

Laboratorio 1

Pérdida de carga en tuberías

Introducción Teórica

A partir del Teorema de Conservación de la Energía se obtiene la ecuación general de Bernoulli en tuberías que expresa la variación de la energía entre dos secciones como

$$B_1 = B_2 + \Lambda_f + \Lambda_s + \Delta B_T - \Delta B_B, \quad (1.1)$$

donde

$$B_1 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \quad (1.2)$$

es el Bernoulli de la sección (1) aguas arriba de (2). En la expresión anterior v es la velocidad del flujo, P es la presión y Z es la cota sobre el datum de referencia. Se puede comprobar que cada uno de los términos en (1.1) tiene unidades de longitud. Esto motiva la denominación típica de altura de velocidad ($v^2/2g$) y altura de presión (P/γ). Λ_f representa las pérdidas friccionales, Λ_s las pérdidas singulares, ΔB_T es la pérdida energía por turbinas y ΔB_B la inyección de energía por bombas. Esta guía abarca en exclusiva las pérdidas de energía singulares y friccionales en tuberías.

Las pérdidas singulares son aquellas que se asocian a singularidades o piezas específicas en un sistema de tuberías. En general estas producen modificaciones bruscas en el sentido y/o velocidad del flujo. La manera de cuantificar las pérdidas singulares es principalmente empírica. Estas se pueden estimar como el producto entre la altura de velocidad y una constante de proporcionalidad conocida como coeficiente de pérdida singular k_s , cuyo valor depende de las condiciones físicas de la singularidad.

$$\Lambda_s = k_s \frac{v^2}{2g} \quad (1.3)$$

Las pérdidas friccionales se originan por la existencia de un esfuerzo de corte entre el fluido y las paredes de la tubería, el cual se opone al movimiento. Para condiciones constantes a lo largo de la tubería es posible definir una pérdida por unidad de largo o pendiente del plano de energía J que permite cuantificar la pérdida friccional existente entre dos puntos de una tubería separados por

una distancia L como $\Lambda_f = JL$.

Para determinar la pendiente del plano de energía existen varias metodologías siendo una de las más utilizadas la de Darcy-Weisbach, donde J es proporcional a la altura de velocidad

$$J = \frac{f v^2}{D 2g} \quad (1.4)$$

En la expresión anterior D es el diámetro de la tubería y f el factor de fricción. Este último depende en particular de dos números adimensionales: el número de Reynolds y la aspereza relativa de la tubería ϵ/D , siendo ϵ la aspereza que representa la altura media de las irregularidades de la pared de la tubería. Al momento de determinar el factor de fricción se distinguen dos regímenes de escurrimiento, laminar y turbulento. Para el régimen laminar la fricción depende solamente del número de Reynolds y se puede calcular como

$$f = \frac{64}{Re}, \quad (1.5)$$

donde $Re = vD/\nu$ es el número de Reynolds y ν es la viscosidad cinemática. Para el caso turbulento se distinguen tres sub regímenes: el primero se define como tubería con *pared hidrodinámicamente rugosa* y se obtiene para valores muy altos del número de Reynolds. Cuando la rugosidad no es de consideración, se tiene el segundo sub régimen y se denomina tubería con *pared hidrodinámicamente lisa*. Finalmente, se tiene el sub régimen de *transición* entre los dos tipos de pared anteriores. Para determinar el factor de fricción en estos casos se debe resolver iterativamente la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(3.7 \frac{\epsilon}{D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (1.6)$$

Notar que para los sub regímenes de pared hidrodinámicamente lisa y rugosa, basta con despreciar el término que corresponda al interior de la función logaritmo en (1.6).

Instalación Experimental

La Figura (1.1) muestra el equipo disponible para el estudio de las pérdidas de carga en tuberías. Este posee una tubería de 17 [mm] de diámetro con cuatro curvas de 90°, (4), (5), (6), (7). Las dos primeras son codos, y las otras son curvas con radios de giro 40 y 100 [mm], respectivamente. Adicionalmente, existe un estrechamiento (8) a un diámetro de 9.6 [mm] y una expansión (9) de nuevo al diámetro de 17 [mm]. Finalmente, existe una válvula (10).

A lo largo del sistema se encuentran ubicados puntos donde es posible conectarse mediante mangueras a piezómetros para medir las pérdidas de energía (por ejemplo, 13 y 14). La lectura de los piezómetros se realiza en el panel (11), o bien se puede medir directamente la presión relativa de un punto dado del sistema en el manómetro (12).

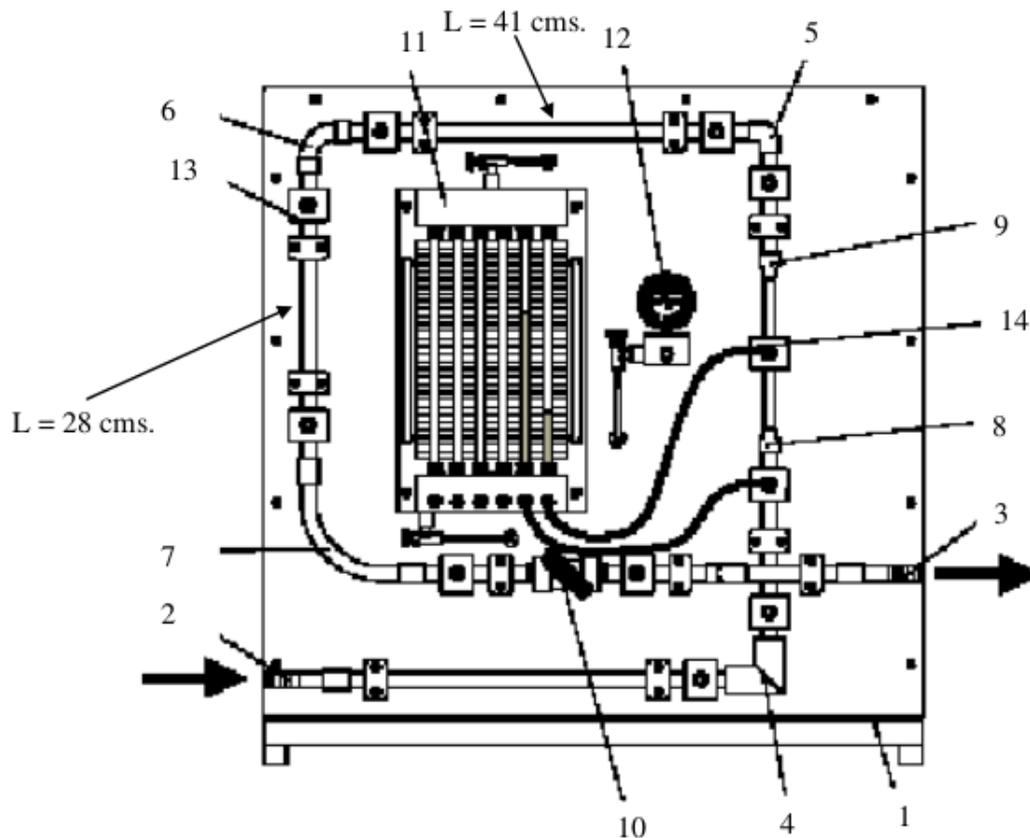


Figura 1.1: Instalación experimental.

Puntos a Desarrollar

Para tres caudales distintos:

1. Graficar las líneas de energía y cota piezométrica a lo largo de la tubería.
2. Determinar el coeficiente de fricción de la tubería principal considerando los errores asociados y clasificar el régimen de escurrimiento (laminar o turbulento; liso, rugoso o transición). Graficar los resultados en Diagrama de Moody y discutir los resultados.
3. Determinar los coeficientes de pérdida singular considerando los errores asociados para las singularidades del sistema. Analizar en particular dos de estas pérdidas y su dependencia con la geometría (en el caso de las curvas) y el número de Reynolds. Comparar con los valores entregados en la literatura.