.024	0.054	0.249
BOMBA- IMPULSION			1.61	43.0	1452.20	0.4132	1.0296E-06	17255	0.0015	0.00003	0.027	0.009	
			3.12	26.0	530.93	1.1301	1.0296E-06	28538	0.0015	0.00006	0.024	0.186	
SUCCION- BOMBA	PVC	0.8	0.90	26.0	530.93	1.5068	1.0296E-06	38050	0.0015	0.00006	0.022	0.089	0.414
BOMBA- IMPULSION			1.61	43.0	1452.20	0.5509	1.0296E-06	23007	0.0015	0.00003	0.025	0.014	
			3.12	26.0	530.93	1.5068	1.0296E-06	38050	0.0015	0.00006	0.022	0.310	
SUCCION- BOMBA	PVC	1.0	0.90	26.0	530.93	1.8835	1.0296E-06	47563	0.0015	0.00006	0.021	0.133	0.593
BOMBA- IMPULSION			1.61	43.0	1452.20	0.6886	1.0296E-06	28759	0.0015	0.00003	0.024	0.021	
			3.12	26.0	530.93	1.8835	1.0296E-06	47563	0.0015	0.00006	0.021	0.461	

**Fuente:** elaboración propia.

**ANEXO N°10.** Pérdidas de energía por accesorios - trayectoria 5.

TRAMO	ACCESORIOS	cant.	Le/Di	f	K	Q = 0.2 Lts/s		Q = 0.4 Lts/s		Q = 0.6 Lts/s		Q = 0.8 Lts/s		Q = 1.0 Lts/s	
						v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)	v <sup>2</sup> /2g (m)	hm (m)
SUCCION - BOMBA	codo estándar	1	30	0.014	0.42	0.007	0.003	0.029	0.012	0.065	0.027	0.116	0.049	0.181	0.076
	Universal	1	6	0.014	0.08	0.007	0.001	0.029	0.002	0.065	0.005	0.116	0.010	0.181	0.015
	Universal	1	6	0.012	0.07	0.007	0.001	0.029	0.002	0.065	0.005	0.116	0.008	0.181	0.013
	Expansión gradual	1			0.59	0.007	0.004	0.029	0.017	0.065	0.038	0.116	0.068	0.181	0.107
	Tee estándar	1	65	0.012	0.78	0.007	0.006	0.029	0.023	0.065	0.051	0.116	0.090	0.181	0.141
	Tee reductora	3	65	0.012	0.78	0.007	0.017	0.029	0.068	0.065	0.152	0.116	0.271	0.181	0.423
BOMBA - IMPULSION	codo estándar	4	30	0.012	0.36	0.007	0.010	0.029	0.042	0.065	0.094	0.116	0.167	0.181	0.260
	codo 45°	2	16	0.012	0.19	0.007	0.003	0.029	0.011	0.065	0.025	0.116	0.044	0.181	0.069
	codo curvo 90°	1	20	0.012	0.24	0.007	0.002	0.029	0.007	0.065	0.016	0.116	0.028	0.181	0.043
	válvula de bola	3	150	0.012	1.80	0.007	0.039	0.029	0.156	0.065	0.351	0.116	0.625	0.181	0.976
	válvula Check	1	50	0.012	0.60	0.007	0.004	0.029	0.017	0.065	0.039	0.116	0.069	0.181	0.108
	válvula compuerta	1	8	0.012	0.10	0.007	0.001	0.029	0.003	0.065	0.006	0.116	0.011	0.181	0.017
	$\sum$ hm =							0.090	0.360		0.810		1.440		2.250

**Fuente:** elaboración propia.