

Laboratorio de Mecánica de Fluidos

Medidores de flujo

INTRODUCCIÓN

Un medidor de flujo es un dispositivo que permite obtener, generalmente por medio de una sola medición, el peso o el volumen que pasa por unidad de tiempo a través de determinada sección transversal. Ejemplos de este tipo de medidores de flujo son el tubo venturi, la placa de orificio y el rotámetro, los cuales serán utilizados en esta practica.

La selección de un dispositivo para medir gastos 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 mas simple y barato, para la aproximación deseada.

RESUMEN

Evaluamos cinco medidores de flujo y determinamos cual de estos es el mas preciso y mas eficiente. En el laboratorio se hizo pasar cierto caudal medido usando el método gravimetrico por un banco de prueba que tenia en serie los 5 medidores, se registraron las alturas piezometricas a la entrada y salida de cada medidor, con estas alturas se calcularon las respectivas perdidas en cada medidor, y también se calculo el caudal teórico usando Bernoulli. La eficiencia de los medidores se determino tomando en cuenta las perdidas y de los 5 resultado más eficiente el difusor, La precisión se determino usando como parámetro la relación entre los caudales teóricos y reales y resultado ser el Tubo Venturi el más preciso.

La evaluación económica no se realizo, debido a que los precios de los medidores de flujo dependen del tipo de sustancia a medir, cantidad de caudal, tipo de material de la tubería y otras condiciones.

OBJETIVOS

GENERAL:

Evaluar técnica y económicamente cinco medidores de flujo

ESPECIFICOS:

Evaluar técnicamente y comparar los medidores de tubo venturi, placa de orificio, rotámetro, difusor y codo reductor.

Evaluar económicamente los cinco medidores de flujo.

Comprender el funcionamiento de cada medidor de flujo y su aplicación industrial.

FUNDAMENTO TEORICO

Primero que todo, deduzcamos la expresión de caudal real Q_R por el método gravimetrico:

Teniendo un banco de pruebas con un sistema de palanca, cuyo brazo derecho es tres veces mayor al brazo izquierdo.

Cuando no coloquemos pesa en el soporta pesas y cargamos con un caudal Q , entonces tenemos:

$$\sum M_0 = 0 = -3m_s g + \gamma Q t_1$$
$$3m_s g = \gamma Q t_1$$

Cuando coloquemos pesa en el porta pesas y con el mismo caudal Q :

$$\sum M_0 = 0 = -3(m_s + m_p)g + \gamma Q t_2$$
$$\sum M_0 = 0 = -3(m_s + m_p)g + \gamma Q(t_2 + t_1 - t_1)$$
$$3m_s g + m_p g = \gamma Q t_1 + \gamma Q(t_2 - t_1)$$

Sustituyendo la primera expresión en la segunda:

$$3m_p g = \gamma Q(t_2 - t_1)$$

$$Q = \frac{3m_p g}{\gamma(t_2 - t_1)}$$

$$Q = \frac{3m_p}{\rho(t_2 - t_1)}$$

A continuación se hará una breve explicación de cada medidor y las expresiones de caudal y pérdidas relacionadas:

Medidor Venturi:

Estos instrumentos elaboran por lo general a partir de fundiciones y se maquinan hasta tolerancias cercanas para duplicar el rendimiento del diseño estándar.

Como resultado de esto los medidores venturi son pesados, volumétricos y costosos. La sección aguas abajo a partir de la garganta del difusor cónico brinda una excelente recuperación de precisión; en consecuencia, la pérdida de carga total es baja.

Los medidores Venturi ofrecen las características de auto limpieza debido a su contorno interno liso.

El caudal circulante viene dado por la siguiente expresión: $Q_T = A_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$

Donde h es la diferencia de alturas piezométricas en la entrada del medidor y en la garganta respectivamente. A_1 y A_2 son las áreas correspondientes a dichas secciones.

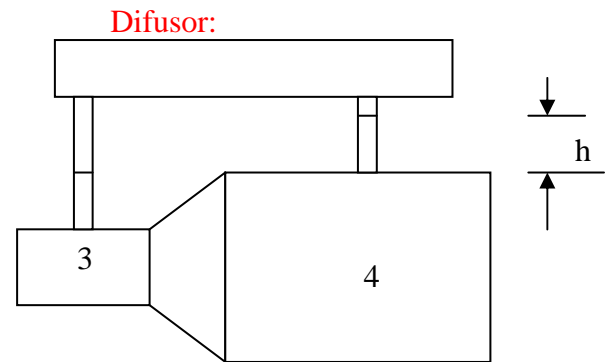
$$C_D = \frac{Q_R}{Q_T}$$

Deben entenderse que esta relación fue deducida, suponiendo que las pérdidas en la contracción son despreciables.

Las pérdidas de carga en la contracción vienen dadas por la relación:

$$h_{f(1-2)} = h + \left[\left(\frac{1}{A_1} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_2} \right)^2 \right] \frac{Q_R^2}{2g}$$

Donde Q_R es el caudal real.



El difusor se puede emplear como medidor de flujo, pero la pérdida de carga tan elevada que presenta, es una desventaja importante. En esta práctica, no se enfocará como medir el flujo, pero se utilizará para tener una idea de la pérdida de carga en este tipo de accesorio, y compararlos con los medidores.

$$Q_T = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_3}{A_4}\right)^2}}$$

$$C_D = \frac{Q_R}{Q_T}$$

Dado que $Z_1 = Z_2$, la pérdida de carga se puede expresar por:

$$h_{f(3-4)} = \frac{P_3 - P_4}{\gamma} + \frac{(V_{3r}^2 - V_{4r}^2)}{2g}$$

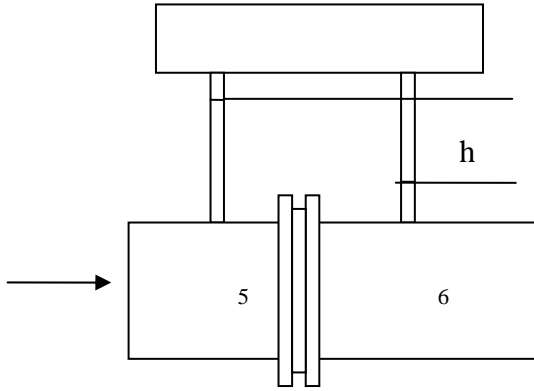
Por hidrostática.

$$h = \frac{P_4 - P_3}{\gamma}$$

Sustituyendo:

$$h_{f(3-4)} = \left[\left(\frac{1}{A_3} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_4} \right)^2 \right] \frac{Q_R^2}{2g} - h$$

Placa de orificio:



El medidor de orificio es un dispositivo que consta de una placa delgada, con un orificio de aristas afiladas, que se coloca entre las bridas de dos tubos.

Aplicando la ecuación de Bernoulli en los puntos 5 y 6 según la figura anterior y suponiendo que no hay pérdidas de carga, se tiene que

$$\frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2g} = \frac{P_6}{\gamma} + \frac{V_6^2}{2g} \quad \text{Donde} \quad \frac{P_5 - P_6}{\gamma} = \frac{V_6^2 - V_5^2}{2g}$$

De la ecuación de continuidad, $V_5 \cdot A_5 = V_6 \cdot A_6$

El coeficiente de contracción, viene dado por la relación entre el área donde: $C = \frac{A_2}{A_0}$

Donde A_0 es el áreas del orificio y se tiene que $V_5 = V_6 \cdot C_c \cdot \frac{A_0}{A_5}$

Relacionando la ecuación de Bernoulli con la ecuación de continuidad obtenida anteriormente

$$V_6 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - C_c^2 \left(\frac{A_0}{A_5}\right)^2}}$$

La velocidad real se puede expresar de la siguiente manera

$$V_{6R} = C_v \sqrt{\frac{2gh}{1 - C_c^2 \left(\frac{A_0}{A_5}\right)^2}}$$

El caudal real se puede expresar

$$Q_R = C_v C_c A_0 \sqrt{\frac{2gh}{1 - C_c^2 \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}} \longrightarrow$$

$$Q_R = C_D A_0 \sqrt{\frac{2gh}{1 - C_c^2 \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}}$$

Debido a la dificultad para determinar C_q y CC por separado, generalmente se utiliza una fórmula más simple

$$Q_R = C A_0 \sqrt{2gh} \quad \text{Donde}$$

$$C = \frac{C_D}{\sqrt{1 - C_c^2 \left(\frac{A_0}{A_5}\right)^2}}$$

Además, despejando:

$$\frac{Q_R}{A_0 \sqrt{2gh}} = C$$

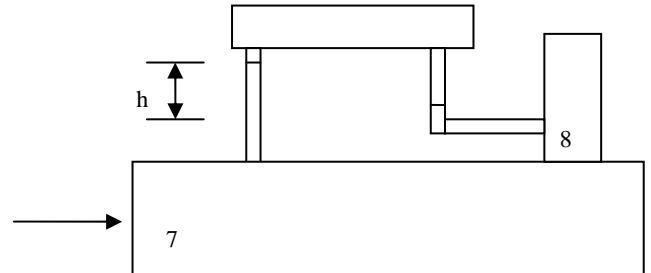
Se pide que se verifique:

$$C_C = \frac{C \sqrt{2gh}}{Q_R A_0}$$

La expresión de pérdidas:

$$h_{f(5-6)} = h + \left[\left(\frac{1}{A_5}\right)^2 - \left(\frac{1}{C_c A_0}\right)^2 \right] \frac{Q_R^2}{2g}$$

Codo reductor:



El cono reductor tiene las mismas desventajas del difusor, por lo tanto, en la presente practica solo se utilizara para evaluar su perdida de carga, y compararla con la de los medidores.

Por Bernoulli:

$$h_{f(7-8)} = \frac{P_8 - P_7}{\gamma} + \frac{(V_{7r}^2 - V_{8r}^2)}{2g} + Z_7 - Z_8$$

Por hidrostática se obtiene que

$$h_{f(7-8)} = h + \left[\left(\frac{1}{A_7} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_8} \right)^2 \right] \frac{Q_R^2}{2g}$$

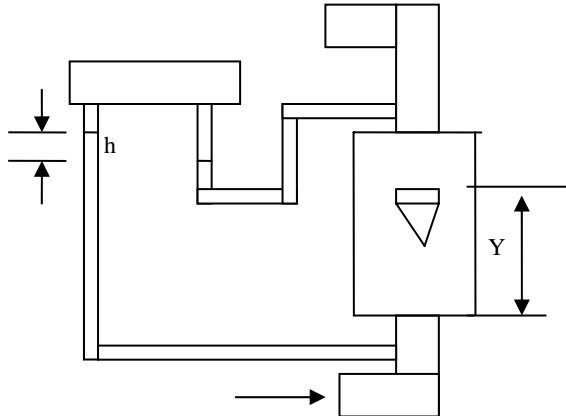
La velocidad:
$$V_{8T} = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_8}{A_7} \right)^2}}$$

Y el caudal viene dado por

$$Q_R = C_D \cdot A_8 \cdot \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_8}{A_7} \right)^2}}$$

$$C_D = \frac{Q_R}{Q_T}$$

Rotámetro:



El Rotámetro es un medidor que consiste en un conducto transparente y un “flotador”, el cual se desplaza a lo largo del tubo, hasta alcanzar un punto de equilibrio donde la fuerza de arrastre por el fluido y el peso mismo del flotador se equilibran. El flotador tiene varias ranuras oblicuas las cuales ocasionan que este gire, manteniendo así una posición central en el tubo.

La pérdida de carga en el Rotámetro se puede calcular a partir de la ecuación de Bernoulli considerando:

$$V_8 = V_9; \text{ entonces queda:}$$

$$h_{f(8-9)} = \frac{P_8 - P_9}{\gamma} + Z_8 + Z_9$$

Por hidrostática se tiene:

$$\frac{P_8}{\gamma} - \frac{P_9}{\gamma} = h$$

$$h_{f(8,9)} = h$$

Además:

$$Q_R = kY$$

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Con la bomba funcionando, se actúa sobre las dos válvulas del circuito, y sobre el múltiple de aire, de tal manera que las alturas piezométricas se encuentren dentro del rango de medición graduado en mm.

Una vez ajustado se abren las dos válvulas al máximo dejando pasar el máximo caudal disponible.

Se procede a tomar las lecturas que indican los tubos piezométricos, la lectura en mm del rotámetro y las lecturas necesarias para calcular el caudal circulante.

Se toma nota de las pesas utilizadas y el tiempo empleado para el método.

Cerrar gradualmente la válvula de salida del grupo de medidores tomando las mismas lecturas.

Se realiza la operación siete veces hasta que la válvula este casi cerrada.

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

Tubo Venturi: es un dispositivo utilizado para medir el caudal o gasto a través de una tubería. Este consta de diferentes elementos, conectados a tubos manométricos que van a un distribuidor o múltiple común.

Difusor: es un accesorio que se puede utilizar como medidor de caudal, en esta práctica se utilizará para comparar las pérdidas.

Placa de Orificio: el medidor de orificio es un dispositivo que consta de una placa delgada, con un orificio de aristas afiladas, que se coloca entre las bridas de dos tubos.

Codo Reductor: es un accesorio que se puede utilizar como medidor de caudal, y se utilizará para comparar las pérdidas con los demás dispositivos.

Rotámetro: es un dispositivo de sección transversal variable que consta de un conducto transparente y un flotador.

Banco de prueba hidráulica; diseñado para el cálculo del caudal real. Este consta de una pequeña bomba centrífuga que recoge el agua de pozo o depósito colector, en el cual se encuentran establecidos unos volúmenes, y la envía a una válvula de suministro.

Bomba de aire, utilizada para ajustar la cantidad de aire en el múltiple.

Pesa de 2.5 Kg.

Reloj cronometro para la toma del tiempo.

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Datos obtenidos:

n	to(s)	tf(s)	Alturas piezometricas (mm)									y (mm)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	20,23	43,5	323	187	299	306	312	160	184	154	63	15,6
2	21,53	47,15	320	186	297	305	310	158	183	153	65	15,5
3	21,91	47,06	318	186	296	304	308	159	184	154	68	15,4
4	24,12	47,93	318	188	294	303	308	160	185	155	69	15,3
5	21,66	48,08	318	190	296	303	309	164	187	159	70	15,2
6	24,49	49,1	321	197	300	307	312	170	195	167	77	14,9
Área x 1E-04			5,31	2,01	5,31	20,4	20,4	3,14	20,4	5,31		

Masa utilizada para método piezometrico: m=2,5Kg

Calculo de caudal real:

$$Q = \frac{3m_p}{\rho(t_2 - t_1)}$$

$$Q_R = \frac{3.2,5Kg}{1000Kg/m^3(43,5s - 20,23s)}$$

$$Q_R = 3,22E - 04m^3 / s$$

$$Q_R = 1,16m^3 / h$$

Calculo del primer valor de perdida para el medidor Venturi:

$$Q_T = A_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

$$Q_T = 2,01E - 04m^2 \sqrt{\frac{2.9,8m/s^2 \cdot (323 - 187) \cdot 1E - 03m}{1 - \left(\frac{2,01}{5,31}\right)^2}}$$

$$Q_T = 3,55E - 04m^3 / s$$

Calculo del coeficiente de descarga:

$$C_D = \frac{Q_R}{Q_T}$$

$$C_D = \frac{3,22}{3,55}$$

$$C_D = 0,91$$

$$h_{f(1-2)} = h + \left[\left(\frac{1}{A_1} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_2} \right)^2 \right] \frac{Q^2_R}{2g}$$

$$h_{f(1-2)} = (323\text{mm} - 187\text{mm}) + \left[\left(\frac{1}{5,31 \cdot E - 04\text{m}^2} \right)^2 - \left(\frac{1}{2,01E - 04\text{m}^2} \right)^2 \right] \frac{(3,22E - 04\text{m}^3 / \text{s})^2}{2,9,8\text{m} / \text{s}^2} \cdot \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}$$

$$h_{f(1-2)} = 23,70\text{mm}$$

Calculo del primer valor de perdida para el Difusor:

$$Q_T = A_3 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_3}{A_4} \right)^2}}$$

$$Q_T = 5,31E - 04\text{m}^2 \sqrt{\frac{2,9,8\text{m} / \text{s}^2 \cdot (306 - 299) \cdot 1E - 03\text{m}}{1 - \left(\frac{5,31}{20,04} \right)^2}}$$

$$Q_T = 2,04E - 04\text{m}^3 / \text{s}$$

Calculo del coeficiente de descarga:

$$C_D = \frac{Q_R}{Q_T}$$

$$C_D = \frac{3,22}{2,04}$$

$$C_D = 1,58$$

$$h_{f(3-4)} = \left[\left(\frac{1}{A_3} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_4} \right)^2 \right] \frac{Q^2_R}{2g} - h$$

$$h_{f(3-4)} = \left[\left(\frac{1}{5,31E - 04\text{m}^2} \right)^2 - \left(\frac{1}{2,04E - 03\text{m}^2} \right)^2 \right] \frac{(3,22E - 04\text{m}^3 / \text{s})^2}{2,9,8\text{m} / \text{s}^2} \cdot \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} + (306\text{mm} - 299\text{mm})$$

$$h_{f(3-4)} = 24,53\text{mm}$$

Calculo del primer valor de perdida para el codo:

Calculo del coeficiente de descarga:

$$C_D = \frac{Q_R}{A_8 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_8}{A_7} \right)^2}}}$$

$$C_D = \frac{3,22E-04m^3/s}{A_8 \sqrt{\frac{2.9,8m/s^2(184-154).1E-03m}{1 - \left(\frac{5,31}{20,4}\right)^2}}}$$

$$C_D = 0,84$$

$$h_{f(7-8)} = h + \left[\left(\frac{1}{A_7} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_8} \right)^2 \right] \frac{Q^2_R}{2g}$$

$$h_{f(7-8)} = -(306mm - 299mm) + \left[\left(\frac{1}{2,04E-03m^2} \right)^2 - \left(\frac{1}{5,31E-04m^2} \right)^2 \right] \frac{(3,22E-04m^3/s)^2}{2.9,8m/s^2} \cdot \frac{1000mm}{1m}$$

$$h_{f(7-8)} = 320,47mm$$

Calculo del primer valor de perdida para el rotámetro:

Calculo del coeficiente K:

$$K = \frac{Q_R}{Y}$$

$$K = \frac{3,22E-04m^3/s}{15,6.1E-03m} \cdot \frac{1}{100}$$

$$K = 0,48$$

$$h_{f(8-9)} = h$$

$$h_{f(8-9)} = 154mm - 63mm$$

$$h_{f(8-9)} = 91mm$$

TABLA DE RESULTADOS

n	Q _R (m ³ /s)	Q _R (m ³ /h)	Venturi			Difusor			Placa	codo		Rotámetro	
			Q _T (m ³ /h) (1-2)	C _D	H _F	Q _t (m ³ /s)	C _D	h _F	C	C _D	h _F	K	h _F
1	3,22E-04	1,16	3,55E-04	0,91	23,70	2,04E-04	1,58	24.53	0,59	0,84	320.47	0,48	91
2	2,93E-04	1,05	3,52E-04	0,83	43,36	2,18E-04	1,34	22.46	0,54	0,76	321.54	0,53	88
3	2,98E-04	1,07	3,49E-04	0,85	39,86	2,18E-04	1,37	23.01	0,56	0,78	322.99	0,52	86
4	3,15E-04	1,13	3,47E-04	0,91	28,73	2,31E-04	1,36	25.75	0,59	0,82	323.25	0,49	86
5	2,84E-04	1,02	3,44E-04	0,82	48,88	2,04E-04	1,39	20.60	0,54	0,77	332.40	0,54	89
6	3,05E-04	1,10	3,39E-04	0,90	35,59	2,04E-04	1,50	22.67	0,58	0,83	346.33	0,49	90

TABLA DE COMPARACION

Descripción	Venturi	Difusor	Placa de orificio	Codo	Rotametro
Eficiencia	5	3	3	1	2
Precisión	5	2	3	4	1
Total	10	5	6	5	3

Para las comparaciones se asignaran valores de 1-5 tomando en cuenta la siguiente referencia:

Para el campo de la eficiencia:

1: para el que genere mas perdida, es decir, sea menos eficiente.

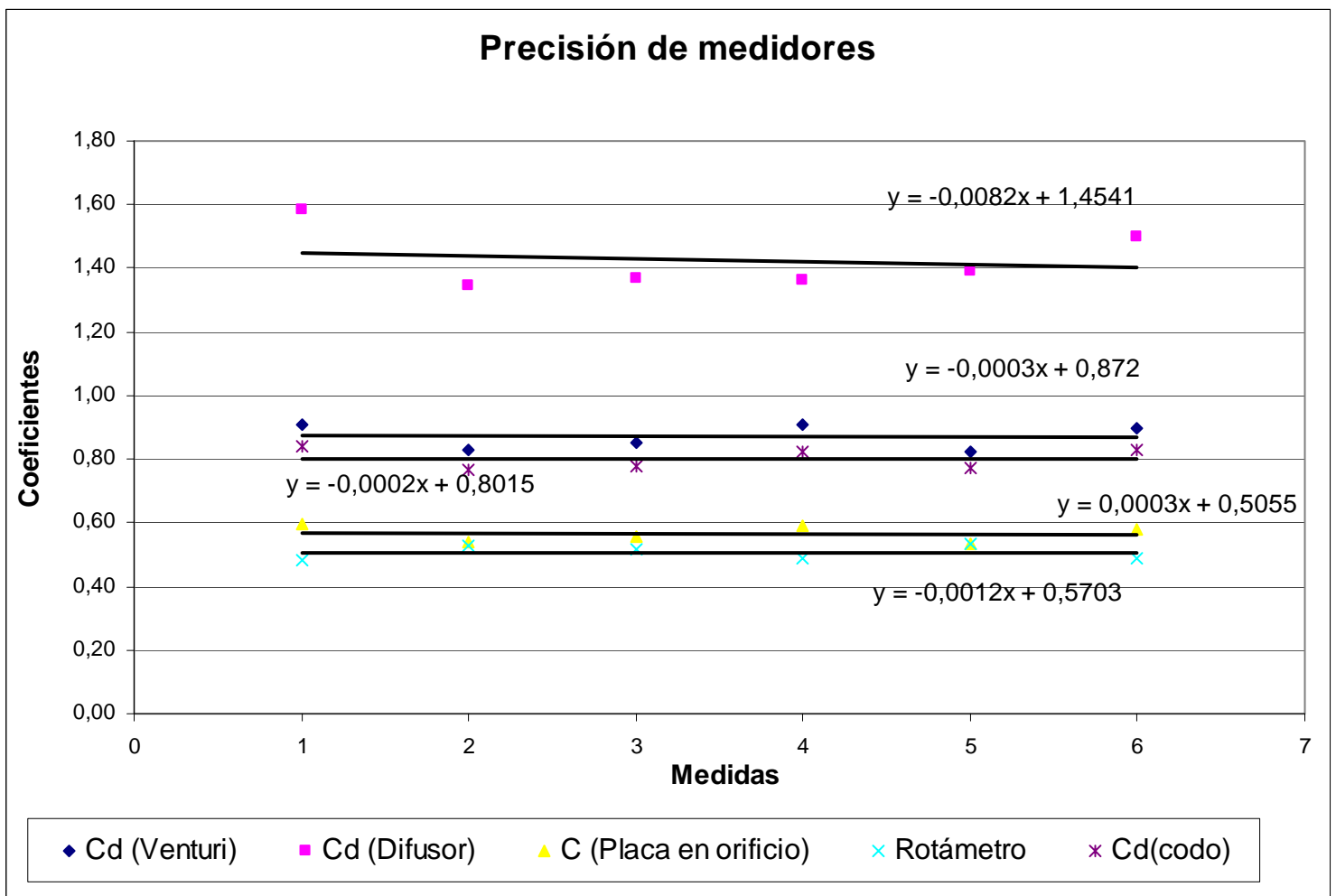
5: para el que genere menos perdida, es decir, sea más eficiente.

Nota: Se le asignara un valor de 3 a la placa ya que se desconoce el valor de la perdida, debido a que se desconoce el coeficiente de contracción.

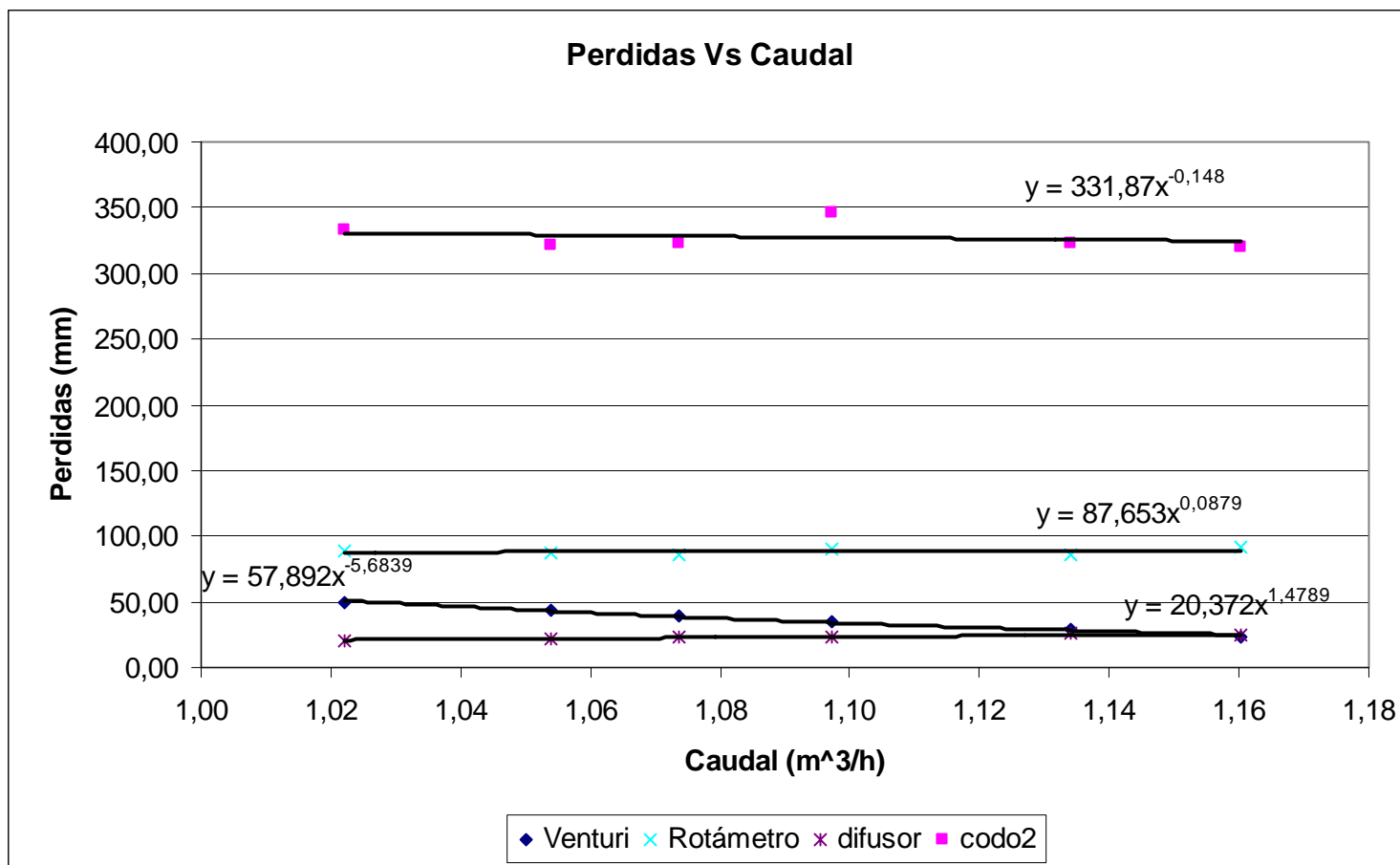
Para el campo de la precisión:

5: para el medidor que su línea de tendencia se aproxime a la ordenada $y=1$.

1: para el medidor que su línea de tendencia se distancie a la ordenada $y=1$.



Perdidas Vs Caudal



ANALISIS DE RESULTADOS

Para el tubo Venturi, se obtuvieron los valores tabulados de caudal teórico y real, y la relación entre ellos nos dio un promedio de 0.87 y es el que se aproxima más a uno siendo el medidor de flujo más preciso, y tiene una buena eficiencia ya que las pérdidas no alcanzaron valores tan altos.

Para el difusor, la relación entre los caudales que usamos para medir la precisión del medidor tiene un valor con una diferencia apreciable con respecto de uno lo que nos da la idea de que no es preciso el difusor para realizar mediciones de flujo. Aunque sus pérdidas tienen valores satisfactorios.

Para la placa, el C_d no obtuvo valores cercanos al uno lo que lo clasifica como un medidor no muy preciso y su eficiencia no se pudo calcular porque no fue viable el cálculo del coeficiente de contracción.

Para el codo, el C_d calculado tiene valores con buena precisión aunque no tanta como con el tubo de Venturi, pero por el alto valor de sus pérdidas lo convierte en un medidor muy poco eficiente.

Para el rotámetro, la precisión se determinó comparando los valores de K y según estos el rotámetro posee una precisión media al igual que una eficiencia media.

CONCLUSIONES

De los cinco medidores de flujo resultó ser más eficiente el difusor, pero el más preciso el tubo Venturi, debido a que este último obtuvo un valor de eficiencia aceptable podemos decir que de los cinco medidores probados el tubo Venturi resultó ser el mejor. Se debe tener en cuenta que un medidor debe tener una buena precisión en la medida del flujo y también debe ser eficiente y ocasionar las menores pérdidas posibles en este. El rotámetro resultó ser un medidor con una eficiencia baja y una precisión baja, promediando ambas cualidades resultó ser el tercero mejor de los medidores estudiados.

Para la placa no se tiene criterio para evaluar su precisión pero se le asignó un valor medio, mas tiene una buena eficiencia, lo que lo convierte en el segundo mejor medidor.

El codo resulto el de menor eficiencia y una precisión media y el difusor tiene una buena eficiencia pero no es muy preciso, cabe destacar que estos dos últimos medidores resultaron ser los menos viables por su bajo promedio de cualidades de eficiencia y precisión, el codo y el difusor no son considerados teóricamente medidores de flujo.

La evaluación económica no se realizo, debido a que los precios de los medidores de flujo dependen del tipo de sustancia a medir, cantidad de caudal, tipo de material de la tubería y otras condiciones

FUENTES CONSULTADAS

STREETER, Victor; WYLIE, E. Benjamín;
BEDFORD, Keith W. Mecánica de Fluidos. Mc
Graw Hill. Novena Edición. 2000.

ZARATE, Jaime. Guía de laboratorio de
Fluidos, IUPEG 1989