Articulo de Divulgación C. y Tecnológica

PRINCIPIOS HIDROSTATICOS DE LA CAIDA DE PRESIÓN EN TUBERIAS

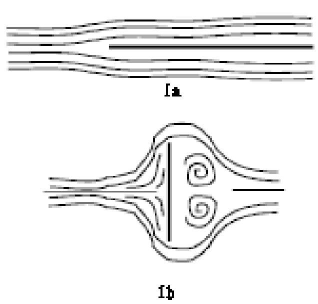
Por Ing. José Cruz Toledo Matus

RESUMEN

Se Analizan los factores que intervienen en la caída de presión de fluidos transportados a través de tuberías. Y se propone un modelo matemático que permita simplificar el cálculo de la caída de presión para gases que fluyen a través de tubos de diferentes diámetros colocados en serie.

INTRODUCCIÓN

Un aspecto muy importante en flujo de fluidos es minimizar las pérdidas de energía debidas al efecto de fricción. Cuando un fluido entra en contacto con un sólido, se manifiestan los efectos de fricción que pueden ser de dos tipos, que se ilustran en las figuras 1a y 1b.



En el primer caso se tiene una placa delgada colocada de forma paralela a la dirección del fluido. La rugosidad de la superficie sólida se opone al flujo, provocando pérdidas de energía debidas a la fricción por superficie (*skin friction*).
En el segundo caso la placa se encuentra colocada de forma perpendicular a la dirección del flujo, lo cual provoca que se formen dos vórtices en movimiento circular constante. Como resultado de esto se pierde una gran cantidad de energía debida a la fricción por forma (*form friction*).
Para calcular el factor de fricción para gases, existen varias ecuaciones, desde la más común y general que es la de Colebrook y White, hasta algunas muy específicas como la de Panhandle para gas natural (metano), Pitglass para casos en los que la caída de presión es muy pequeña, Babcock para vapor de agua y Weymouth cuando los gases se encuentran a altas presiones y el flujo es isotérmico.
En muchas ocasiones en la práctica de la ingeniería química existen casos en los que es conveniente utilizar ecuaciones simplificadas que relacionen las variables más importantes en determinado caso.
El objetivo de este artículo es mostrar cómo encontrar una ecuación de este tipo.

TEORÍA

La fricción en una tubería recta y larga es solamente fricción superficial (*skin friction*). La ecuación general para el cálculo de la caída de presión se conoce como ecuación de Darcy y Weissback y se expresa como:

$$P = \frac{Hfs * \rho}{144} \qquad \ldots (1)$$

La pérdida de energía por fricción, *Hfs*, se puede expresar de cualquiera de las siguientes formas:

$$Hfs = \frac{4fLv^2}{2g_c D} = \frac{4fLG^2}{2g_c D\rho} = \frac{32fLW^2}{\pi^2\rho^2 g_c D^5} = \frac{32fLg^2}{\pi^2 g_c D^5} \qquad \ldots (2)$$

donde:
D = Diámetro interno de la tubería
f = Factor de fricción
G = Masa velocidad
g = Aceleración de la gravedad
gc = Constante gravitacional
Hfs = Pérdida de energía por fricción
L = Longitud de la tubería
v = Velocidad
W = Gasto másico
ΔP = Caída de presión
ρ = Densidad

Empleando la tercera igualdad de la ecuación de pérdida de energía por fricción (ecuación 2) en la ecuación de la caída de presión (ecuación 1) obtenemos:

$$P = \frac{32 fLW^2}{144\pi^2 \rho \, g_c D^5} \qquad \text{... (3)}$$

Para el sistema en estudio (descrito en la figura 2), se pueden hacer las siguientes consideraciones:
a) Las longitudes de ambas secciones son iguales
b) El gasto másico es el mismo
c) La densidad es constante.
Por lo tanto, si se desea relacionar la caída de presión con el diámetro de las tuberías 1 y 2, se pueden dividir ambas ecuaciones obteniendo:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{f_1 D_2^5}{f_2 D_1^5} = \frac{f_1}{f_2}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \qquad \text{... (4}$$

Sabemos que para un flujo laminar (Re < 2100) el factor de fricción se define como:

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}} \qquad \text{... (5)}$$

donde:
Re = número de Reynolds
Si se considera que la viscosidad permanece constante:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2} \qquad \text{... (6)}$$

Sustituyendo (6) en (4) se tiene que:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \qquad \text{... (7)}$$

Si el flujo es turbulento, se usa la ecuación de Blasius en tuberías lisas (rugosidad relativa = 0). Haciendo un análisis similar se llega a:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{4.75} \qquad \text{... (8)}$$

Para fluidos compresibles se utilizan las ecuaciones de fricción de Weymouth o Panhandle, cuyos exponentes resultan ser 5.333 y 4.854. Es sumamente difícil tener flujo laminar en una tubería por la que fluye un gas, y las ecuaciones para factor de fricción en flujo turbulento son demasiado ideales. Sin embargo, se puede considerar factible obtener un exponente que sea adecuado para el sistema en estudio (figura 2) empleando la relación:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{C} \qquad \text{... (9)}$$

Aplicando logaritmos y despejando en coeficiente *C* obtenemos:

$$C = \frac{\ln\left(\Delta P_1 / \Delta P_2\right)}{\ln\left(D_2 / D_1\right)} \qquad \text{... (10)}$$

Debiendo ser *C* aproximadamente igual si se tienen diversas mediciones.

EQUIPO
El equipo tiene una alimentación de aire de la red a dos tubos de vidrio, el primero de 5/16” y el segundo de 7/34” de diámetro. Cada tubo está conectado a un manómetro diferencial que emplea

agua como fluido manométrico (véase la figura 2).

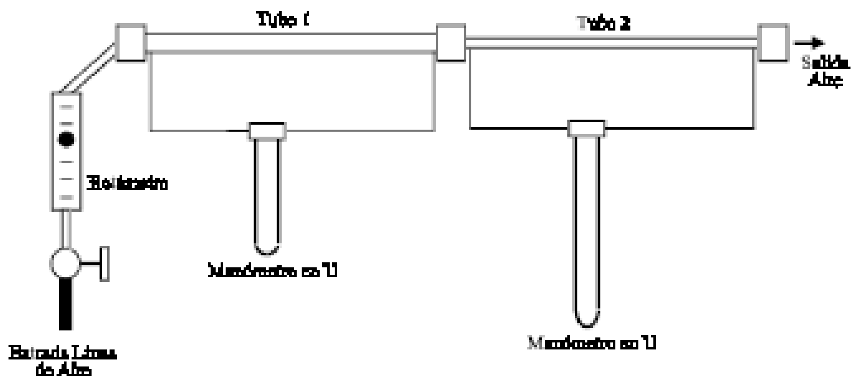


Figura 2.

PROCEDIMIENTO

Abrir lentamente la válvula de entrada de aire y regular un flujo, tomar las lecturas de la diferencia de altura en los manómetros. Repetir el procedimiento para al menos cinco diferentes flujos de aire.

BIBLIOGRAFÍA

1. Engineering Division CRANE Co. Flow of fluids through valves fittings and pipe. Crane Co. Chicago, Illinois. 1957.
2. W.L. Mc Cabe & J.C. Smith. Unit operations of Chemical Engineering. Mc Graw Hill Book
Co. New York USA. 1956.