

GUÍA DE LABORATORIO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERIAS, ACCESORIOS, PLACA ORIFICIO Y TUBO VENTURI

Resumen: *En esta guía de laboratorio se encuentra el proceso para el cálculo de caudales (placa orificio y tubo venturi), coeficientes de pérdidas prácticos (codo 90° y válvula globo según grado de apertura) y funcionamiento de una red en paralelo mediante la lectura de presiones manométricas.*

1. INTRODUCCIÓN

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción que hay entre el líquido y la pared de la tubería o los accesorios; tales pérdidas de energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo. En estructuras largas, las pérdidas por fricción son muy importantes, por lo que ha sido objeto de investigaciones teórico experimental para llegar a soluciones satisfactorias de fácil aplicación.

Para la evaluación de las pérdidas de presión, existen diversos modelos matemáticos, que se ajustan al comportamiento de los fluidos en condiciones estándar de referencia, en vista que no hay una certeza de la exactitud de los resultados obtenidos teóricamente, es necesario experimentar con un modelo real (didáctico), para poder comprender y medir la influencia de todas las variables. El banco de pruebas utilizado en esta práctica cuenta con diversos accesorios, tramos de tuberías y válvulas para configurar distintos tipos de circuitos. En este caso solo se tendrá en cuenta la línea presente en la Imagen 1 la cual nos servirá en el desarrollo y obtención de los coeficientes de fricción prácticos para ciertos accesorios.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

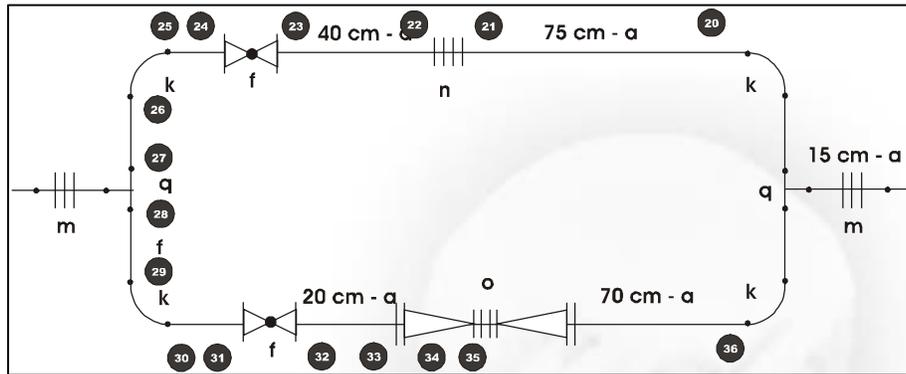


Imagen 1. Línea de trabajo

Ecuación de pérdidas en accesorios:

$$hm = K \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Donde;

hm: Pérdidas en accesorios [m].

K: Coeficiente de pérdidas de cada accesorio.

v: Velocidad máxima en el accesorio [m/s].

g: Gravedad [m/s²].

Ecuación de Bernoulli entre dos puntos (Entrada y salida).

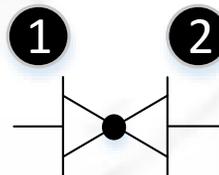


Imagen 2

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2g} + Z_2 + hm = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2g} + Z_1 \quad (2)$$

Desarrollando la ecuación 2 obtenemos que:

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \frac{KV^2}{2g} \quad (3)$$

Haciendo uso de la ecuación de la conservación de energía decimos que:

$$\frac{\dot{m}_1}{\rho_1} = \frac{\dot{m}_2}{\rho_2} \quad (4)$$

Desarrollando;

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \quad (5)$$

Concluimos que:

$$V_1 = V_2 \quad (6)$$

Con esto el primer término del lado derecho de la igualdad de la Ecuación 3 lo reducimos a cero y con esto obtenemos que:

$$hm = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} = K \frac{V^2}{2g}$$

$$K = \frac{2*(P_2 - P_1)}{\rho V^2} \quad (7)$$

Donde;

hm: Perdidas en accesorios [m].

P₂: Presión en el punto de salida del accesorio. [Pa]

P₁: Presión en el punto de entrada del accesorio. [Pa]

ρ : Densidad del agua a 20° de temperatura =1000 [Kg/m³].

v: Velocidad [m/s].

K: coeficiente de pérdida.

PLACA ORIFICIO:

La placa de orificio (Imagen 3) consiste en una placa perforada que se instala en la tubería, el orificio que posee en una abertura cilíndrica o prismática a través de la cual fluye el fluido. El caudal se puede determinar por medio de las lecturas de presión diferenciales. Dos tomas conectadas en la parte anterior y posterior a la placa captan esta presión diferencial.

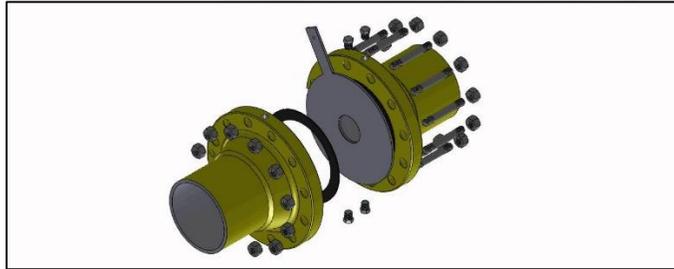


Imagen 3. Placa orificio

La ecuación correspondiente para calcular el caudal en una placa orificio es:

$$Q = C \cdot A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2) / \rho}{1 - (A_2 / A_1)^2}} \quad (8)$$

Donde;

Q: Caudal [m³/s].

C: Coeficiente de descarga = 0,975.

A₂: Área de la garganta u orificio = 0,00028502 [m²].

A₁: Área de la entrada del medidor = 0,0014009 [m²].

P₂: Presión de la garganta o salida del orificio [Pa].

P₁: Presión de la entrada del medidor [Pa].

ρ : Densidad del agua a 20° de temperatura =1000 [Kg/m³].

TUBO VENTURI:

El tubo venturi es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por el un fluido. (Imagen 4). En esencia, esta es una tubería corta recta o garganta entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal.

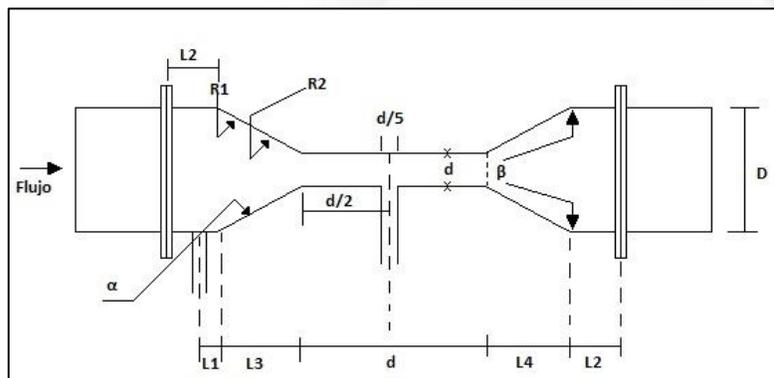


Imagen 4. Tubo venturi.

La ecuación correspondiente para calcular el caudal en un tubo venturi es:

$$Q = C \cdot A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2) / \rho}{1 - (A_2 / A_1)^2}} \quad (9)$$

Donde;

Q: Caudal [m³/s].

C: Coeficiente de descarga = 0,809.

A₂: Área de la garganta u orificio = 0,000508. [m²].

A₁: Área de la entrada del medidor = 0,0014009 [m²].

P₂: Presión de la garganta o salida del orificio [Pa].

P₁: Presión de la entrada del medidor [Pa].

ρ : Densidad del agua a 20° de temperatura =1000 [Kg/m³].

El coeficiente de descarga C es un valor de ajuste que compensa la distribución de velocidad y las pérdidas de carga menores que no fueron tomadas en cuenta al obtener la ecuación 8, su valor se determina para cada dispositivo, depende de cómo se coloquen las tomas de presión. Según la norma (Bureau of Indian Standards, 1999) podemos calcular dicho coeficiente el cual para el caso será tomado como 0,975 para la placa orificio y 0,809 para el tubo venturi.

VALVULA DE GLOBO:

Las válvulas de globo son dispositivos que se utilizan para regular el flujo y consta de las siguientes partes enumeradas en la Imagen 5.

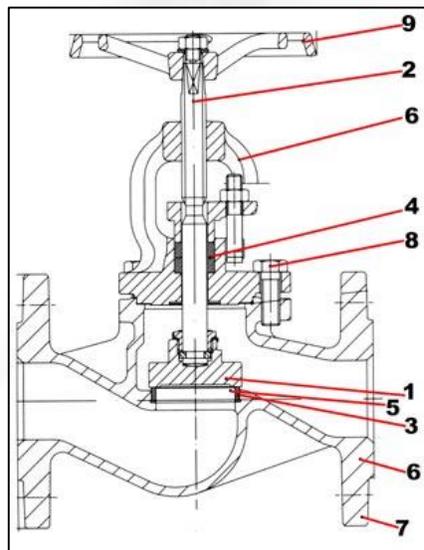


Imagen 5. Válvula globo

1. OBTURADOR: También denominado disco en caso de parte metálica, es la pieza que realiza la interrupción física del fluido.
2. EJE: También denominado husillo, es la parte que conduce y fija el obturador.
3. ASIENTO: Parte de la válvula donde se realiza el cierre por medio del contacto con el obturador.
4. EMPAQUETADURA DEL EJE: Es la parte que montada alrededor del eje metálico asegura la estanqueidad da la atmosfera.
5. JUNTAS DE CIERRE: Es la parte que montada alrededor del órgano de cierre (en algunos casos) asegura una estanqueidad más perfecta del obturador.
6. CUERPO Y TAPA: Partes retenedoras de presión, son el envolvente de las partes internas de las válvulas.

7. EXTREMOS: Parte de la válvula que permite la conexión a la tubería, pueden ser bridados, soldados, roscados, ranurados o incluso no disponer de ellos, es decir, permitir que la válvula se acople a la tubería tan solo por las uniones externas.
8. PERNOS DE UNION: Son los elementos que unen el cuerpo y tapa de la válvula entre sí. Para asegurar la estanqueidad atmosférica hay que colocar juntas ente estas dos superficies metálicas.
9. ACCIONAMIENTO: Es el mecanismo que acciona la válvula.

Las pérdidas a través de las válvulas de incrementan a medida que se cierra la válvula, así mismo como su coeficiente de pérdidas. Estas pérdidas de carga dependen de dos factores: la velocidad del flujo y el grado de apertura.

TUBERIAS EN PARALELO:

Un sistema de tuberías en paralelo está formado por un conjunto de tuberías que nacen en un mismo punto inicial y terminan en un único punto final.

Para un sistema general de n tuberías en paralelo se verifica que:

- El caudal total del sistema, es la suma de los caudales individuales de cada una de las tuberías (ecuación de continuidad)

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$

Ecuación 10.

- La pérdida de carga total del sistema es igual a la pérdida de carga de cada una de las tuberías:

$$\Delta h_T = \Delta h_i = h_{fi} + h_{mi} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 11.

Donde h_{fi} y h_{mi} son las pérdidas por fricción y en accesorios en cada una de las tuberías del sistema.

PORCENTAJE DE ERROR:

Un porcentaje de error es el error que se aplica al comparar una cantidad observada experimental, con una cantidad teórica, que es considerado el verdadero valor. El error porcentual es el valor absoluto de la diferencia dividida por el verdadero valor multiplicado por 100.

$$\%ERROR = \frac{| Valor\ práctico - Valor\ teórico |}{Valor\ teórico} * 100$$

Ecuación 12.

2. MATERIALES REQUERIDOS

2.1. Banco de pruebas.



Imagen 6. Banco de pruebas

- 2.2. Bayetilla
- 2.3. Libreta de apuntes
- 2.4. Libro guía (de ser necesario)

3. OBJETIVOS

- Verificar el coeficiente de pérdidas en codo 90°, válvula globo y estudiar la placa orificio como medidor de caudal.
- Verificar el tubo venturi como medidor de caudal, mediante la medición de la pérdida de presión.
- Comprobar que las pérdidas entre la línea de la placa orificio y la línea de tubo venturi son iguales cuando funcionan en flujo paralelo así mismo que la suma de sus caudales es igual al caudal total.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Identifique el diseño esquemático en el banco de pruebas por medio del poster.
- 4.2. El laboratorio se encuentra dividido en tres partes de la siguiente manera:
 - 4.2.1. Para la primera parte se deben cerrar atentamente las válvulas 1, 2, 4 y 5 según el poster y la línea de referencia (La práctica se realiza con la válvula de globo 3 completamente abierta para la tabla 1 y posteriormente se cerrara gradualmente para la tabla 2).
 - 4.2.2. Para la segunda parte se deben cerrar atentamente las válvulas 1, 2, 3 y 5 según el poster y la línea de referencia (La práctica se realiza con la válvula de globo 4 de la línea de trabajo completamente abierta).
 - 4.2.3. Para la tercera parte se deben cerrar atentamente las válvulas 1, 2 y 5 según el poster y la línea de referencia (la práctica se realiza con las válvulas de globo 3 y 4 completamente abiertas).
- 4.3. Identifique el control de caudal e interfaz gráfica.
 - 4.3.1. Conectar el sistema a una toma corriente de 220 V- AC y realizar la respectiva conexión de polo a tierra con el cable de color verde que se muestra en la Imagen 7.

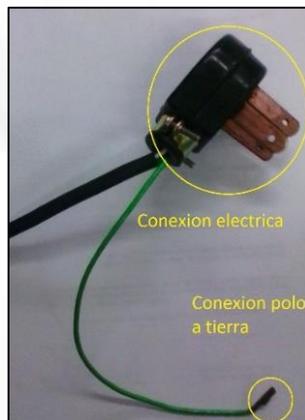


Imagen 7. Conexión eléctrica.

4.3.2. Para acceder al sistema de control y/o de monitoreo (PLC-SCADA) se debe realizar la conexión de un cable de red de conectores RJ45 tipo macho (Patch Cord Ethernet), entre la ranura de conexión del tablero como se muestra en la imagen 8 y la tarjeta de red LAN del computador.

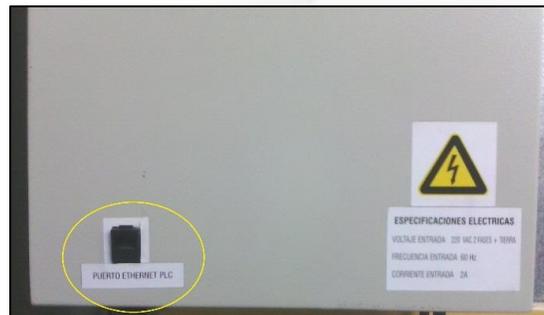


Imagen 8. Puerto conexión Ethernet PLC-SCADA

Operación del sistema:

La operación del sistema se puede realizar de dos formas: Modo manual o Modo automático.

4.3.3. MODO MANUAL: En el modo manual el sistema responde a los cambios hechos por el operador, es decir, la velocidad la controla el operador.



Imagen 9. Selector MANUAL/AUTOMATICO

4.3.3.1. Encendido: Para la operación en modo manual se debe girar el selector hacia la izquierda como lo muestra la Imagen 9. Después se debe presionar el botón verde de encendido que se observa en la Imagen 10. Se debe tener en cuenta que la velocidad

establecida por defecto es de 60 Hz, si se requiere cambiar la velocidad por defecto remitirse al manual de usuario del variador.



Imagen 10. Encendido del sistema

4.3.3.2. Apagado: Para detener el giro del variador en modo manual, solo debe presionar el botón de color rojo como se muestra en la Imagen 11.



Imagen 11. Apagado del sistema

4.3.3.3. Velocidad: El sistema funciona en un rango de velocidades de 0Hz a 60 Hz o de 0 L/m a 60 L/m. Para aumentar la velocidad solo debe presionar varias veces el botón con la flecha hacia arriba que se muestra en la Imagen 12, hasta obtener la velocidad deseada. Para disminuir la velocidad debe presionar el botón con la flecha

hacia abajo que se muestra en Imagen 12 varias veces hasta obtener la velocidad deseada.



Imagen 12. Control manual de velocidad

4.3.4.MODO AUTOMATICO: Para el funcionamiento del modo automático se debe girar el selector MANUAL/AUTOMATICO hacia la derecha, realizar la conexión de datos descritas en el aparatado de conexiones, después debe abrir el ejecutable del SCADA. En donde se observan los comandos de operación y animaciones del sistema como lo muestra la Imagen 13.



Imagen 13. Ventana principal SCADA

4.3.4.1. Inicio: Para iniciar el sistema solo debe hacer clic en el botón color verde que se encuentra en la esquina superior izquierda (Numeral 1, Imagen 13). El sistema inicia por defecto en una velocidad de 0Hz. Y se observa la señal de inicio (Numeral 2, Imagen 13).

- 4.3.4.2. Setpoint/referencia: Como el sistema inicia en 0Hz, se debe deslizar la barra de SetPoint que se encuentra a la derecha de la pantalla, este setpoint varia en un rango de 0% a 100% (Numeral 3, Imagen 13).
- 4.3.4.3. Variables del sistema: En los numeral 4 y 5 de la Imagen 13 se muestran los indicadores de cada una de las variables del sistema, tales como: Sensor (Hz), Variador (Hz) y la salida (L/m). La salida se puede observar en diferentes unidades (L/m y G/m), para ello se debe seleccionar las unidades de la lista desplegable señalada en el numeral 6, Imagen 13.
- 4.3.4.4. Apagado: Para detener el sistema solo debe hacer clic en el botón rojo que se encuentra en la esquina superior izquierda (Numeral 7, Imagen 13)
- 4.3.4.5. Paro de emergencia: Para detener el sistema ante una emergencia tanto en operación manual o automática debe presionar el botón color rojo ubicado en la parte baja del tablero de medición análoga de variables ubicado en el costado derecho del banco de pruebas.(Imagen 14).



Imagen 14. Paro de emergencia.

- 4.3.4.6. Alarmas: Para monitorear los estados de alarmas del sistema debe hacer clic en la figura de la campana que se muestra en el Numeral 8, Imagen 13 y se pueden monitorear como se muestra en la Imagen 15.



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

No.	Time	Date	Status	Text	QGR
190011	8:48:07 AM	8/31/2015	I	Tag Uni_Sel: value could not be written to the PLC.	0
140001	8:48:07 AM	8/31/2015	I	Connection disconnected: HMI_connection, Station 192.168.0.1, Rack 0, Slot 1.	0
110001	8:47:56 AM	8/31/2015	I	Change to operating mode 'online'.	0
70018	8:47:56 AM	8/31/2015	I	User administration imported successfully.	0
70022	8:47:56 AM	8/31/2015	I	User administration import started.	0

Imagen 15. Historial de alarmas.

4.3.4.7. Ayuda: En el numeral 9, Imagen 13 se observa el icono de ayuda, en el cual podrá encontrar el manual técnico de cada uno de los componentes del sistema (variador de velocidad, sensor, PLC), topología de la red y el diagrama unifilar de las conexiones eléctricas.

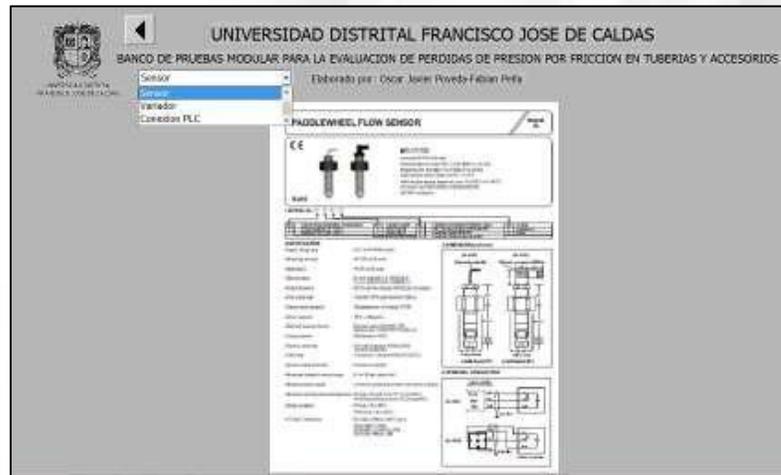


Imagen 16. Ayuda sensor.

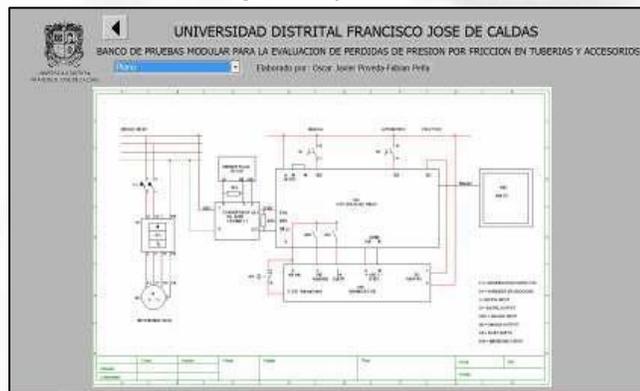


Imagen 17. Ayuda plano eléctrico.

- 4.3.4.8. Sistema De Control: Para observar el comportamiento del sistema debe hacer clic en el numeral 11, Imagen 13, una vez en la ventana se podrá observar la señal de referencia vs la señal de salida.

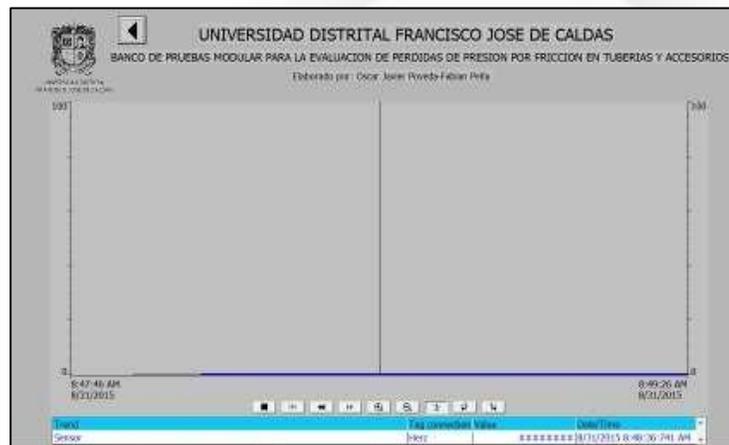


Imagen 18. Comportamiento sistema de control

- 4.3.4.9. Solución De Problemas:

- Cuando se realiza un **PARO DE EMERGENCIA** y en el Variador de velocidad se visualiza **F00085**, se debe reiniciar el variador presionando la tecla **FN**.
- Si en el **SCADA** se visualiza el valor de la variables como **#####**, se ha perdido el enlace del **PLC** con el **SCADA**, se debe reiniciar la conexión.

4.4. Toma de datos:

4.4.1. Para la primera parte se toman los datos de presión de los puntos 21, 22, 23, 24, 25 y 26 (3 veces por el mismo observador) y se llena la tabla 1. A continuación Se toman los datos de presión para la válvula globo en los puntos 23 y 24 según el grado de apertura y se llena la tabla 2.

4.4.2. Para la segunda parte se toman los datos de presión de los puntos 34 y 35 (3 veces por el mismo observador) y se llena la tabla 3.

4.4.3. Para la tercera parte se toman los datos de presión de los puntos 20, 21, 22, 27, 28, 34, 35 y 36 (3 veces por el mismo observador) y se llena la tabla 4.

4.5. Apagar la bomba.

Notas:

- La frecuencia y el caudal tienen un crecimiento lineal. 0 hz-0L/min, 60 Hz-60L/min.

- Para la medición de los mm de mercurio se debe observar la variación de presión en el manómetro diferencial en U.

5. RESULTADOS

Para la primera parte haciendo uso de las Ecuaciones 7, 8 y 12 procedemos a llenar la Tabla 5 Y 6. Así mismo utilizando las Ecuaciones 7 y 12 completamos la Tabla 7. Para el cálculo de la velocidad en la tubería se debe tener en cuenta la ecuación de caudal $Q=V \cdot A$; Se despeja V y se toma el caudal practico y el diámetro interno de la tubería ($\varnothing= 1,5$ pulg.) Por ultimo con los datos obtenidos realizamos una gráfica de K vs A (A= Grado de apertura), en la cual se mostrara la influencia del grado de apertura sobre el valor del coeficiente de pérdidas K.

Para la segunda parte haciendo uso de las Ecuaciones 9 y 12 procedemos a llenar la Tabla 8.

Para la tercera parte haciendo uso de las ecuaciones 8, 9, 10 y 12 procedemos a llenar las tablas 9 Y 10.

6. BIBLIOGRAFIA

Bureau of Indian Standarts. (1999). MEASUREMENT OF FLUID FLOW BY MEANS OF PRESSURE DIFFERENTIAL DEVICES. New Delhi: Bureau of Indian Standarts.

7. RECOMENDACIONES

- 7.1. Verificar el estado de los elementos antes de utilizarlos.
- 7.2. Dejar los elementos utilizados en la práctica en completo orden.
- 7.3. Por seguridad realice **TODAS LAS CONEXIONES** con la bomba apagada.

Proyectó	Paula Rincón, Andrés Ramírez	Monitores académicos 2016-1
Revisó	Carlos Andrés Romero	Auxiliar de laboratorio
Aprobó	Luini Hurtado	Coordinador de Laboratorios y Talleres de Mecánica
Fecha	25/02/2017	Versión 02



ANEXO 1 Tablas de datos

N° MANÓMETRO	LECTURA 1 (PSI)	LECTURA 2 (PSI)	LECTURA 3 (PSI)	PROMEDIO (PSI)	PROMEDIO (Pa)
21					
22					
23					
24					
25					
26					

Tabla 1.

N° MANÓMETRO	LECTURA 1 GLOBO COMPLETAMENTE ABIERTA		LECTURA 2 GLOBO 3/4 ABIERTA		LECTURA 3 GLOBO 1/2 ABIERTA		LECTURA 4 GLOBO 1/4 ABIERTA	
	(PSI)	(Pa)	(PSI)	(Pa)	(PSI)	(Pa)	(PSI)	(Pa)
23								
24								

Tabla 2.

N° MANÓMETRO	LECTURA 1 (mm Hg)	LECTURA 2 (mm Hg)	LECTURA 3 (mm Hg)	PROMEDIO (mm Hg)	PROMEDIO (Pa)
34					
35					

Tabla 3.

N° MANÓMETRO	LECTURA 1 (PSI)	LECTURA 2 (PSI)	LECTURA 3 (PSI)	PROMEDIO (PSI)	PROMEDIO (Pa)
20					
21					
22					
27					
28					
34 (mm Hg)					
35 (mm Hg)					
36					

Tabla 4.



ACCESORIO	COEFICIENTE DE PERDIDA PRACTICO (Kp)	COEFICIENTE DE PERDIDA TEORICO (Kt)	% ERROR
CODO 90°			
VALVULA GLOBO			

Tabla 5.

CAIDA DE PRESION PRACTICA ΔP (Pa)	Q PLACA ORIFICIO (m ³ /s)	Q CONTROL ELECTRICO (m ³ /s)	% ERROR

Tabla 6.

GRADO DE APERTURA	K PRACTICO	K TEORICO	% ERROR
COMPLETAMENTE ABIERTA			
3/4 ABIERTA			
1/2 ABIERTA			
1/4 ABIERTA			

Tabla 7.

CAIDA DE PRESION PRACTICA ΔP (Pa)	Q TUBO VENTURI (m ³ /s)	Q CONTROL ELECTRICO (m ³ /s)	% ERROR

Tabla 8.

LINEA	LINEA TUBO VENTURI: ΔP 36-28	LINEA PLACA ORIFICIO: ΔP 20-27	% ERROR
PRESION ΔP (Pa)			

Tabla 9.

Q TUBO VENTURI (m ³ /s)	Q PLACA ORIFICIO (m ³ /s)	Q Σ (VENTURI + PLACA) (m ³ /s)	Q CONTROL ELECTRICO (m ³ /s)	% ERROR

Tabla 10.