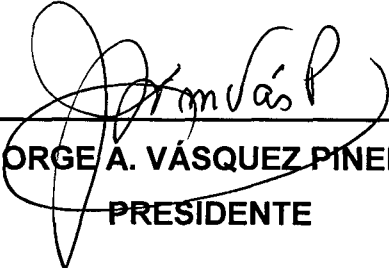




TESIS APROBADA EN SUSTENTACIÓN PÚBLICA EL DÍA 30 DE SETIEMBRE DEL 2010 EN EL AUDITORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA DE IQUITOS-PERÚ, POR EL SIGUIENTE JURADO:



ING. JORGE A. VÁSQUEZ PINEDO, MG.
PRESIDENTE




ING. LUIS GÓMEZ TUESTA
MIEMBRO



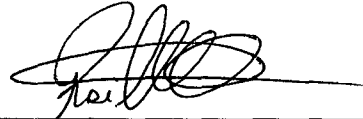
ING. JOSÉ PERDIZ DÁVILA
MIEMBRO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR



**BACH. AMACIFUÉN FASANANDO
JOSÉ**




**BACH. ROSITA DEL PILAR DAHUA
MACEDO**



BACH. FLORES GARCÍA RAY CRISTIAN

ASESOR:



ING. ÓSCAR ALBERTO VÁSQUEZ GIL

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	III
INTRODUCCIÓN	IV
ANTECEDENTES	V
OBJETIVOS	VII
JUSTIFICACIÓN	VIII
MÉTODOS Y LUGAR DE EJECUCIÓN	X
NOMENCLATURA	XII
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	1
1.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.	1
1.1.1 Densidad.	1
1.1.2 Peso específico.	2
1.1.3 Gravedad específica.	2
1.1.4 Viscosidad.	2
1.1.4.1 Viscosidad Dinámica	3
1.1.4.2 Viscosidad Cinemática	3
1.1.5 Presión.	4
1.1.5.1 Presión Atmosférica	4
1.1.5.2 Presión Relativa	5
1.1.5.3 Presión absoluta	5
1.1.5.4 Vacío o depresión	6

1.2	MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS.	6
1.2.1	Tipos de Fluidos	6
1.2.1.1	Flujo Laminar	6
1.2.1.2	Flujo Turbulento	7
1.2.1.3	Flujo Constante	7
1.2.1.4	Flujo Variable	7
1.3	Ecuaciones Generales de Flujo de Fluidos	8
1.3.1	Ecuación de continuidad	8
1.3.2	Ecuación de Bernoulli	9
1.3.3	Ecuación general de Darcy-Weisbach	10
1.3.4	Número de Reynolds	11
1.3.5	Pérdidas por Fricción	11
1.4	Longitud Equivalente de accesorios	12
1.5	Factor o Coeficiente de Fricción	12
1.6	Diagrama de MODY	13
1.7	Pérdidas menores en tuberías	14
1.7.1	Pérdidas por fricción debido a una expansión de la sección	14
1.7.2	Pérdidas por fricción debido a una contracción de la sección	15
1.8	Medidores de Fluidos	16
1.8.1	Manómetros	16
1.8.2	Rotámetros	17
1.8.3	Placa de Orificio	18
1.9	Transporte de Fluidos	19
1.9.1	Tuberías	19
1.9.1.1	Acero	19
1.9.1.2	PVC	20
1.9.1.3	Fierro galvanizado	20
1.9.2	Accesorios	20

1.9.2.1	Válvulas	20
a	De Compuerta	21
b	De retención	21
c	De bola o Esférica	22
1.10	Bombas	23
1.10.1	Centrífugas	23
1.10.2	Periféricas	24
1.11	Potencia requerida de una bomba	25
 CAPITULO II. CONDICIONES Y CÁLCULOS DE DISEÑO		26
2.1	Condiciones iniciales para el diseño	26
2.2	Cálculos de diseño	26
2.2.1	Caudal de diseño	27
2.2.2	Pérdidas de carga por fricción	28
2.2.3	Diseño de la Electrobomba	44
2.2.3.1	Carga máxima ejercida por la electrobomba	44
2.2.3.2	Potencia de la Electrobomba	45
2.2.4	Volumen de agua que ocupa todo el sistema	45
2.2.5	Tanque de alimentación	48
 CAPÍTULO III. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL EQUIPO		49
3.1	Materiales empleados	49
3.2	Descripción y especificación de los componentes del equipo.	50
3.3	Ensamblaje y despiece	53
3.4	Vistas principales del equipo instalado (horizontal, frontal, de perfil e isométrica).	56
3.5	Descripciones y especificaciones de servicios auxiliares	61

3.6	Disposición adecuada del equipo en el laboratorio de procesos y operaciones unitarias	61
CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO		62
4.1	Descripción del funcionamiento del equipo.	62
4.2	Ensayos y pruebas de funcionamiento del equipo.	62
4.3	Análisis de los resultados obtenidos.	62
4.4	Determinación de las condiciones óptimas de funcionamiento del equipo.	66
4.5	Aspectos de Higiene y Seguridad Industrial.	66
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE COSTOS		67
5.1	Costo de diseño.	67
5.2	Costo de construcción e instalación.	67
5.3	Costo de materiales.	68
5.4	Otros costos.	70
5.5	Costo Total.	70
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
6.1	Conclusiones	71
6.2	Recomendaciones	73
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA		74
CAPÍTULO VIII. ANEXOS		76
A. LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS		76

Diseño, Construcción e Instalación de un Equipo para la Medición de Flujo y Presión por Péndulo para el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la F.F.C.H. U.C.R.

B.	DIAGRAMA DE MOODY (ε/D) – RUGOSIDAD RELATIVA	77
C.	FACTORES DE FRICCIÓN PARA CUALQUIER TIPO DE TUBERÍA COMERCIAL	78
D.	CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN DE UNA SECCIÓN	79
E.	CÁLCULOS PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	80
E.1.	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN POR TRAMOS – TEÓRICO	80
E.2.	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN POR TRAMOS – EXPERIMENTAL	84
E.3.	FLUJO DE FLUIDOS: COMPARACIÓN DE CAUDALES	90
E.4.	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS DE DISTINTOS MATERIALES	93
F.	INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO	97
	ÍNDICE DE FIGURA	99
	ÍNDICE DE TABLAS	100

DEDICATORIA

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mi esposa e hija por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y amor en los momentos difíciles. A mis hermanos, porque siempre estuvieron alentándome para lograr mis metas propuestas. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

José Amacifuén.

A Dios por guiarme, protegerme y darme sabiduría, a mi madre Rene, mis hermanas Judith, Sheyla y Cinthia, mis tíos Héctor e Isabel quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento con perseverancia y mucha fé.

Rosita Dahua.

A DIOS por darme tantas bendiciones y una maravillosa familia a quien dedico este trabajo. A mi Papá Alberto por su apoyo incondicional, por ser mi mejor amigo y por enseñarme a ser humilde y luchar siempre por lo que quiero. A mi Mamá Sina por todas sus enseñanzas como madre y amiga, por enseñarme a amar como siempre nos amas. A mi hermano Andreé, por ser mi amigo, mi confidente y por ser la persona que mantiene en mi mente la idea de seguir siendo un buen ejemplo para él. A mis abuelitos Luisa y Alejandro, mis segundos padres, que me brindan mucho amor y los consejos que siempre necesito para mirar los problemas de otra manera. Al amor de mi vida Rocío Dávila, por amarme con locura como yo lo hago, por hacerme pisar tierra y simplemente por estar ahí cuando más te necesito. Con lagrimas -de alegría- en los ojos a mi hermanita preciosa Paolita, porque desde el cielo me ayudaste a combatir mi desidia para terminar este trabajo. Y por último, y no menos importante, a todos mis amigos en especial a mis amigos incondicionales del FRU, historias universitarias como las nuestras nadie las vivió.

Ray Flores.

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater por habernos albergado en estos años de estudio, a todos los docentes de nuestra Gloriosa Facultad por habernos inculcado en todo este tiempo los instrumentos necesarios para poder sobrevivir en esta carrera, en especial al Ing. Grimaldo García Garay (QEPD), una persona y profesional maravilloso con una mente privilegiada que nos enseñó -entre muchas cosas- que el razonamiento está por encima de memorizarte unas cuantas líneas para resolver un examen.

A nuestro asesor de tesis Ing. Óscar Vásquez, por habernos guiado durante el desarrollo de este trabajo; y a los miembros de nuestro Jurado de Tesis, que sin sus sabias observaciones no hubiese sido posible pulir este trabajo final.

Los Autores.

INTRODUCCIÓN

El flujo y el comportamiento de los fluidos revisten gran importancia en muchas de las operaciones unitarias de ingeniería de procesos. Un fluido, puede definirse como una sustancia que no resiste, de manera permanente, la deformación causada por una fuerza y, por tanto, cambia de forma. En las industrias de proceso, gran parte de los materiales están en forma de fluidos y deben almacenarse, manejarse, transportarse y procesarse, por lo que resulta necesario conocer los principios que gobiernan al flujo de fluidos y también los equipos utilizados. Los fluidos típicos son el agua, aire, CO₂, aceites, lechadas o suspensiones y jarabes espesos (GEANKOPLIS, 2006), para lo cual el tipo de fluido con que se desarrollará este proyecto será el agua.

Dentro de la formación del ingeniero químico, ocupa un lugar importante las operaciones unitarias, y dentro de ella se puede apreciar una gran cantidad de funciones y aplicaciones que conlleva a utilizar La Mecánica de Fluidos. Este trabajo plantea la aplicación de la teoría de Flujo de Fluidos y Pérdida por Fricción, de tal manera que el equipo sirva para desarrollar prácticas en los cursos de ingeniería y afines.

La variedad de las aplicaciones de la Mecánica de Fluidos es tan grande, que el ingeniero químico debe familiarizarse con las leyes del *Flujo de los Fluidos y Pérdida por Fricción* en tuberías y accesorios.

ANTECEDENTES

En la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se vienen construyendo equipos, mediante los Proyectos de Tesis, que permiten la medición de Flujo de Fluidos, como son los casos de las siguientes:

- **(RAMÍREZ N. 1984)**, con la tesis titulada: **“Diseño, Construcción e Instalación de un Equipo de Transporte de Fluidos para el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la FIQ-UNAP”**, Iquitos-Perú. Este equipo fue diseñado con el fin de demostrar las ecuaciones de continuidad y balance general de energía (ampliación de la ecuación de Bernoulli), para el cálculo de pérdidas de carga en tramos de tubería recta y accesorios.
- **(SALAS F, LOVERA M. 2002)**, en la FIQ-UNAP, Iquitos-Perú, con la tesis titulada: **“Diseño, Construcción e Instalación de un Sistema para Medición de Caudal Utilizando el Tubo de Pitot”**; Las prácticas que se realizan en este sistema, consisten en la medición de las velocidades locales en una tubería de 3 pulgadas de diámetro, para esto se utiliza un tubo de Pitot el cual está conectado a un manómetro diferencial donde se capta la diferencia entre la presión dinámica y la presión estática. Por medio de la ecuación de Bernoulli, los autores de este trabajo, encontraron una ecuación que relaciona la velocidad local con el diferencial de presión, calculándose de esta forma la velocidad local. Después de medir cinco velocidades locales proceden a la integración gráfica de las mismas por medio de un modelo matemático que también dedujeron. Eso con el fin de calcular la velocidad promedio que multiplicada al área de flujo permite calcular o medir el caudal.

- **(GRÁNDEZ A, GARCÍA R. 2002)**, en la **FIQ-UNAP**, Iquitos-Perú, han realizado la tesis de **“Diseño, Construcción e Instalación de un Sistema de Medición en Canal Abierto”**. Este equipo consta básicamente de un canal abierto de forma rectangular, a la salida del mismo se colocan placas rectangulares de diferentes dimensiones, las cuales sirven como vertederos. Las prácticas que se llevan a cabo en este equipo, consisten básicamente en la medición del caudal en un canal abierto de forma rectangular, para esto hace uso de una ecuación que relaciona el caudal con la altura del líquido en el vertedero rectangular. Este mismo procedimiento se realiza para cada una de las placas de diferentes tamaños.

De las cuales a la primera en mención pretendemos **INNOVAR**, diseñando, construyendo e instalando un equipo versátil de medición de flujo y pérdidas por fricción, adicionando tuberías de distintos materiales como son el de PVC, Fierro Galvanizado y Acero estándar; y además, la instalación de un rotámetro digital para la medición del caudal de forma directa y la instalación de manómetros tipo Bourdon (medición directa) en vez de manómetro diferencial con mercurio y tetracloruro de carbono que aportan muchos problemas de operación, mantenimiento, logística, etc.



OBJETIVOS

A. GENERAL

- Diseñar, construir e instalar un Equipo para la Medición de Flujo de Fluidos y Pérdida de Carga para el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAP.

B. ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros de diseño del Equipo de Flujo de Fluidos y Pérdida de carga.
- Diseñar el equipo.
- Seleccionar los materiales de las tuberías y accesorios para su construcción.
- Construir el equipo e instalarlo.
- Determinar las pérdidas por fricción en el sistema y compararlos con el cálculo teórico.
- Determinar la variación del caudal entre los distintos medidores de flujo.
- Elaborar el Instructivo de Operación del equipo.

JUSTIFICACION

En la actualidad el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, cuenta con un Equipo de transporte de fluidos construido en 1984, que presenta muchas limitaciones en su funcionamiento, debido a que las tuberías de fierro galvanizado presentan corrosiones y fugas, lo cual no permite realizar cálculos exactos en materia de medición de flujo de fluidos y pérdidas por fricción en tuberías y accesorios; también, no permitiendo realizar una comparación acertada entre un valor teórico y un práctico; también, existiendo un inconveniente en la medición de las presiones, ya que cuenta con un manómetro diferencial de Tetracloruro de Carbono y mercurio que desde hace varios años no ha sido implementada, y que se pretende innovar implementando manómetros tipo Bourdon para la medición directa.

Con el desarrollo de este proyecto de tesis se pretende diseñar, construir e instalar un equipo versátil, apostando por la implementación de nueva tecnología en la construcción de sistemas de tuberías, hecho que permitirá una adecuada distribución en el área del Laboratorio, y además que tendrá un menor área de operación y sistemas de fácil y confiable medición (Rotámetro digital y Manómetros tipo Bourdon); aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, donde se demostrarán las leyes fundamentales de la Mecánica de Fluidos, permitiendo que tanto docentes como estudiantes eleven el nivel académico de los cursos de ingeniería.

Una de las aplicaciones más importantes en el *Flujo de Fluidos* es el flujo en conductos circulares, tuberías y caños, que se observan en los distintos sistemas de distribución de agua potable en las urbes, en los distintos sistemas de distribución de

cualquier tipo de fluido en las industrias, etc.; Las *Pérdidas por Fricción* en los flujos por tuberías y accesorios, son importantes para calcular la potencia requerida del equipo que impulsará el fluido por un determinado sistema de distribución.

Esto a su vez servirá como material didáctico en busca de afianzar los conocimientos teóricos adquiridos, que sencillamente se podrán demostrar mediante una práctica; de esta forma contribuir en el desarrollo y fortalecimiento académico de los estudiantes y docentes de nuestra facultad.

MÉTODOS Y LUGAR DE EJECUCIÓN

MÉTODO

El método que se utilizó en el desarrollo de esta tesis, está basado en la aplicación de Principios de la Ingeniería para el diseño de sistemas de distribución y transporte de fluidos, que se fundamenta en la Mecánica de Fluidos.

La metodología del desarrollo del plan de tesis se basará en asignar tareas específicas para cada miembro, como son:

- Evaluación de las condiciones iniciales para el diseño, tomando las condiciones normales de temperatura (25 °C) y presión (1 atm) para realizar los cálculos
- Evaluación de las características físicas del fluido a utilizar.
- Evaluación de las dimensiones y material de las paredes de la tubería a utilizar en el equipo.
- Evaluación de las características del flujo de fluidos.
- Evaluación de las pérdidas de cargas primarias y secundarias.
- Evaluación de las condiciones óptimas para el funcionamiento del equipo en las diferentes corridas que se realizarán, es decir, mediante el MÉTODO EXPERIMENTAL.

Para ello se realizarán experimentos, realizando mediciones de la longitud de las tuberías, del número y tipo de accesorios por tramo, de la presión en cada tramo, del caudal de operación, etc.; para calcular las pérdidas por fricción primarias (tuberías) y secundarias (accesorios) con el fin de determinar la potencia requerida de la electrobomba.

LUGAR DE EJECUCIÓN:

El desarrollo de la Tesis se realizará en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, situada en la ciudad de Iquitos.

La construcción del equipo se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAP.

I. NOMENCLATURA

<i>Densidad</i>	ρ
<i>Peso Específico</i>	γ
<i>Viscosidad Absoluta</i>	μ
<i>Viscosidad Cinemática</i>	ν
<i>Tensión Restante</i>	Γ
<i>Presión</i>	P
<i>Caudal</i>	Q
<i>Velocidad</i>	U
<i>Diámetro</i>	D
<i>Volumen</i>	V
<i>Radio</i>	r
<i>Altura</i>	h, Z
<i>Longitud</i>	L
<i>Área</i>	A
<i>Peso</i>	w
<i>Gravedad</i>	g
<i>Gravedad Específica</i>	GE
<i>Peso Específico Del Fluido</i>	ω
<i>Rugosidad Relativa</i>	ε
<i>Rugosidad Absoluta</i>	$K= \varepsilon/D$
<i>Factor de Fricción</i>	f

<i>Número de Reynolds</i>	<i>Re</i>
<i>Pérdida de Carga Primaria</i>	<i>H_P</i>
<i>Pérdida de Carga Secundaria</i>	<i>H_S</i>
<i>Pérdida de Carga Contracción</i>	<i>H_C</i>
<i>Pérdida de Carga Ensanchamiento</i>	<i>H_E</i>



CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

En general, la materia puede clasificarse por las formas físicas en que se presentan, siendo estas formas, la sólida, líquida y la de gas. Los **fluidos** comprenden las fases **líquida y gaseosa** (o de vapor) de la materia (DAYLIN, J 1975).

Un fluido se define como una sustancia que cambia su forma continuamente siempre que esté sometida a un esfuerzo cortante, sin importar qué tan pequeño sea (SHAMES, I 1995), y debido a su poca cohesión intramolecular carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene (MATAIX, C 1982), por ser el fluido, una porción de materia incapaz de contrarrestar el efecto de fuerzas que producen deformaciones sin cambio de volumen. (GRATON, J 2002).

1.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.

La solución a cualquier problema de flujo de fluidos requiere un conocimiento previo de las propiedades físicas del fluido en cuestión.

1.1.1 Densidad, (ρ)

La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen. Siendo su unidad en el S.I. el kilogramo por metro cúbico. (CRANE 1987). En el sistema c.g.s. la densidad del agua es aproximadamente 1 g/cm³. (GILES, R 1994)

$$\rho = \frac{M_{\text{Fluido}}}{V_{\text{Fluido}}} \quad (1.1)$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido (Kg/m³)

M_{Fluido} : Masa del fluido (Kg)

V_{Fluido} : Volumen del fluido (m³)

1.1.2 Peso específico, (γ)

El peso específico de una sustancia es el peso de la unidad de volumen de dicha sustancia. En los líquidos, el peso específico puede considerarse constante para las variaciones mínimas de presión. (GILES, R 1994). Se calcula dividiendo el peso de un cuerpo o porción de materia entre el volumen que éste ocupa, y su unidad en el S.I. es el Kg/m³.

$$\gamma = \frac{W_{\text{Fluido}}}{V_{\text{Fluido}}} \quad (1.2)$$

Donde:

γ : Peso específico del fluido (kg/m³)

W_{Fluido} : Peso del fluido (Kg)

V_{Fluido} : Volumen del fluido (m³)

1.1.3 Gravedad específica.

Es definida como la relación de la densidad de la sustancia con la del agua destilada a 4°C, siendo esta relación adimensional.

$$GE = \frac{\rho_{\text{SUSTANCIA}}}{\rho_{\text{AGUA}}} \quad (1.3)$$

1.1.4 Viscosidad.

La viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido. En los líquidos, la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura. (GILES, R 1994).

1.1.4.1 Viscosidad Dinámica o Absoluta, μ

Se define como el tiempo en que tarda, un fluido, en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (Pa.s). El poise es la unidad correspondiente en el sistema c.g.s. de unidades y tiene dimensiones de dina segundo por centímetro cuadrado o de gramos por centímetro segundo. El submúltiplo centipoise (cP), 10^{-2} poises, es la unidad más utilizada para expresar la viscosidad dinámica. La relación entre el Pascal segundo y el centipoise es:

$$\begin{aligned} 1\text{Pa.s} &= 1 \text{ N.s/m}^2 = 1 \text{ kg/(m.s)} = 10^3 \text{ cP} \\ 1 \text{ cP} &= 10^{-3} \text{ Pa.s} \end{aligned} \quad (\text{CRANE 1987})$$

Esta viscosidad se define como:

$$\mu = \frac{\Gamma}{dV / dy} \quad (1.4)$$

Donde:

Γ = Tensión cortante

dV/dy = Gradiente de Velocidad (GILES, R 1994)

1.1.4.2 Viscosidad Cinemática o Relativa, ν

Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m^2/s).

La unidad c.g.s. correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt), 10^{-2} stokes, que es el submúltiplo más utilizado.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.5)$$

Donde:

μ = Viscosidad dinámica, centipoise (cP)

ρ = Densidad, gr/cm^3

(CRANE 1987)

1.1.5 Presión

Es una magnitud física que expresa la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

En fluidos, las medidas de presión se realizan con los manómetros, que pueden ser de diversas formas, y esta presión será denominada presión relativa o manométrica. La presión manométrica representa el valor de la presión sobre la presión atmosférica.

La presión viene expresada por una fuerza dividida por una superficie.

En general:

$$P (N / m^2) = \frac{dP(N)}{dA(m^2)} \quad (1.6)$$

(GILES, R 1994)

1.1.5.1 Presión Atmosférica

Sobre la superficie de un líquido actúa la presión del aire o gas que sobre ella existe. Esta presión puede adquirir un valor cualquiera en un recipiente cerrado; pero si el recipiente está

abierto sobre la superficie libre del líquido actúa la presión atmosférica, debido al peso de la columna de aire que gravita sobre el fluido.

La presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud. La presión media normal a 0° C y al nivel del mar es de 760 Torr = 1,02396 bar y se llama atmósfera normal. En la técnica se utiliza mucho la atmósfera técnica, que es igual a 1 bar. (MATAIX, C 1982)

1.1.5.2 Presión Relativa

La mayoría de los manómetros, están contruidos de manera que miden presiones relativas sobre la atmósfera local. (MATAIX, C 1982)

$$P_{\text{man}} = \rho gh \quad (1.7)$$

Donde:

P_{man} : Presión manométrica (N/ m²)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

h : Altura de líquido (m)



1.1.5.3 Presión Absoluta

Para hallar la presión absoluta con exactitud, habrá que sumar a la presión leída en el manómetro (Pman) y la presión atmosférica local (Patm) medida con un barómetro, y se mide con relación al cero absoluto de presión (vacío total).

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}} \quad (1.8)$$

(MATAIX, C 1982)

1.1.5.4 Vacío o depresión

Caso particular que se origina en una cavidad cerrada donde la presión manométrica (P_{man}) del fluido es menor que la presión atmosférica local (P_{atm}); por lo que el grado de vacío se incrementa en relación directa con la disminución de la presión total del fluido. La presión de vacío es aquella que se mide como la diferencia entre una presión atmosférica y la presión absoluta (cero absoluto).

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs} \quad (1.9)$$

1.2 MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS

1.2.1 Tipos de Fluidos

1.2.1.1 Flujo Laminar

En el régimen laminar las partículas fluidas discurren según filetes paralelos, no existiendo componente transversal de la velocidad. El avance ordenado es tal que cada partícula sigue exactamente el camino de la partícula procedente sin ninguna desviación. Entonces un delgado filamento de colorantes permanecerá tal cual sin difundirse. El flujo laminar está asociado con bajas velocidades y fluidos con movimientos de viscosa lentitud (WEBBER, N 1996)

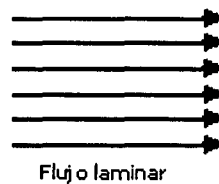


FIGURA N° 01: Dirección del Flujo laminar

1.2.1.2 Flujo Turbulento

El flujo turbulento consiste en un conjunto de torbellinos de diferentes tamaños, que coexisten en la corriente del fluido. Continuamente se forman torbellinos grandes, que se rompen en otros más pequeños, que a su vez se transforman en otros todavía menores, los cuales finalmente desaparecen. El tamaño del torbellino máximo es del mismo orden que la dimensión mínima de la corriente turbulenta; el diámetro de los torbellinos más pequeños es aproximadamente de 1 mm. (McCABE & SMITH 2002).

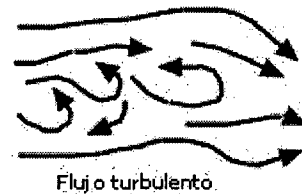


Figura N° 02: Dirección del Flujo Turbulento

1.2.1.3 Flujo Constante

Se dice que el flujo es *constante*, cuando las condiciones en cualquier punto sean constantes respecto al tiempo. Un ejemplo evidente de este flujo es el régimen constante en un conducto o canal abierto. (WEBBER, N 1996)

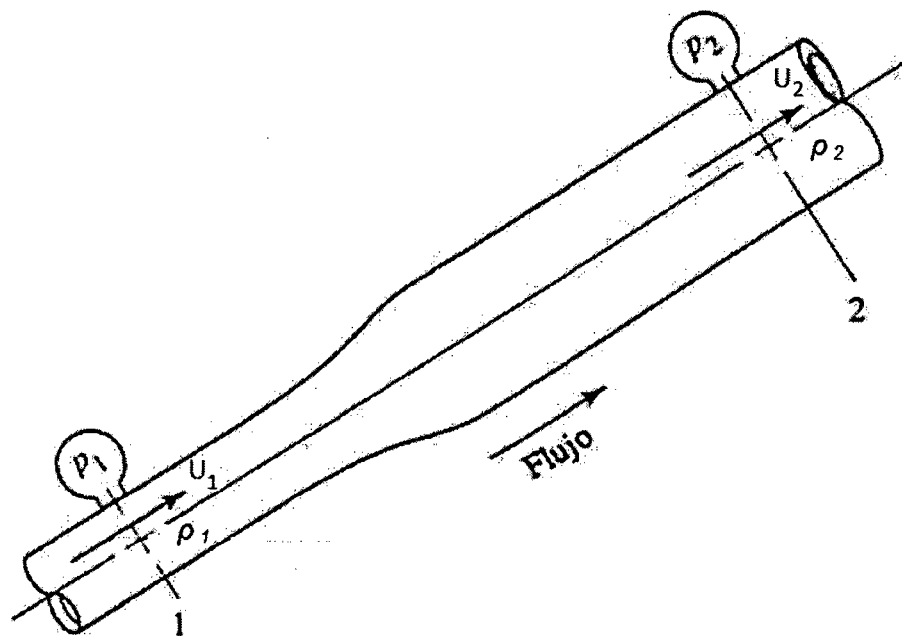
1.2.1.4 Flujo Variable

Se deduce que el flujo es *Variable*, cuando las condiciones varían respecto al tiempo. Un ejemplo de este flujo es el régimen variable en una conducción. Un ejemplo familiar de naturaleza más periódica es el movimiento de las olas o el movimiento cíclico de grandes masas de agua en las mareas. (WEBBER, N 1996)

1.3 ECUACIONES GENERALES DEL FLUJO DEL FLUIDO

1.3.1 Ecuación de Continuidad

La aplicación de la ley de la conservación de la masa (La materia no puede crearse ni destruirse), al flujo uniforme de un fluido en un tubo de corriente, da por resultado la ECUACIÓN DE CONTINUIDAD, que expresa la cantidad de flujo de una sección a otra del tubo de corriente, y que se muestra en la Figura N° 03.



**Figura N° 03: Parte de un sistema de distribución de fluido –
Ecuación de Continuidad**

$$\rho_1 A_1 U_1 = \rho_2 A_2 U_2 \quad (1.10)$$

Donde:

ρ_1 = densidad del fluido a la entrada

ρ_2 = densidad del fluido a la salida

A = Área transversal de la tubería

U = velocidad del flujo

1.3.2 Ecuación de Bernoulli

Cada término de la ecuación de Bernoulli es el resultado de dividir una expresión de la energía entre el peso de un elemento del flujo. Por consiguiente, es apropiado referirse a las formas resultantes como la energía poseída por el fluido por unidad de peso de fluido que fluye en el sistema y esto se define de acuerdo a la Figura N° 04.

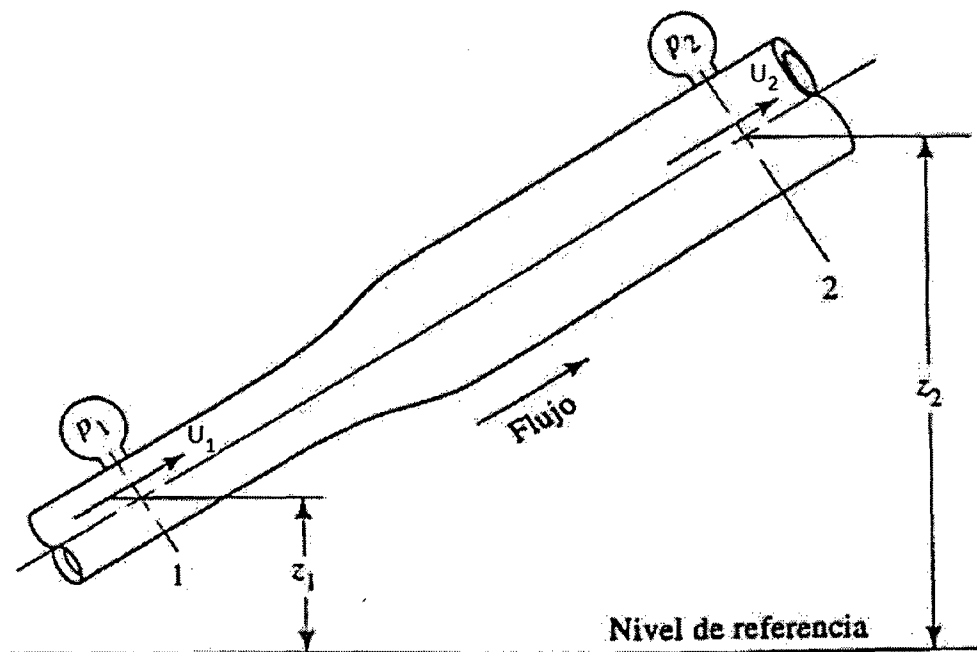


Figura N° 04: Parte de un sistema de distribución de fluido – Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho_1} + z_1 + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho_2} + z_2 + \frac{U_2^2}{2g} \quad (1.11)$$

Donde:

- | | |
|---|--|
| ρ_1 = densidad del fluido a la entrada | U_1 = velocidad del flujo a la entrada |
| ρ_2 = densidad del fluido a la salida | U_2 = velocidad del flujo a la salida |
| P_1 = Presión a la entrada | Z_1 = Altura de la entrada de flujo |
| P_2 = Presión a la salida | Z_2 = Altura de la salida del flujo |

1.3.3 Ecuación general de Darcy-Weisbach

Determinada de la siguiente manera:

$$h_f = \frac{\tau \cdot c \cdot L}{S \cdot \gamma} \quad (1.12)$$

Donde:

c= Perímetro del flujo

L= Longitud del flujo

S= área transversal del flujo

γ = peso específico del fluido

$$\tau = \lambda \cdot \rho \frac{U^2}{2} \quad \lambda = \text{Coeficiente de fanning} \quad (1.13)$$

Que posteriormente reemplazando valores obtenemos la ecuación general:

$$h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{U^2}{2 \cdot g} \quad f = 4 \lambda \quad (1.14)$$

Por unidad de longitud:

$$h_f = f \frac{1}{D} \cdot \frac{U^2}{2 \cdot g} \quad (1.15)$$

En función al caudal:

$$h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5} \cdot \frac{1}{2 \cdot g} = 0.0826 f \frac{Q^2}{D^5} \cdot L \quad (1.17)$$

1.3.4 Número de Reynolds (Re)

Viene a ser el cociente de una fuerza de inercia por una fuerza de viscosidad, que nos permite demostrar el régimen con que se desplaza un fluido (McCABE & SMITH 2002), Pudiéndose predecir mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} \quad (1.18)$$

Donde:

U = Velocidad del fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido

D = Diámetro interior de la tubería

$Re < 2100$ ---Laminar; Re entre 2100 y 3000---Transición $Re > 3000$ ---
Turbulento. (VIAN, A 1979)

1.3.5 Pérdidas por Fricción

La pérdida por fricción depende únicamente de la rugosidad, volumen y forma del sólido y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido (BADGER W, 1985). La ecuación de la pérdida por fricción está representada por la ecuación de Fanning:

$$H_f = f \frac{L.U^2}{2.g.D} \quad (1.19)$$

Donde:

f = Factor o coeficiente de fricción.

L = Longitud de la tubería

D = Diámetro interior de la tubería.

U = Velocidad media del fluido

g = Aceleración de la gravedad

(VIAN, A 1979)

1.4 Longitud Equivalente de accesorios

Accesorios	Longitud Equivalente (m)	Accesorios	Longitud Equivalente (m)
Válvula check de ½"	1,70	Válvula esférica de ½"	3,40
Válvula de compuerta de ½"	0,18	Codo 45 de ½"	0,34
Ensanchamiento (½" a 1")	0,65	Codo 90 de 1"	0,76
Reducción de 1" a ½"	0,30	Codo 90 de ½"	0,63
Tee de ½"	2,50		

Tabla N° 01: Longitudes equivalentes de accesorios

Fuente: Ocon J; 1980

La ecuación (10), se refiere a la pérdida por fricción para una tubería recta a lo largo de una tubería de longitud L, considerando que la tubería no tiene ningún tipo de accesorios, tales como válvulas, codos, etc., las pérdidas por fricción para estos accesorios se pueden determinar haciendo uso de la **Figura N° 21 (Anexo A.)**, que permite determinar la longitud de un tubo recto a que equivale el accesorio que consideramos (gráfica de CRANE). (OCON J; 1980)

1.5 Factor o Coeficiente de fricción

Cuando se trata de régimen laminar se puede deducir fácilmente que este factor viene dado por la expresión:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (1.20)$$

Donde:

f = Factor o coeficiente de fricción

Re = Número de Reynolds

Para el régimen turbulento este factor se determina en función del Número de Reynolds (Re) y de la Rugosidad Relativa (ϵ/D); se define esta rugosidad como el cociente entre el espesor de las irregularidades de la cara interna del tubo y el diámetro interno del mismo. En la **Figura N° 22 (Anexo B.)**, se representa el valor de esta rugosidad relativa frente al diámetro para tubos construidos de distintos materiales. Cuando se tienen a la Rugosidad Relativa (ϵ/D) y el Número de Reynolds (Re), el coeficiente de fricción (f) se puede determinar con ayuda de la **Figura N° 23 (Anexo C.)**, ó mediante la siguiente fórmula:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \quad (1.21)$$

(OCON, J 1980)

1.6 Diagrama de Moody

Son diagramas que denotan la rugosidad relativa para un determinado tipo de tubería lo cual está basado en sólo el valor de la rugosidad, por lo cual este valor debe ser un valor medio con el fin de simplificar el problema. En adición al problema de conocer la rugosidad de una tubería nueva los efectos del tiempo en servicio sobre las características de la pared no son muy bien conocidas para expresarlos cuantitativamente.

En relación con la **Figura N° 23 (Anexo C)**, se observará que las características del flujo, están divididos en tres regiones: flujo laminar (Re menor que 2100), flujo de transición (Re entre 2100 y 3000) y flujo turbulento (Re mayor que 3000)

1.7 Pérdidas menores en tuberías

Normalmente las pérdidas por rozamiento en las tuberías largas son mucho más importantes que las pérdidas menores, por lo que estas se desprecian frecuentemente en estas circunstancias. Sin embargo, en tuberías cortas las pérdidas menores adquieren una importancia relativa, por lo que hay que establecer algún modo de darles la consideración adecuada:

1.7.1 Pérdidas por fricción debido a una expansión de la sección

En este tipo de pérdida menor, la presión aumenta de P_1 a P_2 y la velocidad de U_1 a U_2 . El despegue tiene lugar donde la corriente surge en la tubería más pequeña, no restableciéndose las condiciones normales hasta una cierta distancia aguas abajo. El espacio alrededor de la corriente de agua en expansión se llena con un violento movimiento turbillonario, tal como se aprecia en siguiente figura:

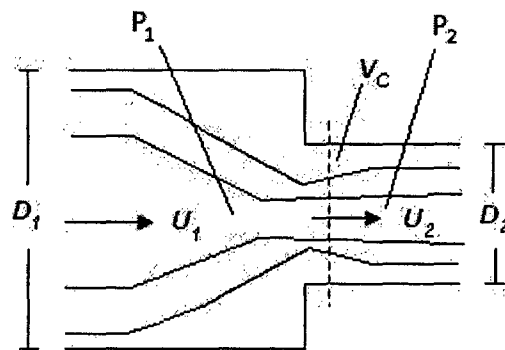


Figura N° 05: Expansión de una sección

La pérdida de carga por rozamiento en la expansión es la siguiente:

$$H_L = \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g} \quad (1.22)$$

Donde:

H_E = Pérdida de carga en la expansión

U_1 = Velocidad del flujo en la tubería pequeña

U_2 = Velocidad del flujo en la tubería grande

g = Aceleración de la gravedad

Donde K_E se calcula de la siguiente manera:

$$K_E = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right)^2 \quad (1.23)$$

Donde:

K_E = Constante de expansión

A_1 y A_2 = Áreas de tuberías a la entrada y salida del flujo

D_1 y D_2 = Diámetros de tuberías a la entrada y salida del flujo

1.7.2 Pérdidas por fricción debido a una contracción de la sección

Cuando se reduce la sección transversal de una conducción, el fluido no puede adaptarse al borde en ángulo recto y la corriente pierde el contacto con la pared de la conducción, y, como consecuencia de esto se produce un chorro que se proyecta en el interior del fluido estancado en la parte estrecha de la conducción. La sección del área mínima en la que el chorro pasa de la contracción a la expansión recibe el nombre de vena contracta (V_C), tal como se muestra en la siguiente figura:

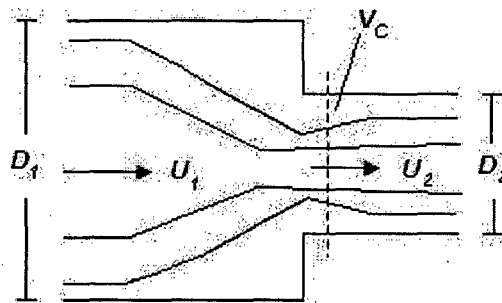


Figura N° 06: Contracción de una sección

La pérdida de carga por rozamiento en la contracción se calcula de la siguiente manera:

$$H_C = K_C \frac{U_2^2}{2g} \quad (1.24)$$

Donde:

H_C = Pérdida de carga en la contracción

K_C = Constante de contracción

U_2 = Velocidad del flujo en tubería pequeña

g = Aceleración de la gravedad

Cabe mencionar que tanto el K_C y el K_E se pueden determinar por medio de la **Figura N° 24 (Anexo D.)**. **(McCABE & SMITH, 2002)**

1.8 Medidores

1.8.1 Manómetros

Uno de los instrumentos más simples para medir la presión, es el manómetro diferencial simple; consta de un tubo transparente en forma de U que lleva conectadas las ramas a los puntos entre los cuales quiere medirse la diferencia de presión. Mide presiones relativas, positivas o negativas, como se muestran en las siguientes figuras:

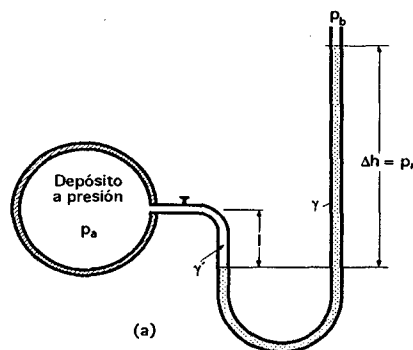


Figura N° 07: Manómetro en U

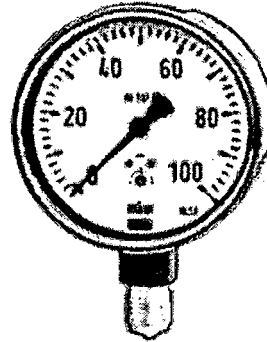


Figura N° 08: Manómetro tipo Bourdon

(FERNÁNDEZ, P 1992)

1.8.2 Rotámetros

El rotámetro consta esencialmente de un tubo cónico vertical abierto por arriba de vidrio, metal o de plástico, en cuyo interior puede moverse libremente arriba y abajo un flotador. Al circular el fluido, de abajo hacia arriba, el flotador ocupa una posición tal que permite la medición de un caudal determinado.

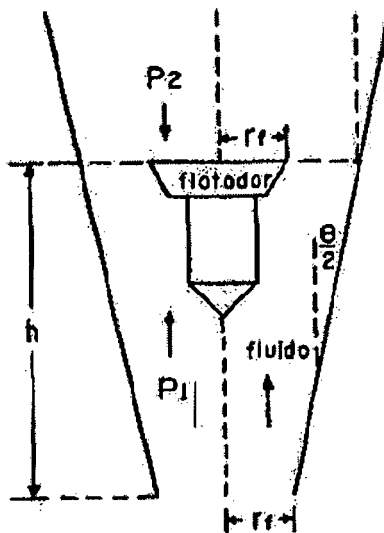


Figura N° 09: Rotámetro

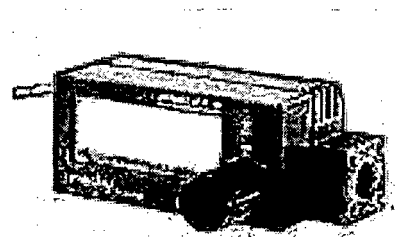


Figura N° 10: Rotámetro Digital

1.8.3 Placa de Orificio

Es un dispositivo usado para medir el índice de flujo volumétrico de un fluido que pasa en una tubería. Consisten principalmente en una reducción en la sección de flujo de una tubería, de modo que se produzca una caída de presión, a consecuencia del aumento de la velocidad. Cuando la velocidad aumenta, la presión disminuye y viceversa. Es básicamente una placa fina con un agujero en el centro que permite medir las variaciones de la velocidad con respecto a la presión. (McCABE & SMITH, 2002).

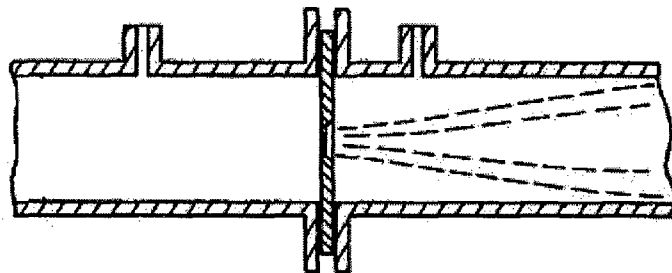


Figura N° 11: Placa de orificio

Para los flujos por orificio, con valores de número de Reynolds por encima a 30000, el coeficiente (C_o) resulta aproximadamente igual a 0.61; para números de Reynolds menores a 30000, el coeficiente (C_o) resulta aproximadamente igual a 0.41 (GILES R, 1994). Para los medidores de orificio, el diámetro óptimo para el orificio de la placa está entre el 50 y 76% del diámetro interior de la tubería (RASE HF, 1987).

Para calcular el caudal en un medidor de placa de orificio se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = A_o C_o \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (1.25)$$

Donde:

A_o = Área del orificio, m

C_o = Constante de orificio= 0.41

g = Gravedad, m/s²

ΔP = Caída de Presión, Kg/m²

ρ = Densidad del fluido, Kg/m³

1.9 Transporte de fluidos

1.9.1 Tuberías

El primer requisito que es necesario para transportar un fluido es la existencia de un canal o tubería en el que pueda efectuarse el movimiento del mismo. Los tubos y tuberías pueden construirse con cualquier material de construcción disponible, dependiendo de las propiedades corrosivas del fluido que se maneja y de la presión del flujo; estos materiales son muy variados y pueden ser: vidrio, concreto, asbesto, cemento, acero, plásticos, madera y muchos otros; sin embargo los materiales de tubería más comunes y corrientes en las industrias son el hierro, acero inoxidable, cobre, el PVC y el bronce, la selección de ellos se hace en función de la aplicación.(BADGER, W 1985)

- 1.9.1.1 **Acero.** Los suministros de tuberías de acero galvanizado se encuentran comúnmente con los diámetros interiores a partir de la 1/2 " a 2", aunque los sistemas de la mayoría de los hogares unifamiliares no requerirán ninguna tubería más grande de 3/4". Los tubos tienen National Pipe Thread (NPT) es un estándar de rosca masculina, que conectan con los

hilos de rosca femeninos en codos, tees, adaptadores, válvulas, y otros accesorios.

1.9.1.2 PVC/CPVC - El PVC se debe utilizar para el agua fría solamente, o respiradero, CPVC se puede utilizar para el abastecimiento de agua potable caliente y fría. Las conexiones se hacen con imprimaciones y cemento del solvente según los requisitos del código.

1.9.1.3 Fierro Galvanizado - La tubería de Hierro galvanizado, son tuberías de hierro recubiertas con zinc para evitar la rápida oxidación del hierro. Este tipos de tuberías se fabrican comúnmente entre diámetros de 1/8 y 12 pulgadas y soportan presiones hasta de 500 lb/ pulg².

1.9.2 Accesorios

Los acoplamientos o accesorios para conexión se clasifican en de derivación, reducción, ampliación y desviación. Los accesorios como Tees, cruces, codos con salida lateral, etc., pueden agruparse como accesorios de derivación. Los conectores de reducción o ampliación son aquellos que cambian la superficie de paso de fluido.

1.9.2.1 Válvulas

Es un dispositivo mecánico destinado a controlar, retener, regular o dar paso a un fluido. Básicamente la válvula es un ensamblaje compuesto de un cuerpo con conexión a una tubería, de unos elementos que realizan la función de sellado que dejan pasar el fluido o no a partir de un accionamiento.

a. De Compuerta

En una válvula compuerta el diámetro de la abertura a través de la cual pasa el fluido es prácticamente la misma que la de la tubería y no varía la dirección del flujo. Por lo tanto una válvula compuerta abierta completamente introduce sólo una pequeña caída de presión.

El disco tiene forma de cuña y se adapta a un asiento que tiene la misma forma; cuando se abre la válvula el disco se eleva dentro del cabezal hasta que queda completamente fuera de la trayectoria del fluido, siendo completamente adecuados para abrir y cerrar completamente la conducción. (McCABE & SMITH, 2002)

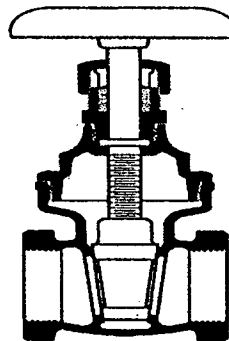


Figura N° 12: Válvula Compuerta

b. De retención

Permite el paso del flujo solamente en una dirección. Se abre debido a la presión del flujo que circula en una determinada dirección. Evita la circulación de flujo en sentido contrario al deseado. También llamada válvula antiretorno o Check. (McCABE & SMITH, 2002)

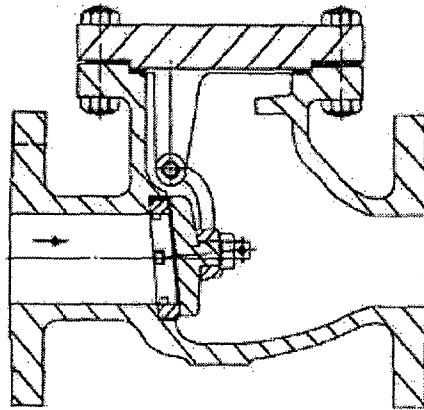


Figura N° 13: Válvula Check

c. **De bola o esférica**, Mecanismo consistente en una válvula redonda que descansa sobre un orificio adaptado a su forma y está situada en un receptáculo que limita sus movimientos, que asegura su retorno a la posición de cierre cuando la presión del líquido la empuja.

El dispositivo que permite la apertura y el cierre es una esfera, pudiendo adoptar posiciones intermedias para una apertura parcial. Se emplean en tuberías de pequeño diámetro.

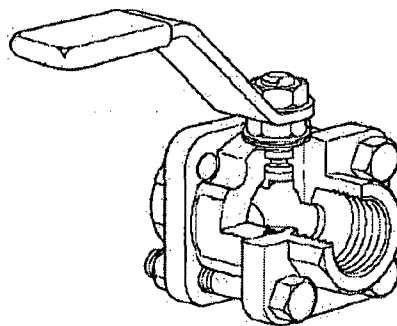


Figura N° 14: Válvula Esférica

1.10 Bombas

Bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica. Las bombas se utilizan para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos alimenticios: cerveza, leche etc.

Estas máquinas suelen definirse por cuatro características siguientes:

1. **CAPACIDAD** o cantidad de fluido descargado en la unidad de tiempo (caudal).
2. **AUMENTO DE PRESIÓN**, designado comúnmente con el término de carga.
3. **POTENCIA**, que es la energía consumida por la máquina en la unidad de tiempo.
4. **RENDIMIENTO**, es la energía cedida al fluido, dividida por la energía por la máquina. **(BROWN, G 1989)**

1.10.1 Centrífugas

Es capaz de satisfacer la mayoría de las necesidades de la ingeniería y su uso está muy extendido. Este tipo de bombas debe su nombre a un elemento rotativo, llamado rodete, que comunica velocidad al líquido y genera presión. La carcasa exterior, el eje y el motor completan la unidad de bombeo.

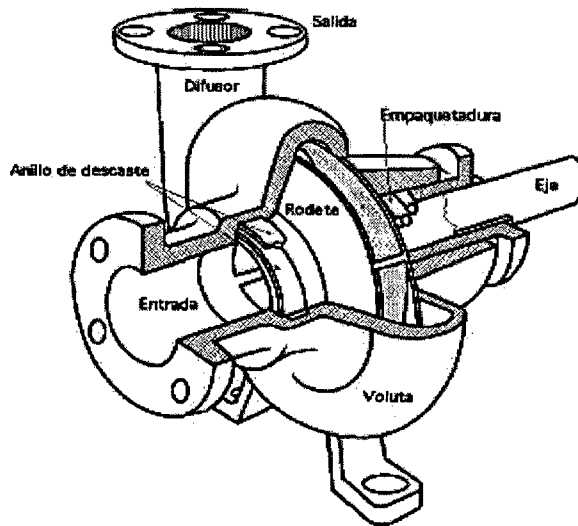


Figura N° 15: Bomba Centrífuga

1.10.2 Periféricas

Son también conocidas como bombas tipo turbina, de vértice y regenerativas, en este tipo se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas, dentro del canal anular donde gira el impulsor. El líquido va recibiendo impulsos de energía. No se debe confundir a las bombas tipo difusor de pozo profundo, llamadas frecuentemente bombas turbinas aunque no se asemeja en nada a la bomba periférica.

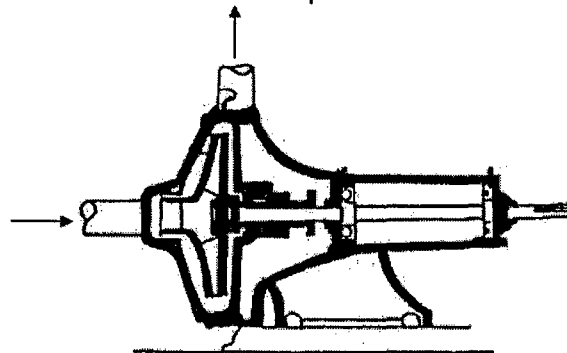


Figura N° 16: Bomba Periférica

1.11 Potencia requerida de una bomba

Está determinada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q \cdot H_b \cdot \omega}{\eta} \quad (1.26)$$

CAPÍTULO II: CONDICIONES Y CÁLCULOS DE DISEÑO

2.1 CONDICIONES INICIALES PARA EL DISEÑO

Para diseñar el equipo de transporte de fluidos, se ha tomado en cuenta las siguientes condiciones: el tipo de fluido a utilizar es el agua, y que para efectos de facilitar los cálculos de diseño, las condiciones de Operación del equipo serán a condiciones normales de temperatura (25°C) y presión (1 atm).

Las tuberías y los accesorios se encuentran distribuidas de tal forma que se pueden estudiar y comparar (mediante cálculos ingenieriles) las pérdidas de carga en las tuberías de distintos materiales y en los distintos accesorios instalados en este equipo.

2.2 CÁLCULOS DE DISEÑO

Para efectos de cálculo y su mejor comprensión el sistema se ha dividido en siete (07) tramos:

1. 0,32 metros de tubería recta de ½" (Tubería de PVC).
 - Válvula de compuerta
 - Válvula Check
 - Ensanchamiento de ½" a 1"
 - 1 Bomba Centrífuga

2. 0,815 metros de tubería recta de ½"(Tubería de PVC).
 - Reducción 1" a ½"
 - 1 Tee
 - 1 Válvula esférica
 - Válvula Check
 - 2 codos de 45
 - 1 ensanchamiento de ½" a 1"



3. 1,05 metros de tubería recta de 1" (Tubería de PVC).
 - 1 Placa de orificio
 - 1 Válvula esférica
 - 2 codos de 90°

4. 0,67 metros de tubería recta de 1" (Tubería de Acero Estándar).
 - 1 Placa de orificio
 - 1 Válvula esférica
 - 1 reducción de 1" a ½"

5. 1,50 metros de tubería recta de ½" (Tubería de Acero Estándar).
 - 2 codos de 90

6. 2,57 metros de tubería recta de ½" (Tubería de PVC).
 - 1 Unión Universal
 - 2 Codos de 90
 - 1 rotámetro digital

7. 1,81 metros de tubería recta de ½" (Tubería de Fierro Galvanizado).
 - 1 codo de 90

2.2.1 CAUDAL DE DISEÑO

Para efectos de cálculo de diseño se consideró, que el sistema cumplirá la función de servicio auxiliar de suministro de agua para un determinado proceso industrial donde se requiera agua de proceso (tipo batch), y que el volumen de agua que necesita el proceso es de 175 Litros que deberán ser transportados por tuberías en un tiempo aproximado de 9,5 minutos (9 minutos y 30 segundos).

Por consiguiente, el caudal se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

Q= Caudal l/min

V= Volumen, l

T= Tiempo, min

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{175l}{9,5 \text{ min}} = 18,42l / \text{min}$$

Para efectos de cálculos se dará el siguiente valor numérico:

$$\Rightarrow Q = 18,50 \text{ l / min} = 0,0003038 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Como dato de cálculo se tiene lo siguiente:

$$\mu = 0,000894 \text{ N.s/m}^2 = 0,000894 \text{ kg/m.s (STREETER V, 2000)}$$

2.2.2 PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN

1. Cálculo de L₁ a L₂ (Tubería de PVC de ½")

Tubería Recta..... 0,32m.

Accesorios	Diámetro	Cantidad	k
Válvula Compuerta	½"	01	0,2
Válvula Check	½"	01	26
Ensanchamiento	½" a 1"	01	.....

Tabla Nº 02: Componentes tramo 1

Fuente: (Elaboración propia)

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,017983)^2}{4} = 0,000254 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000254 \text{ m}^2} = 1,213831 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{1,213831 \text{ m/s} \times 0,017983 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,0008940 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 24343 - \text{Turbulento}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000015 \text{ m}}{0,017983 \text{ m}} = 0,0000834$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0.25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,024816$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PRIMARIA (H_p) - TUBERÍA RECTA

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,024816) \frac{[0,32 \text{ m} \times (1,213831 \text{ m/s})^2]}{[2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,017983 \text{ m}]}$$

$$H_p = 0,033196 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA (H_S) – ACCESORIOS

$$H_S = k \frac{U^2}{2g} = (0,2) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] + (26) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$H_S = 1,969526 \text{ m}$$

- PERDIDAS POR CONTRACCIÓN (H_C) A LA SALIDA DEL TANQUE

$$H_C = k \frac{U^2}{2g} = 0,50 \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,037586 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS POR ENSANCHAMIENTO (H_E)

$$H_E = \frac{(U_1 - U_3)^2}{2g} = \frac{(1,213831 - 0,458463 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$H_E = 0,029111 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL (H_T)

$$H_{TOTAL} = H_P + H_S + H_C + H_E$$

$$H_{TOTAL} = 0,033196 \text{ m} + 1,969526 \text{ m} + 0,037586 \text{ m} + 0,029111 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = 2,069418 \text{ m}$$

2. Cálculo de L_2 a L_3 (Tubería de PVC de 1/2")

Tubería Recta..... 0,815 m.

Accesorios	Diámetro	Cantidad	k
Reducción	1" a 1/2"	01	.....
Tee	1/2"	01	2,0
Válvula Esférica	1/2"	01	18
Válvula Check	1/2" a 1"	01	26
Codos de 45	1/2"	02	0,5
Ensanchamiento	1/2" a 1"	01	.....

Tabla Nº 03: Componentes tramo 2
Fuente: (Elaboración propia)

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,017983)^2}{4} = 0,000254 m^2$$

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 m^3 / s}{0,000254 m^2} = 1,213831 m / s$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{1,213831 m/s \times 0,017983 m \times 997 Kg/m^3}{0,0008940 kg/m.s}$$

$$Re = 24343 - Turbulento$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000015 \text{ m}}{0,017983 \text{ m}} = 0,0000834$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,024816$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PRIMARIA (H_P) –TUBERÍA RECTA

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,024816) \left[\frac{0,815 \text{ m} \times (1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,017983 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 0,084545 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA (H_S) – ACCESORIOS

$$H_s = k \frac{U^2}{2g} = (1 \times 2,0) \left[\frac{(1,21383 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right] + (1 \times 18) \left[\frac{(1,21383 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right] +$$

$$(1 \times 26) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right] + (2 \times 0,5) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$H_s = 3,533116 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS POR ENSANCHAMIENTO (H_E)

$$H_E = \frac{(U_2 - U_3)^2}{2g} = \frac{(1,213821 - 0,458463)^2 \text{ m}^2 / \text{s}^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$H_E = 0,029111 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS POR CONTRACCIÓN (H_C)

$$H_C = k \frac{U^2}{2g} = (0,29) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,021800 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL (H_T)

$$H_{TOTAL} = H_P + H_S + H_C + H_E$$

$$H_{TOTAL} = 0,084545 \text{ m} + 3,533116 \text{ m} + 0,021800 \text{ m} + 0,029111 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = 3,668572 \text{ m}$$

3. Cálculo de L_3 a L_4 (Tubería de PVC de 1")

Tubería Recta..... 1,05m.

Accesorios	Diámetro	Cantidad	k
Placa Orificio	.....	01	.....
Válvula esférica	1"	01	18
Codos 90°	1"	02	0,9

Tabla N° 04: Componentes tramo 3
Fuente: (Elaboración propia)

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,029261)^2}{4} = 0,000672 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000672 \text{ m}^2} = 0,458463 \text{ m / s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{0,458463 \text{ m/s} \times 0,029261 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,0008940 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 14961 - \text{Turbulento}$$

- CÁLCULO CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000015 \text{ m}}{0,029261 \text{ m}} = 0,0000513$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,027915$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PRIMARIA (H_P) –TUBERÍA RECTA

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,027915) \left[\frac{1,05 \text{ m} \times (0,458463 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,029261 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 0,010742 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA (H_S) – ACCESORIOS

$$H_s = k \frac{U^2}{2g} = (2 \times 0,9) \left[\frac{(0,458463 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] + (1 \times 18) \left[\frac{(0,458463 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$H_s = 0,440340 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN LA PLACA DE ORIFICIO (H_{PO})

$$H_{PO} = \left(\frac{1}{C_V^2} - 1 \right) \frac{U^2}{2(g)} = \left(\frac{1}{(0,41)^2} - 1 \right) \frac{(0,458463 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$H_{PO} = 0,053071 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL (H_T)

$$H_{TOTAL} = H_P + H_S + H_{PO}$$

$$H_{TOTAL} = 0,010742 \text{ m} + 0,440340 \text{ m} + 0,053071 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = 0,504153 \text{ m}$$

4. Cálculo de L_4 a L_5 (Tubería de Acero de 1")

Tubería Recta..... 0,67 m.

Accesorios	Diámetro	Cantidad	k
Placa de Orificio	----	01	----
Válvula esférica	1"	01	18
Reducción	1" a ½"	01	----

Tabla N° 05: Componentes tramo 4
Fuente: (Elaboración propia)

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,026518)^2}{4} = 0,000552 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000552 \text{ m}^2} = 0,558214 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{0,558214 \text{ m/s} \times 0,026518 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,000894 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 16508 - \text{Turbulento}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00005 \text{ m}}{0,026518 \text{ m}} = 0,001886$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,030874$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PRIMARIA (H_p) – TUBERÍA RECTA

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,030874) \left[\frac{0,67 \text{ m} \times (0,558214 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,026518 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 0,030881 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA (H_s) – ACCESORIOS

$$H_s = k \frac{U^2}{2g} = (1 \times 18) \left[\frac{(0,558214 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,512646 \text{ m}$$



- CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN LA PLACA DE ORIFICIO (H_{PO})

$$H_{PO} = \left(\frac{1}{C_o^2} - 1 \right) \frac{U^2}{2(g)} = \left(\frac{1}{(0,41)^2} - 1 \right) \frac{(0,558214 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$H_{PO} = 0,064618 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS POR CONTRACCIÓN (H_C)

$$\frac{D_5}{D_4} = \frac{0,01585 \text{ m}}{0,026518 \text{ m}} = 0,59770 \approx 0,6 \Rightarrow k = 0,28$$

$$H_C = k \frac{U^2}{2g} = (0,28) \left[\frac{(1,562515 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,034878 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL (H_T)

$$H_{TOTAL} = H_P + H_S + H_O + H_C$$

$$H_{TOTAL} = 0,030881 \text{ m} + 0,512646 \text{ m} + 0,064618 \text{ m} + 0,034878 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = 0,643023 \text{ m}$$

5. Cálculo de L_5 a L_6 (Tubería de Acero de 1/2")

Tubería Recta..... 1.5 m.

Accesorios	Diámetro	Cantidad	k
Codos 90°	1/2"	02	0.9

Tabla N° 06: Componentes tramo 5
Fuente: (Elaboración propia)

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,01585)^2}{4} = 0,000197 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000197 \text{ m}^2} = 1,562515 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{1,562515 \text{ m/s} \times 0,01585 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,000894 \text{ kg/m}\cdot\text{s}}$$

$$Re = 27619 - \text{Turbulento}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00005 \text{ m}}{0,01585 \text{ m}} = 0,003155$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,030898$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PRIMARIA (H_p) –TUBERÍA RECTA

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,030898) \left[\frac{1,5 \text{ m} \times (1,562515 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,01585 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 0,364238 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA (H_s) – ACCESORIOS

$$H_s = k \frac{U^2}{2g} = (2 \times 0,9) \left[\frac{(1,562515 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,224215 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL (H_T)

$$H_{TOTAL} = H_p + H_s$$

$$H_{TOTAL} = 0,364238 \text{ m} + 0,224215 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = 0,588453 \text{ m}$$

6. Cálculo de L_6 a L_7 (Tubería de PVC de 1/2")

Tubería Recta..... 2,57 m.

Accesorios	Diámetro	Cantidad	k
Codo 90°	.....	02	0,9
Unión Universal	1/2"	01	0,1
Rotámetro	.....	.....	.....

Tabla N° 07: Componentes tramo 6

Fuente: (Elaboración propia)

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,017983)^2}{4} = 0,000254 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000254 \text{ m}^2} = 1,213831 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{1,213831 \text{ m/s} \times 0,017983 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,000894 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 24243 - \text{Turbulento.}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000015 \text{ m}}{0,017983 \text{ m}} = 0,0000834$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,024841$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PRIMARIA (H_P) –TUBERÍA RECTA

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,024841) \left[\frac{2,57 \text{ m} \times (1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,017983 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 0,266870 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA (H_S) – ACCESORIOS

$$H_S = k \frac{U^2}{2g} = (1 \times 0,1) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right] + (2 \times 0,9) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$H_S = 0,142828 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL (H_T)

$$H_{TOTAL} = H_P + H_S$$

$$H_{TOTAL} = 0,266870 \text{ m} + 0,142828 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = 0,409698 \text{ m}$$

7. Cálculo de L_7 (Tubería de Fierro Galvanizado de 1/2")

Tubería Recta..... 1,81 m.

Accesorios	Diámetro	Cantidad	k
Codo 90°	1/2"	01	0,9

Tabla N° 08: Componentes tramo 7
Fuente: (Elaboración propia)

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,013716 \text{ m})^2}{4} = 0,000148 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000148 \text{ m}^2} = 2,083108 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{2,083108 \text{ m/s} \times 0,013716 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,000894 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 31864 - \text{Turbulento}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,15 \text{ m}}{0,013716 \text{ m}} = 0,010936$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,041296$$

- CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PRIMARIA (H_p) - TUBERÍA RECTA

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,041296) \left[\frac{1,81 \text{ m} \times (2,086545 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,013716 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 1,210483 \text{ m}$$

- CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA SECUNDARIA (H_S) - ACCESORIOS

$$H_S = k \frac{U^2}{2g} = (0,9) \left[\frac{(2,086545 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,199913 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL (H_T)

$$H_{TOTAL} = H_P + H_S$$

$$H_{TOTAL} = 1,210483 \text{ m} + 0,199913 \text{ m}$$

$$H_{TOTAL} = 1,410396 \text{ m}$$

PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL EN EL SISTEMA

TRAMOS	H_T
1. L ₁ – L ₂	2,069418 m de H ₂ O
2. L ₂ – L ₃	3,668572 m de H ₂ O
3. L ₃ – L ₄	0,504153 m de H ₂ O
4. L ₄ – L ₅	0,643023 m de H ₂ O
5. L ₅ – L ₆	0,588453 m de H ₂ O
6. L ₆ – L ₇	0,409698 m de H ₂ O
7. L ₇	1,410396 m de H ₂ O
TOTAL	9,293713 m de H₂O

2.2.3 DISEÑO DE LA ELECTROBOMBA

2.2.3.1 CARGA MÁXIMA EJERCIDA POR LA ELECTROBOMBA (H_B)

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{U_0^2}{2g} + Z_0 + H_B = \frac{P_7}{\rho} + \frac{U_7^2}{2g} + Z_7 + H_T$$

Condiciones para el cálculo:

$$P_0 = P_7 = P_{\text{Atmosférica}}$$

$$Z_0 = 0 \text{ (nivel de referencia); } Z_7 = 1 \text{ m}$$

$$V_0 = 0 \quad \frac{P_0}{\rho} + \frac{U_0^2}{2g} + Z_0 + H_B = \frac{P_7}{\rho} + \frac{U_7^2}{2g} + Z_7 + H_T$$

$$H_B = \frac{U_7^2}{2g} + Z_7 + H_T = \frac{(2,086545 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} + 1 \text{ m} + 9,293713 \text{ m}$$

$$H_B = 10,515839 \text{ m}$$

2.2.3.2 POTENCIA DE LA ELECTROBOMBA (HP)

$$HP = \frac{QH_B\rho}{\eta}$$

Condiciones para el cálculo:

* Densidad del agua a 25°C = 62,2406767 lb/pie³ = 997 Kg/m³

* Caudal (Q) = 18,5 l/min = 0.0003083 m³/s

* Eficiencia de la Bomba (η) = 80% = 0,80

$$HP = \frac{(0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s})(10,515839 \text{ m})(997 \text{ Kg} / \text{m}^3)}{0,80}$$

$$HP = 4,098385 \text{ Kg.m} / \text{s} \times \frac{1HP}{76 \text{ Kg.m} / \text{s}} = 0,053163 \text{ HP}$$

La Potencia de la bomba instalada es de ½ HP, debido a que comercialmente no se puede adquirir bombas con la potencia requerida.

2.2.4 VOLUMEN DE AGUA QUE OCUPA TODO EL SISTEMA

Como el sistema se ha dividido en siete (07) tramos, cada tramo de tubería y accesorios se considera como la forma de un cilindro, por lo que se aplica la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 L$$

Donde:

V = Volumen del cilindro; r = Radio; L = Longitud

Tramos	Accesorios	Longitud Equivalente de accesorios LE (m)	Longitud de Tubería Recta LT (m)	Total (m) LE + LT
1	- (01) Válvula check de ½" - (01) válvula de compuerta de ½" - (01) ensanchamiento de ½" a 1"	1,70 0,18 0,65	0,320	2,850
2	- (01) Reducción de 1" a ½" - (01) Tee de ½" - (01) Válvula esférica de ½" - (01) Válvula check de ½" - (02) codos de 45 de ½" - (01) Ensanchamiento de ½" a 1"	0,30 2,50 3,40 1,70 0,34 0,65	0,815	10,045
3	- (01) Válvula esférica de 1" - (02) codos de 90 de 1"	4,11 0,76	1,170	6,800
4	- (01) válvula esférica de 1" - (01) Reducción de 1" a ½"	4,11 0,30	0,800	5,210
5	- (02) codos de 90 de ½"	0,63	1,500	2,760
6	- (02) codos de 90 de ½"	0,63	2,570	3,830
7	- (01) codo de 90 de ½"	0,63	1,810	2,440

Tabla N° 09: Longitudes Equivalentes por tramos

Fuente: (Elaboración propia)

A. Tramo 1, L₁ a L₂

$$V = 3,1416 (0,0089915 \text{ m})^2 \times 2,850\text{m}$$

$$V = 0,000723869 \text{ m}^3$$

$$V = 0,723869112 \text{ l}$$



B. Tramo 2, L₂ a L₃

$$V = 3,1416 (0,0089915 \text{ m})^2 \times 10,045 \text{ m}$$

$$V = 0,00255132 \text{ m}^3$$

$$V = 2,551321 \text{ l}$$

C. Tramo 3, L₃ a L₄

$$V = 3,1416 (0,0146305 \text{ m})^2 \times 6,800 \text{ m}$$

$$V = 0,00457276 \text{ m}^3$$

$$V = 4,572757 \text{ l}$$

D. Tramo 4, L₄ a L₅

$$V = 3,1416 (0,013259 \text{ m})^2 \times 5,21 \text{ m}$$

$$V = 0,00287746 \text{ m}^3$$

$$V = 2,877466 \text{ l}$$

E. Tramo 5, L₅ a L₆

$$V = 3,1416 (0,007925 \text{ m})^2 \times 2,76 \text{ m}$$

$$V = 0,000544576 \text{ m}^3$$

$$V = 0,544576018 \text{ l}$$

F. Tramo 6, L₆ a L₇

$$V = 3,1416 (0,0089915 \text{ m})^2 \times 3,83 \text{ m}$$

$$V = 0,000972778 \text{ m}^3$$

$$V = 0,972778491 \text{ l}$$

G. Tramo 7, L₇

$$V = 3,1416 (0,006858 \text{ m})^2 \times 2,44 \text{ m}$$

$$V = 0,000360525 \text{ m}^3$$

$$V = 0,360525241 \text{ l}$$

VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN EL SISTEMA					
Tramos	Tubería Recta (m)	Diámetro (m)	Radio (m)	Volumen (m³)	Volumen (L)
1	2,850	0,017983	0,0089915	0,00723869	0,723869
2	10,450	0,017983	0,0089915	0,002551321	2,551321
3	6,800	0,029261	0,0146305	0,00457276	4,572756
4	5,210	0,026518	0,013259	0,00287746	2,877466
5	2,760	0,01585	0,0079250	0,000544576	0,544576
6	3,830	0,017983	0,0089915	0,000972778	0,972778
7	2,440	0,013716	0,006858	0,000360525	0,360525
Volumen Total					10,7802686

Tabla N° 10: Volumen total del agua en el sistema
Fuente: (Elaboración propia)

2.2.5 TANQUE DE ALIMENTACIÓN

*Diámetro 0,56 m

*Altura 0,89 m

$$V = \pi r^2 L = \pi (0,89)^2 (0,56) = 0,219 \text{ m}^3 = 219 \text{ l aprox.}$$

CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL EQUIPO

3.1 MATERIALES EMPLEADOS

En la construcción del equipo se empleó:

- Cuatro (04) tubos de PVC # de 1"
- Un (01) tubo de acero # de 1"
- Un (01) tubo de fierro galvanizado # de ½"
- Una electrobomba periférica de 0.5 HP
- Dos (02) medidores de flujo (Rotámetro y Placa de Orificio)
- Una (01) válvula compuerta de 1"
- Una (01) válvula esférica de ½"
- Dos (02) válvulas check de ½" a 1"
- Una (01) tés para tubería de ½"
- Seis (06) manómetros
- Un (01) codo F.G de 90° para tubería de ½"
- Dos (02) codos PVC de 90° para tubería de ½"
- Dos (02) codos PVC de 90° para tubería de 1"
- Dos (02) codos PVC de 45° para tubería de ½"
- Una (01) reducción Acero para tubería de 1" a ½"
- Una (01) reducción PVC para tubería de ½" a 1"
- Dos (02) ensanchamiento PVC para tubería de 1" a ½"
- Una (01) Unión Universal
- Una (01) lata de pintura
- Una (01) llave térmica
- Tres (03) varillas de fierro
- Niples
- Estructura de fierro

- Un recipiente cilíndrico de 219 L.
- Cinta teflón
- Nueve (09) abrazaderas de Fierro
- Dieciocho (18) tornillos
- Pastas de silicona
- 1 galón de pintura verde
- Lija, thinner

3.2 DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO

- Tubería de ½”

Material: PVC SAP # 10

Di : 0,017983cm

De : 2 cm

Espesor: 3mm

- Tubería de ½”

Material: Acero # 10

Di : 1,6 cm

De : 2 cm

Espesor: 3mm

- Tubería de ½”

Material: Fierro Galvanizado # 10

Di : 1,4cm

De : 2 cm

Espesor: 3mm

- **Tubería de 1"**

Material: PVC SAP # 10

Di : 2,9cm

De : 3,2 cm

Espesor: 4mm

- **Tubería de 1"**

Material: Acero # 10

Di : 2,6cm

De : 3,2 cm

Espesor: 4mm

- **Rotámetro Digital**

Marca : Electronic Digital Meter (Rotámetro)

Rango de medición: 0 – 100 L/min

- **Electro bomba**

Marca : Power Machines

Modelo : BAP – 40

Altura Dinámica : 38/5 m

Caudal máx. : 27 l/min

Potencia : 0.5 Hp

RPM : 3450

Voltaje : 220/240 V

Hz : 60

- **Válvula de compuerta**
Material: Bronce
Diámetro: 1"

- **Válvula Esférica**
Material: Bronce
Diámetro: 1/2"

- **Válvula check**
Material: Bronce
Diámetro: 1/2"

- **Codos de 90 de 1/2"**
Material: PVC SAP#10

- **Codos de 90 de 1/2"**
Material: Acero#10

- **Codos de 90 de 1/2"**
Material: Fierro Galvanizado #10

- **Codos de 90 de 1"**
Material: PVC SAP#10

- **Codos de 45 de 1/2"**
Material: PVC SAP#10

- **Té de ½"**

Material: PVC

- **Recipiente Cilíndrico**

Material : PVC

Diámetro: 56 cm

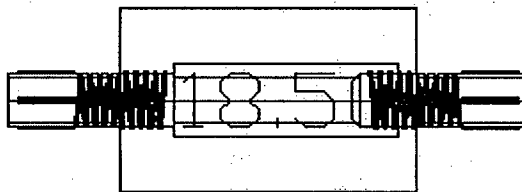
Altura : 89 cm

3.3 ENSAMBLAJE Y DESPIECE

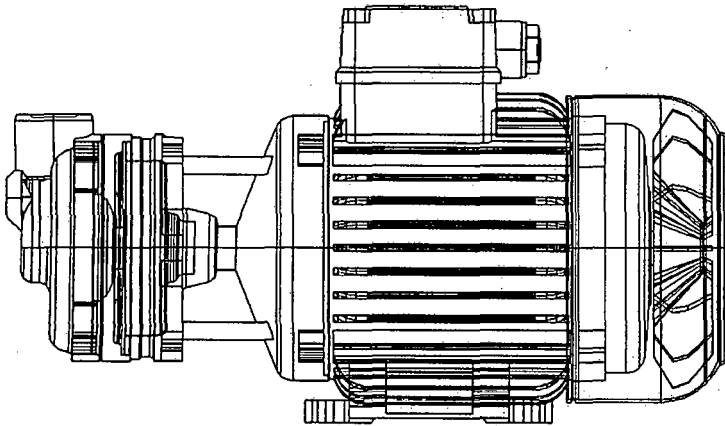
- **Tuberías**



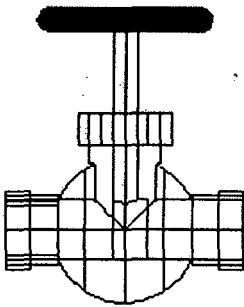
- **Rotámetro Digital**



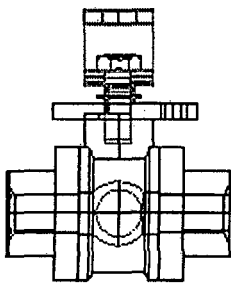
- Electro bomba



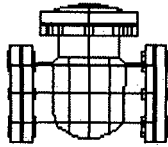
- Válvula de compuerta



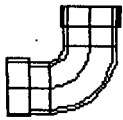
- Válvula Esférica



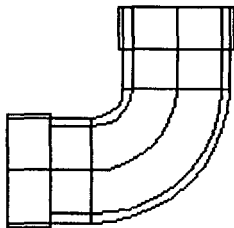
- Válvula check



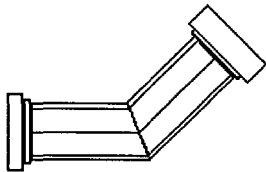
- Codos de 90 de 1/2"



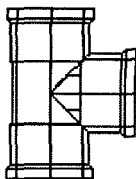
- Codos de 90 de 1"



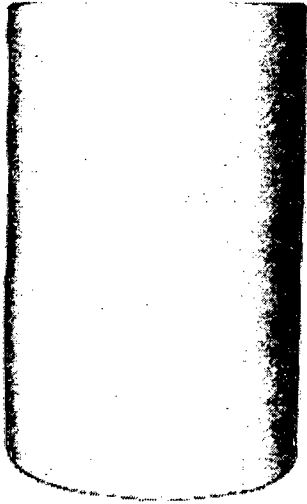
- Codos de 45 de 1/2"



- Té de 1/2"



- Recipiente Cilíndrico



3.4 VISTAS PRINCIPALES DEL EQUIPO INSTALADO (FRONTAL, SUPERIOR, DE PERFIL E ISOMÉTRICA)

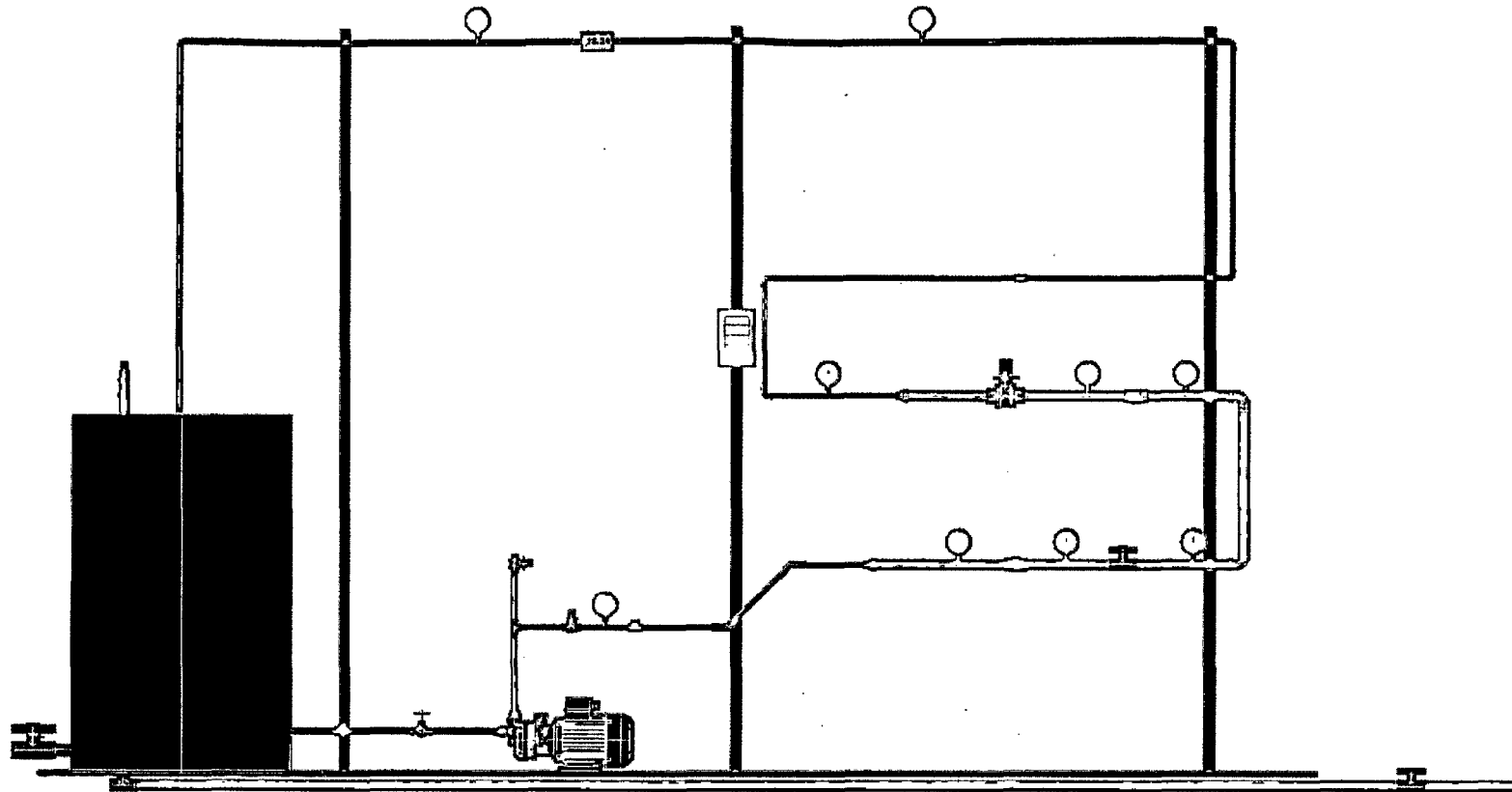


Figura N° 17: Vista Frontal
Fuente: (Elaboración propia)

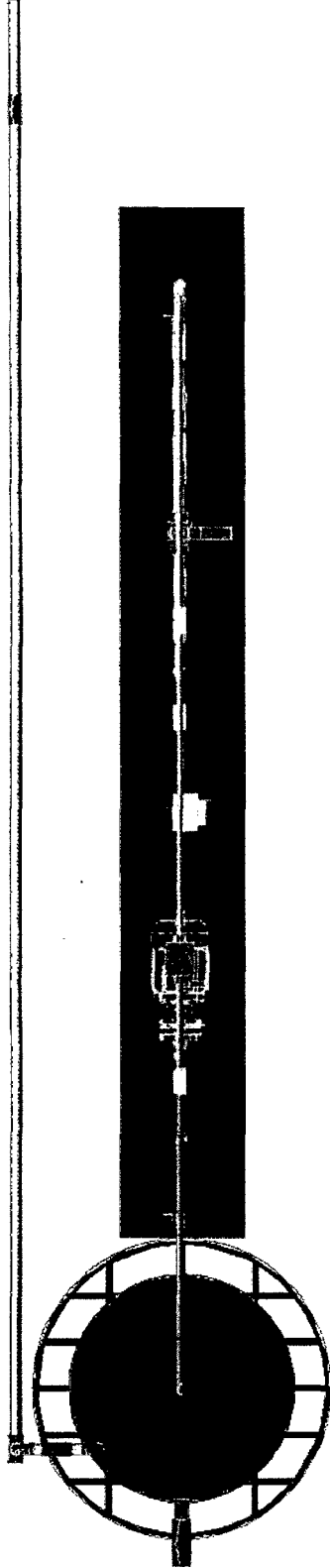


Figura N° 18: Vista Superior
Fuente: (Elaboración propia)

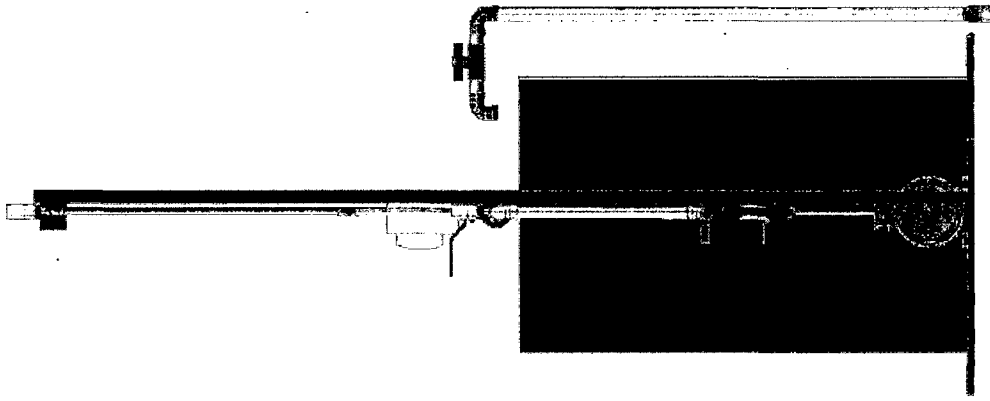


Figura N° 19: Vista de Perfil
Fuente: (Elaboración propia)

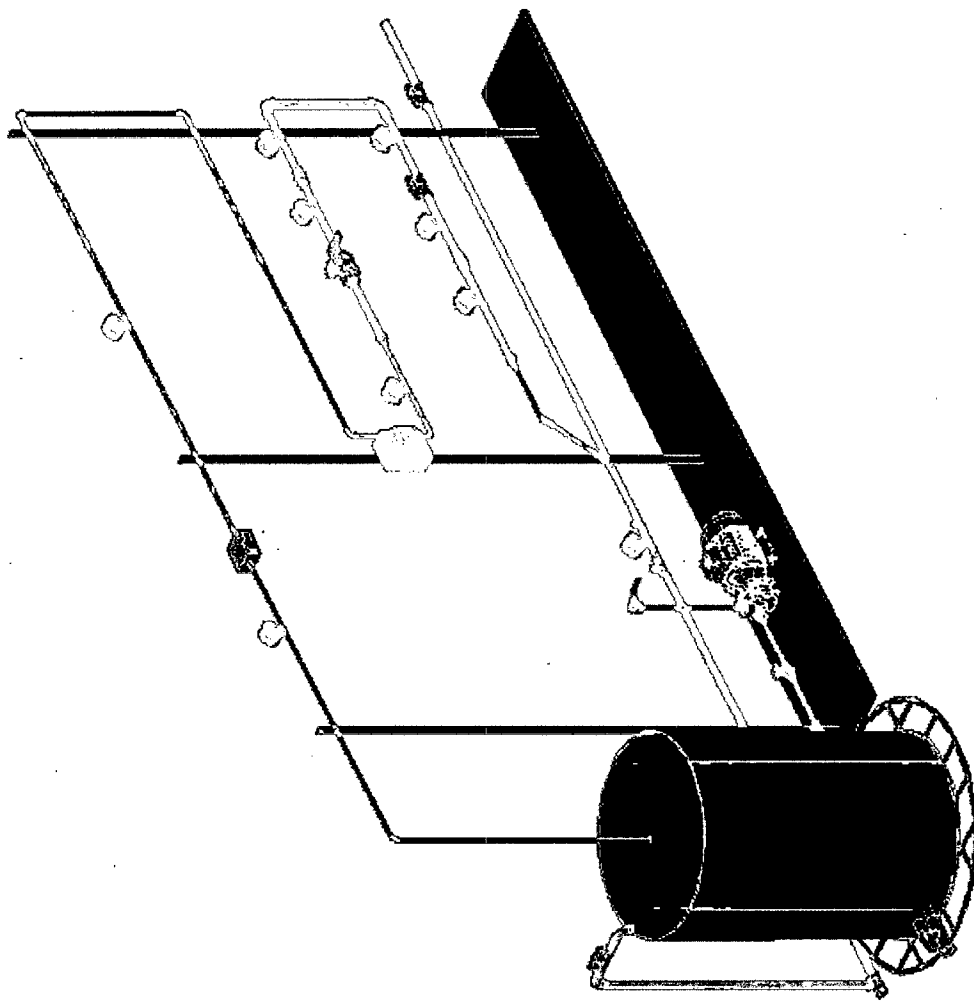


Figura N° 20: Vista Isométrica
Fuente: (Elaboración propia)

3.5 DESCRIPCIONES Y ESPECIFICACIONES DE INSTALACIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES

Para el funcionamiento del equipo se cuenta con las siguientes características:

El equipo utiliza una electrobomba acoplada a tubos de PVC; el tendido de la tubería (PVC, Fierro Galvanizado, y Acero Estándar) se encuentra apoyado sobre un soporte de fierro y anclado por medio de varillas del mismo material.

El medidor de flujo (rotámetro digital) se encuentra acoplado a tubos de PVC de ½" y Fierro galvanizado de ½". El equipo cuenta con un tanque de almacenamiento de fluido, que a su vez posee un sistema de purga con una válvula de 1" conectada en la parte inferior.

3.6 DISPOSICIÓN ADECUADA DEL EQUIPO EN EL LABORATORIO DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS

El sistema debe ocupar un área geométrica de 2,0 m² aproximadamente, por eso debe ser instalado en un lugar espacioso que cuente con conexión cercana a energía eléctrica (220 v monofásico) para el funcionamiento de la electrobomba; además, se debe contar conexión a agua que suministré al tanque de alimentación la cantidad de agua necesaria para realizar los ensayos.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL DEL EQUIPO

4.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

El equipo inicia su funcionamiento mediante el llenado con agua en el tanque de alimentación, posterior con el encendido de la electrobomba para luego hacer circular el de agua por las tuberías de PVC, Acero Estándar y Fierro Galvanizado hasta lograr que se establezca la medición del rotámetro digital donde indica el caudal a utilizar, sucesivamente se inicia con las lecturas de las presiones en los manómetros en la cual se calculará las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios y el caudal del fluido transportado.

4.2 ENSAYOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se realizaron tres pruebas para tres caudales distintos: 18,5 l/min, 15 l/min y 13,5 l/min), registrando el cumplimiento de estos caudales en rotámetro digital y anotando los valores de presión que registran los manómetros con el fin de determinar las variaciones de presión (pérdidas por fricción) en cada tramo del equipo.

Con la finalidad de comprobar las pérdidas de cargas teóricas y experimentales, se considera esencial la ubicación de los manómetros, y para el cual se tiene 6 tramos que se especifican en la Tabla N° 11. Adicionalmente se realizó la comparación de las pérdidas de carga de carga en 1 metro de tubería de PVC, acero estándar y Fierro galvanizado, el cual se especifica en el Anexo E-4, y también la comparación de la medición de los caudales de los distintos medidores de caudal en cual se especifica en las tablas N° 15, 16 y 17.

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se realizaron tres corridas ($Q \approx 18,5$ l/min); los resultados obtenidos se esquematizan en el siguiente cuadro:

- **PÉRDIDAS POR FRICCIÓN POR TRAMOS**, en esta evaluación se considera primordial la ubicación de los manómetros para realizar la comparación teórica y experimental, y es como sigue a continuación:

Pérdidas de Carga (m de H₂O)	
TRAMO 1 (L2 - Antes Placa Orificio 1)	3,670848
TRAMO 2 (Placa de Orificio 1)	0,053071
TRAMO 3 (Después Placa Orificio 1 - antes de Placa de Orificio 2)	0,975556
TRAMO 4 (Placa de Orificio 2)	0,140944
TRAMO 5 (Después de Placa de Orificio 2 - contracción)	0,042504
TRAMO 6 (Después de contracción - L5 y L6)	0,998151

Tabla N° 11: Pérdidas por fricción teóricos
Fuente: (Elaboración propia) (Anexo E-1)

N° Manómetro	Pérdidas de Carga (m de H₂O)		
	Q= 18,5 l/min	Q= 15,0 l/min	Q= 13,5 l/min
1 - 2	3,099756	3,02907	2,958858
2 - 3	0,211347	0,281796	0,3652245
3 - 6	1,408990	1,405980	1,338531
6 - 7	0,352245	0,422694	0,493143
7 - 8	1,197633	0,774939	0,704490
8 - 9	0,845388	0,845388	0,634041

Tabla N° 12: Pérdidas por fricción experimentales a distintos caudales
Fuente: (Elaboración propia) (Anexo E-2)

Pérdidas de Carga Datos Experimentales (m de H₂O)	Pérdidas de Carga Datos Teóricos (m de H₂O)	% de Error
3,099756	3,670848	18,42
0,211347	0,053071	74,89
1,408990	0,975556	30,76
0,352245	0,140944	59,99
1,197633	0,042504	96,45
0,845388	0,998151	18,07

Tabla N° 13: % Error de las pérdidas por fricción teóricos vs experimentales (Por tramos)

Fuente: (Elaboración propia)

Pérdidas de Carga Datos Experimentales (m de H₂O)	Pérdidas de Carga Datos Teóricos (m de H₂O)	% de Error
7,115359	5,883774	17,31

Tabla N° 14: % de error de las pérdidas por fricción teóricos vs experimentales (total)

Fuente: (Elaboración propia)

- FLUJO DE FLUIDOS

Medidor de Flujo	Caudal l/min	% Error
Rotámetro Digital	18,50	10,76%
Placa de orificio 1	16,51	

Tabla N° 15: % de error del caudal – Rotámetro vs Placa de Orificio N° 01

Fuente: (Elaboración propia) (ANEXO E-3)

Medidor de Flujo	Caudal l/min	% Error
Rotámetro Digital	18,50	5,41%
Placa de orificio 2	17,50	

Tabla N° 16: % de error del caudal – Rotámetro vs Placa de Orificio N° 02
Fuente: Elaboración Propia (ANEXO E-3)

Medidor de Flujo	Caudal l/min	% Error
Rotámetro Digital	18,50	1,08%
Medición Volumétrica Promedio	18,30	

Tabla N° 17: % de error del caudal – Rotámetro vs Caudal experimental
Fuente: (Elaboración propia) (ANEXO E-3)

- PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE DISTINTOS MATERIALES

MATERIAL	(m de H ₂ O)
PVC	0,103734
ACERO ESTÁNDAR	0,242825
FIERRO GALVANIZADO	0,668726

Tabla N° 18: Pérdidas por fricción en 1m de tubería de distintos materiales
Fuente: (Elaboración propia) (ANEXO E-4)

4.4 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

- Este equipo funcionará única y exclusivamente con un tipo de fluido: Agua (fluido limpio, debido al tipo de electrobomba)
- Conexión eléctrica a 220 V
- Condiciones Normales de temperatura (25ª C) y presión (1 atm.)
- Caudal máximo de operación 18,5 l/min
- Todas las válvulas deben estar completamente abiertas a excepción de la válvula que se utiliza para cebar la bomba que debe estar cerrado y de las válvulas check que se abren al paso del fluido.

4.5 ASPECTOS DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

- Al realizar la práctica con el equipo para medición de flujo y pérdidas por fricción, se debe utilizar la vestimenta apropiada, como mandil blanco, guantes, lentes de protección, etc.
- Evitar estar con las manos mojadas cuando se manipulan las instalaciones eléctricas.
- No manipular la electrobomba cuando esté en funcionamiento.
- Utilizar siempre agua limpia, para evitar alteraciones de los parámetros, debido al ensuciamiento del sistema de tuberías y los equipos de medición.
- Al término de la práctica, se deberá drenar el agua del cilindro, para evitar que se conviertan en focos de proliferación de zancudos.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE COSTO

5.1 Costo de diseño.

Artículo	Cantidad	P. Unit S/.	P. Total S/.
Plano Horizontal	1	30.00	30.00
Plano Frontal	1	30.00	30.00
Plano de Perfil	1	30.00	30.00
Plano Isométrico	1	50.00	50.00
SUBTOTAL			140.00

Tabla N° 19: Costo de diseño
(Fuente: elaboración propia)

5.2 Costo de construcción e instalación.

Artículo	Cantidad	P. Unit. S/.	P. Total S/.
Taller Metal-Mecánico	1	600.00	600.00
Electricista	1	50.00	50.00
SUBTOTAL			650.00

Tabla N° 20: Costo de Construcción e instalación
(Fuente: elaboración propia)

5.3 Costo de materiales.

Artículo	Cantidad	P. Unit. S/.	P. Total S/.
Electrobomba ½ HP	1	200.00	200.00
Recipiente Cilíndrico	1	100.00	100.00
Manómetros (0-15 psi)	9	80.00	720.00
Rotámetro Digital (0-100 l/min)	1	1500.00	1500.00
Tubo de ½" acero estándar	1	150.00	150.00
Tubo de 1" acero estándar	1	300.00	300.00
Tubo de ½" fierro galvanizado	1	50.00	50.00
Tubo de ½" PVC	1	8.00	8.00
Tubo de ¾" PCV	1	11.00	11.00
Tubo de 1" PVC	1	15.00	15.00
Placa de orificio	1	90.00	90.00
Codo ½" acero estándar	2	30.00	60.00
Reducción de 1"- ½" estándar	1	40.00	40.00
Codo ½" 90° Fierro Galvanizado	1	10.00	10.00
Codo ½" 45° PVC	2	1.20	2.40
Codo ½" 90° PVC	2	1.00	1.00
Codo ¾" PVC	2	1.00	2.00
Codo 1" 90° PVC	1	1.20	1.20
Válvula Check ½"	2	15.00	30.00
Válvula compuerta ½"	1	25.00	25.00
Válvula esférica ½"	1	25.00	25.00
Válvula esférica 1"	2	12.00	24.00
Válvula esférica Acero 1"	1	45.00	45.00

Artículo	Cantidad	P. Unit. S/.	P. Total S/.
Placa circulares (Placa de orificio)	2	80.00	160.00
Válvula esférica ¾"	2	12.00	24.00
Unión universal de ½" PVC	1	3.00	3.00
Unión universal de 1" ACERO	1	50.00	50.00
Niple 1" PVC	3	1.80	5.40
Niple de ½" PVC	12	1.20	14.40
Niple ¾" PVC	4	1.50	6.00
Ensanchamiento de ½"-1" PVC	3	2.00	6.00
Tee ½" PVC	1	1.50	1.50
Tuercas de 3/8"	4	2.00	8.00
Interruptor magnético	1	43.00	43.00
Cable vulcanizado x m	4	6.00	24.00
Enchufe industrial	1	8.00	8.00
Pegamento para tubo	6	6.00	36.00
Silicona	3	10.00	30.0
Cinta Teflón	10	4.00	40.00
Varilla soldadura p/ferro	18	1.00	18.00
Varilla soldadura p/acero	5	3.00	15.00
Angular 3/8"	2	22.00	44.00
Varilla de Fierro	5	5.00	25.00
Pintura Esmalte Verde x galón	1	40.00	40.00
Lija	1	2.00	2.00
Thinner acrílico	1	5.00	5.00

Tabla N° 21: Costo de materiales
(Fuente: elaboración propia)

5.4 Otros costos.

Artículo	Cantidad	P. Unit. S/.	P. Total S/.
Copias	350	0.10	35.00
Impresiones	400	0.50	200.00
Encuadernados	10	25.00	250.00
Servicio Courier Rotámetro	1	50.00	50.00
Servicio Courier Manómetro	1	30.00	30.00
Servicio Courier Tubos acero	1	150.00	150.00

Tabla N° 22: Otros costos
(Fuente: elaboración propia)

5.5 Costo Total.

COSTO DE DISEÑO	140.00
COSTO DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	650.00
COSTO DE MATERIALES	4017.90
OTROS COSTOS	715.00

Tabla N° 23: Costo total
(Fuente: elaboración propia)



COSTO TOTAL (S/.) = 5,522.90

COSTO TOTAL (\$) = 1,911.04 (Tipo de cambio 2.89)

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó e instaló un equipo para la medición flujo y pérdidas por fricción para el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la FIQ.
- Se demostró los principios del flujo de fluidos y las pérdidas por fricción.
- Se determinó que este equipo, como está dirigido para fines académicos, cuenta con tuberías de distintos materiales (PVC, Acero y Fierro Galvanizado), y con distintos diámetros ($\frac{1}{2}$ " y 1"), con el cual se pueden observar distintos fenómenos.
- Se determinó que las pérdidas totales por fricción experimental tiene un error del 17,31% en comparación con el calculado teóricamente (TABLA N° 14).
- Se determinó que el caudal calculado en el medidor de orificio 1 (tramo de pvc) tiene un error del 10,76% en comparación con el Rotámetro Digital (TABLA N° 15), y con el medidor de orificio 2 (tramo de acero) es de 5,41 (TABLA N° 16) y que el caudal calculado experimentalmente tiene un error del 1,08% en comparación con el Rotámetro Digital (TABLA N° 17).
- Se determinó que, en una tubería equivalente a 1m de longitud de PVC, Acero y Fierro Galvanizado, este último presenta mayor Pérdida por Fricción (TABLA N° 18), esto debido a su alto factor de fricción en comparación con los dos materiales mencionados anteriormente.
- Se trabajó experimentalmente con 3 caudales (18,5 l/min, 15,0 l/min y 13,5 l/min), siendo los caudales así debido a que se determinó experimentalmente que 13,5 l/min es el caudal mínimo a utilizar para que se que se pueda tener una lectura adecuada de las presiones en los manómetros y así determinar las pérdidas por fricción.

- De acuerdo a la **TABLA N° 12**, se puede observar que a distintos caudales no existe variación considerable en las pérdidas por fricción en los tramos estudiados.
- Comparando las pérdidas por fricción a distintos caudales (**TABLA N° 19, 20 y 21**) entre la placa de orificio 1 y la placa de orificio 2 se nota una variación en las pérdidas de carga relativamente considerable –a pesar que poseen el mismo diámetro de orificio- debido a que los diámetros internos de cada tubería son distintos por ende la velocidad del fluido es distinto y de ahí la variación de la pérdida de carga entre PO1 (manómetros 2 y 3) y PO2 (manómetros 6 y 7).
- De acuerdo a la **TABLA N° 19, 20 y 21**, no existe variación considerable entre las pérdidas de carga de las válvulas V4 (manómetros 3 y 4) y V5 (manómetros 5 y 6)
- Se elaboró el Instructivo de Operación del equipo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar este equipo sólo con fines académicos.
- Se recomienda considerar eficientemente los aspectos de Seguridad e Higiene Industrial
- Se recomienda que este equipo funcione sólo con un tipo de fluido: Agua (fluido limpio), ya que los equipo de impulsión (electrobomba) y los equipos de medición directa (rotámetro digital y manómetros) son para uso exclusivo de agua.
- Se recomienda realizar las mediciones de la Presión cuando el caudal se estabilice en un tiempo mínimo de 1 minuto.
- Se recomienda que, si la presión que marca el manómetro (M9) excede de 1,5 psi es que existe un cuerpo extraño obstruyendo el paso del fluido por el rotámetro digital, con lo cual se obtendrían lecturas erróneas de presión en los demás manómetros.
- Se recomienda purgar el fluido una vez concluidas las corridas, evitando la proliferación de mosquitos y zancudos.
- Se recomienda la instalación de una válvula reguladora de caudal, de esta manera experimentar y estudiar más a fondo los fenómenos de flujo de fluidos con caudales más bajos.

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFIA

1. **WEBBER N (1996)**. Mecánica de Fluidos para Ingeniería. España: Pentrice Hall
2. **RASE H, PEREZ J (1987)** Diseño De Tuberías Para Plantas De Proceso. Madrid, España: Blumen Ediciones
3. **BADGER W, BANCHERO J.(1985)** Introducción a La Ingeniería Química. México: Editorial McGraw-Hill.
4. **OCÓN J, TOJO G. (1980)** Problemas De Ingeniería Química - Operaciones Básicas. Vol. 1. Madrid, España: Editorial Aguilar.
5. **McCABE W, SMITH J, HARRIOT P. (2002)**. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. 7ª ed. México DF: Editorial McGraw Hill.
6. **VIAN A, OCÓN J. (1979)**. Elementos de Ingeniería Química. 5a Ed. España: Editorial Aguilar.
7. **GILES R, EVETT J, LIU C. (1994)**. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. Madrid: Editorial McGraw – Hill.
8. **MATAIX C. (1982)** Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2a ed. México: Editorial Harla S.A.
9. **BROWN G. (1989)**. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. Barcelona, España: Editorial Marín S.A.
10. **FERNANDEZ P. (1992)**. Mecánica de Fluidos. España: Editorial Universidad de Cantabria.
11. **CRANE (1987)** Flujo De Fluidos En Válvulas Accesorios Y Fluidos. México: McGraw – Hill/Interamericana.
12. **DAYLIN J, HARLEMAN D.(1975)** Dinámica En Los Fluidos Con Aplicaciones En Ingeniería. México: Editorial Trillas.

13. **GRATON J. (2002)** Graton J. Introducción A La Mecánica De Fluidos. Buenos Aires, Argentina.
14. **SHAMES I. (1995)** Mecánica de Fluidos. 3a ed. Colombia: Editorial McGraw – Hill/INTERAMERICANA.
15. **PERRY J. (2001)** Manual del Ingeniero Químico. 7ª ed. México: Editorial McGraw-Hill.
16. **STREETER V, WYLIE B, BEDFORD K. (2000)** Mecánica de Fluidos. 9ª ed. Colombia: Editorial McGraw-Hill.
17. **GEANKOPLIS C. (2006)** Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación. 4ª ed. México: Editorial Grupo Patria.

CAPÍTULO VIII: ANEXOS

Anexo A.

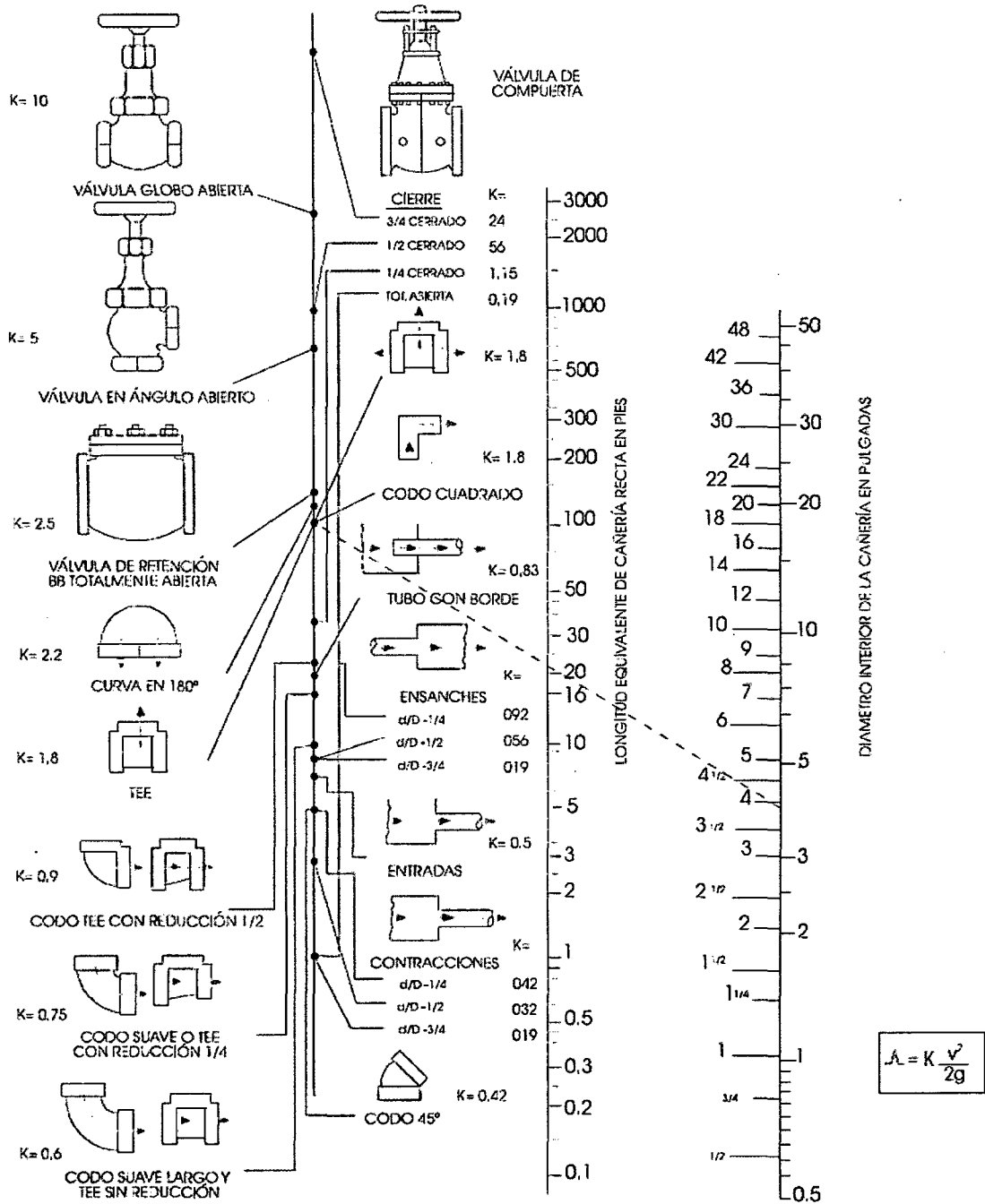


Figura N° 21: Longitudes equivalentes de accesorios
Fuente: OCON TOJO 1980

Anexo B.

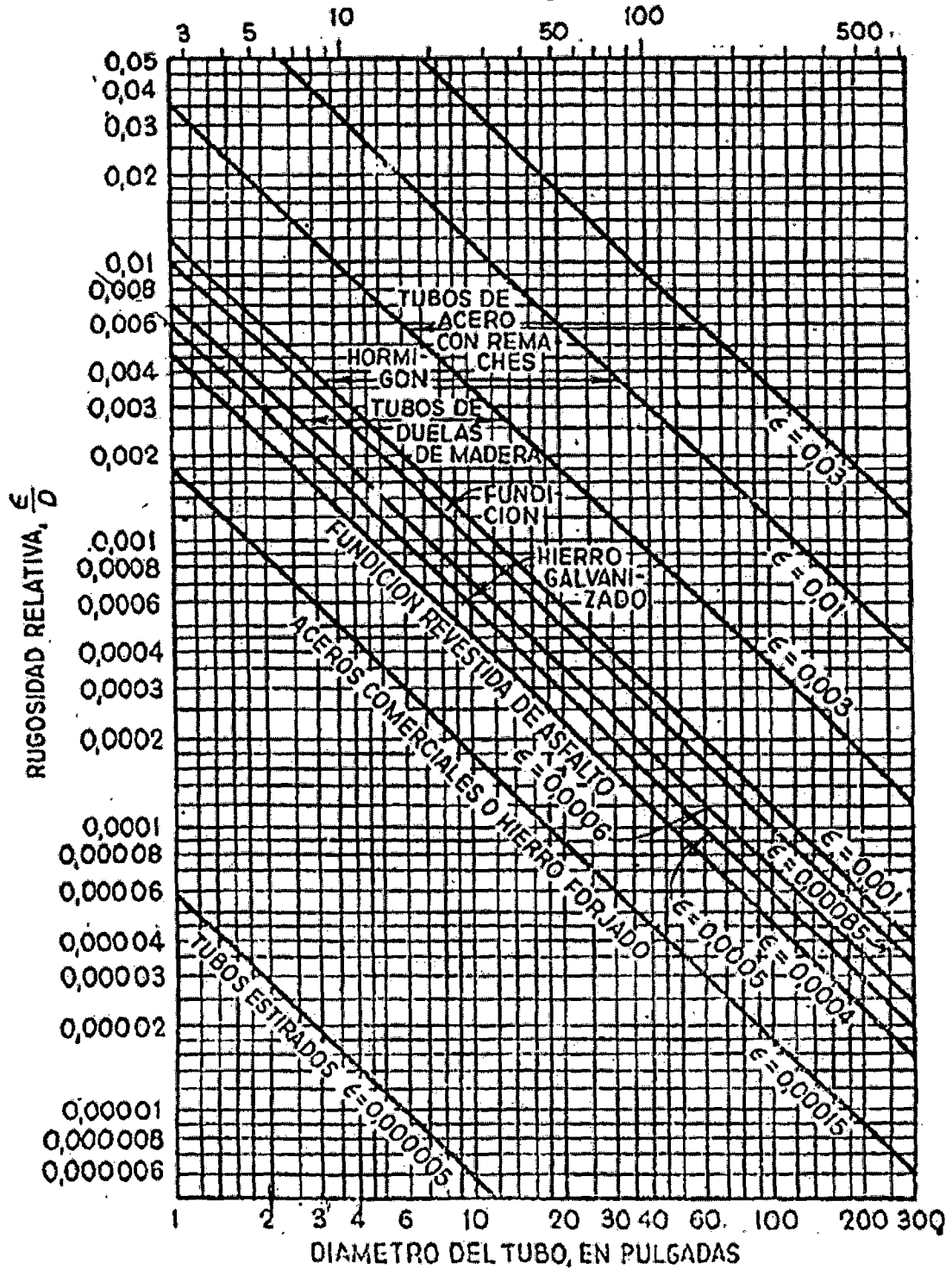


Figura N° 22: Diagrama de Moody
Fuente: McCABE & SMITH, 2002

Diseno, Construcción e Instalación de un Equipo para la Medición de Flujo y Pérdidas por Fricción para el Laboratorio de Mecánica y Operaciones. Análisis de la S.G.D. H.A.S.P.

Anexo C₂

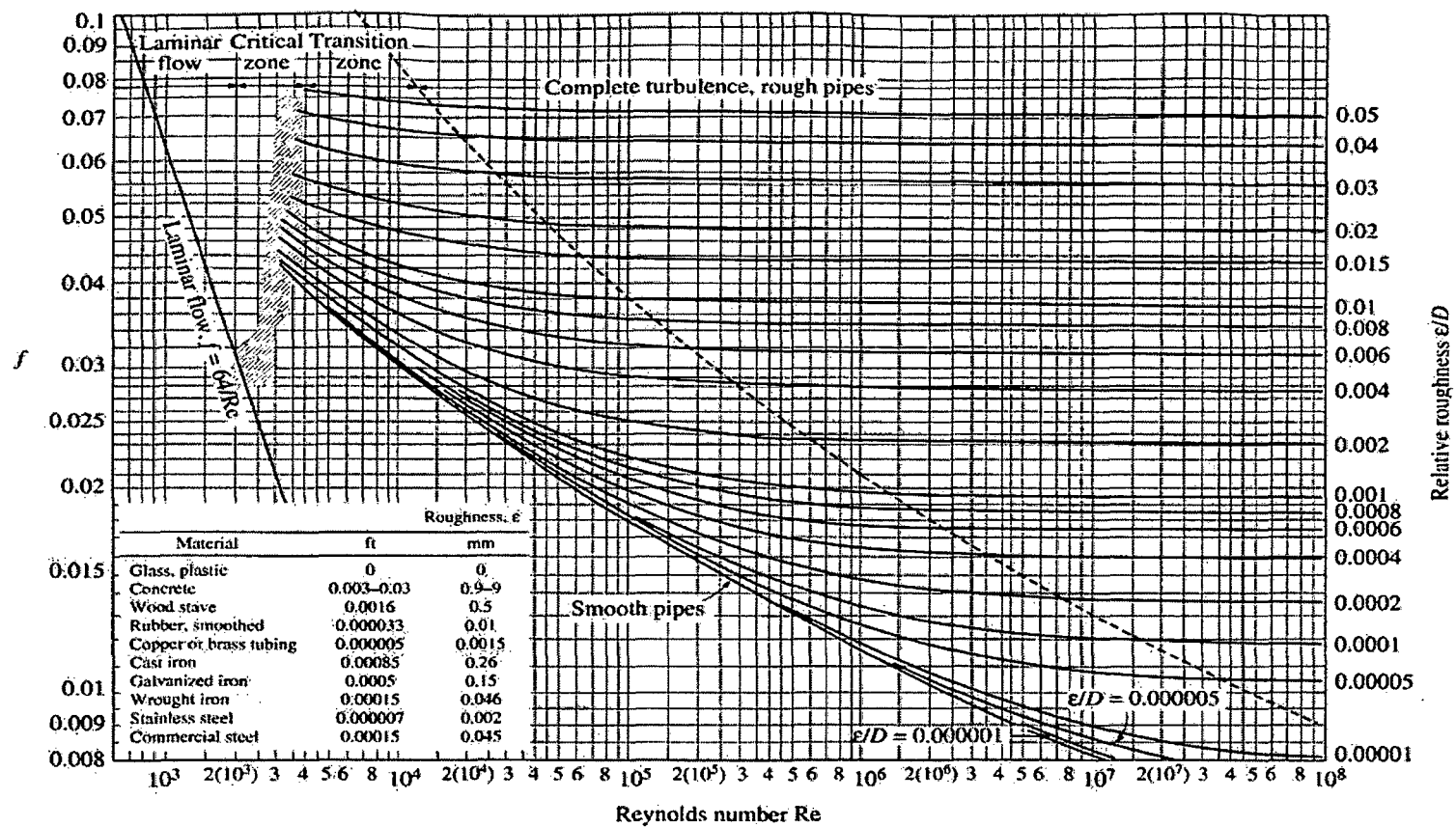


Figura N° 23: Factores de Fricción para cualquier tipo de tubería comercial
Fuente: McCABE & SMITH, 2002

Anexo D.

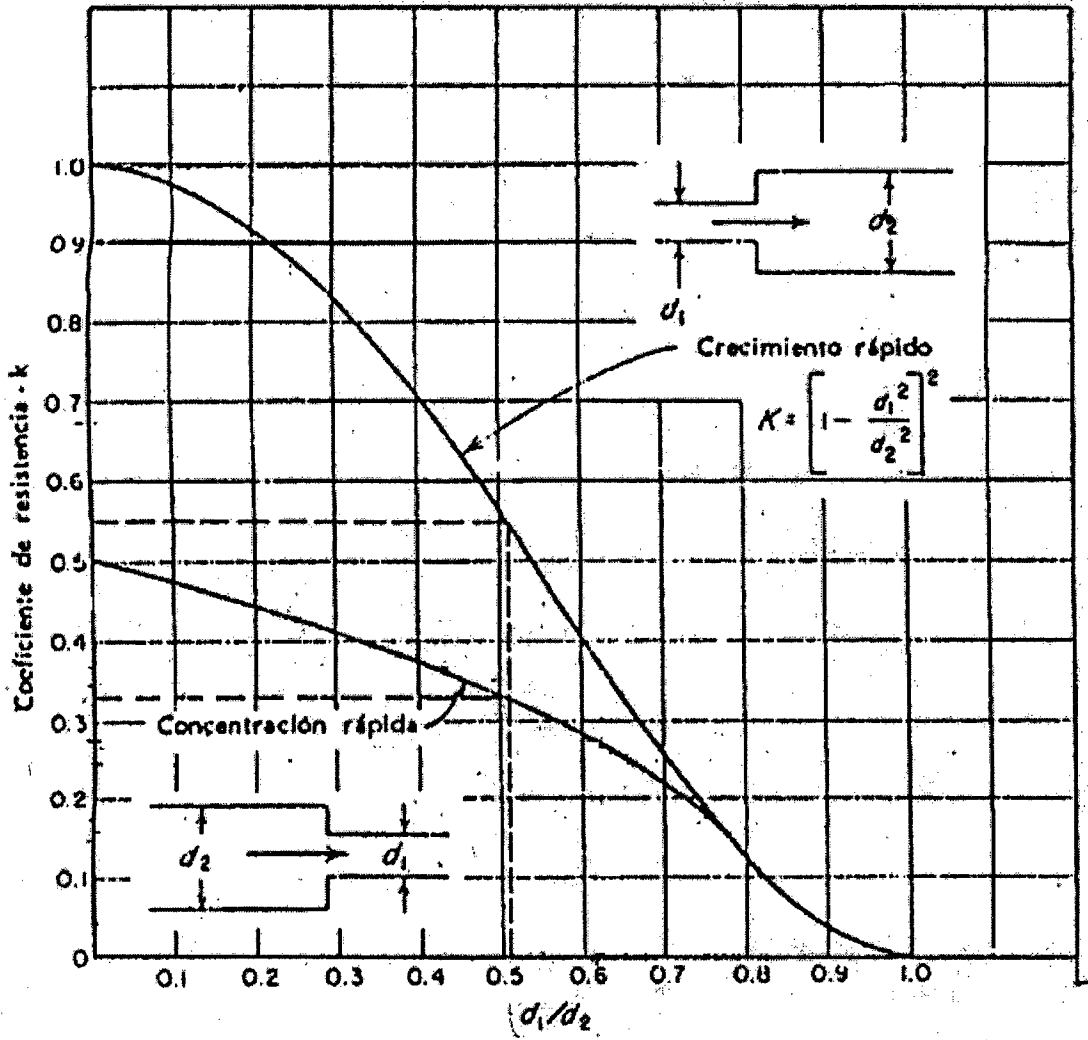


Figura N° 24: Contracción (ó concentración) y expansión (ó crecimiento) de una sección
 Fuente: CRANE, 1987.

Anexo E

CÁLCULOS DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

E.1. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN POR TRAMOS – TEÓRICO.

- **TRAMO 1** (L 2 - Antes Placa Orificio 1)

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL DE L2 – L3 (antes de la placa de orificio)

$$H_{T(L2)} = 3,668572 \text{ m} - \text{viene de Cálculos de Diseño}$$

$$H_{P-L3} = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,027915) \frac{[0,27 \text{ m} \times (0,458473 \text{ m/s})^2]}{[2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,029261 \text{ m}]}$$

$$H_{P-L3} = 0,002762 \text{ m}$$

$$H_T = H_{T(L2)} + H_{P-L3} = 3,668572 \text{ m} + 0,002762 \text{ m} = 3,670848 \text{ m}$$

- **TRAMO 2** (Placa de Orificio, H_{PO-1})

$$H_{PO-1} = \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \frac{U^2}{2(g)} = \left(\frac{1}{(0,41)^2} - 1 \right) \frac{(0,458463 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$H_{PO-1} = 0,053071 \text{ m}$$

- **TRAMO 3** (después Placa Orificio 1 - antes de Placa de Orificio 2)

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL TUBERÍA PVC

$$H_P = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,027915) \frac{[0,78 \text{ m} \times (0,458473 \text{ m/s})^2]}{[2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,029261 \text{ m}]}$$

$$H_P = 0,007980 \text{ m}$$

$$H_S = k \frac{U^2}{2g} = (1 \times 18) \left[\frac{(0,458463 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] + (2 \times 0,9) \left[\frac{(0,458463 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$H_S = 0,440340 \text{ m}$$

$$H_{T^*} = H_P + H_S$$

$$H_{T^*} = 0,007980 + 0,440340 = 0,448320 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE

$$H_P = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,030874) \frac{[0,44 \text{ m} \times (0,558214 \text{ m/s})^2]}{[2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,026518 \text{ m}]}$$

$$H_P = 0,014590 \text{ m}$$

$$H_S = k \frac{U^2}{2g} = (1 \times 18) \left[\frac{(0,558214 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,512646 \text{ m}$$

$$H_{T^{**}} = H_P + H_S$$

$$H_{T^{**}} = 0,014590 \text{ m} + 0,512646 \text{ m} = 0,527236 \text{ m}$$

- PÉRDIDA DE CARGA TOTAL TRAMO 3

$$H_T = H_{T^*} + H_{T^{**}}$$

$$H_T = 0,448320 + 0,527236$$

$$H_T = 0,975556 \text{ m}$$

• **TRAMO 4 (Placa de Orificio 2, H_{PO-2})**

$$H_{PO-2} = \left(\frac{1}{C_V^2} - 1 \right) \frac{U^2}{2(g)} = \left(\frac{1}{(0,41)^2} - 1 \right) \frac{(0,558214 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$H_{PO-2} = 0,140944 \text{ m}$$

- **TRAMO 5** (Después de Placa de Orificio 2 - Contracción)
 - PÉRDIDA DE CARGA TOTAL Tubería de acero y contracción

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,030874) \frac{[0,23 \text{ m} \times (0,558214 \text{ m/s})^2]}{[2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,026518 \text{ m}]}$$

$$H_p = 0,007626 \text{ m}$$

$$H_c = k \frac{U^2}{2g} = (0,28) \left[\frac{(1,562515 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,034878 \text{ m}$$

$$H_T = H_p + H_c = 0,007626 + 0,034878 = 0,042504 \text{ m}$$

- **TRAMO 6** (Después de contracción (L5) - L6)
 - PÉRDIDA DE CARGA TOTAL L-5 Tubería de Acero

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,030898) \left[\frac{1,5 \text{ m} \times (1,562515 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,01585 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 0,364238 \text{ m}$$

$$H_s = k \frac{U^2}{2g} = (2 \times 0,9) \left[\frac{(1,562515 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right] = 0,224215 \text{ m}$$

$$H_{T^*} = H_p + H_s$$

$$H_{T^*} = 0,364238 \text{ m} + 0,224215 \text{ m}$$

$$H_{T^*} = 0,588453 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL L-6 Tubería de PVC

$$H_p = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,024841) \left[\frac{2,57 \text{ m} \times (1,213831 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,017983 \text{ m}} \right]$$

$$H_p = 0,266870 \text{ m}$$

$$H_s = k \frac{U^2}{2g} = (1 \times 0,1) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right] + (2 \times 0,9) \left[\frac{(1,213831 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$H_s = 0,142828 \text{ m}$$

$$H_{T^{**}} = H_p + H_s$$

$$H_{T^{**}} = 0,266870 \text{ m} + 0,142828 \text{ m}$$

$$H_{T^{**}} = 0,409698 \text{ m}$$

- PÉRDIDAS DE CARGA TOTAL TRAMO 5

$$H_T = H_{T^*} + H_{T^{**}}$$

$$H_T = 0,588453 \text{ m} + 0,409698 \text{ m}$$

$$H_T = 0,998151 \text{ m}$$

E.2. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN POR TRAMOS – EXPERIMENTALES.

Presiones Obtenidas en el Procedimiento Experimental

N° Manómetro	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio
1	10,2	10,1	10,2	10,2
2	5,8	5,8	5,8	5,8
3	6,1	6,1	6,1	6,1
4	6,0	5,9	5,9	5,9
5	4,2	4,3	4,3	4,3
6	4,1	4,0	4,0	4,0
7	4,5	4,5	4,5	4,5
8	2,8	2,8	2,8	2,8
9	1,5	1,5	1,5	1,5
10	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla N° 24: Lectura de las presiones (PSI) de Manómetros a 18,5 l/min
Fuente: (Elaboración propia)

DIFERENCIALES DE PRESIÓN

1 psi = 0,70449 m de H₂O

1. Manómetros 1 – 2

10,2 psi – 5,8 psi = 4,4 psi

$$4,4 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 3,099756 \text{ m de H}_2\text{O}$$

2. Manómetros 2 - 3

5,8 psi – 6,1 psi = 0,2 psi

$$0,3 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 0,211347 \text{ m de H}_2\text{O}$$

3. Manómetros 3 - 6

$$6,1 \text{ psi} - 4,0 \text{ psi} = 2,0 \text{ psi}$$

$$2,0 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 1,40898 \text{ m de } H_2O$$

4. Manómetros 6 - 7

$$4,0 \text{ psi} - 4,5 \text{ psi} = 0,5 \text{ psi}$$

$$0,5 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 0,352245 \text{ m de } H_2O$$

5. Manómetros 7 - 8

$$4,5 \text{ psi} - 2,8 \text{ psi} = 1,7 \text{ psi}$$

$$1,7 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 1,197633 \text{ m de } H_2O$$

6. Manómetros 8 - 9

$$2,8 \text{ psi} - 1,6 \text{ psi} = 1,2 \text{ psi}$$

$$1,2 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 0,845388 \text{ m de } H_2O$$



N°	Manómetro	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio
1		8,4	8,5	8,4	8,4
2		4,1	4,2	4,1	4,1
3		4,5	4,4	4,5	4,5
4		3,5	3,5	3,5	3,5
5		2,3	2,3	2,3	2,3
6		2,5	2,5	2,5	2,5
7		2,4	2,3	2,3	2,3
8		1,5	1,5	1,5	1,5
9		0,5	0,5	0,5	0,5
10		0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla N° 25: Lectura de las presiones (PSI) de Manómetros a 15 l/min
Fuente: (Elaboración propia)

DIFERENCIALES DE PRESIÓN

1. Manómetros 1 – 2

$$8,4 \text{ psi} - 4,1 \text{ psi} = 4,3 \text{ psi}$$

$$4,3 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 3,029307 \text{ m de } H_2O$$

2. Manómetros 2 - 3

$$4,1 \text{ psi} - 4,5 \text{ psi} = 0,4 \text{ psi}$$

$$0,4 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 0,281796 \text{ m de } H_2O$$

3. Manómetros 3 - 6

$$4,5 \text{ psi} - 2,5 \text{ psi} = 2,0 \text{ psi}$$

$$2,0 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 1,40898 \text{ m de } H_2O$$

4. Manómetros 6 - 7

$$2,5 \text{ psi} - 3,1 \text{ psi} = 0,6 \text{ psi}$$

$$0,6 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 0,422694 \text{ m de H}_2\text{O}$$

5. Manómetros 7 - 8

$$3,1 \text{ psi} - 2,0 \text{ psi} = 1,1 \text{ psi}$$

$$1,1 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 0,774939 \text{ m de H}_2\text{O}$$

6. Manómetros 8 - 9

$$2,0 \text{ psi} - 0,8 \text{ psi} = 1,2 \text{ psi}$$

$$1,2 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 0,845388 \text{ m de H}_2\text{O}$$

N° Manómetro	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio
1	6,9	6,9	6,9	6,9
2	2,7	2,7	2,7	2,7
3	3,2	3,2	3,2	3,2
4	2,3	2,3	2,2	2,3
5	1,4	1,4	1,4	1,4
6	1,3	1,3	1,3	1,3
7	2,0	2,0	2,0	2,0
8	1,1	1,0	1,0	1,0
9	0,2	0,1	0,1	0,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla N° 26: Lectura de las presiones (PSI) de Manómetros a 13,5 l/min
Fuente: (Elaboración propia)

DIFERENCIALES DE PRESIÓN

1. Manómetros 1 – 2

$$6,9 \text{ psi} - 2,7 \text{ psi} = 4,2 \text{ psi}$$

$$4,2 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 2,958858 \text{ m de } H_2O$$

2. Manómetros 2 - 3

$$2,7 \text{ psi} - 3,2 \text{ psi} = 0,5 \text{ psi}$$

$$0,5 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 0,352245 \text{ m de } H_2O$$

3. Manómetros 3 - 6

$$3,2 \text{ psi} - 1,3 \text{ psi} = 1,9 \text{ psi}$$

$$1,9 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de } H_2O}{1 \text{ psi}} \right) = 1,338531 \text{ m de } H_2O$$

4. Manómetros 6 - 7

$$1,3 \text{ psi} - 2,0 \text{ psi} = 0,7 \text{ psi}$$

$$0,7 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 0,493143 \text{ m de H}_2\text{O}$$

5. Manómetros 7 - 8

$$2,0 \text{ psi} - 1,0 \text{ psi} = 1,0 \text{ psi}$$

$$1,0 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 0,704490 \text{ m de H}_2\text{O}$$

6. Manómetros 8 - 9

$$1,0 \text{ psi} - 0,1 \text{ psi} = 0,9 \text{ psi}$$

$$0,9 \text{ psi} \left(\frac{0,70449 \text{ m de H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} \right) = 0,634041 \text{ m de H}$$

E.3. FLUJO DE FLUIDOS, COMPARACIÓN DE CAUDALES.

CAUDAL EN ROTÁMETRO DIGITAL

$$Q = 18.5 \text{ l/min}$$

CAUDAL EN LA PLACA DE ORIFICIO 1

$$D \text{ Interior Tubería } (D_i) = 0,029261 \text{ m}$$

$$D \text{ Orificio } (D_o = 70\% D_i) = 0,0204827 \text{ m}$$

$$C_o = 0,41$$

$$\Delta P (2-3) = 0,3 \text{ psi} = 210,92 \text{ kg/m}^2$$

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4} = \frac{\pi (0,0204827 \text{ m})^2}{4} = 0,00032951 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow Q = A_o C_o \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\rho}}$$

$$Q = (0,00032951 \text{ m}^2) (0,41) \sqrt{\frac{2(9,8 \text{ m/s}^2)(210,92 \text{ kg/m}^2)}{997 \text{ kg/m}^3}}$$

$$Q = 2,751008 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} \times \left(\frac{6 \times 10^4 \text{ l/min}}{1 \text{ m}^3 / \text{s}} \right) = 16,51 \text{ l/min}$$

% DE ERROR (Comparación entre Caudales del Rotámetro Digital y Medidor de orificio 1)

$$\% \text{ Error} = \left(\frac{18,5 - 16,51}{18,5} \right) \times 100 = 10,76\%$$

CAUDAL EN LA PLACA DE ORIFICIO 2

D Interior Tubería (D_i) = 0,026518 m

D Orificio ($D_o = 70\% D_i$) = 0,0185626 m

$C_o = 0,41$

ΔP (6-7) = 0,5 psi = 351,54 kg/m²

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4} = \frac{\pi (0,0185626 \text{ m})^2}{4} = 0,00027062 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow Q = A_o C_o \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\rho}}$$

$$Q = (0,00027062 \text{ m}^2) (0,41) \sqrt{\frac{2(9,8 \text{ m/s}^2)(351,54 \text{ kg/m}^2)}{997 \text{ kg/m}^3}}$$

$$Q = 2,9168 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} \times \left(\frac{6 \times 10^4 \text{ l/min}}{1 \text{ m}^3 / \text{s}} \right) = 17,50 \text{ l/min}$$

% DE ERROR (Comparación entre Caudales del Rotámetro Digital y Medidor de orificio 1)

$$\% \text{ Error} = \left(\frac{18,5 - 17,5}{18,5} \right) \times 100 = 5,41\%$$



CAUDAL EXPERIMENTAL

Corrida	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
1	0,980	3,21	0,305
2	0,970	3,19	0,304
3	0,990	3,24	0,306
Caudal Promedio (l/s)			0,305

Tabla N° 27: Lectura de volúmenes con respecto al tiempo (caudal experimental)

Fuente: Elaboración propia

$$Q = 0,305 \text{ l/s} \times \left(\frac{60 \text{ l/min}}{1 \text{ l/s}} \right) = 18,30 \text{ l/min}$$

% DE ERROR (Comparación entre Caudales del Rotámetro Digital y la Medición Experimental)

$$\% \text{ Error} = \left(\frac{18,5 - 18,30}{18,5} \right) \times 100 = 1,08\%$$

E.4. PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE ½" DE DISTINTOS MATERIALES.

$$Q = 18,5 \text{ l/min} = 0,0003083 \text{ m}^3/\text{s}$$

TUBERÍA DE PVC

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0,017983)^2}{4} = 0,000254 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000254 \text{ m}^2} = 1,213831 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{1,213831 \text{ m/s} \times 0,017983 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,000894 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 24343 - \text{Turbulento.}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000015 \text{ m}}{0,017983 \text{ m}} = 0,0000834$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{(\varepsilon/D)}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,024816$$

- CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA TUBERÍA PVC

$$H_{PVC} = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,024816) \left[\frac{1,0 \text{ m} \times (1,213831 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,017983 \text{ m}} \right]$$

$$H_{PVC} = 0,103734 \text{ m}$$

TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,01585)^2}{4} = 0,000197 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000197 \text{ m}^2} = 1,562515 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{1,562515 \text{ m/s} \times 0,01585 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,000894 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 27619 - \text{Turbulento.}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00005 \text{ m}}{0,01585 \text{ m}} = 0,003155$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,030898$$

- CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA TUBERÍA ACERO

$$H_A = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,030898) \left[\frac{1,0 \text{ m} \times (1,562515 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,01585 \text{ m}} \right]$$

$$H_A = 0,242825 \text{ m}$$

TUBERÍA DE FIERRO GALVANIZADO

- CÁLCULO DEL ÁREA INTERIOR DE LA TUBERÍA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,013716)^2}{4} = 0,000148 \text{ m}^2$$

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,0003083 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000148 \text{ m}^2} = 2,0831081 \text{ m/s}$$

- CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

$$Re = \frac{UD\rho}{\mu} = \frac{2,086545 \text{ m/s} \times 0,013716 \text{ m} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0,000894 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 31916 - \text{Turbulento}$$

- CÁLCULO RUGOSIDAD RELATIVA

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,15 \text{ m}}{0,013716 \text{ m}} = 0,010936$$

- CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f)

$$f = \left[\frac{0,25}{\left[\log \left(\left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{(Re)^{0,90}} \right) \right]^2} \right] = 0,041293$$

- CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA TUBERÍA FIERRO GALVANIZADO

$$H_{FG} = f \frac{LU^2}{2gD} = (0,041293) \left[\frac{1,0 \text{ m} \times (2,086545 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,013716 \text{ m}} \right]$$

$$H_{FG} = 0,668726 \text{ m}$$

ANEXO F

INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

1. Cerrar el ingreso de agua a la planta de agua de mesa (V7) y abrir la válvula de ingreso de agua al tanque de almacenamiento (V6).
2. Encender la electrobomba auxiliar de suministro de agua, ubicada en los exteriores del laboratorio.
3. Llenar el tanque de almacenamiento.
4. Apagar la electrobomba auxiliar de suministro de agua.
5. Cebear la electrobomba, abriendo (V2) y cerrando (V3); una vez cebado, abrir (V3) y cerrar (V2).
6. Verificar que las válvulas (V1, V3, V4 y V5) de la red de tuberías del equipo se encuentren abiertas.
7. Encender la electrobomba accionado la llave térmica (LT).
8. Esperar a que el caudal del fluido se estabilice (Rotámetro Digital) antes de realizar las medidas.
9. Realizar la lectura del caudal en el rotámetro digital y las presiones en los manómetros.
10. Cerrar (V1), de tal manera que se puedan trabajar adicionalmente con 2 caudales distintos.
11. Repetir (8) y (9).
12. Una vez realizadas las corridas, apagar el equipo desde (LT).
13. Cerrar (V6) y abrir (V7)
14. Purgar el fluido del tanque abriendo (V8).

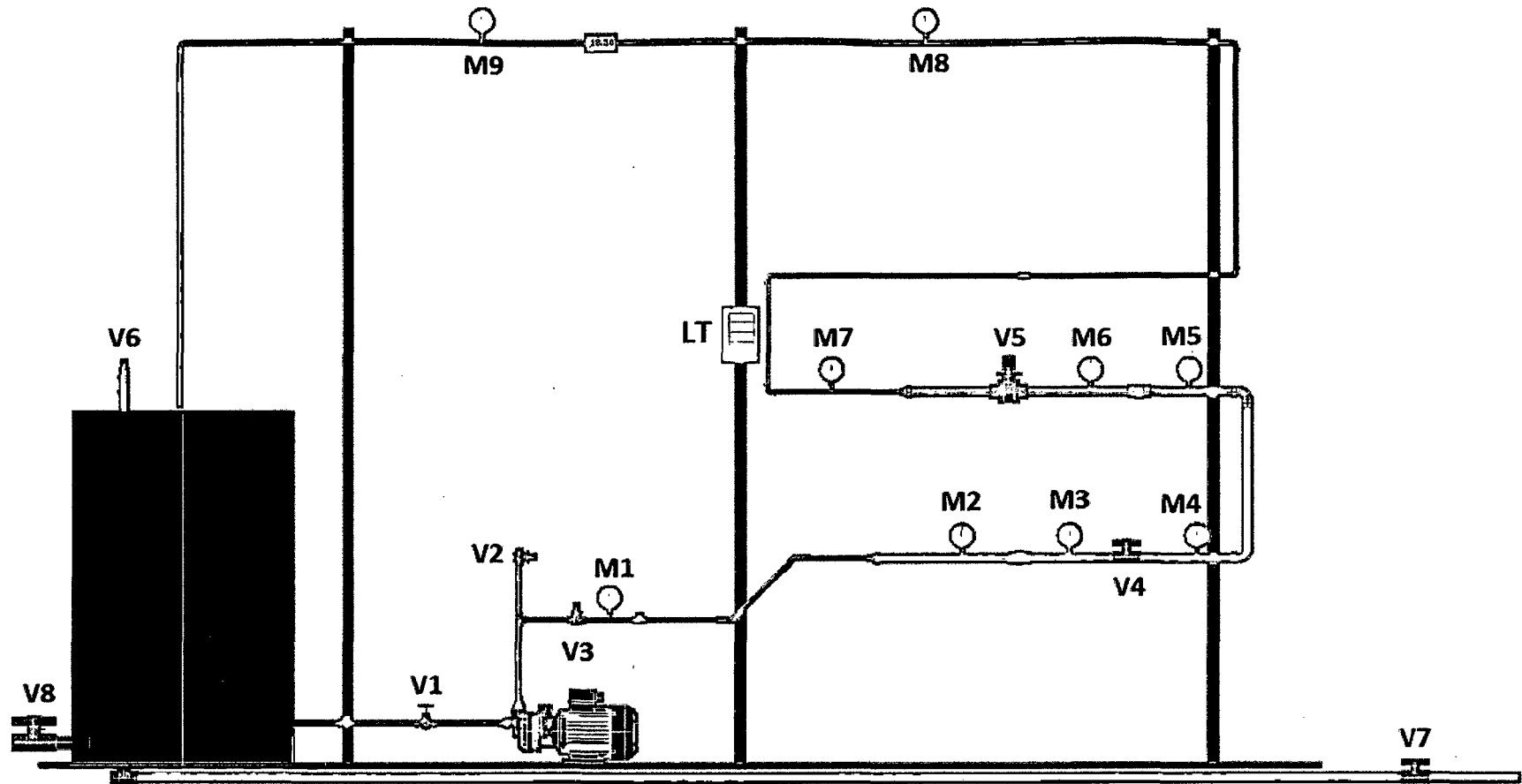


Figura N° 25: Accesorios codificados para Instructivo de operación del equipo
 Fuente: (Elaboración propia)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Dirección del Flujo Laminar	6
Figura N° 02: Dirección del flujo turbulento	7
Figura N° 03: Parte del sistema de distribución de un fluido m- Ecuación de Continuidad	8
Figura N° 04: Parte del sistema de distribución de un fluido m- Ecuación de Bernoulli	9
Figura N° 05: expansión de una sección	14
Figura N° 06: Contracción de una sección	15
Figura N° 07: Manómetro en U	16
Figura N° 08: Manómetro Tipo Bourdon	17
Figura N° 09: Rotámetro	17
Figura N° 10: Rotámetro Digital	17
Figura N° 11: Placa de Orificio	18
Figura N° 12: Válvula compuerta	21
Figura N° 13: Válvula Check	22
Figura N° 14: Válvula esférica	22
Figura N° 15: Bomba Centrífuga	24
Figura N° 16: Bomba periférica	24
Figura N° 17: Vista Frontal	57
Figura N° 18: Vista Superior	58
Figura N° 19: Vista de Perfil	59
Figura N° 20: Vista Isométrica	60
Figura N° 21: Longitudes equivalentes de accesorios	76
Figura N° 22: Diagrama de Moody	77
Figura N° 23: Factores de fricción para cualquier tubería comercial	78
Figura N° 24: Contracción (ó concentración) y expansión (ó crecimiento) de una sección	79
Figura N° 25: Accesorios codificados para el Instructivo de operación del equipo	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Longitudes Equivalentes de accesorios	12
Tabla N° 02: Componentes del tramo 1	28
Tabla N° 03: Componentes del tramo 2	31
Tabla N° 04: Componentes del tramo 3	33
Tabla N° 05: Componentes del tramo 4	35
Tabla N° 06: Componentes del tramo 5	37
Tabla N° 07: Componentes del tramo 6	39
Tabla N° 08: Componentes del tramo 7	41
Tabla N° 09: Longitudes equivalentes por tramos	46
Tabla N° 10: Volumen total del agua en el sistema	48
Tabla N° 11: Pérdidas por fricción teóricos	63
Tabla N° 12: Pérdidas por fricción experimentales a distintos caudales	63
Tabla N° 13: % de error de pérdidas por fricción teóricos vs. Experimentales (por tramos)	64
Tabla N° 14: % de error de pérdidas por fricción teóricos vs. Experimentales (totales)	64
Tabla N° 15: % de error del caudal – Rotámetro vs. Placa de Orificio N° 01	64
Tabla N° 16: % de error del caudal – Rotámetro vs. Placa de Orificio N° 02	65
Tabla N° 17: % de error del caudal – Rotámetro vs. Caudal experimental	65
Tabla N° 18: Pérdidas por fricción en 1m de tubería de distintos materiales	65
Tabla N° 19: Costo de diseño	67
Tabla N° 20: Costo de construcción e instalación	67
Tabla N° 21: Costo de materiales	69
Tabla N° 22: Otros costos	70
Tabla N° 23: Costo total	70
Tabla N° 24: Lectura de las presiones (PSI) de manómetros a 18,5 l/min	84
Tabla N° 25: Lectura de las presiones (PSI) de manómetros a 15 l/min	86
Tabla N° 26: Lectura de las presiones (PSI) de manómetros a 13,5 l/min	88
Tabla N° 27: Lectura de volúmenes con respecto al tiempo (caudal experimental)	92



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



TESIS:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN EQUIPO PARA LA
MEDICIÓN DE FLUJO Y PÉRDIDAS POR FRICCIÓN PARA EL LABORATORIO
DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DE LA FIQ-UNAP”**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

Bach. AMACIFUÉN FASANANDO JOSÉ

Bach. DAHUA MACEDO ROSITA DEL PILAR

Bach. FLORES GARCÍA RAY CRISTIAN

ASESOR:

ING. OSCAR ALBERTO VÁSQUEZ GIL



IQUITOS – PERÚ

T
660
A52
2011



3059