

GUÍAS LABORATORIO HIDRÁULICA I

Realizado por:

Ing Jairo Pedraza
Ing Luis Salamanca
Laura Garavito



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ING. CIVIL

1. MEDICIÓN DE CAUDAL

1.1 OBJETIVOS.

- Aplicar las ecuaciones de energía y continuidad en la obtención de los coeficientes de descarga del medidor Venturí y el orificio.
- Determinar el comportamiento experimental del Rotámetro.
- Calcular las pérdidas de carga entre los diferentes puntos en consideración necesarios para el análisis.

1.2 EQUIPOS

Banco Hidráulico.
Medidor de caudal.
Pesas.
Cronometro.

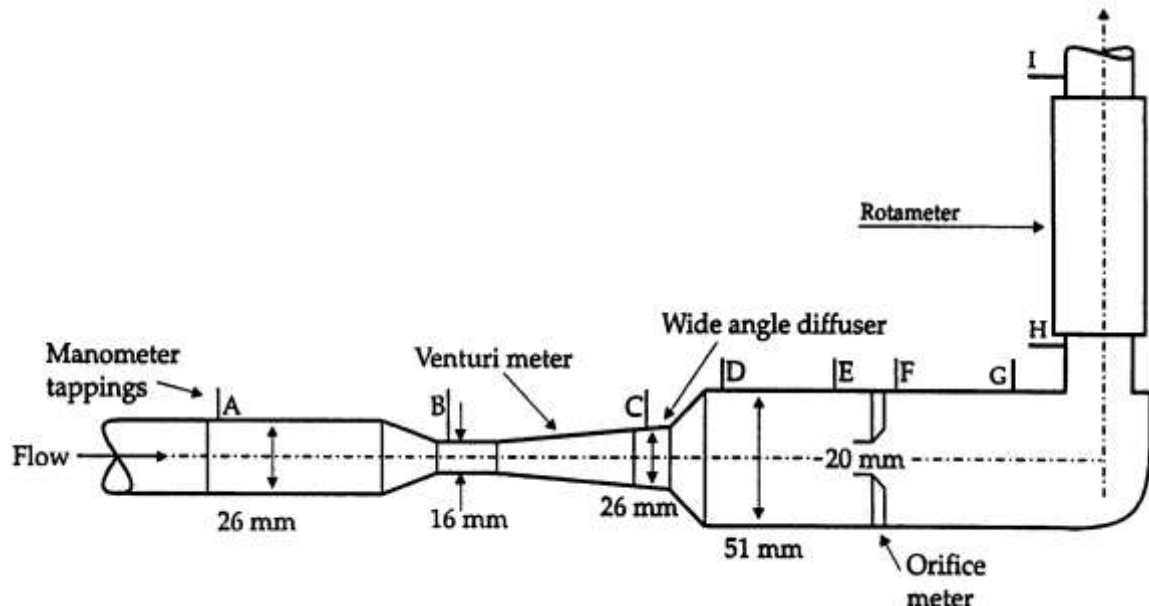


Figura No. 1. Esquema del Montaje.

1.3 PROCEDIMIENTO

INSTALACIÓN DEL EQUIPO.

- Conectar la manguera de salida del banco hidráulico a la entrada del aparato.
- Conectar la salida del aparato con otra manguera y colocar el extremo libre dentro del tanque de pesado a través del orificio central del banco.
- Abrir la válvula de control del aparato y la válvula de abastecimiento del tanque solo a la tercera parte de sus posiciones totalmente abiertas.
- Antes de permitir que el agua fluya a través del aparato, se debe comprobar que la válvula de aire (purga) en la parte superior del equipo, esté herméticamente cerrada.
- Conectar y prender la bomba para establecer el flujo.
- Para eliminar el aire en los manómetros, inclinar un poco el aparato o golpear las mangueras ligeramente con los dedos.
- Cerrar la válvula de control del aparato.
- No dejar la bomba encendida y sin circulación por más del tiempo estrictamente necesario.
- Al terminar la práctica se debe drenar completamente el aparato y secarlo con un trapo limpio.

PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO.

- Abrir la válvula del aparato hasta que el rotámetro de una lectura de 10 mm.
- Medir el caudal con el banco hidráulico.
- Registrar las lecturas de los manómetros y la lectura L indicada en el rotámetro.
- Repetir el procedimiento para 10 lecturas equidistantes del rotámetro hasta un máximo de aproximadamente 220 mm.

1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

VENTURI

AH_{1-2} es considerablemente pequeño entre los extremos del conducto, todos los términos de Z , puede omitirse de ecuación de energía entre (A) y (B). La descarga teórica la podemos obtener a través de las siguientes expresiones:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B$$

Por continuidad: $V_a \cdot A_a = V_b \cdot A_b$

DATOS: $\phi_a = 26 \text{ mm}$ $\phi_b = 16 \text{ mm}$

ORIFICIO

Entre los puntos (E) y (F), aplicando las ecuaciones de energía y continuidad se obtiene una expresión teórica de la descarga la cual es similar a la que se debe calcular en el procedimiento anterior.

DATOS: $\phi_E = 51 \text{ mm}$ $\phi_{\text{orificio}} = 20 \text{ mm}$

Aplicando la Ecuación de energía entre (E) y (F) sustituyendo cabezas cinéticas e hidrostáticas daría un valor elevado de la pérdida de cabeza para el medidor. Esto es porque hay un aumento pequeño en presión en la pared de la tubería debido a la obstrucción por la placa del orificio, presentándose presión de impacto en la placa y llevándose a la pared de la tubería. BS 1042 (sección 1.1 1981) da una expresión aproximada por encontrar la pérdida de cabeza y generalmente esto puede tomarse como 0.83 tiempo la diferencia de cabeza moderada.

Tenemos que: $AH_{E-F} = 0.83 (H_E - H_F)$

El diámetro de placa de orificio es aproximadamente dos veces el diámetro de entrada de venturi, por consiguiente en la entrada del orificio, la cabeza cinética es aproximadamente 1/16 el del venturi. Por consiguiente:

Pérdida de cabeza = $AH_{E-F} / ((VA^2/2g)/16)$

ROTÁMETRO

La observación de los manómetros en el rotámetro en los puntos (H) - (I); debe mostrar que esta diferencia es grande y casi independiente de la descarga. La mayoría de la diferencia de presión observada se exige para mantener el flotador en equilibrio y cuando el flotador es de peso constante, esta diferencia de presión es independiente de la descarga.

La causa de esta diferencia de presión es la pérdida de cabeza asociada con la alta velocidad del agua alrededor de la periferia del flotador. Puesto que esta pérdida de la cabeza es entonces constante, la velocidad periférica es constante. Para mantener una velocidad constante con proporción a la descarga variante, el área de la sección de cruce debe variar. Esta variación de área cruce de la sección es mayor de arriba abajo como los movimientos del flotador. De la figura observamos que el radio del flotador es R_f y tubo es $2 \cdot R_t$.

$$\pi * (R_T^2 - R_F^2) = 2 * \pi * R_F * \delta = \text{Area de la sección}$$

Ahora $\delta = L * \theta$ donde L es la distancia del dato a la cruce - sección en la que el diámetro

local está R_t , θ es el semi-ángulo de afilamiento del tubo.

De L es proporcional a la descarga. Una característica de la calibración aproximadamente lineal se anticiparía para el rotámetro.

Para el medidor, la aplicación de la ecuación de energía da:

$$\left(\frac{P_H}{\gamma} + z_H \right) = \left(\frac{P_I}{\gamma} + z_I \right) = \Delta H_{H-I}$$

1.5 CUESTIONARIO

VENTURI

- Obtener expresión teórica de la descarga, por medio de las ecuaciones de energía y continuidad.
- Calcular los valores de $Q_{\text{teórico}}$ para el conjunto de datos tomados en la práctica.
- Hallar expresión para el flujo de masa " $m_{\text{TEÓRICO}}$ " (kg / seg). Con Ecuación $\rho = m / V$.
- Calcular los valores de $m_{\text{TEÓRICO}}$ para el conjunto de datos tomados en la práctica.
- Obtener los valores de caudal experimental tomados con el banco hidráulico.
- Graficar Q_{exper} contra $Q_{\text{teórico}}$, hallar la regresión lineal e indicar el valor del coeficiente de descarga.
- Indicar el valor del Coeficiente de descarga, $Q_{\text{exp.}} = C_d * Q_{\text{teórico}}$.
- Graficar Q_{exper} contra la diferencia de alturas manométrica ($h_A - h_B$). hallar la regresión potencial. Indicar el valor del coeficiente de descarga por este medio.
- Elaborar la curva de calibración del venturi con C_d vs Re comparar con curvas estándar y concluir.
- Al aplicar la ecuación de energía entre (A) y (B) comprobar que sin considerar efectos de fricción y viscosidad:

$$\frac{V_A^2}{2g} = 0.167(h_A - h_B)$$

- Halle la diferencia de presión y pérdida de cabeza de energía entre los puntos C y D. (Difusor de Angulo Amplio).

ORIFICIO

- Obtener expresión teórica de la descarga, por medio de las ecuaciones de energía y

continuidad.

- Calcular los valores de $Q_{\text{teórico}}$ para el conjunto de datos tomados en la práctica.
- Hallar expresión para el flujo de masa " $m_{\text{TEÓRICO}}$ " (kg / seg). Con Ecuación $\rho = m / V$.
- Calcular los valores de $m_{\text{TEÓRICO}}$ para el conjunto de datos tomados en la práctica.
- Obtener los valores de caudal experimental tomados con el banco hidráulico.
- Graficar Q_{exper} contra $Q_{\text{teórico}}$, hallar la regresión lineal e indicar el valor del coeficiente de descarga.
- Indicar el valor del Coeficiente de descarga, $Q_{\text{exp.}} = C_d * Q_{\text{teórico}}$.
- Graficar Q_{exper} contra la diferencia de alturas manométrica ($h_A - h_B$). hallar la regresión potencial. Indicar el valor del coeficiente de descarga por este medio.
- Elaborar la curva de calibración del orificio con C_d vs Re comparar con curvas estándar y concluir.
- Analizar los resultados obtenidos.
- Hallar la diferencia de presiones.
- Hallar la pérdida de cabeza.
- Halle la diferencia de presión y pérdida de cabeza de energía entre los puntos G y H. (Curva de 90°).

ROTÁMETRO

- Hacer una curva de calibración del rotámetro graficando flujo de masa de agua (kg/s) (X) contra la altura "L" (Y).
- Obtener una función de calibración por medio de regresión lineal.
- Obtener la expresión de las pérdidas por medio de la ecuación de energía entre los puntos (H) e (I) y calcularlas expresadas también en términos de la cabeza de energía cinética a la entrada.

PREGUNTAS

- ¿A través de su práctica podría afirmar que la pérdida de la cabeza en esta sección es casi independiente de la descarga?
- ¿Consideran ustedes que el valor de la diferencia manométrica en esta sección tiende a permanecer constante?
- Indiquen el principio o los principios con que funciona el rotámetro.

1.6 FORMATOS TOMA DE DATOS

FIRMA LABORATORISTA: _____ FECHA: ____/____/____

NOMBRES	CÓDIGOS	FIRMAS
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

No.	ALTURA MANOMÉTRICA (mm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L (mm)										
M (kg)										
T (sg)										

1.7 FORMATOS CÁLCULOS

VENTURI

Q	Qteo. (m ³ /sg)	Qexp. (m ³ /sg)	ha-hb (m)	V _B (m/sg)	Cd	Re	E. cinética (m)	$\frac{HA-C}{(V^2/2*G)}$	Qm (Kg/s)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

ORIFICIO

Nº	Qteo. (m ³ /sg)	Qexp. (m ³ /sg)	h _E -h _F (m)	V _F (m/sg)	cd	Re	V _a (m/sg)	$V_a^2/2g$ (m)	$V_b^2/2g$ (m)	$\frac{H_{E-F}}{(V^2/2*G)}$
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

2. ORIFICIOS.

2.1. OBJETIVOS.

- Determinar los coeficientes de velocidad, descarga, y contracción, en orificios de descarga vertical y orificios de descarga horizontal.
- Analizar la relación entre el coeficiente de gasto versus la carga hidráulica sobre el orificio. (C_d vs H).
- Comprender de manera práctica y por medio de la experimentación, el comportamiento de los orificios sumergidos y su correlación entre el ambiente práctico-experimental y el teórico.

2.2. EQUIPO

ORIFICO VERTICAL

- Banco Hidráulico.
- Equipo de orificio vertical.
- Pesas.
- Cronometro.
- Tubo de pitot.

ORIFICIO HORIZONTAL

- Canal rectangular.
- Placa de orificio.
- Balde.
- Cronometro.
- Metro.
- Limnometro.

2.3. PROCEDIMIENTO

ORIFICIO CON DESCARGA VERTICAL

- Llene el tanque con agua hasta que se presente una altura considerable, y comprobar que lo descargo se estabilice, es decir hasta cuando el chorro sea uniforme.
- Con pequeños golpes y movimientos del tubo de alimentación del sistema, procurar eliminar la mayor parte de las burbujas de aire atrapado en la esponja disipadora, esto con el fin de que estas burbujas no se nos introduzcan en los piezómetros y no alteren las mediciones.
- Verificar que los conductos de alimentación y de rebose no presenten filtraciones excesivas.
- Tomar la altura que registra el piezómetro conectado a la base del sistema.
- Se ubica el tubo pitot por debajo del chorro, ayudándose de la placa de bronce en

posición vertical, esta placa nos permite mantener el pitot a una altura en la que se considera está la formación de la vena contracta; si ubicamos el pitot en el centro exacto del chorro y a esta altura podemos obtener una altura en el piezómetro conectado a este. Registramos esta altura.

- Medimos el diámetro del chorro en la vena contracta, de la siguiente forma:
 - a. Ubicamos el tornillo micrométrico en un extremo del chorro y registramos la lectura de este.
 - b. Recorremos el chorro procurando pasar por el centro de este, y cuando se llegue al otro extremo registramos la lectura del tornillo micrométrico (el tornillo da las medidas en mm), la diferencia de esta lectura con la anterior nos da el diámetro del chorro en la vena contracta.
- Medir el tiempo requerido para recoger una masa de agua de 15 kg. (para esta masa nos ayudamos del banco hidráulico y la palanca graduada que posee), anotamos este tiempo y el volumen equivalente.
- Calculamos los coeficientes como lo indican las ecuaciones indicadas.
- Repetir el procedimiento para diferentes posiciones de la válvula del banco hidráulico (es decir para diferentes caudales), y para diferentes orificios y boquillas.

ORIFICIO CON DESCARGA HORIZONTAL

- Adaptar el sistema de orificio y la cuadrícula de mediciones en la ranura destinada para esta, la cual se encuentra en la parte media del canal.
- Verificar que la pendiente del canal sea cero ($S_o=0$).
- Encender los interruptores de la bomba para poner en funcionamiento la alimentación del canal.
- Graduar por medio de las válvulas el caudal descargado procurando empezar de un valor bajo de este e ir ascendiendo a medida que avanza la prueba.
- Mantener un nivel constante en la lámina de agua (aguas arriba de la placa), anotar dicho valor en las tablas de toma de datos.
- Analizar la descarga del orificio y por medio de la cuadrícula y el limnimetro, describir la trayectoria del chorro, anotando los valores graduales de este a medida que avanza en el canal (aguas abajo).
- Tomar el valor del caudal en un determinado instante de tiempo, para conocer la descarga del orificio ($t > 15$ s.). Anotar el valor del caudal.
- Repetir la prueba para diferentes niveles de lámina de agua (aguas arriba).

2.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

Los orificios se encuentran entre los medidores de rapidez al igual que las boquillas, medidor venturi, rotámetro y vertederos. Estos registran la cantidad (en peso o volumen)

de fluido que pasa por ellos en un determinado instante de tiempo. Al salir el fluido del orificio, dependiendo de la forma de este, el chorro descargado sufre una pequeña variación en su geometría, la cual es notada como una contracción del chorro poco después de salir del orificio, esta contracción recibe el nombre de *vena contracta*. Dentro de la clasificación de los orificios podemos encontrar también de descarga libre y descarga sumergida.

Desde el punto de vista hidráulico, los orificios son perforaciones, generalmente de forma geométrica y perímetro cerrado, hechos debajo de la superficie libre del líquido, en las paredes de los depósitos, tanques, canales o tuberías. Las aberturas hechas hasta la superficie libre del líquido constituyen los vertederos.

Los orificios pueden clasificarse de acuerdo a su forma en: circulares, rectangulares, etc, y de acuerdo a sus dimensiones relativas en pequeños y grandes. Son considerados pequeños los orificios cuyas dimensiones son mucho menores que la profundidad en que se encuentran (dimensión vertical igual o inferior a un tercio de la profundidad).

Para los orificios pequeños de área inferior a 1/10 de la superficie del recipiente, se puede despreciar la velocidad V del líquido. Teniendo en cuenta el espesor de la pared (e), los orificios se clasifican en: orificios de pared delgada y en orificios de pared gruesa. La pared es considerada delgada, cuando el chorro del líquido apenas toca la perforación en una línea que constituye el perímetro del orificio. En una pared gruesa, se verifica la adherencia del chorro líquido.

Los orificios en paredes delgadas son constituidos en placas finas o por corte en bisel. El acabado en bisel no es necesario, si el espesor e de la placa es inferior al diámetro d del orificio supuesto circular (o considerando la dimensión menor, si el orificio tuviera otra forma). Al contrario si el espesor e fuese mayor que una vez y media el diámetro, el chorro se puede adherir al interior de la pared, clasificándose el orificio como de pared gruesa. Si el valor de e estuviera comprendido entre 2 y 3 veces el diámetro d , se tiene el caso de una boquilla. El chorro que sale de un orificio se llama vena líquida. Su trayectoria es parabólica.

EXPRESIONES MATEMÁTICAS PARA EL ORIFICIO DE DESCARGA VERTICAL

- Velocidad teórica

$$V_t = \sqrt{2gH_o}$$

- Velocidad Real:

$$V_r = C_v * \sqrt{2gH_c}$$

- Coeficiente de velocidad:

$$C_v = \frac{V_r}{V_t} \quad C_v = \sqrt{\frac{H_c}{H_o}}$$

- Coeficiente de contracción:

$$C_c = \frac{A_c}{A_o}$$

Coefficiente de descarga:

$$C_d = C_c * C_v = \frac{Q_r}{Q_t}$$

Caudal experimental

$$Q_r = C_d * A_o * \sqrt{2gH_c}$$

$$Q_r = C_d * \sqrt{2g} * A_o * H_c^{1/2}$$

Diámetro interno de los orificios y de las boquillas $D = 13.0 \text{ mm.}$

EXPRESIONES MATEMÁTICAS PARA EL ORIFICIO DE DESCARGA HORIZONTAL

Velocidad real

$$V_r = x_0 * \sqrt{\frac{g}{2y_0}}$$

Caudal experimental

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\text{Vol}}{t} = C_d * Q_t$$

Velocidad teórica

$$V_t = \sqrt{2gH} \quad V_r = C_v * V_t$$

Caudal Teórico

$$Q_t = A_{\text{orif}} * \sqrt{2 * g * H}$$

2.5. CUESTIONARIO

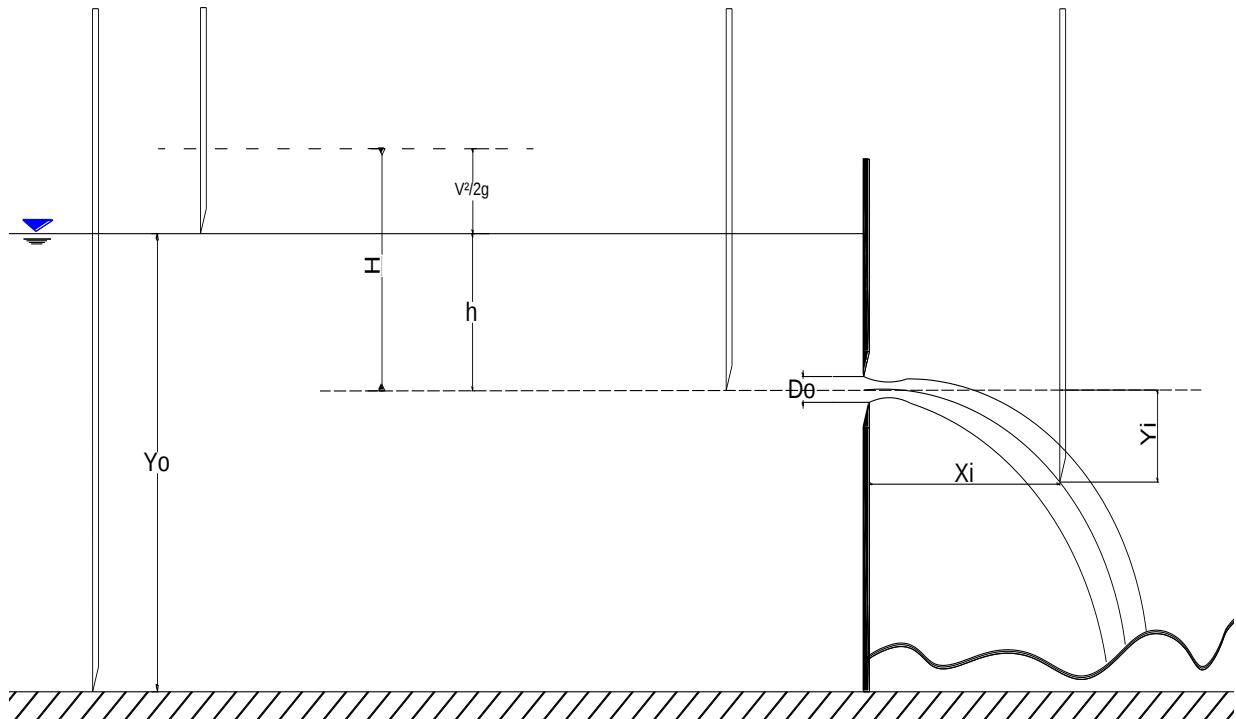
ORIFICIO DE DESCARGA VERTICAL

- Comprobar la relación $C_d = C_v * C_c$.
- Graficar $\sqrt{H_c}$ Vs $\sqrt{H_o}$ y mediante regresión determinar el valor de la pendiente el cual corresponde al coeficiente de velocidad.
- Determinar el coeficiente de contracción C_c que corresponde a la relación entre el área promedio de la vena contracta y el área del orificio. $\frac{A_c}{A_o}$
- Estudiar la relación C_d vs H . Para esto grafique los valores de Q_{EXP} vs $H^{1/2}$ determine la expresión matemática correspondiente y por consiguiente el valor del coeficiente C_d .
- Para cada una de las lecturas de H_o determinar el coeficiente de descarga C_d con la relación entre: $C_d = \frac{Q_{\text{EXP}}}{Q_{\text{teorico}}} = \frac{A_c \sqrt{2gH_c}}{A_o \sqrt{2gH_c}}$
- Comparar los valores de $A_c \sqrt{2gH_c}$ con los valores de Q medidas en el banco de pruebas.
- Graficar C_d vs Re
- A partir de la expresión $t = \frac{2A_r}{C_d * A_o * \sqrt{2g}} * (\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})$ determine el valor teórico para cinco diferentes volúmenes, varié un nivel inicial, dejando h_2 fijo y mida sus tiempos de

descarga con un cronometro. Para ello utilice el valor C_d obtenido en el numeral 2. Compare los valores obtenidos. A_r : área del recipiente.

ORIFICIO DE DESCARGA HORIZONTAL

- Grafique X vs $\sqrt{4Hy_o}$ y determine el coeficiente de velocidad C_v del orificio, como la pendiente de la grafica, para ello emplee los valores de X_o , Y_o y H , tomados para cada caudal.
- Obtener el coeficiente de descarga del orificio a partir de la grafica de $Q_{\text{experimental}}$ vs $A_o\sqrt{2gH_o}$
- Determine el coeficiente contracción $C_c = C_d/C_v$ con los coeficientes determinados anteriormente.
- Para cada caudal individual determine $C_v = \frac{X_o}{\sqrt{Y_o}} * \sqrt{\frac{1}{4*H}}$ y grafique C_v vs Re . D: $D_o * C_c$
- Para cada caudal determine el C_d y grafique C_d vs Re . Grafique también C_d vs H
- Graficar el perfil de flujo y la línea de energía a lo largo del canal.



2.6 FORMATOS TOMA DE DATOS

FIRMA LABORATORISTA: _____ FECHA: ____/____/____

NOMBRES	CÓDIGOS	FIRMAS
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

ORIFICIOS DESCARGA VERTICAL.							
No.	MASA (kg)	T (sg)	CAUDAL (m ³ /seg)	Ho (mm)	Hc (mm)	Lp inicial (mm)	Lp final (mm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

TIEMPO DE DESCARGA			
No.	L1 (cm)	L2 (cm)	T (sg)
1			
2			
3			
4			

ORIFICIOS DESCARGA HORIZONTAL.											
Q	LECTURAS LIMNIMETRICAS (Cm)							Xo (cm)	Tiempo (sg)		
	-2	-1	0	1	2	3	4		1	2	3
1											
2											
3											
4											
5											
Dist.								L.fondo			

2.7 FORMATOS CÁLCULOS

ORIFICIO CON DESCARGA VERTICAL

Q	M (Kg)	T (S)	Qexp. (m³/seg)	Qexp. (m³/seg)	Ho (m)	Hc (m)	Lpitot inicial (mm)	Lpitot final (mm)	Dc (mm)	V teo. (m/s)	Vexp. (m/s)	Cv
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Q	Ac (mm)	Cd= (Cc * Cv)	Cd: $\frac{Q_{exp}}{Q_{teo}}$	Re	Ho ^{1/2}	Hc ^{1/2}
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

TIEMPO DE DESCARGA				
No	L 1(cm)	L 2 (cm)	TIEMPO EXPERIMENTAL	TIEMPO TEÓRICO
1				
2				
3				
4				
5				

ORIFICIO CON DESCARGA HORIZONTAL

Q	TIRANTE (m)							Xo (m)	T _{prom} (sg)	Q _{exp.} (m ³ /s)
	-2	-1	0	1	2	3	4			
1										
2										
3										
4										
5										
Dista.										

Nº	h (cm)	Yo (m)	V (m/s) Continuidad	$\frac{V^2}{2 \cdot g}$ (m)	H	$\sqrt{4 \cdot H \cdot Yo}$	Vo (m/s)	Q _{teo} (m ³ /s)	Cv	Cd	Cc	Re
1												
2												
3												
4												
5												

3. CALIBRACIÓN DE VERTEDEROS.

3.1 OBJETIVO

- Calcular el gasto descargado por un vertedero de pared delgada, determinando experimentalmente el coeficiente de descarga,
- Analizar el comportamiento de un vertedero.
- Calibrar y encontrar el modelo matemático adecuado para cada uno de los vertederos: rectangular, rectangular con contracciones y triangular.

3.2 EQUIPO

- Canal rectangular.
- Placa de orificio.
- Balde.
- Cronometro.
- Metro.
- Limnimetro.

3.3 PROCEDIMIENTO

- Con la ayuda del metro divida la longitud del canal en tramos de 25cm desde 0.5 a 3.75 m de longitud. Medir el ancho del canal.
- Fijar una posición de válvulas para un caudal determinado.
- Coloque el canal en posición horizontal por medio del gato mecánico.
- Introduzca el vertedero a calibrar en la ranura dispuesta para tal fin.
- Tome tirantes con el limnómetro a lo largo del canal cada 25cm, tenga en cuenta que en la proximidad aguas arriba y aguas abajo del vertedero deben tomarse medidas cada 5cm por el cambio brusco del perfil de flujo.
- Tome el valor de la altura del vertedero colocado en el canal y registre el caudal descargado.
- Repita los dos pasos anteriores según la precisión deseada.
- Hacer la toma de datos para 5 caudales en cada uno de los flujos.
- Reducir paso a paso el caudal; registrando los datos en cada caso. Tomar los puntos necesarios para cubrir los rangos de flujo turbulento, en transición y laminar.

3.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La determinación del caudal que circula por un canal a superficie libre es de obvia importancia en campos como los riegos y drenajes, la regulación y conservación del agua y control de crecientes, por mencionar algunos. Excepto en condiciones particulares del flujo, por ejemplo una sección transversal de canal donde exista una relación directa entre el caudal y la profundidad de la lámina de agua, es necesario crear estas condiciones de tal manera que a una profundidad dada de la lámina de agua le corresponda sólo un caudal. Para lograr estas condiciones se utilizan estructuras hidráulicas cuyo objetivo es la medida del flujo; estas estructuras pueden ser los vertederos de cresta delgada, los vertederos de cresta ancha y las canaletas de aforo. Eventualmente podría pensarse en las compuertas, que también miden caudal, pero fundamentalmente tienen como objetivo el control del mismo, gracias a que el orificio por donde se desarrolla la descarga puede modificar su sección. Cuando la descarga se realiza por encima de un muro o una placa, con el borde superior horizontal o con una cierta forma regular, pero eso sí descargando libremente, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedero. En el caso del vertimiento sobre una placa su forma particular depende de la finalidad a la que se destine. Cuando la descarga se realiza sobre una arista aguda, el vertedero se llama de pared delgada; cuando la descarga se realiza sobre un borde grueso, el vertedero se llama de pared gruesa. Tanto el vertedero de pared delgada como el de pared gruesa pueden utilizarse en canales u obras de laboratorio o en canales pequeños que por lo general no transportan sedimentos. Los vertederos de pared gruesa se emplean en forma generalizada en obras de control y excedencias en presas y en grandes canales.

La formula básica para hallar caudales en los vertederos es: $Q = CH^n$ donde:

Q = Caudal (m^3/s);

C, n = Coeficientes;

H = Carga hidrostática sobre la cresta del vertedero (m)

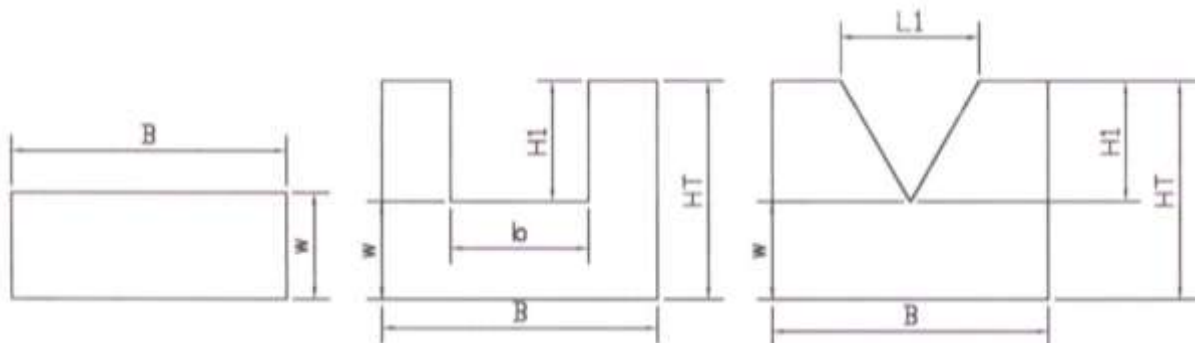


Fig. No1. Vertederos de pared delgada comúnmente usados. (Rectangular, rectangular con contracciones y triangular)

$$Q_{ideal} = \frac{2}{3}(2g)^{1/2} H^{3/2}$$

✓ **Vertedero Rectangular.**

$$Q_{real} = \frac{2}{3}Cd(2g)^{1/2} b H^{3/2}$$

✓ **Vertedero Rectangular con contracciones.**

$$Q_{real} = \frac{2}{3}Cc(b - 0.1NH)(2g)^{1/2} H^{3/2}$$

Siendo N el número de contracciones.

✓ **Vertedero Triangular.**

$$Q_{real} = \frac{8}{15}Cd \tan \frac{\alpha}{2} (2g)^{1/2} H^{5/2}$$

Tirante= L -L fondo

Carga sobre el vertedero (H) = Lv-L fondo-altura del vertedero.

3.5 CUESTIONARIO

Para los tres vertederos:

- Graficar Q_{EXP} vs H, realizar una regresión $Q_{EXP} = C H^n$ Obtener coeficiente C y los correspondientes coeficientes de descarga
- Calcular el caudal calibrado o teórico.
- Comprobar con los valores obtenidos por el método de aforo de caudales.
- Graficar Q_{EXP} Vs $Q_{TEÓRICO}$, realizar regresión $Q_{EXP} = A + BQ_T$ determinar el coeficiente de descarga para cada vertedero.
- Establezca y dibuje los perfiles de flujo.
- Calcular los coeficientes de descarga con las formulas experimentales (Tabla 7.1 y 7.2 de la Hidráulica General de Sotelo) y Verificar validez de coeficientes obtenidos experimentalmente en el laboratorio. Analizar comportamiento y comentar.
- Qué hipótesis se consideran para la obtención de la expresión de la descarga real en vertederos de pared delgada y que contraposición se encuentra para el cálculo de la velocidad teórica.
- Qué consideraciones se deberían tener en cuenta si el vertedero se encuentra inclinado.

FORMATOS TOMA DE DATOS

FIRMA LABORATORISTA: _____ FECHA: ____/____/____

NOMBRES	CÓDIGOS	FIRMAS
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

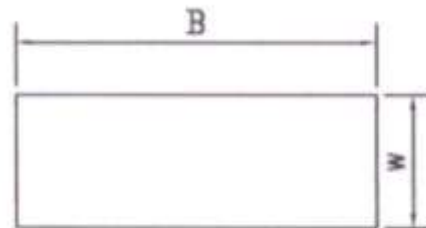
Lectura de fondo (cm): _____, _____, _____

VERTEDERO RECTANGULAR

Q	LECTURAS LIMNIMETRICAS (Cm)								Tiempo (sg)		
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	1	2	3
1											
2											
3											
4											
5											
Dista.											

B(cm) = _____

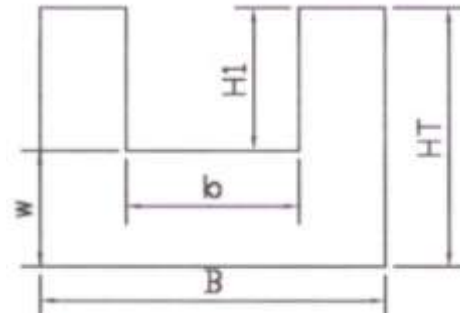
w(cm) = _____



VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIÓN

Q	LECTURAS LIMNIMETRICAS (Cm)								Tiempo (sg)		
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	1	2	3
1											
2											
3											
4											
5											
Dista.											

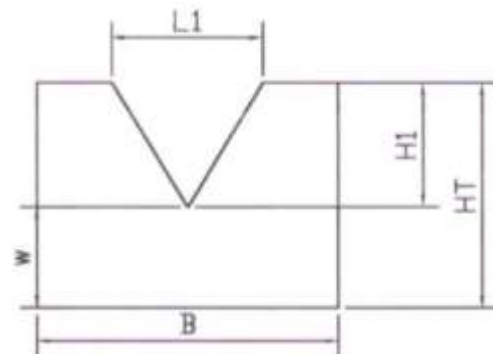
$B(\text{cm}) =$ _____
 $b(\text{cm}) =$ _____
 $w(\text{cm}) =$ _____
 $H1(\text{cm}) =$ _____
 $HT(\text{cm}) =$ _____



VERTEDERO TRIANGULAR

Q	LECTURAS LIMNIMETRICAS (Cm)								Tiempo (sg)		
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	1	2	3
1											
2											
3											
4											
5											
Dista.											

$B(\text{cm}) =$ _____
 $w(\text{cm}) =$ _____
 $H1(\text{cm}) =$ _____
 $HT(\text{cm}) =$ _____
 $L1(\text{cm}) =$ _____



3.7 FORMATO CÁLCULOS

Q	TIRANTE (m)								T _{prm} (sg)	Q exp. (m ³ /s)	H (m)	Q. Teor (m ³ /s)	Cd
	-2	-1	0	1	2	3	4	5					
1													
2													
3													
4													
5													
L (m)													

Q	$V^2/(2 \cdot g)$ (m)							
	-2	-1	0	1	2	3	4	5
1								
2								
3								
4								
5								
Dista.								

Q	ENERGÍA (m)							
	-2	-1	0	1	2	3	4	5
1								
2								
3								
4								
5								
Dista.								

4. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN UNA TUBERÍA.

4.1 OBJETIVO.

- Determinar la relación entre el gradiente hidráulico (hf/L) y la velocidad, así como también la relación existente entre el coeficiente de fricción y el número de Reynolds.

4.2 EQUIPO

- Banco Hidráulico.
- Aparato de pérdida por fricción.
- Cronometro.
- Probeta.

4.3 PROCEDIMIENTO

- Tomar la longitud y el diámetro del tubo.
- Disponer el conducto en posición horizontal.
- Conectar los puntos de toma de presiones en el conducto a los manómetros, expulsando el aire.
- Confirmar que no existe columna de presión en los manómetros cuando no hay flujo.
- Establecer el flujo permanente ajustando la válvula de control de modo que se produzca el máximo caudal por el tubo para iniciar.
- Anotar el caudal y las alturas h_1 y h_2
- Tomar la temperatura del agua.
- Calcular el número de Reynolds y confirmar que el flujo es turbulento.
- Hacer la toma de datos para 5 caudales en cada uno de los flujos.
- Reducir paso a paso el caudal; registrando los datos en cada caso. Tomar los puntos necesarios para cubrir los rangos de flujo turbulento, en transición y laminar.

4.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Pérdidas Hidráulicas: Las pérdidas hidráulicas en una conducción pueden ser por fricción, aditamentos o accesorios.

Las pérdidas por fricción se originan en la existencia de un esfuerzo de corte entre el

líquido y las paredes de la tubería, que se opone al movimiento. Si las condiciones se mantienen constantes: velocidad, caudal, material de la tubería, etc., es posible definir una pérdida por unidad de largo o pendiente del plano de energía J . De esta definición, se deduce que la pérdida friccional que existe entre dos puntos de una tubería separados por una distancia L es igual a $hf \cdot L$.

Para determinar la pendiente del plano de carga, existen varias metodologías dentro de las cuales una de las más utilizadas es la de Darcy-Weisbach, donde hf es proporcional a la altura de velocidad, como se muestra en la siguiente expresión:

$$hf = f \frac{V^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D}$$

f = factor de fricción, sin dimensiones
 g = aceleración de la gravedad, en m/s^2
 hf = pérdida por fricción, en m
 D = diámetro, en m
 L = longitud del tubo, en m
 V = velocidad media, en m/seg .

S_f representa la relación entre la pérdida de energía y la longitud del tubo en que ésta ocurre (*pendiente de fricción o gradiente Hidráulico*).

La clasificación de los flujos en laminar y turbulento es un resultado propiamente de la viscosidad del fluido; y no habría distinción entre ambos en ausencia de la misma. El flujo laminar se caracteriza porque el movimiento de las partículas se produce siguiendo trayectorias separadas perfectamente definidas, no necesariamente paralelas, sin existir mezcla microscópica o intercambio transversal entre ellas. Si se inyecta colorante (de la misma densidad que el líquido) dentro de un flujo laminar, éste se mueve como un filamento delgado que sigue las trayectorias del flujo.

En un flujo turbulento, las partículas se mueven sobre trayectorias completamente erráticas, sin seguir un orden establecido. Existen pequeñas componentes de la velocidad en direcciones transversales a la del movimiento general, las cuales no son constantes sino que fluctúan con el tiempo, de acuerdo con una ley aleatoria, aun cuando el flujo general sea permanente. Esto se explica por el hecho de que la permanencia respecto del tiempo se refiere a los valores medios de dichas componentes en un intervalo grande. Las componentes transversales de la velocidad en cada punto originan un mezclado intenso de las partículas que consumen parte de la energía del movimiento por efecto de fricción interna y que también en cierto modo, es resultado de los efectos viscosos del fluido.

- Laminar ($Re < 2000$).
- Transicional ($2000 < Re < 4000$)

- Turbulento ($Re > 4000$)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Donde: ρ = Densidad del fluido

V = velocidad media del flujo.

μ = Viscosidad dinámica. ($ML^{-1}T^{-1}$)

ν = Viscosidad cinemática (M^2T^{-1})

Para flujo laminar con Reynolds < 2000 utilizamos la ecuación de Hagen – Poiseuille:

$$hf = \frac{32\mu \cdot V \cdot L}{\rho \cdot g \cdot D^2}$$

μ = Viscosidad Dinámica.

V = Velocidad media.

g = Gravedad

ρ = Densidad

L = Longitud del tubo

D = diámetro del tubo

Para flujo turbulento y transición, utilizamos la ecuación general de pérdidas de Darcy-Weisbach:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{\varepsilon}{D} * 3.7 + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

4.5 CUESTIONARIO.

- Determinar el gradiente hidráulico a través de las lecturas manométricas de agua y mercurio, comparar los resultados.
- Determinar el coeficiente de fricción a través de la diferencia manométrica y el número de Reynolds, comparar los valores obtenidos.
- Elaborar la gráfica de hf/L vs V con datos que cubran todos los tipos de flujo.
- Graficar la relación hf/L vs V para cada intervalo correspondiente a los tres tipos de flujo, y realizar la regresión correspondiente.
- Determinar las velocidades críticas superior e inferior y los correspondientes valores de Reynolds.
- Calcular la viscosidad dinámica a partir de la expresión de Poiseuille.
- Con un análisis de regresión hallar para cada caso, laminar y turbulento, los valores de C y m .

- Igualmente para la relación $f = f(Re)$ una ecuación correspondiente $f = C \cdot Re^m$, para la cual se pide elaborar la gráfica correspondiente y una nueva regresión lineal, hallar los valores de C y m
- Obtener las relaciones definitivas hf/L vs V y f vs Re para cada tipo de flujo, comparar y comentar.
- Analizar la variación (posibles discrepancias) de la viscosidad determinada en tablas por medio de la temperatura y la obtenida en la práctica.
- Qué sugerencias harían para mejorar el aparato?
- Qué cambio en los valores calculados de μ , expresados como un porcentaje, se hubiesen producido por errores de medida tales como:
- Error de 1.0 mm en la medida de la longitud de la tubería entre piezómetros?
- El Error de 0.03 mm en medida del diámetro de la tubería?
- Qué métodos consideraría usted convenientes para la medida del diámetro de la tubería?
- Compare los valores de f que usted ha medido con la ecuación $f = 0.079 \cdot Re^{-0.25}$ propuesta por Blasius para flujo turbulento en cañerías lisas. Comente
- Un posible proyecto es la adaptación del aparato para operar con aire en lugar de agua como el fluido del funcionamiento. Usando un valor de m tomado de las mesas físicas, calcule la velocidad crítica y la presión correspondiente. Considere si al usar un manómetro en U de agua pudiera medirse.

FORMATOS TOMA DE DATOS

FIRMA LABORATORISTA: _____ FECHA: ____/____/____

NOMBRES	CÓDIGOS	FIRMAS
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

FLUJO LAMINAR

No	V (ml)	T(s)	Columna de H ₂ O		Columna de Hg		T (°C)	Re
			H1(mm)	H2 (mm)	H1(mm)	H2 (mm)		
1								
2								
3								
4								
5								

FLUJO DE TRANSICIÓN.

No	V (ml)	T(s)	Columna de H ₂ O		Columna de Hg		T (°C)	Re
			H1(mm)	H2 (mm)	H1(mm)	H2 (mm)		
1								
2								
3								
4								
5								

FLUJO TURBULENTO

No	V (ml)	T(s)	Columna de H ₂ O		Columna de Hg		T (°C)	Re
			H1(mm)	H2 (mm)	H1(mm)	H2 (mm)		
1								
2								
3								
4								
5								

4.6 FORMATO CÁLCULOS

					1				2					
Nº	V (ml)	T (s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Manómetro H ₂ O		h _f :h1- h2 (m)	f Darcy	f caudal	h _f (m) Darcy	Sf (1)	Sf (2)	Re (Q)	Re (f)
					h1 (m)	h2 (m)								
1														
2														
3														
4														
5														

					1				2					
Nº	V (ml)	T (s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Manómetro Hg		h _f :h1- h2 (m)	f Darcy	f caudal	h _f (m) Darcy	Sf (1)	Sf (2)	Re (Q)	Re (f)
					h1 (m)	h2 (m)								
1														
2														
3														
4														
5														

5. PERDIDAS POR ACCESORIOS

5.1 OBJETIVOS.

- Determinar en forma experimental los coeficientes de pérdidas para diferentes tipos de accesorios a lo largo de una tubería.
- Comparar valores teóricos con experimentales.

5.2 EQUIPO

- Banco Hidráulico
- Tablero de pérdidas por accesorios.
- Pesas.
- Cronometro.

5.3 PROCEDIMIENTO

- Conecte el aparato al banco hidráulico por la unidad de entrada.
- Anote los diámetros de los tubos y las dimensiones de los ajustes mostrados en el diagrama.
- Abra la válvula de salida cuidadosamente, para establecer un flujo a través del sistema.
- Nivele los manómetros de agua, evitando que queden con burbujas de aire.
- Tome las medidas de caudales en el banco hidráulico.
- Registre las diferencias de la lectura de los manómetros en la tabla anexa. (La válvula debe ser utilizada para regular el flujo de agua en el aparato).

5.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas, generalmente, por tramos rectos y con cambios de alineamiento para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que se presentan en la geometría de la sección y de los distintos dispositivos para el control del flujo en la conducción. Estos cambios originan pérdidas de energía, distintas a las de fricción, localizadas en el sitio mismo del cambio de geometría o de la alteración del flujo. Tal tipo de pérdida se conoce como pérdida local o por accesorios.

En la gráfica se muestra el flujo de agua con una velocidad V_u a lo largo del tubo de

diámetro D_u hacia una tubería con contracciones, dobleces, cambios de dirección o válvulas etc.

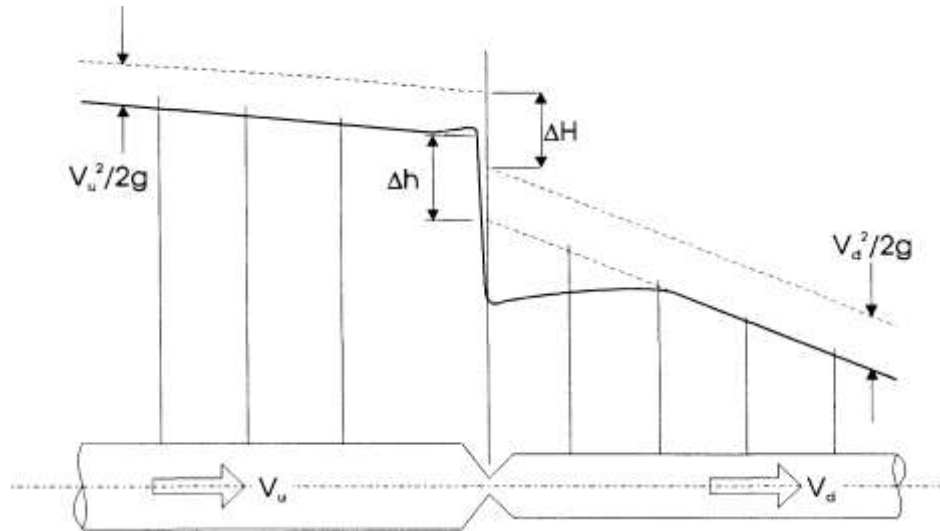


Figura 1. Representación esquemática de pérdidas por accesorios a lo largo de una tubería.

Las pérdidas que ocurren a través de estos accesorios es lo que se conoce como pérdidas menores debido al cambio en la geometría o en la alteración del flujo; esta magnitud se expresa como una fracción de carga de velocidad inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produce la pérdida. Para el análisis el flujo pasa a una tubería de diámetro D_d con una velocidad V_d , donde las pérdidas son tomadas como:

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_u^2}{2g} - \frac{V_d^2}{2g}$$

Dependiendo del tipo de pérdidas que se trate esta expresión puede darse en función de la velocidad afectada por un coeficiente adimensional K .

$$K = \frac{\Delta H}{\frac{V_u^2}{2g}} \quad \text{o} \quad K = \frac{\Delta H}{\frac{V_d^2}{2g}}$$

Para $D_u = D_d$ entonces:

$$K = \frac{\Delta H}{\frac{V^2}{2g}} \quad \text{o} \quad K = \frac{\Delta h}{\frac{V^2}{2g}} \quad h = \text{caída de la línea piezométrica.}$$

Para cambios de curvatura. Si se visualiza el flujo en un cambio de dirección, se observa que los filetes tienden a conservar su movimiento rectilíneo en razón de su inercia. Esto modifica la distribución de velocidades y produce zonas de separación en el lado interior y aumentos de presión en el exterior, con un movimiento espiral que persiste en una distancia de 50 veces el diámetro. Si el cambio de dirección es gradual con una curva circular de radio medio R y rugosidad absoluta ε , para obtener el coeficiente de pérdida K se usa para la gráfica de Hoffman que, además toma en cuenta la fricción en la curva.

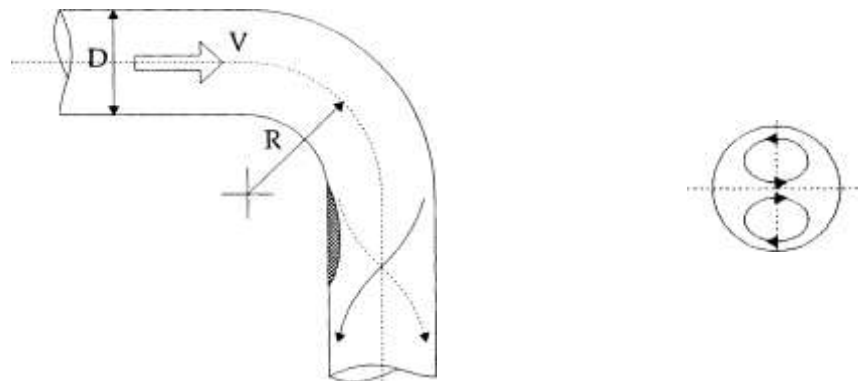


Figura 2. Codo 90°.

$$\Delta H = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde K está en función de la geometría de la sección R/D

Para pérdidas por ampliación. Esta se origina al producirse una ampliación de la sección transversal del tubo. El coeficiente K depende de la brusquedad de la ampliación y para encontrarlo se usa la formula de Borda -Carnot

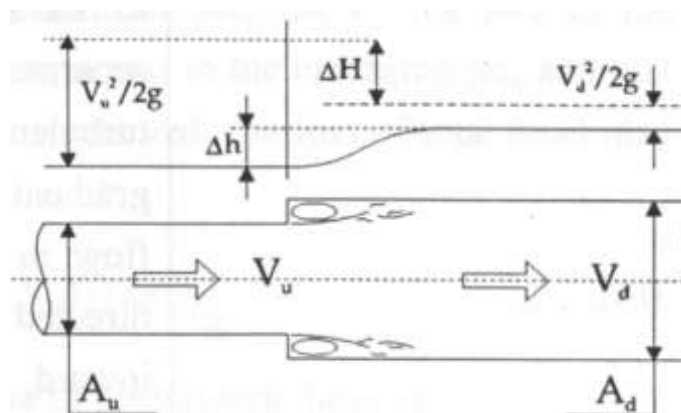


Figura 2. Ampliación Brusca.

El valor de la constante k se determina como:

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_u^2}{2g} - \frac{V_d^2}{2g}$$

$$\Delta H = \frac{(V_u - V_d)^2}{2g} \quad \text{Donde:} \quad K = \frac{(V_u - V_d)^2 / 2g}{V_u^2 / 2g} = \left(1 - \frac{A_u}{A_d}\right)^2$$

Para reducción brusca. En este caso se produce un fenómeno de contracción semejante al de entrada a la tubería, el cual también conviene que sea gradual. Si bien en este caso la pérdida es inferior a la de la ampliación, dependiendo de la brusquedad con que se efectúe la contracción, el coeficiente de pérdida está supeditado al ángulo θ al cual esta se produzca.

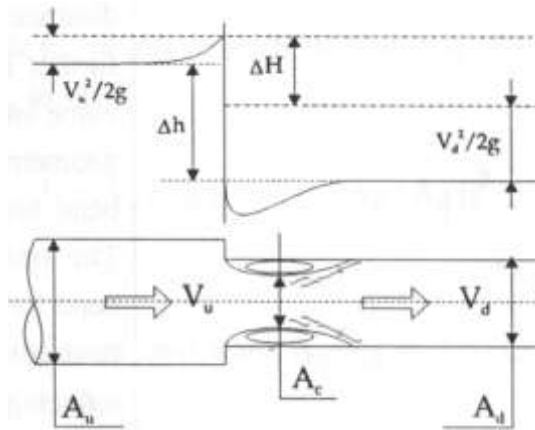


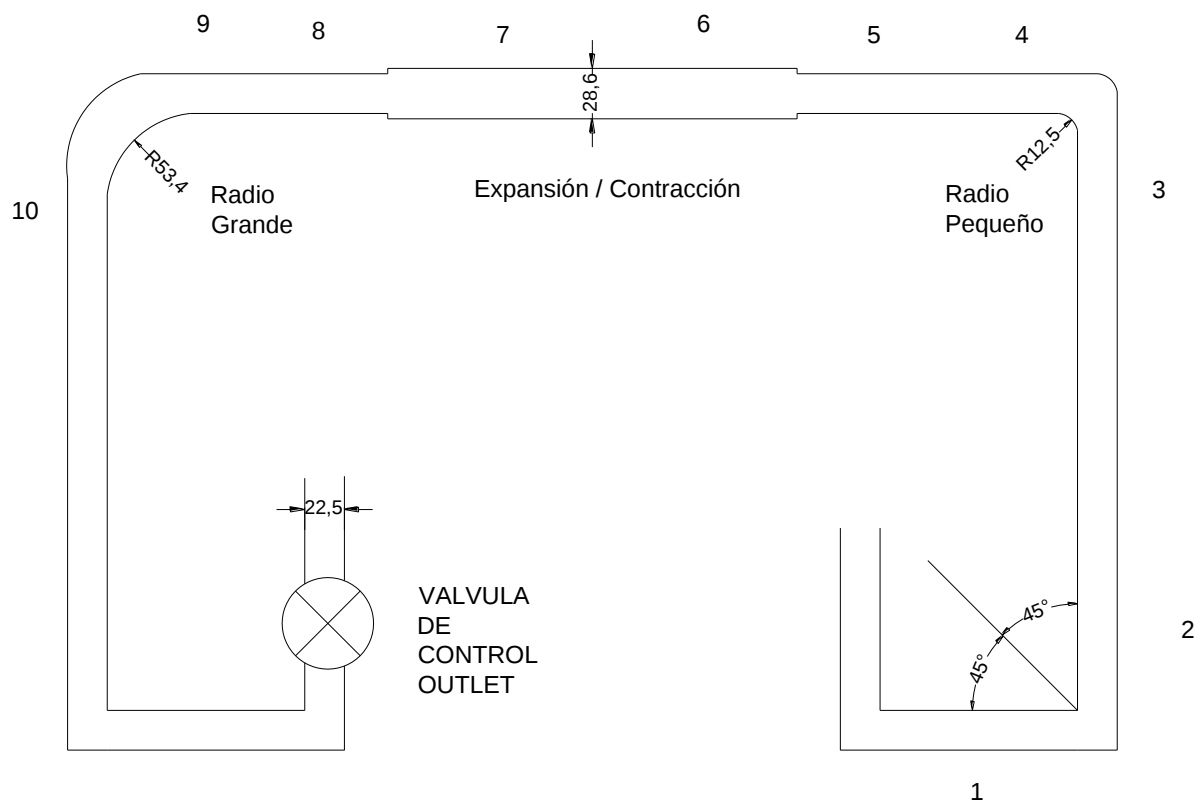
Figura 3. Contracción Brusca.

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_c^2}{2g} - \frac{V_d^2}{2g} \quad \text{Coeficiente de pérdida:} \quad \Delta H = \frac{(V_c - V_d)^2}{2g} \quad K = \left(\frac{A_d}{A_c} - 1\right)^2$$

5.5 CUESTIONARIO

- Consultar y exponer la expresión teórica para las pérdidas de energía en:
 - Ampliación brusca de una conducción.
 - Reducción brusca.
- Analizar la pérdida de energía por expansión recta de conducción a depósito.
- Analizar la pérdida de energía por entrada de depósito a conducción teniendo en cuenta la forma de la entrada.
- Consultar y establecer la expresión de pérdidas en Venturímetro, orificio, boquillas y válvulas.

- Hacer una clasificación aproximada de las válvulas de acuerdo con la magnitud de las pérdidas.
- Señalar los factores que se deben considerar para hallar los coeficientes K de pérdidas para codos y curvas.
- Procedimientos prácticos para determinar las pérdidas en rejillas.
- Elaborar las gráficas de pérdidas de energía total vs. carga de velocidad (ΔH vs $V^2/2g$) (en mm), para cada uno de los accesorios encontrados. Ignorando el cálculo de pérdidas por fricción, ya que para este caso no son representativas.
- Comparar los valores de K obtenidos en cada caso con los tabulados en los textos.



Radio y diámetros de la tubería.

FORMATOS TOMA DE DATOS

FIRMA LABORATORISTA: _____ FECHA: ____/____/____

NOMBRES	CÓDIGOS	FIRMAS
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Q	M (Kg)	T (s)	Q (m ³ /s)	LECTURA DE DIFERENCIA PIEZOMETRICA (mm)									
				Codo recto 90°		Codo(R.C)		Ampliación		Contracción		Curva	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FORMATO CÁLCULOS.

Nº	Q (m³/S)	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	$\frac{V_1^2}{2 \cdot g}$ (m)	$\frac{V_2^2}{2 \cdot g}$ (m)	PERDIDAS TOTALES (m)				
						Codo recto 90º	Codo	Ampliación	Contracción	Curva
						(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	(9-10)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Nº	k				
	Codo recto 90º	Codo	Ampliación	Contracción	Curva
	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	(9-10)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Prom					