

PRÁCTICA 1 CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE FLUJO

1. Objetivos

- Observar el principio de funcionamiento y las diferencias existentes entre los principales instrumentos de medición existentes: Placa de Orificio, Tubo Venturi, Tobera y Tubo Pitot.
- Verificar la validez de los instrumentos de medición indirecta en la determinación del caudal.
- Determinar los coeficientes de descarga de una Placa de Orificio, Tubo Venturi, Tobera y Tubo Pitot.

2. Marco Teórico:

Los métodos de medición de flujos pueden clasificarse, en un sentido amplio, en directos o indirectos. Los métodos directos abarcan la medición real del flujo (volumen o masa) para un intervalo de tiempo dado; los métodos indirectos incluyen la medición de un cambio de presión (o alguna otra variable) que a su vez se relaciona directamente con el flujo. La selección de un dispositivo para medir flujo se ve afectada por la aproximación requerida, el costo, la complejidad del diseño, la facilidad de la lectura o la interpretación de los resultados y la duración. En general, se prefiere seleccionar el dispositivo más simple y económico para la aproximación deseada.

La mayor parte de los medidores de flujo no mecánicos para flujos internos, funcionan a base de acelerar una corriente de fluido a través de algún tipo de boquilla, como la mostrada en la **fig. 1**. La separación del flujo en la arista afilada de la garganta de la boquilla, da lugar a la formación de una zona de recirculación; así, la corriente principal del flujo continúa acelerándose y forma una sección contraída (vena contracta) como se muestra en la sección 2 de la **fig. 1**. Luego la corriente de flujo se expande y disminuye la velocidad hasta llenar todo el conducto.

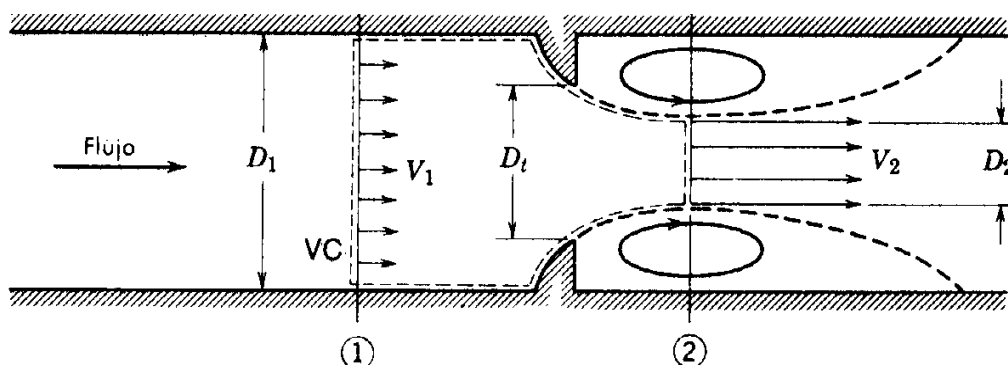


Figura 1. Flujo interno a través de un medidor genérico, mostrando el volumen de control utilizado para el análisis.

En la sección contraída, el área de flujo adquiere su valor mínimo, las líneas de corriente son paralelas y la presión resulta uniforme transversalmente al conducto. Para relacionar el flujo ideal con la caída de presión se utiliza las ecuaciones de continuidad y Bernoulli entre los



puntos 1 y 2 y por medio de coeficientes de ajustes se puede obtener una expresión para el caudal:

$$Q_{\text{real}} = C_c C_v A_t \sqrt{\frac{2\Delta P/\rho}{1 - C_c^2 \left(\frac{A_t}{A_1}\right)^2}} = C_d A_t \sqrt{\frac{2g \Delta p/\rho}{1 - C_c^2 \left(\frac{A_t}{A_1}\right)^2}} \quad [1.0]$$

Donde:

C_c : Coeficiente de contracción.

C_v : Coeficientes de velocidad.

A_t : Área de orificio o garganta.

A_1 : Área en la tubería.

ΔP : Caída de presión entre los puntos 1 y 2.

ρ : Densidad del fluido que circula por la tubería.

El coeficiente de contracción viene dado por:

$$C_c = \frac{\text{Área del chorro en la vena contracta}}{\text{Área del orificio o garganta}} = \frac{A_2}{A_t} \quad [1.1]$$

Por efecto de fricción la velocidad de la vena contracta es menor. Considerando una disminución de la velocidad se define el coeficiente de velocidad C_v como:

$$C_v = \frac{V_{2 \text{ REAL}}}{V_{2 \text{ IDEAL}}} \quad [1.2]$$

Adicionalmente, se define C_d como el coeficiente de descarga y C_Q como coeficiente de flujo. El coeficiente de descarga se expresa como:

$$C_d = C_c C_v \quad [1.3]$$

Mientras el coeficiente de flujo viene dado por:

$$C_Q = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2 \left(\frac{A_t}{A_1}\right)^2}} \quad [1.4]$$

Con las expresiones 1.3 y 1.4 la ecuación 1.0 resulta:

$$Q_{\text{real}} = C_Q A_t \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad [2.0]$$

Para medidores de boquilla y Venturi la sección que ofrece la mínima área para el flujo se localiza en la garganta ya que no existe vena contracta. Por lo tanto, el coeficiente de



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
UNIDAD DE LABORATORIOS
LABORATORIO "A"
SECCIÓN DE MECÁNICA DE FLUIDOS

contracción es igual a uno, $C_c=1$. Entonces, el coeficiente de flujo para medidores de boquilla y tubo Venturi vienen dados por:

$$C_Q = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_t}{A_1}\right)^2}} \quad [3.0]$$

Si se define β como la relación de diámetros, esto es:

$$\beta = \frac{D_t}{D_1} \quad [3.1]$$

Entonces la expresión del coeficiente de flujo C_Q resulta:

$$C_Q = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad [3.2]$$

Para placas de orificio se utiliza la misma ecuación, pero teniendo presente que $C_c \neq 1$. Se hace esta observación ya que el coeficiente de descarga, dado por la expresión 1.3, es precisamente lo que se quiere determinar.

En general, el flujo volumétrico o caudal se obtiene a partir de la expresión 2.0. La constante de proporcionalidad dependerá de la instalación y sus condiciones específicas. La restricción utilizada en la tubería para producir la caída de presión (placa orificio, tobera o Venturi) se denomina elemento primario. Será de interés en la práctica el obtener la constante de proporcionalidad por métodos gráficos y mínimos cuadrados.

Para el caso de sistemas de medida de caída de presión a través de tubos piezométricos, tal como se muestra en la siguiente figura:

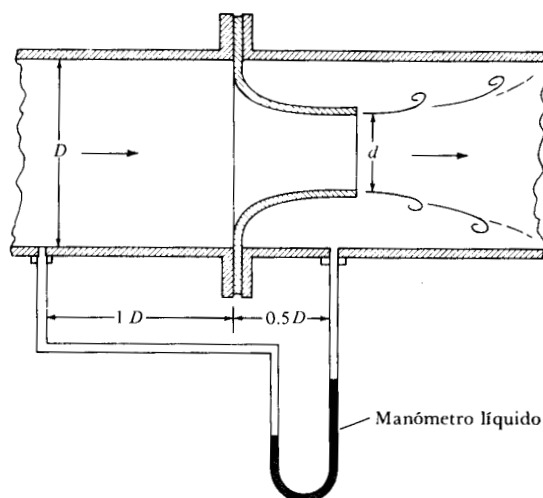


Figura 2. Esquema de un medidor tipo tobera



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
UNIDAD DE LABORATORIOS
LABORATORIO "A"
SECCIÓN DE MECÁNICA DE FLUIDOS

La ecuación 1.0 se expresada en función de la altura piezométrica resulta:

$$Q_{\text{real}} = C_d \frac{A_t}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_t}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_f} - 1\right) \Delta h} \quad [4.0]$$

Donde:

A_1 : Área de la tubería.

A_t : Área de la garganta o reducción debida al instrumento.

Δh : Diferencia de altura medida en el manómetro.

γ_m : Peso específico del mercurio o líquido que se utilice en el tubo piezométrico.

γ_f : Peso específico del fluido en la tubería.

g : gravedad.

Para el caso en que el fluido en el tubo piezométrico sea el mismo que el fluido en la tubería y se encuentre expuesto a la atmósfera o presurizado, el caudal resulta:

$$Q_{\text{real}} = C_Q A_t \sqrt{2g \Delta H} \quad [5.0]$$

Equipos

El Banco de Medidores de Flujo está compuesto por:

- Tubería de 1.25±0.01" de diámetro interno.
- Válvula de regulación.
- Tubo pitot: 4 tubos pitot distribuidos radialmente en la tubería, conectado a un manómetro piezométrico de agua.
- Placa de Orificio: diámetro nominal 1.25±0.01", diámetro de la garganta 0.76±0.01", tomas en bridas, conectado a un manómetro de mercurio.
- Tobera de radio corto: diámetro nominal 1.25±0.01" y diámetro de la garganta 0.837±0.001", conectado a un manómetro piezométrico de mercurio.
- Tubo Venturi: diámetro nominal 1.25±0.01" diámetro de la garganta 0.625", conectado a dos manómetros diferenciales.
- Tanque abierto a la atmósfera con indicador de nivel (Área a determinar).
- Bomba centrífuga marca Malmedi de 7.5 HP, 3500 RPM, 162GPM.



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
UNIDAD DE LABORATORIOS
LABORATORIO "A"
SECCIÓN DE MECÁNICA DE FLUIDOS

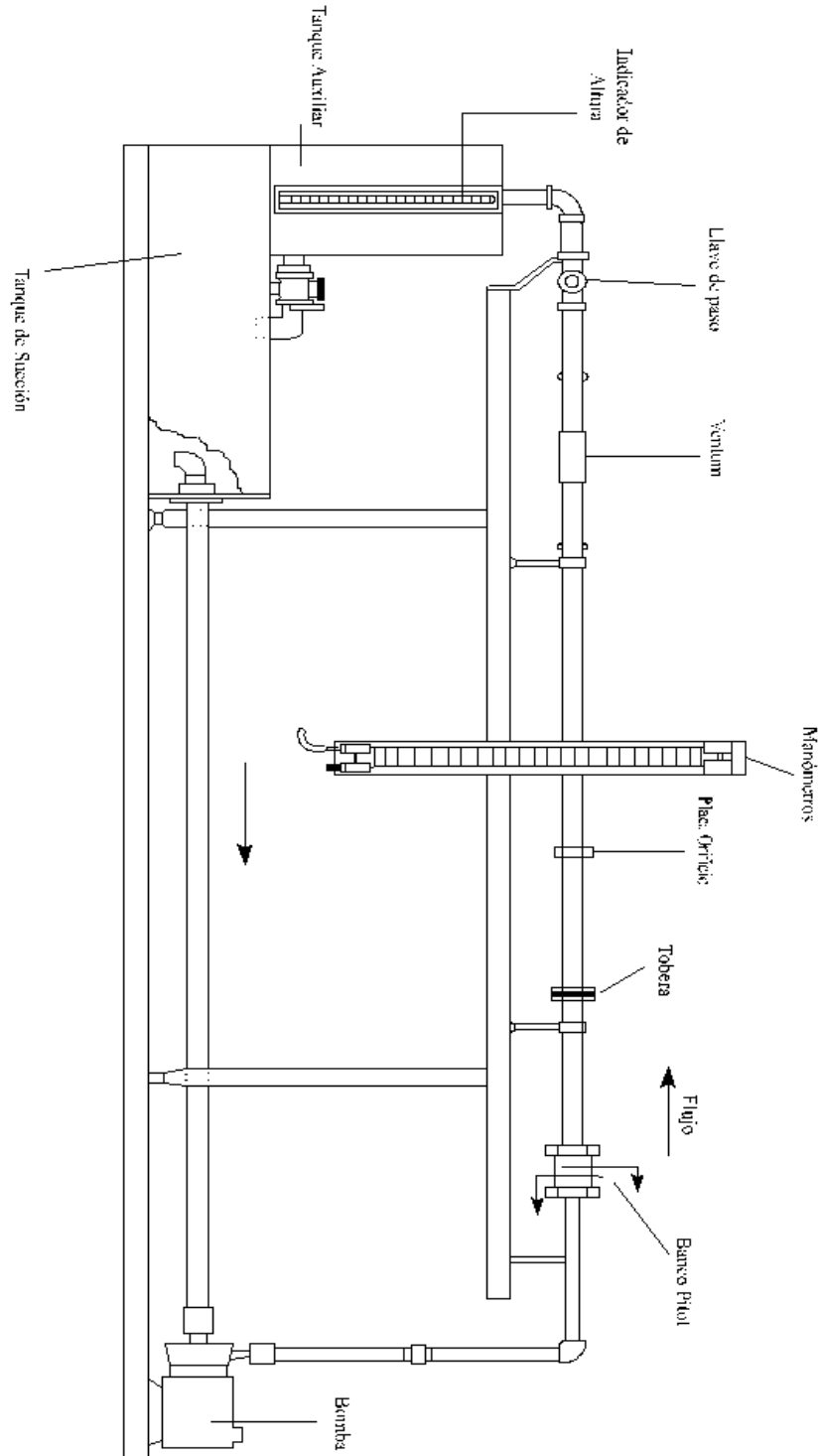


Figura 3. Montaje Experimental



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
UNIDAD DE LABORATORIOS
LABORATORIO "A"
SECCIÓN DE MECÁNICA DE FLUIDOS

Este banco forma un circuito cerrado que recircula agua, haciéndola pasar a través de una tubería donde se encuentran ubicados los elementos de medición de caudal mencionados anteriormente y que miden el mismo a base de diferencias de presión.

3. Procedimiento Experimental

- a. Abrir la válvula que regula la salida de agua de la tubería y anotar la presión existente utilizando el manómetro tipo Bourdon conectado al Venturi. Anote la presión utilizando el manómetro tipo Bourdon conectado al Venturi.
- b. Cerrar la válvula completamente y realizar la lectura de presión con el mismo instrumento del paso anterior.
- c. Distribuir la diferencia entre los valores de las presiones máximas y mínimas en un rango de 6 puntos, los cuales servirán para realizar las mediciones necesarias para la práctica.
- d. Se toma como referencia la presión en el manómetro de salida del Venturi. Espere un tiempo prudencial para que el flujo alcance condiciones estacionarias.
- e. Leer y registrar en la tabla de datos 1, la caída de presión en el Tubo de Pitot,
- f. Tobera o Boquilla, Placa de Orificio y Venturi.
- g. Fijar una diferencia de alturas en el indicador del tanque auxiliar (200 mm.).
- h. Cerrar la válvula de salida del tanque auxiliar.
- i. Desviar el flujo al tanque auxiliar.
- j. Con ayuda del cronometro suministrado registrar el tiempo que tarda en llenarse la diferencia de altura fijada en el tanque auxiliar.
- k. Abrir la válvula del tanque auxiliar y esperar que éste se vacíe
- l. Repetir el paso "k" para registrar dos veces el tiempo de llenado.
- m. Repetir los pasos del "e" al "l" para aperturas decrecientes de la válvula de regulación, según la distribución realizada en el paso "c".
- n. Desactive la bomba.

4. Presentación de resultados

En ésta práctica se debe reportar lo siguiente:

- Indicar las características de cada instrumento, sus ventajas y desventajas; así como las ecuaciones o gráficos que permiten determinar el coeficiente de descarga o de flujo.
- Construya el gráfico teórico y experimental de Q en función de ΔH para cada experimento
- Determine el coeficiente de descarga y compárelo con el que se obtiene a partir de la ecuación correspondiente para cada instrumento. Construya el gráfico C_d en función del Re_D . Analice los resultados.



5. Información adicional

Para $\beta = \frac{D_t}{D_1}$, el coeficiente de descarga para una placa de orificio resulta la siguiente [2]:

$$C_d = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + 91.71\beta^{2.5} \text{Re}_D^{-0.75} + \frac{0.09\beta^4}{1-\beta^4} F_1 - 0.0337\beta^3 F_2$$

Donde:

Tomas en las esquinas: $F_1 = F_2 = 0$

Tomas a distancias $D, \frac{1}{2}D$: $F_1 = 0.4333$ y $F_2 = 0.47$

Tomas bridadas: $F_2 = \frac{1}{D_1}$ y $F_1 = \begin{cases} \frac{1}{D_1} & D_1 > 2.3'' \\ 0.4333 & 2.0'' \leq D_1 \leq 2.3'' \end{cases}$

$$C_c = 0.528 + \frac{0.0418}{1.1 - \frac{D_1}{D_2}}$$

El coeficiente de contracción viene dado por:

El coeficiente de descarga para toberas o boquillas de curvatura suave [2]:

$$C_d \approx 0.9965 - 0.00653\beta^{0.5} \left(\frac{10^6}{\text{Re}_D} \right)^{0.5}$$

Mientras que para radio pequeño se puede considerar la siguiente:

$$C_d \approx 0.99 + 0.2262\beta^{4.1} + \left(0.000215 - 0.001125\beta + 0.00249\beta^{4.7} \right) \left(\frac{10^6}{\text{Re}_D} \right)^{1.15}$$



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
UNIDAD DE LABORATORIOS
LABORATORIO "A"
SECCIÓN DE MECÁNICA DE FLUIDOS

Datos experimentales

Tabla 1. Datos de caudal

	T [°C]	Δh [mm]	t [s]
	\pm	\pm	\pm
1			
2			
3			
4			
5			

Tabla 2. Datos de diferenciales de presión

	Pitot	Orificio	Tobera	Venturi	
	Δh [cmH ₂ O]	Δh [cmHg]	Δh [cmHg]	P _{tub} [psi]	P _{gar} [psi]
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
1					
2					
3					
4					
5					