



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	96/ 205

**P-2**

**ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE FRICCIÓN,  
LONGITUDES EQUIVALENTES Y CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE  
FLUJO.**

**1. OBJETIVOS**

- DETERMINAR EXPERIMENTALMENTE EL FACTOR DE FRICCIÓN DE TUBOS LISOS.
- EVALUAR EXPERIMENTALMENTE LA LONGITUD EQUIVALENTE EN VÁLVULAS Y ACCESORIOS.
- CALIBRAR UN MEDIDOR DE PLACA DE ORIFICIO, VENTURI Y ROTÁMETRO.
- DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN Y DE LOS COEFICIENTES DE DESCARGA DE MEDIDORES DE FLUJO CON RESPECTO AL NÚMERO DE REYNOLDS.

**2. FUNDAMENTO TEÓRICO**

➤ Fluido Newtoniano

Experimentalmente se observa que cuando se tienen dos placas paralelas separadas por una sustancia que se encuentra entre ellas a una distancia  $L$  muy pequeña, como se muestra en la Figura 1, al aplicar una fuerza  $F_1$ , por pequeña que sea en la placa inferior, la sustancia se deforma. Esta deformación consiste en un desplazamiento gradual de todas las capas de dicha sustancia, hasta alcanzar una distribución decreciente y lineal de velocidad  $V$ , de la placa en movimiento hasta la velocidad cero de la placa que está en reposo. La deformación de las capas de fluido resulta de la acción de corte ejercida inicialmente por la fuerza  $F_1$ , sobre la capa de fluido adherida a la placa inferior y a la resistencia del fluido deformable.

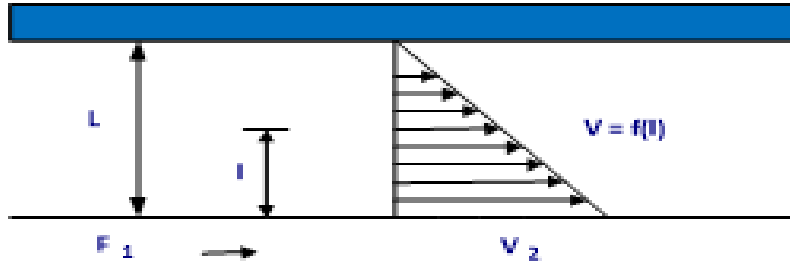


SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	97/ 205



**Figura 1.** Aplicación de una fuerza en un sistema de placas paralelas separadas por una sustancia

Una vez que se ha alcanzado el régimen permanente, bastará que se mantenga la fuerza  $F_1$  para que la placa inferior se conserve a la velocidad  $V$  y se comprueba que la fuerza  $F$  que actúa sobre una lámina de fluido en particular, es directamente proporcional a la disminución de la velocidad con la distancia  $L$  y el área de corte de dicha lámina, o sea:

$$F \propto A \times \frac{dV}{dL} \quad (1)$$

$$F = -\mu \times A \times \frac{dV}{dL} \quad (2)$$

Resulta conveniente considerar la relación entre la fuerza y el área sobre la que actúa, de manera que:

$$\frac{F}{A} = T \quad (3)$$

La relación anterior se conoce como esfuerzo cortante  $\tau$ , cuya característica consiste en que la dirección de  $F$ , es paralela al área  $A$ , sustituyendo (3) en (2) se tiene:

$$-\mu \times \frac{dV}{dL} \quad (4)$$



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	98/ 205

Obsérvese que en la ecuación 4 el símbolo  $\mu$  es el factor de proporcionalidad y se le llama viscosidad.

La ecuación anterior fue establecida por primera vez por Newton y en su honor a los fluidos que siguen esta ley se les conoce como fluidos Newtonianos.

Cuando a una sustancia se le aplica una fuerza cortante mínima y se logra que se deforme continuamente en el sentido de la aplicación de dicha fuerza, se dice que es un fluido.

#### ➤ Tipos de flujo

Al tener movimiento un fluido se constituye un flujo y existirá un patrón de flujo de acuerdo con las condiciones que prevalezcan sobre éste. Pueden existir diversos tipos de flujo; entre ellos, entre los de mayor interés se tienen: flujo turbulento, laminar, permanente, no-permanente y uniforme. De todos los patrones de flujo, los más importantes, en ingeniería, son el laminar y el turbulento.

Un fluido puede moverse, en cualquier punto a lo largo de una corriente; en flujo laminar o en flujo turbulento; la diferencia entre los dos modelos fue demostrada por primera vez por Osborne Reynolds.

El experimento clásico de Reynolds consistió en hacer fluir agua a través de un tubo de vidrio y observar la trayectoria de una corriente fina de agua colorida, introducida en el centro de la corriente principal. Se encontró que, a pequeñas velocidades de flujo, el colorante se transportaba en línea recta y paralela a las paredes de la tubería, mostrando de esta manera que el flujo del fluido era en líneas rectas; a este tipo de flujo se le llamo fluido laminar o viscoso.

Cuando la velocidad se incrementó, se observó que el colorante se mezclaba en toda la sección de flujo, con lo cual el movimiento del fluido ya no era ordenado, es decir este movimiento dejó de ser en un solo sentido y se convirtió en un movimiento en todas direcciones; a este tipo de flujo se le llamó flujo turbulento.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	99/ 205

#### ➤ Número de Reynolds

Reynolds observó que el flujo laminar se convertía en flujo turbulento a cierta velocidad crítica, mayor a aquella en la que cambiaba de flujo turbulento a flujo laminar; la primera recibe el nombre de velocidad crítica superior y la segunda velocidad crítica inferior. También encontró que esta velocidad crítica a la cual el flujo cambia de uno a otro tipo depende de cuatro cantidades: diámetro del tubo, viscosidad, densidad del fluido y velocidad media lineal a la cual está fluyendo. Encontró posteriormente que estos cuatro factores pueden ser combinados en un grupo adimensional y que el cambio de tipo de flujo ocurre en una magnitud definida de este grupo. La expresión establecida fue:

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} = \frac{D \times G}{\mu} = \frac{D \times v}{\nu} \quad (5)$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds,

D: Diámetro del tubo,

v: Velocidad media lineal,

$\rho$ : Viscosidad absoluta,

G: Masa velocidad,

$\nu$ : Viscosidad cinemática

El flujo laminar en tubos circulares se encuentra siempre a números de Reynolds bajos, aunque también puede ser de varios miles. Para efectos de ingeniería puede decirse que a  $Re \leq 2\,100$  el flujo está en un régimen laminar y a  $Re \geq 4\,000$  el flujo es turbulento, observándose que entre estos dos valores se encuentra la llamada zona de transición, donde puede existir flujo laminar, flujo turbulento o efectivamente presentar un estado de transición.

En flujo laminar, la teoría y la experimentación muestra que la distribución de velocidades es una parábola y que la velocidad media es exactamente la mitad



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	100/ 205

de la velocidad máxima. En flujo turbulento, la curva de distribución de velocidades es más plana que en flujo laminar y que la mayor parte del cambio ocurre en las etapas cercanas a la pared.

➤ Factor de fricción

La fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes puede ser de dos tipos: cuando el fluido está en reposo, tiene una magnitud definida y cuando está en movimiento se le asocia una cantidad de fuerza adicional que se puede expresar así:

$$F = A \times E \times f \quad (6)$$

Dónde:

$A$ : Área característica en donde el flujo ejerce la fuerza,

$E$  : Energía cinética característica por unidad de volumen,

$f$ : Cantidad adimensional llamada factor de fricción.

La ecuación (6) es una definición arbitraria que ayuda a comprender el significado del factor de fricción, puesto que “ $f$ ” no se define hasta que  $A$  y  $E$  son especificadas. Generalmente para el flujo a través de tuberías  $A$  es la superficie mojada y  $E$ , es:  $\frac{1}{2} \cdot \frac{\rho v^2}{g_c}$ , para tubos de radio  $R$  y longitud  $L$ , se tiene:

$$F = 2 \times \pi \times R \times L \times \frac{1}{2} \times \frac{\rho \times v^2}{g_c} \times f \quad (7)$$

Puesto que experimentalmente solo se puede conocer la caída de presión que ejerce un fluido a través de una tubería, se hace uso de la definición de presión:

$$F = (P_0 - P_1) \times \pi \times R^2 \quad (8)$$

Sustituyendo (7) en (8), se obtiene

$$f = \frac{\Delta P \times D \times g_c}{2L \times V^2 \times \rho} \quad (9)$$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	101/ 205

$$f' = \frac{2 \Delta P g_c}{L V^2} \quad \text{o,} \quad f' = 4 \times f \quad (10)$$

Dónde:

$f$ : Factor de fricción de Fanning

$f'$ : Factor de fricción de Darcy

$\Delta P$ : Caída de presión en el tubo

$D$ : Diámetro del tubo

$L$ : Longitud del tubo

$V$ : Velocidad del fluido

$\rho$ : Densidad del fluido

$g_c$ : Factor de conversión

➤ Ecuación de Hagen y Poiseuille

G. Hagen y J. L. Poiseuille dedujeron una importante ley que relaciona el caudal volumétrico y las fuerzas que causan el flujo, o sea las fuerzas asociadas con la caída de presión y la aceleración de la gravedad. Las suposiciones que implican el desarrollo de esta ley son las siguientes:

1. El flujo es laminar a  $Re$  menor de 2100
2. La densidad es constante (fluido incompresible)
3. El flujo es independiente del tiempo (régimen permanente)
4. Los efectos terminales son casi nulos
5. El fluido es continuo
6. No hay bordes en la pared.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	102/ 205

La expresión obtenida por Hagen-Poiseuille es:

$$v = \frac{(P_0 - P_1) \times R^2 \times gc}{8 \times \mu \times L} \quad (11)$$

Sustituyendo el valor de la velocidad promedio de la ecuación (11) en la ecuación (9) del factor de fricción de Fanning, se obtiene:

$$f = \frac{16}{Re} \quad (12)$$

Por métodos experimentales se puede calcular “ $f$ ” y hacer la gráfica correspondiente de “ $f$ ” contra “ $Re$ ” para tubos de rugosidad mínima, obteniendo curvas continuas, las cuales reflejan el tipo de flujo: laminar o turbulento, en lisos, largos circulares. La parte de la curva para régimen laminar sigue la Ley de Hagen-Poiseuille.

Para flujo turbulento en tubos lisos, Prandtl desarrolló una ecuación empírica aproximada para calcular el factor de fricción.

$$f = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}} \quad (13)$$

➤ Ecuaciones de Von Karman y Nikuradse.

Para la zona turbulenta Von Karman y Nikuradse proponen las siguientes ecuaciones para calcular el factor de fricción en función de la rugosidad relativa:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.0 \log \frac{Re}{\epsilon} + 3.36 \quad (14)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.0 \log \frac{Re}{\epsilon} + 3.48 \quad (15)$$

Donde  $\epsilon$  es la rugosidad absoluta, la cual representa la rugosidad promedio o profundidad promedio de las irregularidades de la superficie del tubo.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	103/ 205

Existe otro camino importante para definir, la rugosidad relativa, la cual se obtiene como la relación adimensional de la rugosidad absoluta del tubo al diámetro interno del mismo, es decir.

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\epsilon}{D} \quad (16)$$

#### ➤ Pérdidas de energía por fricción en accesorios

En las secciones anteriores se ha planteado la necesidad de estimar, ya sea teórica o experimentalmente las pérdidas de energía por fricción en tubos rectos; sin embargo, esta posibilidad resulta aislada cuando se considera una instalación real, en donde además de tubos se tienen accesorios. La evaluación en este caso del término  $f$  resulta de obtener por separado las pérdidas de energía ocasionadas por todos a los tramos de tubo recto, además de las pérdidas de energía debidas a los accesorios que se encuentran instalados.

#### ➤ Fricción de pared y fricción de forma

Cuando un fluido pasa a través de un accesorio, por ejemplo, una válvula, presenta dos tipos de fricción: la fricción y la fricción de forma. En un sistema de flujo, en general, se encuentran ambos tipos.

#### ➤ Longitud equivalente

Aplicando los conceptos anteriores a un sistema de flujo, la fricción de pared se encuentra generalmente sobre la superficie interna de un tubo recto en contacto con el fluido y el factor correspondiente a este tipo de fricción se evalúa en forma apropiada mediante una relación entre el factor de fricción y el número de Reynolds, con parámetros de rugosidad relativa.

Cuando se tiene un sistema en el cual el fluido tiene que pasar a través de válvulas y conexiones, el tipo de fricción que predomina es de forma y en este caso es el factor de fricción no se puede evaluar mediante las gráficas antes



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA  
MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	104/ 205

citadas, por lo que se tiene que usar un término denominado “Longitud Equivalente”.

Longitud equivalente es un término que representa una longitud hipotética de tramo de tubo recto, que originaría la misma pérdida de energía por fricción que la producida por el accesorio de que se trate.

Al valor que se obtiene de la medición de la longitud equivalente de un accesorio en unidades de longitud de tubo recto se le denomina “Longitud Equivalente Absoluta” y si esta cantidad se expresa como múltiplo del diámetro de tubo, se le llama “Longitud Equivalente Relativa” y es adimensional.

Una forma de estimar la longitud equivalente absoluta es por medio de la siguiente ecuación:

$$(Le)_a = \left( \frac{\Delta P_a}{\frac{\Delta P}{L_t}} \right)$$

Dónde:

$(Le)_a$  : Longitud equivalente absoluta,

$\Delta P_a$ : Caída de presión a través del accesorio,

$\left( \frac{\Delta P}{L_t} \right)$ : Caída de presión por unidad de longitud del tramo de tubo recto de referencia.

➤ Medidores de flujo

Para el control de procesos industriales, es necesario conocer la cantidad de material que entra y sale del proceso. Teniendo en cuenta que, siempre que es posible, los materiales se transportan en forma de fluidos, es de gran importancia medir la cantidad de flujo que pasa a través de una tubería. Existen varios métodos de medir el flujo, los cuales se pueden clasificar en dos grupos:

- Métodos directos. Consisten en determinar el volumen o peso del fluido que pasa por una sección en un intervalo de tiempo específico.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	105/ 205

- Métodos indirectos. Requieren la determinación de una carga manométrica, una diferencia de presiones o la velocidad en varios puntos de una sección transversal para posteriormente, con base en estos datos, se calcule el gasto.

#### A. Métodos directos.

Miden en forma directa la cantidad de flujo que se está manejando en una tubería. Para la aplicación de estos métodos hay una gran variedad de medidores, los cuales se dividen dependiendo del uso que se les vaya a dar, a saber:

- Medidores de desplazamiento positivo.
- Medidores magnéticos.
- Medidores de turbina.

La medición directa muy pocas veces se usa cuando se desea un control automático, se usa principalmente para dosificar, o simplemente para cuantificar la cantidad de flujo a través de una tubería.

#### B.- Métodos indirectos.

Estos métodos determinan un parámetro de flujo, para después calcular el gasto que fluye por la tubería, con base en los valores del parámetro. Para la aplicación de estos métodos existen dos tipos de medidores, los cuales se clasifican como:

- De área fija, por ejemplo: placa de orificio, Venturi, tubo Pitot, anular, etc.
- De área variable: rotámetro

➤ Ecuación general de los medidores de área fija.

El gasto que fluye a través de una tubería puede ser cuantificado con la aplicación de la ecuación de continuidad, esto es:



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	106/ 205

$$Q = V A = \text{constante} \quad (18)$$

ó

$$W = V A \rho = \text{constante} \quad (19)$$

Dónde:

$Q$ : Gasto volumétrico.

$W$ : Gasto másico.

$V$ : Velocidad del fluido.

$A$ : Área de paso.

$\rho$ : Densidad del fluido.

Aplicando la ecuación de Bernoulli al sistema mostrado en la Figura 2, se obtiene la siguiente expresión:

$$Z_1 \frac{g}{gc} + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 gc} = Z_2 \frac{g}{gc} + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 gc} + H_{fs} \quad (20)$$

Cancelando los términos de energía potencial y de trabajo de bomba, se obtiene:

$$V_2^2 - V_1^2 = 2 gc \left[ \frac{P_1 - P_2}{\rho} - H_{fs} \right] = - \left[ 2 gc \left[ \frac{P_2 - P_1}{\rho} \right] + H_{fs} \right] \quad (21)$$

De la ecuación (19), se obtiene:

$$W_1 = W_2 = V_1 A_1 \rho_1 = V_2 A_2 \rho_2 \quad (22)$$

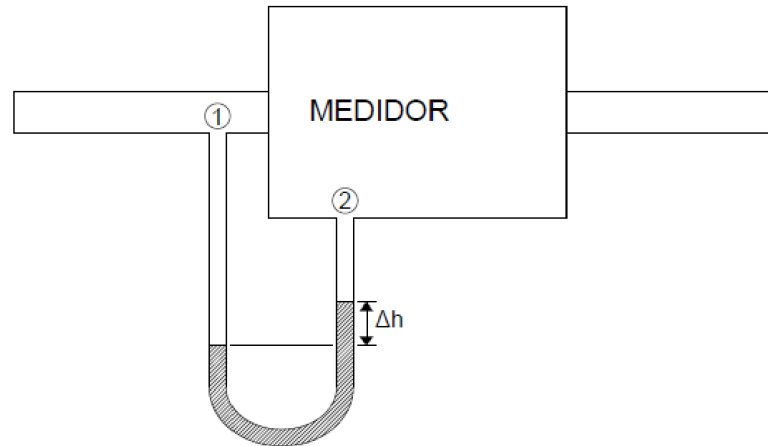


SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	107/ 205



**Figura 2.** Esquema de un medidor de diferencia de presión.

$$\text{Si: } \rho_1 = \rho_2$$

Entonces 
$$V_2 = V_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (23)$$

Sustituyendo (23) en (21) se tiene

$$V_1^2 \frac{A_1^2}{A_2^2} - V_1^2 = -2 g c \left[ \frac{P_1 - P_2}{\rho} + H_{fs} \right] \quad (24)$$

$$\text{Y } V_1 = \sqrt{\frac{2 g c \left[ -\frac{\Delta P}{\rho} - H_{fs} \right]}{\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1}} \quad (25)$$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	108/ 205

El término dentro de los corchetes representa la caída de presión atribuible a los cambios de energía cinética entre los puntos 1 y 2.

La ecuación (25) recibe el nombre de ecuación general de medidores, esta ecuación se aplica a cada tipo especial de medidor de área de fija.

➤ Placa de orificio.

Este medidor consiste de una placa de metal con una abertura que se instala perpendicularmente a la dirección del flujo, obligando al fluido a pasar a través del hueco. El hueco se localiza por lo general en el centro de la tubería y tiene un diámetro que fluctúa entre el 30 y 80% del diámetro interior de la tubería. El paso de un fluido a través de un orificio se ilustra en la Figura 3.

En zonas cercanas al orificio corriente arriba, los elementos de fluido próximos a la pared del tubo se dirigen hacia el centro para pasar a través de la abertura. Después de la placa ocurre la separación de la capa límite y la pérdida de energía es considerable debido a la turbulencia. Las líneas de flujo alcanzan un mínimo de sección transversal después de la placa y este punto es conocido como vena contracta, en donde se tiene la máxima caída de presión y a medida que se va ensanchando se tiene una recuperación de la caída de presión máxima, la cual depende de la relación de diámetro del tubo y de la placa.

El efecto del orificio sobre el flujo se puede analizar a partir de la ecuación general de los medidores.

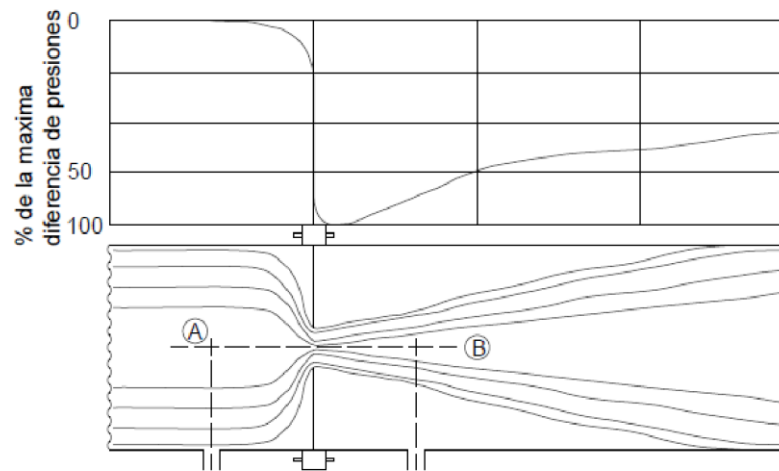


SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	109/ 205



**Figura 3.** Esquema del perfil de presión en una placa de orificio

Analizando el término dentro del corchete de la ecuación (25), el término  $\left(-\frac{\Delta P}{\rho}\right)$  representa la diferencia de presión entre los puntos A y B, y  $H_{fs}$  representa todas las pérdidas de energía por fricción entre los puntos antes mencionados. La suma de estas dos cantidades puede ser expresada como una fracción de la caída de presión total entre los dos puntos en cuestión, esto es:

$$-\frac{\Delta P}{\rho} - H_{fs} = C_1^2 \left(-\frac{\Delta P}{\rho}\right) \quad (26)$$

En donde  $C_1^2$  es el factor de proporcionalidad. Combinando la ecuación (26) con la (25) se obtiene:

$$V_1 = C_1 \sqrt{\frac{2gc \left[-\frac{\Delta P}{\rho}\right]}{\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1}} \quad (27)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	110/ 205

Aunque las tomas de presión se pueden colocar sobre la vena contracta, es difícil medir con precisión el área seccional de ella, sin embargo, por geometría, se tiene:

$$A_2 = C_2 A_0 \quad (28)$$

Dónde:

$C_2$ : Constante de proporcionalidad.

$A_0$ : Área de sección transversal del orificio.

Combinando la ecuación (28) con la (27) se obtiene finalmente:

$$V_1 = C_0 \sqrt{\frac{2gc \left[ -\frac{\Delta P}{\rho} \right]}{\frac{A_1^2}{A_0^2} - 1}} \quad (29)$$

Dónde:

$C_0$ : Coeficiente de descarga de la placa de orificio.

$\Delta P$ : Caída de presión.

$A_1$ : Área del tubo.

$A_0$ : Área del orificio.

$\rho$ : Densidad del fluido.

El coeficiente de descarga de la placa de orificio se correlaciona con el número de Reynolds a través del orificio. Para ello, se ajustan los valores experimentales de  $C_0$  contra el número de Reynolds en el orificio. Cuando el número de Reynolds en el orificio está por encima de 30000 el resultado puede predecirse usando el valor  $C_0 = 0.61$ , independientemente de la relación de diámetros. El valor numérico del coeficiente de descarga depende de la localización de las tomas de presión, así como de la relación de los diámetros y



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	111/ 205

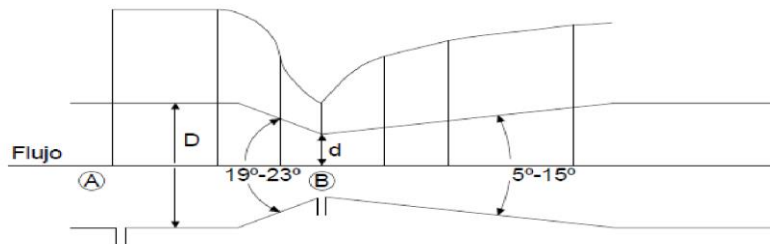
del número de Reynolds en el orificio.

### ➤ Tubo Venturi.

Este medidor está formado básicamente por dos conos, una garganta y presenta la distribución de presiones mostradas en la Figura 4, también se muestran las medidas críticas.

El medidor Venturi opera bajo el mismo principio que el medidor de placa de orificio ya que indica el decremento de la presión debido a un aumento en la velocidad del fluido causada por una reducción del área de flujo insertada en el tubo.

En el tubo Venturi, las pérdidas por fricción son considerablemente menores que las correspondientes a una placa de orificio, debido a que la energía cinética se recupera como presión gracias al aumento gradual de la sección transversal de flujo del medidor



**Figura 4.** Diagrama y perfil de presión en un tubo Venturi.

Las ecuaciones para el medidor Venturi son similares a las de la placa de orificio. Y en el rango usual de operación (para Reynolds, mayores de 10000) el coeficiente de descarga del Venturi es mayor que el correspondiente a la placa de orificio.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	112/ 205

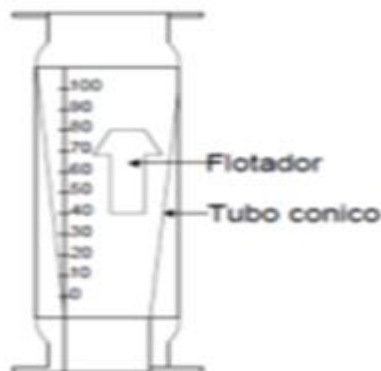
$$V_1 = C_V \sqrt{\frac{2 g c \left[ -\frac{\Delta P}{\rho} \right]}{\frac{A_1^2}{A_V^2} - 1}} \quad (30)$$

En donde  $C_V$  es el coeficiente de descarga del Venturi cuyo valor es de 0.98 para número de Reynolds mayores de 10000.

#### ➤ Rotámetro.

El rotámetro es un instrumento de medición de flujo volumétrico para fluidos en estado líquido o gaseoso. Su principal característica es la de tener un área de flujo variable.

El rotámetro, Figura 5, consiste en un flotador con libertad para moverse dentro de un tubo de vidrio vertical cerrado. El fluido entra en el fondo del tubo y al fluir hacia arriba ejerce una fuerza sobre el fondo del flotador.



**Figura 5.** Diagrama de un rotámetro.

Cuando la fuerza hacia arriba sobre el flotador es igual a la fuerza gravitacional que actúa hacia abajo sobre el mismo, éste se detiene en algún punto dentro del tubo. El área disponible para el flujo es el anillo entre las paredes del tubo y el flotador. La caída constante de presión depende de dos factores: el cambio



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

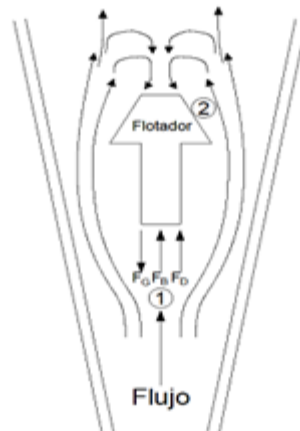
MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	113/ 205

de energía cinética y la fricción del fluido. La fricción de la forma es más significativa en este caso. Los flotadores pueden ser diseñados de tal manera que la fricción de la forma resulte o no un factor significativo.

La Figura 6 muestra esquemáticamente un rotámetro con su flotador en posición estable. En estas condiciones, las fuerzas que actúan sobre el flotador deben balancearse puesto que no existe una fuerza neta que mueva al flotador. Las fuerzas presentes son: La fuerza de gravedad ( $F_G$ ) que actúa hacia abajo sobre el flotador; el empuje hacia arriba del fluido sobre el flotador ( $F_B$ ) y una fuerza de resistencia.



**Figura 6.** Esquema de fuerzas presentes en un rotámetro.

Al movimiento ( $F_D$ ) resultante de la fricción de la forma y de la superficie del flujo alrededor del flotador. Por tanto, en el estado estable:

$$F_D = F_G - F_B = V_f \rho_f \frac{g}{g_c} - V_f \rho \frac{g}{g_c} = V_f (\rho_f - \rho) \frac{g}{g_c} \quad (31)$$

Dónde:

$V_f$ : Volumen del flotador.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA  
MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	114/ 205

$\rho_f$ : Densidad del flotador.

$\rho$ : Densidad del fluido.

Los factores que contribuyen a la fuerza de resistencia al movimiento pueden ser analizados por medio de un balance de energías entre el punto 1, precisamente antes del flotador, y el punto 2 en la sección transversal mayor del flotador.

Entre estos dos puntos la ecuación de Bernoulli se reduce a:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2gc} + H_{fs} = 0 \quad (32)$$

Usando la ecuación de continuidad, la ecuación (32) puede ser re arreglada y se obtiene:

$$V_1^2 \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right) = -2gc \left[ \frac{P_2 - P_1}{\rho} + H_{fs} \right] \quad (33)$$

Como en el caso de los medidores de orificio, el término dentro del paréntesis cuadrangular en la ecuación (33), puede ser representada por la ecuación (26), de donde:

$$V_1 = C_1 \sqrt{\frac{2gc \left[ -\frac{\Delta P_{12}}{\rho} \right]}{\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1}} \quad (34)$$

La diferencia de presión que actúa sobre la máxima sección transversal del flotador no es idéntica a  $[-\Delta P_{12}]$ , porque una fracción se recupera cuando la corriente regresa a ocupar el diámetro completo del tubo y la velocidad disminuye proporcionalmente. La fracción recuperada será pequeña y como en el caso de la pérdida permanente de presión en el medidor de orificio, no



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	115/ 205

depende de la velocidad.

Entonces:

$$F_D = [-\Delta P_f]A_f = [-\Delta P_{12}]C_f^2 A_f \quad (35)$$

Dónde:

$-\Delta P_f$ : Pérdida de presión que actúa en la parte superior.

$C_f^2$ : Fracción de la pérdida máxima de presión  $[-\Delta P_{12}]$  que no se recupera y actúa en la parte superior del flotador.

Así pues, si la ecuación (34) se combina con las ecuaciones (31) y (35) resulta:

$$V_1 = C_R \sqrt{\frac{2 g c V_f (\rho_f - \rho) \frac{g}{g c}}{A_f \rho \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}} \quad (36)$$

Dónde:

$C_R$ : Coeficiente del rotámetro.

Puesto que el tubo en un rotámetro práctico se inclina gradualmente,  $A_f = A_1 - A_2$  y la ecuación (36) se simplificar para dar:

$$V_1 = C_R \frac{A_2}{A_f} \sqrt{\frac{2 g V_f (\rho_f - \rho)}{\rho (A_1 - A_2)}} \quad (37)$$

El coeficiente del rotámetro  $C_R$ , como en el caso del coeficiente de la placa de orificio, es una función del número de Reynolds a través de la sección transversal mínima y de la forma del flotador.

Para un rotámetro el número de Reynolds a través de la sección transversal mínima se obtiene con la siguiente ecuación:



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	116/ 205

$$Re = \frac{D_{eq} v \rho}{\mu} \quad (38)$$

Dónde:

$D_{eq}$ : Diámetro equivalente para aberturas anulares entre el tubo y el flotador y es igual a cuatro veces el área transversal entre el perímetro mojado.

$v$ : Velocidad a través del diámetro equivalente.

$\rho$ : Densidad del fluido.

$\mu$ : Viscosidad del fluido.

Una ecuación simplificada de la ecuación (37), es la que se obtiene de suponer que  $A_2$  es muy pequeña comparada con  $A_f$  y convirtiendo la ecuación (37) en su forma de flujo de masa a través del uso de la ecuación de continuidad se obtiene:

$$W = C_R A_2 \sqrt{\frac{2 g V_f (\rho_f - \rho)}{A_f}} (\rho) \quad (39)$$

Dónde:

$W$ : Flujo masa.

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIALES

- probetas graduadas de 2 litros o una cubeta de 40 a 50 litros
- flexómetro
- cronómetro

#### 3.2 EQUIPO

- El equipo de flujo de fluidos de vidrio.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	117/ 205

### 3.3. SERVICIOS

- Agua de servicio
- Electricidad de una extensión eléctrica, monofásica.

### 3.4 MATERIAL BASICO

- El especificado por el profesor

## 4. PROCEDIMIENTO

### ➤ Calibración del Rotámetro

1. Familiarízate con el equipo, ver Figura 7, cerrar todas las válvulas.
2. Abrir V-2, V-8 y V-10.
3. Se enciende la bomba y con la válvula V-3 se regula el flujo a un porcentaje dado de la escala del rotámetro.
4. Para alcanzar el régimen permanente se abre V-1 y se introduce agua a TA-1 hasta mantener un nivel constante.
5. Cuando se alcanza el régimen permanente se cierra la válvula V-10 y se mide el tiempo que tarda en llenarse el tanque TA-2.
6. Regular otro flujo con V-3 y repetir lo indicado en los incisos 4 y 5.
7. Repetir lo indicado en el inciso 6 hasta calibrar todo el rotámetro.

### ➤ Caída de Presión en Tramo Recto y Factor de Fricción.

1. Familiarizarse con el equipo, ver Figura 7 Cerrar todas las válvulas.
2. Abrir V-2, V-5 y V-9 (se efectúa este paso si TA-1 está lleno de agua, si esto no sucediera. Habrá para llenar el tanque TA-1 abriendo V-1 y cerrándola inmediatamente que se haya llenado).
3. Encender el motor de la bomba. Regular el flujo en el sistema con V-3, observar el porcentaje de escala en el rotámetro.
4. Medir la diferencia de alturas en los manómetros para diferentes gastos a través del sistema.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	118/ 205

#### ➤ Longitudes Equivalentes.

1. Familiarizarse con el equipo, ver Figura 7. Cerrar todas las válvulas.
2. Abrir V-2, V-7 y V-9.
3. Repetir los incisos 3 y 4 del apartado anterior.
4. Cerrar todas las válvulas.

#### ➤ Calibración de la Placa de Orificio y del Venturi.

1. Abrir V-2, V-4 y V-9.
2. Encender la bomba BA-1 y con V-3 regular un porcentaje de la escala en el rotámetro.
3. Medir la diferencia de alturas en los niveles de mercurio de los manómetros en la placa de orificio y en el tubo Venturi.
4. Se regula otro porcentaje del rotámetro con V-3 y se mide otra vez la diferencia de alturas en los niveles de mercurio en los manómetros y así sucesivamente.
5. Apagar la bomba y cerrar todas las válvulas.

#### ➤ Uso de los Manómetros.

Para medir las diferencias de alturas en los manómetros es necesario purgarlos en la forma siguiente, ver Figura 7:

1. Abrir V-13.
2. Después abrir V-14 y V-15, dejando salir agua hasta que no se observen burbujas en los manómetros.
3. Cerrar las válvulas en el orden siguiente: Primero V-14 y V-15 por último V-13.



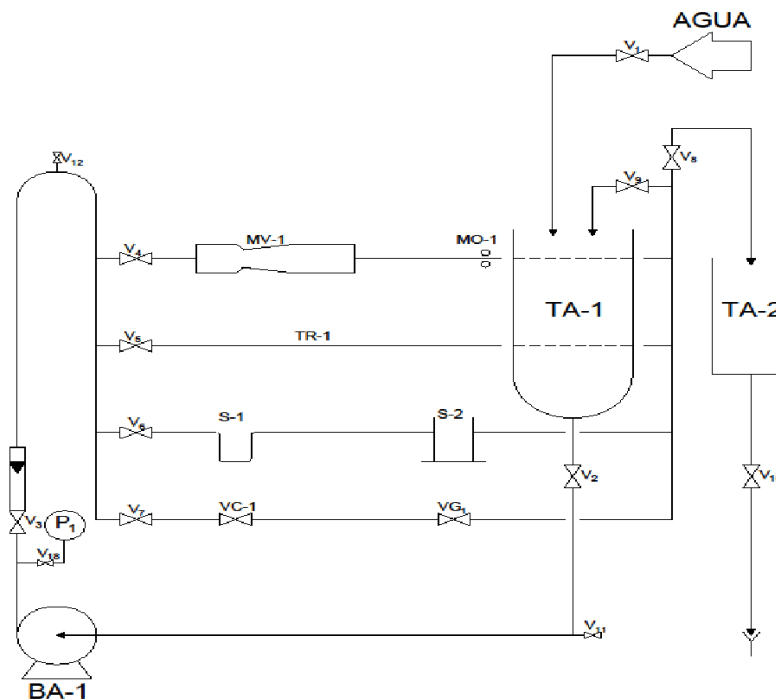
# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	119/ 205

- Observaciones y recomendaciones importantes.
- Después de encender la bomba se debe ventear el equipo abriendo V-12 y cerrándola inmediatamente después de que salga agua por ella.
  - Se recomienda que los porcentajes de la escala del rotámetro sean de 10 a 100 en los intervalos que se consideren convenientes.
  - Se recomienda que la apertura de las válvulas de los manómetros se haga lo más lentamente posible, para evitar que el mercurio se pase al equipo de flujo de fluidos. Además, se recomienda que antes de empezar la actividad se cercioren de que las mangueras de los manómetros no estén pegadas.



**Figura 7.** Equipo de flujo de fluidos de vidrio.



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	120/ 205

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

- PRESENTACIÓN DE DATOS.

Se presentarán las siguientes tablas de datos:

1. Para el rotámetro:

**Tabla 1.** Presentación de datos del Rotámetro

<i>No. Corrida</i>	<i>% Escala</i>
--------------------	-----------------

2. Para la caída de presión:

**Tabla 2.** Presentación de datos para la Caída de presión

<i>No. Corrida</i>	<i>% Escala</i>	<i><math>\Delta h</math> manómetro (mm)</i>
--------------------	-----------------	---

3. Para las longitudes equivalentes:

**Tabla 3.** Presentación de datos para las Longitudes equivalentes a apertura total de las válvulas

<i>No. Corrida</i>	<i>% Escala</i>	<i><math>\Delta h</math> válvula globo (mm)</i>	<i><math>\Delta h</math> válvula compuerta (mm)</i>
--------------------	-----------------	---	---

**Tabla 4.** Presentación de datos para la Longitudes Equivalentes a 3/4 de apertura de las válvulas.

<i>No. Corrida</i>	<i>% Escala</i>	<i><math>\Delta h</math> válvula globo (mm)</i>	<i><math>\Delta h</math> válvula compuerta (mm)</i>
--------------------	-----------------	---	---

**Tabla 5.** Presentación de datos para las Longitudes equivalentes a 1/2 de apertura de las válvulas.

<i>No. Corrida</i>	<i>% Escala</i>	<i><math>\Delta h</math> válvula globo (mm)</i>	<i><math>\Delta h</math> válvula compuerta (mm)</i>
--------------------	-----------------	---	---



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	121/ 205

4. Para los medidores de flujo:

**Tabla 6.** Presentación de datos para la Placa de Orificio y Venturi.

No. Corrida	% Escala	$\Delta h$ placa orificio (mm)	$\Delta h$ venturi (mm)
1			
2			
n			

- TRATAMIENTO DE DATOS.

Con los datos anteriores se procederá a calcular los parámetros restantes los cuales se presentarán, en las siguientes tablas:

1. Para el rotámetro:

**Tabla 7.** Resultado de las mediciones en el rotámetro.

% Escala	$Q$
----------	-----

Con los datos de la Tabla 7 se construye una gráfica de % Escala vs  $Q$ .

2. Para las caídas de presión:

**Tabla 8.** Resultado de las mediciones de las caídas de presión.

$Q$	$v$	$Re$	$\Delta P$	$f$
-----	-----	------	------------	-----

Con los datos de la Tabla 8 construir una gráfica de  $Re$  vs  $f$ .



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	122/ 205

4. Para las longitudes equivalentes:

**Tabla 9.** Resultados de las mediciones de las Longitudes equivalentes para la válvula de Globo.

$Q$	$\Delta P$			$Le$ absoluta		
(lpm)	apertura total	$\frac{3}{4}$ apertura	$\frac{1}{2}$ apertura	apertura total	$\frac{3}{4}$ apertura	$\frac{1}{2}$ apertura

$Le$ absoluta		
apertura total	$\frac{3}{4}$ apertura	$\frac{1}{2}$ apertura

**Tabla 10.** Resultados de las mediciones de las longitudes equivalentes para la válvula de Compuerta.

$Q$	$P$			$Le$ absoluta		
(lpm)	apertura total	$\frac{3}{4}$ apertura	$\frac{1}{2}$ apertura	apertura total	$\frac{3}{4}$ apertura	$\frac{1}{2}$ apertura

$Le$ absoluta		
apertura total	$\frac{3}{4}$ apertura	$\frac{1}{2}$ apertura

4. Para los medidores de flujo:

Para la placa de orificio de calcularán los parámetros tras siguientes y se presentarán como se indica en la Tabla 11.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	123/ 205

**Tabla 11.** Resultados de la placa de orificio.

No. Corrida	$\Delta P$	$\mu$	$Re_0$	$Q$	$C_0$
1					
2					
n					

Con los datos de la Tabla 11 se hará una gráfica de  $C_0$  vs  $Re_0$ .  
Para el tubo Venturi se calcularán los siguientes parámetros y se presentarán como se indica en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Resultados para el tubo Venturi.

No. Corrida	$\Delta P$	$\mu$	$Re_v$	$Q$	$C_v$
1					
2					
n					

Con los datos de la tabla 12 se trazará la gráfica de  $C_v$  vs  $Re_v$ .  
Para el rotámetro se calcularán los siguientes parámetros y se presentarán como, se indica en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Resultados del Rotámetro.

No. Corrida	$h$ en (mm) del rotámetro	$\mu$	$Re_R$	$C_R$	$Q$
1					
2					
n					

1. Con los datos la Tabla 13 se hará una gráfica de  $C_R$  vs  $Re_R$ .

Para el rotámetro se hará una gráfica de altura del flotador contra gasto.  
Para el tubo Venturi y la placa de orificio se hará una gráfica de  $Q$  vs.  $\Delta P$ .



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	124/ 205

### 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Mott, L. Robert, (2006). *Mecánica de Fluidos*, Ed. Pearson. 6ta Edición. México.
2. Binder, R. Charles, (1991). *Mecánica de Fluidos*, Ed. Trillas. México.
3. Cengel, A. Yunus. (2006). *Mecánica de Fluidos*. McGraw hill, 2da Edición. México.
4. Gerhart, Petter. (1992). *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. 2da Edición. EUA