



TP N°1: Pérdidas de Carga en Cañerías y Accesorios					
Profesor Titular			JTP		
Ayudante de 1ra.			JTP LAYF	Ing. Leta Miguel A.	
INSTANCIA	Dictado del TP	1º entrega	2º entrega	3º entrega	Aprobación
FECHA					

GRUPO N°:				
NOMBRE				
LEGAJO				

NOMBRE				
LEGAJO				



ÍNDICE

1	RESUMEN.....	3
2	INTRODUCCIÓN TEÓRICA	3
2.1	Ecuación de Continuidad	4
2.2	Ecuación general de la Energía mecánica para fluidos.....	5
2.3	Flujo Laminar/turbulento	5
2.4	h_L	7
2.5	h_{ACC}	8
3	EQUIPAMIENTO.....	9
3.1	Manómetro Diferencial	9
3.2	Placa Orificio	11
4	ENSAYO.....	13
4.1	Objetivos pedagógicos.....	13
4.2	Objetivos específicos	13
4.3	Procedimiento de ensayo.....	13
4.4	Cálculos.....	14
5	CONTENIDOS MÍNIMOS DEL INFORME	17
6	REFERENCIAS	17
7	ANEXO.....	18



1 RESUMEN

El presente documento tiene como objetivo brindarle al alumno en los conocimientos necesarios para la realización del trabajo práctico que da nombre a esta guía.

2 INTRODUCCIÓN TEÓRICA

En toda instalación de cañerías existen pérdidas por efecto de fricción del fluido con las paredes de los tubos. Estas pérdidas se verifican en tramos rectos, curvas, accesorios (válvulas), variaciones de sección, etc.

Para la obtención de los cálculos es necesario contar con la velocidad del fluido y con las pérdidas que se evaluarán con manómetros diferenciales conectados en puntos clave de la cañería.

Otro tipo de manómetro a observar es el Tubo Bourdón. Consiste en un instrumento provisto en su interior de una vaina curva de latón y, en la cual, al llenarse con un fluido a determinada presión, este tenderá a enderezar la vaina. Este movimiento de la vaina provoca mediante un mecanismo, el movimiento de una aguja sobre una escala convenientemente graduada.

En lo que concierne a la instalación de la cañería propiamente dicha, los tubos son pedidos a partir del Diámetro Nominal y de un Nro. de Cédula (*Schedule, espesor*) que se obtiene de tablas. Las uniones de caños dependen del diámetro de los mismos y de la presión del fluido. En general, en tubos de hasta 4" las uniones son roscadas, mientras que para diámetros mayores se utilizan tramos soldados y bridas soldadas a los tubos.

Junto con las cañerías y accesorios se cuenta con las válvulas que son las que permiten el control del fluido circulante.

Existen varios tipos, a saber:

- 1) Esclusas utilizadas para un corte total
- 2) Esféricas o regulación gruesa
- 3) Globos de regulación fina
- 4) Solenoide del tipo abre o cierra.

Por otro lado, las bombas aportan la energía cinética necesaria, que en la voluta/caja espiral de la bomba se transforma en energía de presión.



2.1 Ecuación de Continuidad

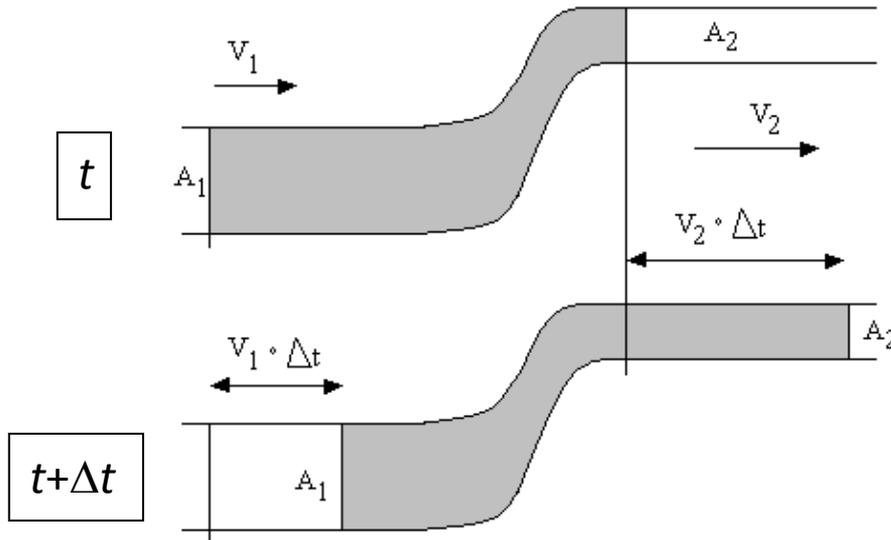


Figura 2.1.1: Porción de fluido para 2 instantes de tiempo

Tomemos en consideración una porción de fluido (color gris en la Figura 2.2.1), en el instante inicial t y en el instante $t+\Delta t$.

En un intervalo de tiempo Δt la sección A_1 que limita a la porción de fluido en la tubería inferior se mueve hacia la derecha una distancia dada por la relación:

$$\Delta x_1 = v_1 * \Delta t. \quad \text{siendo } v_1 \text{ la velocidad del flujo en la sección 1}$$

Y la masa de fluido desplazada hacia la derecha será:

$$\Delta m_1 = \rho * A_1 * \Delta x_1 = \rho * A_1 (v_1 * \Delta t) \quad \text{con } \rho \text{ la densidad del fluido y } A_1 \text{ el área local en 1.}$$

Si hacemos un razonamiento análogo con la sección 2, la sección A_2 que limita a la porción de fluido se mueve hacia la derecha:

$$\Delta x_2 = v_2 * \Delta t$$

en el lapso de tiempo dado por Δt y la masa desplazada estará dada por:

$$\Delta m_2 = \rho * A_2 * v_2 * \Delta t.$$

Debido a que el flujo es estacionario (los parámetros del fluido se mantienen constante con el tiempo) y no hay aportes ni pérdidas en el recorrido, la masa que atraviesa la sección A_1 en el tiempo Δt , tiene que ser igual a la masa que atraviesa la sección A_2 para un mismo lapso de tiempo.



Además, consideramos que la velocidad del flujo corresponde a bajo subsónico; por ende se comporta como un fluido incompresible (densidad constante).

En base a estas aseveraciones podemos escribir:

$$\rho * A_1 * v_1 * \cancel{A_1} = \rho * A_2 * v_2 * \cancel{A_2} \therefore \boxed{A_i * v_i = constante}$$

Esta última relación se denomina ecuación de continuidad y al producto $A_i * v_i$ se lo conoce como caudal volumétrico.

Esta expresión permite afirmar que conocido el caudal total y las áreas de todas las secciones es posible determinar la velocidad en cada sección que se desee.

2.2 Ecuación general de la Energía mecánica para fluidos

Si consideramos el sistema de la figura 2.2.1, la ecuación de Bernoulli adoptará la forma:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_B - h_L - h_{ACC} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

En donde h_B representa a la energía aportada por la bomba, h_L a la pérdida de carga en las cañerías y h_{ACC} a la pérdida de carga en los accesorios.

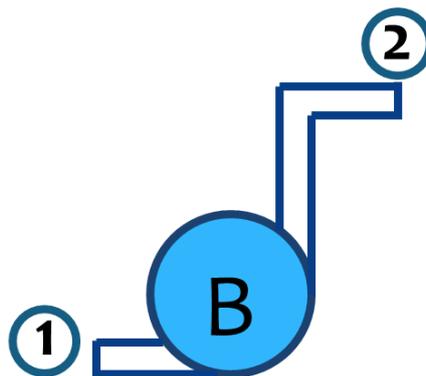


Figura 2.2.1: Esquema básico de un conjunto de cañerías, accesorios y bomba.

2.3 Flujo Laminar/turbulento

El flujo que circula tanto por una cañería como uno externo se puede clasificar, en función de su comportamiento, en dos tipos de flujos: laminar y turbulento (también podría considerarse un régimen de transición que se encuentra entre los dos anteriores)



El flujo *laminar* es aquel donde los esfuerzos viscosos son dominantes y por ello al introducirle una perturbación ésta es amortiguada rápidamente. Se caracteriza por ser un flujo cuyas partículas siguen trayectorias definidas.

El mecanismo de transporte en dirección normal a la corriente, es decir, la disipación, existe solo a nivel molecular dado que las líneas de corriente se comportan de forma ordenada y el fluido apenas se entremezcla.

Un flujo *turbulento* se caracteriza por ser irregular y complejo. El paso de un flujo laminar a uno turbulento, denominado *transición* conforme lo mencionado más arriba, queda determinado por el número de Reynolds, pero salvo en casos simples, el número de Reynolds crítico en el que el flujo pasa de ser laminar a turbulento es difícil de calcular.

A diferencia del caso anterior, hay una entremezcla del fluido a nivel macroscópico, donde las líneas de corriente dejan de comportarse de forma ordenada para comenzar a formar torbellinos. Se lo puede definir como un movimiento no estacionario y no periódico en el cual a velocidad, la presión, la temperatura y otras variables de transporte fluctúan.



Figura 2.3.1: Flujo laminar / turbulento

El número de Reynolds antes mencionado se obtiene de la expresión:

$$Re = \frac{V_{AVG} * D * \rho}{\mu}$$

En la cual:

μ = viscosidad dinámica

ρ = densidad

V_{AVG} = velocidad promedio

Dado que en el presente trabajo se utilizará agua como fluido, es menester definir los regímenes especificados en los párrafos anteriores en función del número de Re:

- Laminar $Re < 2300$
- Transición $2300 < Re < 4000$
- Turbulento $Re > 4000$



Como se verá en el apartado siguiente, saber qué tipo de flujo se está analizando permitirá obtener la pérdida de carga en las cañerías.

2.4 h_L

La pérdida de carga en las cañerías se obtiene con la siguiente expresión:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L V_{AVG}^2}{D 2g} ; \Delta P_L = \rho g h_L \quad \text{"Ecuación de Darcy"}$$

$$f = \frac{8 \tau_w}{\rho V_{AVG}^2} \quad \text{"Factor de Fricción de Darcy"}$$

En donde el factor f se obtendrá de diferentes maneras según el flujo sea laminar o turbulento:

➤ Flujo laminar

$$f = \frac{64 \mu}{\rho D V_{AVG}} = \frac{64}{Re}$$

➤ Flujo Turbulento

- Solución diferencial $\frac{1}{f^{1/2}} \cong 1.99 \log \left(Re f^{1/2} \right) - 1.02$

- Expresión de Prandtl $\frac{1}{f^{1/2}} = 2.0 \log \left(Re f^{1/2} \right) - 0.8$

- Expresión de Blasius $0.316 Re^{-1/4} \quad 4000 < Re < 10^5$

- Expresión de Colebrook $[1.8 \log \left(\frac{Re}{6.9} \right)]^{-2}$

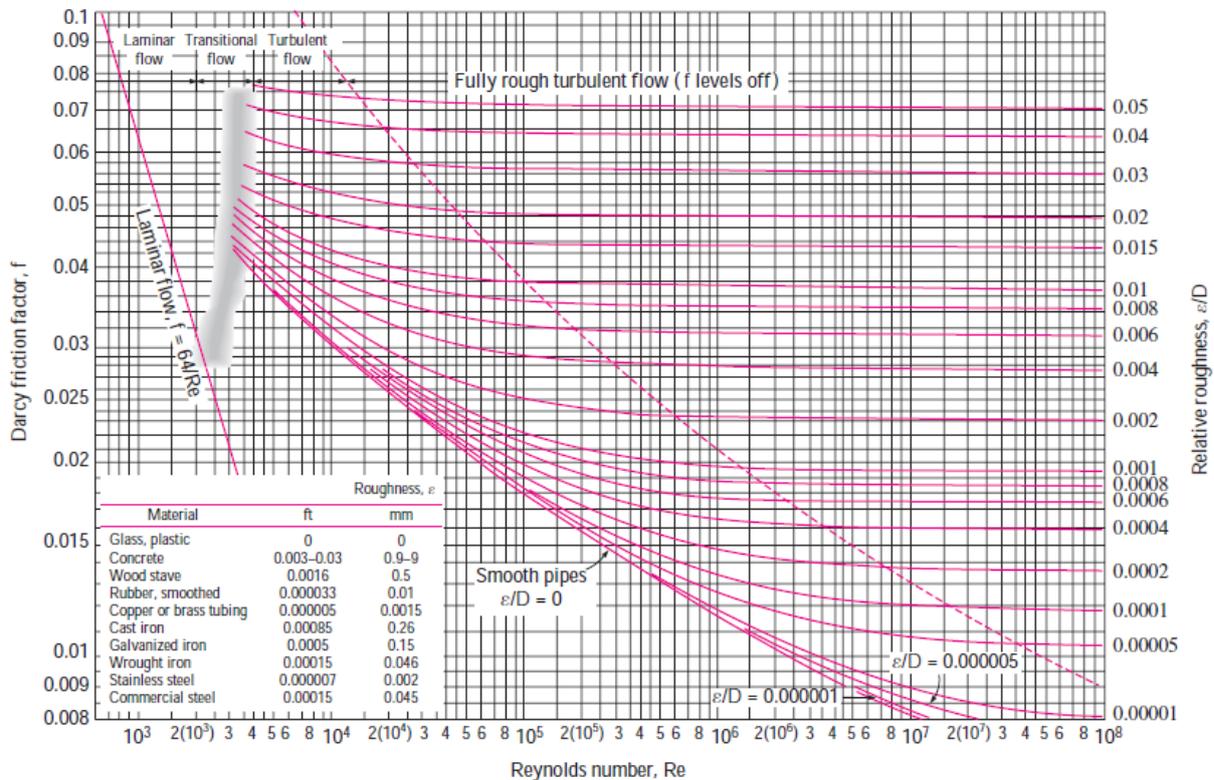
- Expresión para flujo turbulento desarrollado $\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)$

- Expresión de Colebrook (tuberías lisas y rugosas) $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$

- Expresión de Haaland $\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right)$



Como alternativa al cálculo matemático se dispone del diagrama de Moody para obtener f :



The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular pipes for use in the head loss relation $h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$. Friction factors in the turbulent flow are evaluated from the Colebrook equation $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$.

Figura 2.4.1: Diagrama de Moody

2.5 h_{ACC}

Cada vez que la condición de flujo se desvía del caso unidimensional/ducto de sección constante, se produce una pérdida de carga.

Los casos más comunes y estudiados son:

- Entrada o salida de un ducto o cañería.
- Expansión o contracción súbita del ducto.
- Curvas, “codos”, bifurcaciones (“tes”) y otros accesorios.
- Válvulas, parcial o totalmente abiertas.
- Expansión o contracción gradual.

La pérdida de carga en los mismos viene dada por la expresión:

$$h_{ACC} = K_L \frac{V_{AVG}^2}{2g}$$



En donde K_L es una constante que depende de cada accesorio. Por ende, la pérdida de carga total debida a los accesorios consistirá en hacer la sumatoria de la expresión anterior para todos los accesorios presentes.

3 EQUIPAMIENTO

3.1 Manómetro Diferencial

Es uno de los elementos más empleados para medir presiones. Consta de un tubo continuo doblado en forma de "U" y con ambos extremos abiertos. En su interior se encuentra un líquido que se desplazará en función de las presiones (P_1 y P_2 en la Figura 3.1.1) que actúan en cada uno de los extremos abiertos.

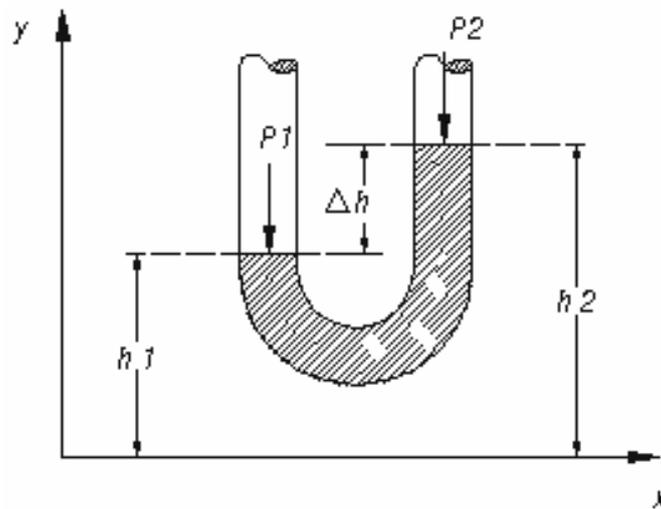


Figura 3.1.1: Manómetro diferencial, esquema básico y nomenclatura.

La expresión que relaciona la diferencia de presiones con la altura de las columnas de líquido (conforme la ecuación para equilibrio hidrostático) es:

$$p_1 - p_2 = \rho g \Delta h \quad \text{con } \Delta h = h_2 - h_1$$

En muchos casos, para disminuir el error de apreciación en la lectura de la altura el manómetro, este se encuentra inclinado cierto ángulo (ver Figura 3.1.2), quedando la expresión anterior:

$$p_1 - p_2 = \rho * g * \Delta h * \text{Sin}[\alpha]$$

Una observación más minuciosa de la expresión anterior, dará como resultado la conclusión de que variando la densidad (ρ) del líquido del manómetro nos permitirá medir distintos rangos de presiones. Por ejemplo, si utilizamos agua estaremos acotados en el rango de presiones a medir debido a su baja densidad ya que la altura del líquido pueda alcanzar magnitudes poco prácticas para un manómetro. Por eso, en el caso de querer medir valores de presión más altos, el líquido a utilizar puede ser mercurio. Como



contrapartida, si las presiones son muy bajas, conviene utilizar líquidos de baja densidad para ganar sensibilidad en las mediciones (con líquidos de alta densidad el Δh puede ser muy chico perdiendo exactitud).

Como alternativa a utilizar un líquido de mayor densidad, se puede implementar una presurización interconectando los diferentes tubos del manómetro en su parte superior. Esa técnica es la utilizada por el dispositivo a ser utilizado en el laboratorio para medir las pérdidas de cargas (Figura 3.1.3).

Por otro lado, la expresión anterior se puede expresar del siguiente modo:

$$p_2 + \rho * g * h_2 = p_1 + \rho * g * h_1 \quad \therefore p + \rho * g * h = \text{constante}$$

Por ende, sabiendo el valor de una de las presiones, es posible saber la presión reinante en el otro extremo. Si, por ejemplo, consideramos el extremo 1 abierto a la atmósfera: $p_1 = p_{atm} \Rightarrow$

$$p_2 + \rho g h_2 = p_{atm} + \rho g h_1 \Rightarrow p_2 = p_{atm} + \rho g (h_1 - h_2) \therefore \boxed{p_2 = p_{atm} - \rho g \Delta h}$$



Figura 3.1.2: Manómetro diferencial con la inclinación de 45°.



Figura 3.1.3: Manómetro diferencial usado en la práctica. Nótese la conexión superior para presurizar al sistema.

3.2 Placa Orificio

Es un dispositivo que se utiliza para medir el caudal en un conducto en función de la medición de la presión aguas arriba y abajo del mismo. Su principio de funcionamiento se basa en la ecuación de Bernoulli y, si bien permite estimar fácilmente el caudal, tiene como desventaja el hecho de introducir una pérdida de carga al flujo.

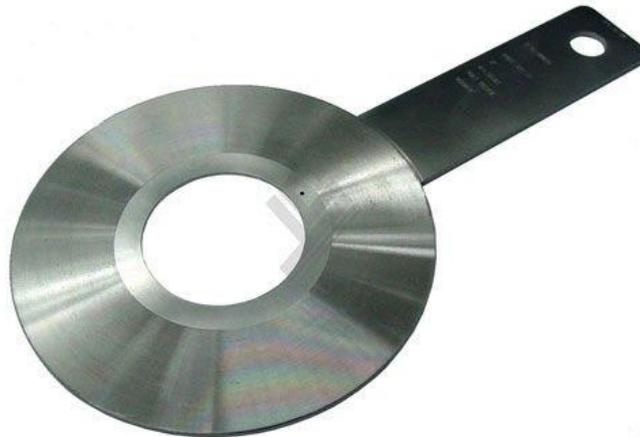
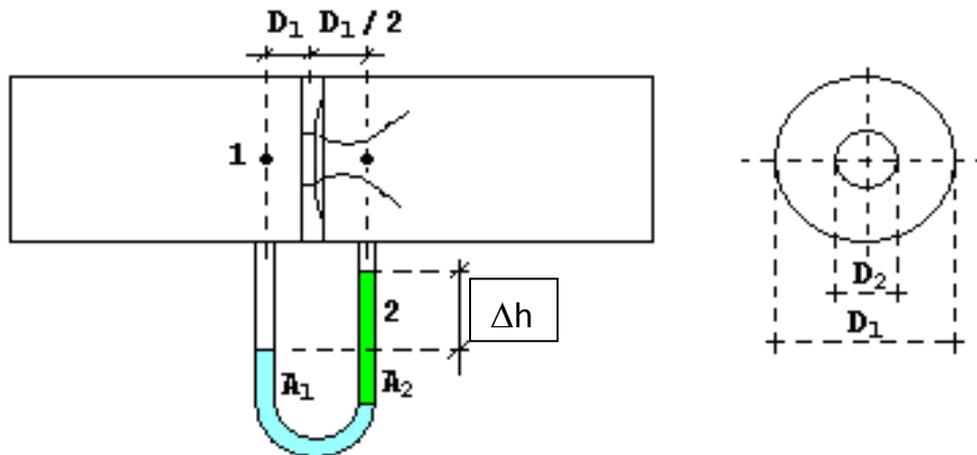


Figura 3.2.1: Placa orificio.

Para la deducción de su principio de funcionamiento se va considerar la imagen siguiente:



Y planteando Bernoulli entre los puntos 1 y 2 tendremos:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta h_{ACC}$$

Por otro lado, planteando la ecuación de continuidad entre los mismos puntos: $V_1 A_1 = V_2 A_2$
se podrá reemplazar V_2 en la primera ecuación descrita:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{(V_1 * A_1 / A_2)^2}{2g} + Z_2 + \Delta h_{ACC} \rightarrow$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{V_1^2}{2g} \left\{ \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right\} + \Delta h_{ACC} \rightarrow \frac{2 \Delta P}{\rho} = V_1^2 \left\{ \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right\} + CTE$$



Y despejando la velocidad se obtendrá (suponiendo la presencia del término CTE que representa a la pérdida de carga a través de Cd) :

$$V_1 = Cd * \sqrt{\frac{\frac{2 \Delta P}{\rho}}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

Siendo Cd el coeficiente de descarga (para nuestro caso Cd=0.6). Luego, el caudal volumétrico será

$$Q_1 = A_1 * V_1 = A_1 Cd * \sqrt{\frac{\frac{2 \Delta P}{\rho}}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}, \Delta P = \rho g \Delta h:$$

4 ENSAYO

4.1 Objetivos pedagógicos

El ensayo a realizar tiene 2 grandes objetivos pedagógicos:

- Comprender físicamente la pérdida de carga en cañerías y accesorios.
- Comprender la forma en que la placa orificio mide caudales.

4.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se espera que el alumno pueda cumplir con la experiencia de laboratorio son:

- Determinar las pérdidas de cargas en los tramos y accesorios utilizados.
- Comparar el caudal obtenido con la placa orificio con aquel que surge de la medición directa.

4.3 Procedimiento de ensayo

1. Verificar que las columnas manométricas estén equilibradas y no existan burbujas de aire en las conexiones.
2. Verificar que las válvulas esclusa de entrada **E** y de salida al tanque **S** se encuentren cerradas y que la de derivación **D** y las restantes del circuito abiertas.
3. Encender la motobomba.
4. Abrir la válvula esclusa de entrada **E**.
5. Abrir la válvula esclusa de entrada al tanque volumétrico **S**.
6. Cerrar paulatinamente la válvula de derivación **D** hasta regular el ΔH con el que se quiere trabajar.
7. Realizar la medición de las diferencias de alturas entre cada par de tomas: ΔH (medido).

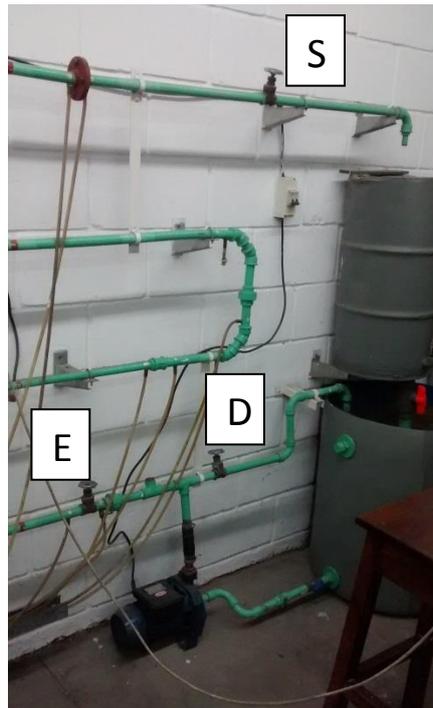


Figura 4.3.1: Válvulas de control de flujo del sistema.

4.4 Cálculos

1. Medir el caudal circulante con el tanque volumétrico y un cronómetro
2. Calcular el Q medido con la placa orificio
3. Con Q, calcular V en los caños de 1/2" y 3/4".
4. Con V determinar el Re en ambos caños
5. Con el Re y Rugosidad relativa, encontrar el factor de fricción a caño recto.
6. Calcular la pérdida de carga en los caños de 1/2" y 3/4" y en los cambios de sección, estrechamiento y ensanchamiento.
7. Encontrar los valores de K para
 - a- Válvula esclusa.
 - b- Válvula esférica.
 - c- Válvula globo.
8. Encontrar los valores de K en los accesorios roscados
 - a- Curvas a 90°.
 - b- Codos a 90°.
 - c- Codos a 45°.
9. Calcular los ΔH (referidos como "calculado" en la tabla de la página 16) y compararlos con los obtenidos a partir de la medición directa de 4.3.

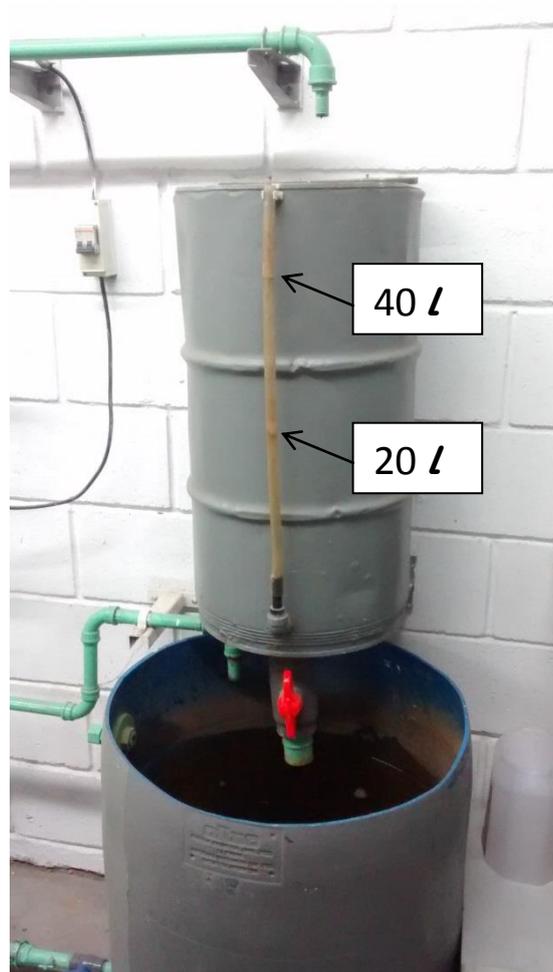
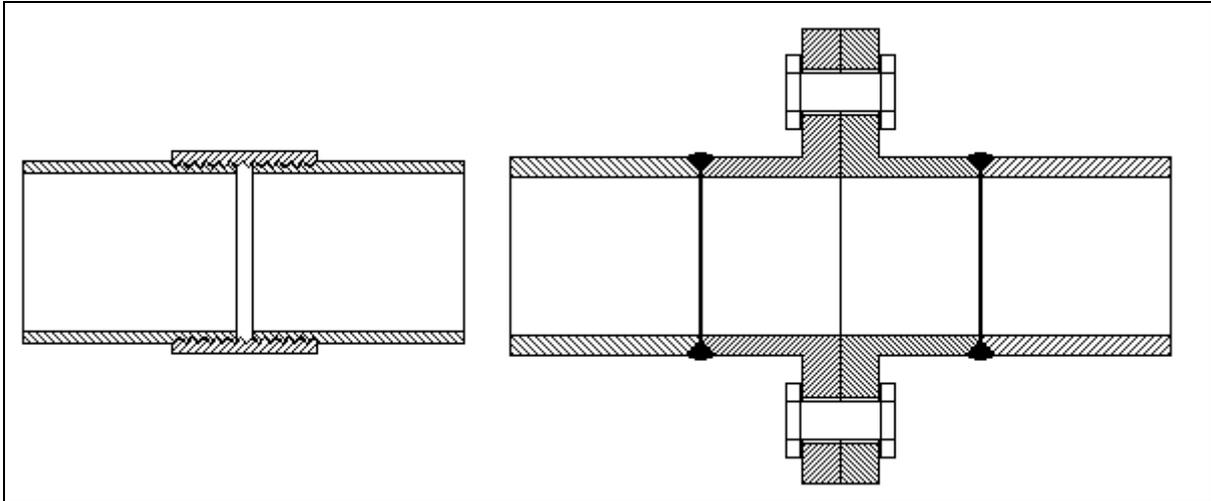


Figura 4.4.1: Tanque descarga y marcas para medir el caudal



Tomadas	Caños accesorios	Observaciones	ΔH (medido) [cm]	ΔH (calculado) [cm]	Diferencia [%]
1-2	Válvula Esclusa				
2-3	Tramo recto ϕ 3/4"	$\phi_{int} = 20\text{mm}$, $\epsilon = 0.15\text{mm}$			
3-4	Curva a 90°				
5-6	Reducción brusca 3/4" - 1/2"				
6-7	Caño recto ϕ 1/2"	$\phi_{int} = 15\text{mm}$, $\epsilon = 0.15\text{mm}$			
7-8	Expansión brusca 1/2" - 3/4"				
9-10	Dos codos a 45°				
11-12	Válvula esférica				
13-14	Válvula globo				
15-16	Codo de 90°				
17-18	Placa orificio	 $Cd = 0.6$ $\phi_{int} = 12\text{mm}$			
Caudal	Medición 1: (0→20l)s Medición 2: (20l→40l):s	Volumétrico [m³/h]	Placa Orificio [m³/h]		



5 CONTENIDOS MÍNIMOS DEL INFORME

El informe presentado por el alumno debe contener mínimamente los siguientes elementos:

- Calculo del Caudal Volumétrico
- Calculo de las velocidades en los caños rectos
- Calculo de Caudal Volumétrico por Placa Orificio
- Calculo de los Nros. De Reynolds
- Calculo de Rugosidades relativas
- Determinación de Coeficientes de Fricción
- Encontrar los Coeficientes de Resistencia de Accesorios y Válvulas
- Calcular Pérdidas de Carga en Cañerías rectas
- Calcular Pérdidas de Carga en Accesorios y Válvulas
- Comparar los resultados
- Conclusiones del informe.

6 REFERENCIAS

Adjuntar Tablas y Gráficos Utilizados.

7 ANEXO

Esquema del Equipo

