



Laboratorio
de Hidráulica
Ing. David
Hernández Huéramo



Dr. Juan Pablo Molina Aguilar • Ing. Jorge Leonel Angel Hurtado • M. I. Jesús Martín Caballero Ulaje

NOMBRE DE LA PRÁCTICA

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN Y LOCALES EN TUBERÍAS

OBJETIVO (S)

Una vez desarrollada la práctica, orientada a visualizar y comprender, el alumno será capaz de:

1. Comprender el significado y origen tanto de las pérdidas por fricción como las pérdidas locales en tuberías.
2. Entender la relación de la geometría de un tubo definida por su diámetro interior y su material con las pérdidas de energía por fricción.
3. Entender la relación de las piezas (control, cambio de dirección, modificación de diámetros) con las pérdidas de energía local.

ENCUADRE TEÓRICO

A medida que un fluido pasa por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción del líquido con las paredes del tubo; tales pérdidas traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo, lo cual se traduce en que no se logre conducir el caudal deseado o que no tenga la suficiente energía esperada o necesaria para lo que se requiere, que en ambos casos significa un error de diseño y el fracaso de un proyecto, por lo que es importante que el alumno aprenda a calcular las pérdidas de energía debidas a la fricción del líquido con las paredes del conducto, que en éste caso es una tubería.

Se define a la **fricción** como una fuerza resistente que actúa sobre un cuerpo, que impide o retarda el deslizamiento de este respecto a otro o en la superficie que esté en contacto. Esta fuerza es siempre tangencial a la superficie en los puntos de contacto con el cuerpo y tiene un sentido tal que se opone al movimiento posible o existente del cuerpo respecto a esos puntos. Por otra parte, estas fuerzas de fricción están limitadas en magnitud y no impedirán el movimiento si se aplican fuerzas lo suficientemente grandes.

El **coeficiente de fricción** (f) es un parámetro que se utiliza para poder calcular la fricción en función del material que conforma el conducto y tendrá valores distintos dependiendo de si se encuentra en una situación estática, dinámica, o fricción bajo lubricación y evidentemente, serán diferentes al cambiar las superficies en contacto. Tradicionalmente, el mecanismo de fricción en contacto deslizante se explica mediante el efecto de adhesión entre las rugosidades superficiales.

La **fórmula de Darcy-Weisbach** nos sirve para calcular las pérdidas por fricción de flujos en conductos a presión y se expresa de la siguiente forma:

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

Donde:

- h_f = Pérdida de fricción [m]
- f = Coeficiente de fricción [Adimensional]
- L = Longitud de la tubería [m]
- D = Diámetro de la tubería [m]
- V = Velocidad media del flujo [m/s]
- g = Aceleración de la gravedad [9.81 m/s²]

Etapa I.

El coeficiente de fricción se puede determinar experimentalmente de la manera siguiente: En una tubería, por donde circula un gasto dado, se conecta un manómetro diferencial a dos puntos separados a una distancia suficientemente grande, como se muestra en la Figura 2.1

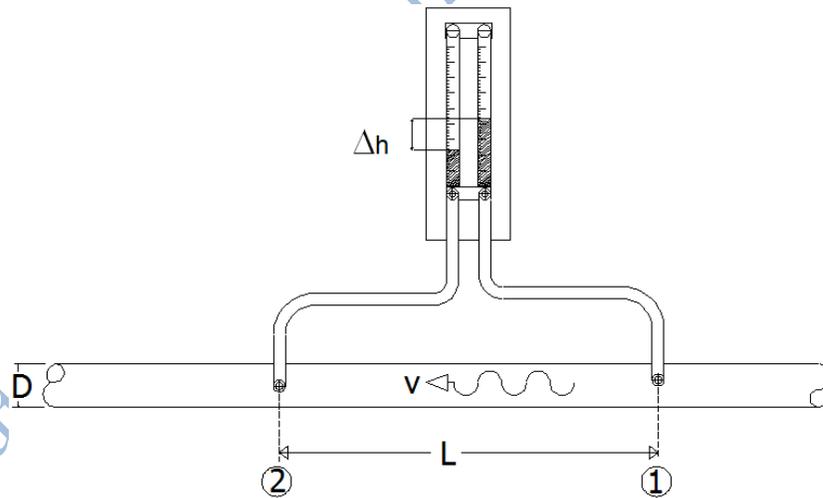


Figura 2.1 Manómetro diferencial instalado en la tubería.

Aplicando la ecuación de la energía entre los puntos 1 y 2, se tiene:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Donde:

z = Carga de posición [m.c.a.]

$\frac{P}{\gamma}$ = Carga de presión [m.c.a.]

$\frac{V^2}{2g}$ = Carga de velocidad [m.c.a.]

h_f = Perdida de energía por fricción [m.c.a.]

Evaluando las condiciones de frontera al ser un tubo en posición horizontal $z_1 = z_2$ y considerando que el caudal es constante y la geometría en ambas secciones es la misma $V_1 = V_2$, entonces esta ecuación se reduce a:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + h_f$$

El término del lado derecho de esta expresión se conoce como caída de presión y se puede determinar con un manómetro diferencial, como el mostrado en la Figura 2.1. Al resolver el manómetro, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{\Delta h(\gamma' - \gamma)}{\gamma}$$

Donde:

γ' = Peso específico del Mercurio [kg/m^3]

γ = Peso específico del Agua [kg/m^3]

Por lo que la pérdida de energía es la diferencia manométrica en términos del fluido y el líquido indicador:

$$h_f = \frac{\Delta h(\gamma' - \gamma)}{\gamma}$$

Al igualar esto con la expresión de Darcy-Weisbach tenemos:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} = \frac{\Delta h(\gamma' - \gamma)}{\gamma}$$

Por lo tanto, al despejar el coeficiente de fricción f , se obtiene la siguiente expresión:

$$f = \frac{\Delta h(\gamma' - \gamma)}{\frac{L V^2}{D 2g}}$$

Etapa 2.

La pérdida local de energía se presenta cuando un flujo es transportado y parte de ella es empleada para cambiar de dirección a las partículas, frenarlas o acelerarlas. El utilizar la energía para estos fines, disminuye la cantidad disponible de la misma.

Dado que la pérdida se produce durante el movimiento de las partículas, se puede expresar ésta como:

$$h_L = k \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_L = Pérdida local de energía [m]

k = Coeficiente que depende, según estudios empíricos, del tipo y forma de modificación al flujo [Adimensional]

V = Velocidad media del flujo [m/s]

g = Aceleración de la gravedad [9.81 m/s²]

En el caso particular de una ampliación (Figura 2.2) en el diámetro del conducto, conforme a la ecuación de conservación de la energía, en la sección 2 la carga de presión aumenta, la carga de velocidad disminuye y debe sumarse la pérdida de energía por cambio de dirección para igualar la carga hidráulica total de la sección 1.

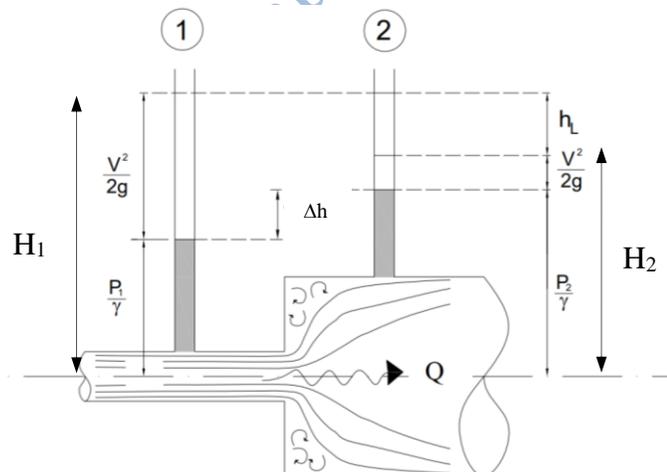


Figura 2.2 Ampliación brusca de diámetro.

De forma matemática, se tiene (la sección 2 es aguas arriba, la 1 aguas abajo).

$$H_1 = H_2 + h_L$$

Considerando nuevamente la ecuación de conservación de la energía, al sustituir y acomodar la ecuación, se obtiene lo siguiente:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_l$$

El primer elemento de la energía en ambos términos, no será considerado en el desarrollo dado que la pieza se encuentra colocada de forma horizontal, es decir $Z_1 = Z_2$ por lo tanto no incide en la transformación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_l$$

La ecuación de conservación de la energía se simplifica a:

$$h_l = \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

Al introducir la ecuación de cantidad de movimiento ($F = ma$) y haciendo el desarrollo de operaciones algebraicas necesarias se tiene:

$$h_l = \frac{V_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right]^2$$

Donde:

k = Coeficiente que depende, según estudios empíricos, del tipo y forma de modificación al flujo [Adimensional]

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right]^2$$

$V^2/2g$ = Carga de velocidad [m.c.a.]

D_1 = Diámetro de la tubería antes de la ampliación [m]

D_2 = Diámetro de la tubería después de la ampliación [m]

EQUIPO O DISPOSITIVO

Dispositivo de tuberías y piezas especiales

Características Tubo DURAPIPE			
$\varepsilon = 0.0000015 \text{ m}$			
Diámetro nominal (plg)	Espesor (e) (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)
1	2.4	33.4	28.6
½	1.6	21.3	18.1
¼	1.5	12.0	9.0

MATERIALES

- Probeta graduada de 500 ml
- Cronómetro

PROCEDIMIENTO

La práctica se desarrollará en dos etapas, acorde con la siguiente secuencia de pasos.

Etapa I.

1. Una vez encendida la mesa de visualización de pérdidas y conectados los piezómetros a la tubería de 1", se harán circular cuatro gastos diferentes regulándolos con la llave de paso, la medición de dichos gastos se hará en el rotámetro. Observación: el gasto medido con este dispositivo será en m³/h.
2. Una vez establecidos cada uno de los flujos se procede a la lectura de los niveles en los piezómetros para determinar la diferencia de niveles (Δh) anotándolas en la Tabla 2.1 (se tendrá un Δh por cada gasto).
3. Se llenan la Tabla 2.1 con los datos de diferentes gastos, utilizando la siguiente información: tubería Durapipe
 $L = 2.00 \text{ m}$ $D = 1''$ ($D_{\text{interior}} = 28.6 \text{ mm}$) $\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$
 $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ $\gamma' = 13560 \text{ kg/m}^3$ $v = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
4. Se cierran las válvulas de los niveles y se cambia a la tubería de 1/2" se hacen de nueva cuenta 4 mediciones, una vez terminado, se repiten los pasos previos en la tubería de 1/4".
5. Comparar el valor del factor de fricción calculado (f_c) con el factor de fricción obtenido del diagrama de Moody (f), en el caso de existir diferencias comentar las posibles causas.

Etapa 2.

1. Se hace circular un gasto determinado Q_1 en el sistema de tuberías, donde se tiene un conducto con una ampliación y una reducción bruscas, a diámetros $D_1 = 18.1 \text{ mm}$ y $D_2 = 9 \text{ mm}$. El gasto se determina en forma volumétrica mediante el rotámetro y se consigna en la tabla 2.2
2. Se mide la carga de presión en los piezómetros antes (sección 1) y después (sección 2) de la ampliación brusca (ver Figura 2.2), que corresponderán a las cargas de presión p_1/γ y p_2/γ , anotando sus valores en la Tabla 2.2

3. Con el gasto determinado en el paso 1 y los diámetros D_1 y D_2 , se calculan las velocidades V_1 y V_2 , utilizando la ecuación de continuidad ($Q = V A$) y se consignan en la Tabla 2.2
4. Se calcula la pérdida de energía (h_L) con la ecuación definida en el encuadre teórico y se anota en la Tabla 2.2
5. Se calcula el coeficiente k para una ampliación con la ecuación definida en el encuadre teórico y se anota en la Tabla 2.2
6. Se varía al menos 5 veces el gasto que circula por la tubería y para cada una de los cuales, se debe tabular los valores de la ecuación de Bernoulli, obteniendo los valores correspondientes a la pérdida h_L y k .
7. Finalmente, se debe obtener la k que reportan los textos de la materia y compararla con los resultados obtenidos.

REGISTRO DE MEDICIONES

ETAPA 1

Tabla 2.1

No.	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	L (m)	ϕ (plg)	Q (rotámetro) (m ³ /h) (m ³ /s)		V (m/s)	Δh (m)	f_c (Adimensional)	h_f (m)	Re (adimensional)	f_{moody} (Adimensional)
1		1								
2		1								
3		1								
4		1								
5		1/2								
6		1/2								
7		1/2								
8		1/2								
9		1/4								
10		1/4								
11		1/4								
12		1/4								

REGISTRO DE MEDICIONES

ETAPA 2

Tabla 2.2 Ampliación y reducción brusca

No.	(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	Q (rotámetro)		$\frac{P_1}{\gamma}$	$\frac{P_2}{\gamma}$	V_1	V_2	h_L	k	k_{prom}	k
	(m ³ /h)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(adimensional)	(adimensional)	(literatura)
1										
2										
3										
4										
5										

ACTIVIDADES

ETAPA 1

- Graficar en papel semi-logarítmico.
 - Pérdida de energía contra velocidad (h_f vs V).
 - Pérdida de energía contra Gasto (h_f vs Q).
- Contestar lo siguiente:
 - ¿Cómo varía h_f con respecto a V ?
 - ¿Cómo varía h_f en función de Q ?

ETAPA 2

- Repetir el desarrollo para pérdida local para una reducción y explicar por qué son diferentes los valores de k .
- Contestar lo siguiente:
 - ¿Por qué para calcular las pérdidas de energía se considera la velocidad después de la ampliación y no la velocidad antes de ésta?
 - ¿Conforme a la literatura especializada en qué dispositivo se tiene el mayor valor de k ?
 - ¿En qué dispositivo(s) es necesario conocer las velocidades antes y después, para poder calcular la pérdida de energía?

INSTRUCCIONES

1. Mediante las mediciones registradas en las Tablas 2.1 y 2.2 determine los valores del factor de fricción, la pérdida de fricción, el coeficiente de la ampliación.
2. Desarrolla las actividades señaladas en cada una de las etapas.
3. Elabora un reporte gráfico, considerando fotografías de las etapas de la práctica.

Laboratorio de Hidraulica Ciclo 24_25 SS