

Hidráulica Básica [2015961]

Tema # 2: Análisis de sistemas de tuberías

Luis Alejandro Morales (Ph.D)
Profesor Asistente

Universidad Nacional de Colombia-Bogotá
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Contents

1	Sistemas de tuberías simples	1
1.1	Tipos de problema en sistemas de tuberías	1
2	Sistemas de tuberías en serie	4
3	Sistemas de tuberías en paralelo	4
4	Sistemas de tuberías ramificadas	4
5	Redes de distribución: Método de análisis de Cross	4
6	Redes de distribución: Método de análisis lineal	4

1 Sistemas de tuberías simples

Una tubería simple es aquella que tiene un diámetro y esta hecha de un solo material a lo largo de su longitud. La energía que mueve el flujo dentro de la tubería es gracias a la acción de la gravedad (tanque a la entrada) o a una máquina (sistema de bombeo a la entrada). Dichas tuberías pueden tener cualquier tipo de accesorio a lo largo de su longitud lo que implica unas pérdidas menores. Las ecuaciones de Prandtl, Von-Karman y Darcy-Weisbach vistas en la Unidad 1, son utilizadas para el diseño de tuberías simples. Note que existe cierta dificultad para el diseño teniendo en cuenta que la ecuación de Colebrook-White para calcular el coeficiente de rugosidad f es implícita y requiere un proceso iterativo para su solución. Los algoritmos que aquí se discutirán, constituyen las bases para el análisis y diseño de tuberías más complejos.

1.1 Tipos de problema en sistemas de tuberías

Los problemas en sistemas de tuberías se clasifican de acuerdo con las variables desconocidas. Las variables involucradas en estos problemas se pueden clasificar como:

- *Características la tubería:* Diámetro (D), longitud (L), rugosidad absoluta (ε).
- *Propiedades del fluido:* Densidad (ρ) y viscosidad dinámica (μ).
- *Variables relacionadas con el esquema del sistema:* Coeficientes de pérdidas menores (K) de todos los accesorios en el sistema.
- *Variables relacionadas con la energía impulsora del sistema:* Cabeza de energía (H) entre el embalse de entrada y la salida del sistema, o potencia de la bomba (P).
- *Propiedades del flujo:* Caudal (Q) y velocidad (V) del flujo.

- *Otras variables:* Aceleración de la gravedad (g).

De acuerdo con las variables involucradas en sistemas de tuberías, existen tres tipos de problemas:

1. **Comprobación de diseño:** En este tipo de problemas la tubería existe y se conoce su longitud, su diámetro, su rugosidad absoluta (material), al igual que todos los accesorios y sus coeficiente de pérdidas menores. También se conoce la energía impulsora, ya sea una cabeza de energía (gravitacional por diferencia de niveles) o una energía mecánica (suministrada por una bomba). Las propiedades del fluido como la densidad y la viscosidad absoluta son también conocidas. La incógnita es entonces el caudal o la velocidad del flujo en el sistema.

Variables conocidas	Incógnita
D, ε, H (o P), $\sum K, \rho, \mu, g, L$	Q (o V)

2. **Cálculo de la potencia requerida:** En este tipo de problemas, el sistema existe por lo que se conocen su longitud, su diámetro, su rugosidad absoluta (material), al igual que todos los accesorios y sus coeficiente de pérdidas menores. Las propiedades del fluido como la densidad y la viscosidad dinámica así como el caudal (o velocidad) que fluye por el sistema son también conocidas. La finalidad es determinar la potencia, ya sea mecánica o gravitacional, requerida para mover cierto caudal a través de la tubería dada.

Variables conocidas	Incógnita
D, ε, Q (o V), $\sum K, \rho, \mu, g, L$	P (o H)

3. **Comprobación de diseño:** En este tipo de problemas se conoce el caudal o la velocidad de flujo y la potencia disponible (mecánica o gravitacional), algunas características de la tubería como la longitud, los accesorios y sus coeficientes de pérdida y las propiedades del fluido como la densidad y la viscosidad dinámica. Se desconoce el diámetro necesario para permitir el paso de el caudal demandado. En cuanto a la rugosidad absoluta, se debe cambiar el tipo de tubería (rugosidad absoluta) con el fin de obtener la mejor opción.

Variables conocidas	Incógnita
ε, Q (o V), P (o H), $\sum K, \rho, \mu, g, L$	D

Ecuaciones para la solución de problemas

Si se tiene el sistema de la figura ??, la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 es:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + h_f + \sum h_e \quad (1)$$

donde H es la altura de la superficie de agua del tanque o la energía total en el punto 1. Teniendo en cuenta que la tubería del sistema en la figura ?? descarga a la atmosfera, la velocidad así como la presión se vuelven cero ($\frac{V_2^2}{2g} = 0$, $\frac{p_2}{\gamma} = 0$). Note que la velocidad no necesariamente es cero cuando descarga a la atmósfera; se supone entonces que esta es cero allí. Como consecuencia de esto, se asume que existen pérdidas menores en la salida de la tubería. La ecuación 1 queda entonces como:

$$H = z_2 + h_f + \sum h_e \quad (2)$$

Despejando de la ecuación 2, las pérdidas por fricción se pueden calcular como:

$$h_f = H - z_2 - \sum K \frac{V_2^2}{2g} \quad (3)$$

Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, despejando el factor de fricción se tiene que:

$$f = \frac{h_f D 2g}{L V^2} \quad (4)$$

Sacando raíz cuadrada e invirtiendo los términos a ambos lados se tiene:

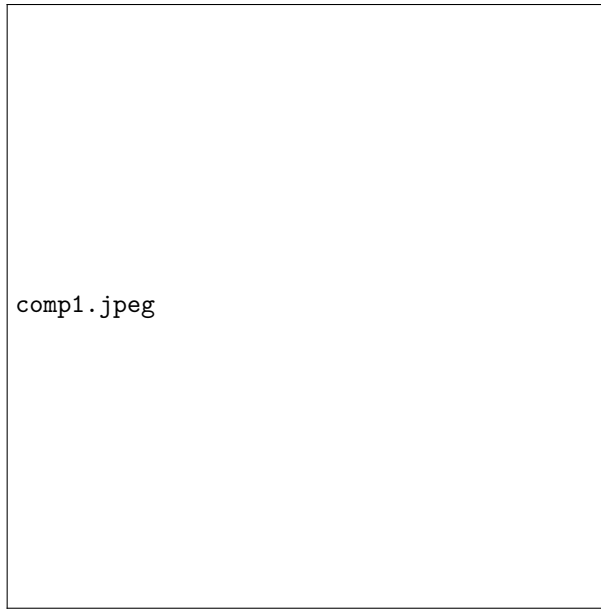


Figure 1: Tubería simple alimentada por un tanque de nivel constante y con descarga a la atmosfera (tomado de [?]).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{V\sqrt{L}}{\sqrt{h_f D 2g}} \quad (5)$$

Igualando a la ecuación de Colebrook y White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.52}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (6)$$

se tiene:

$$\frac{V\sqrt{L}}{\sqrt{h_f D 2g}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.52}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (7)$$

Reemplazando $Re = \frac{VD}{\nu}$ en la ecuación 7 y despejando la velocidad, se tiene:

$$V = \frac{-2\sqrt{2gDh_f}}{\sqrt{L}} \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.52\nu\sqrt{L}}{D\sqrt{2gDh_f}} \right) \quad (8)$$

La ecuación 8 es explícita para la velocidad y es utilizado para la solución de los tres tipos de problemas mencionados hasta el momento.

Comprobación de diseño

En este tipo de problemas, la suposición más importante es que $h_f = H$, es decir que la energía disponible en el sistema se pierde debido a la fricción.

Cálculo de la potencia requerida

Diseño de la tubería

- 2 Sistemas de tuberías en serie
- 3 Sistemas de tuberías en paralelo
- 4 Sistemas de tuberías ramificadas
- 5 Redes de distribución: Método de análisis de Cross
- 6 Redes de distribución: Método de análisis lineal

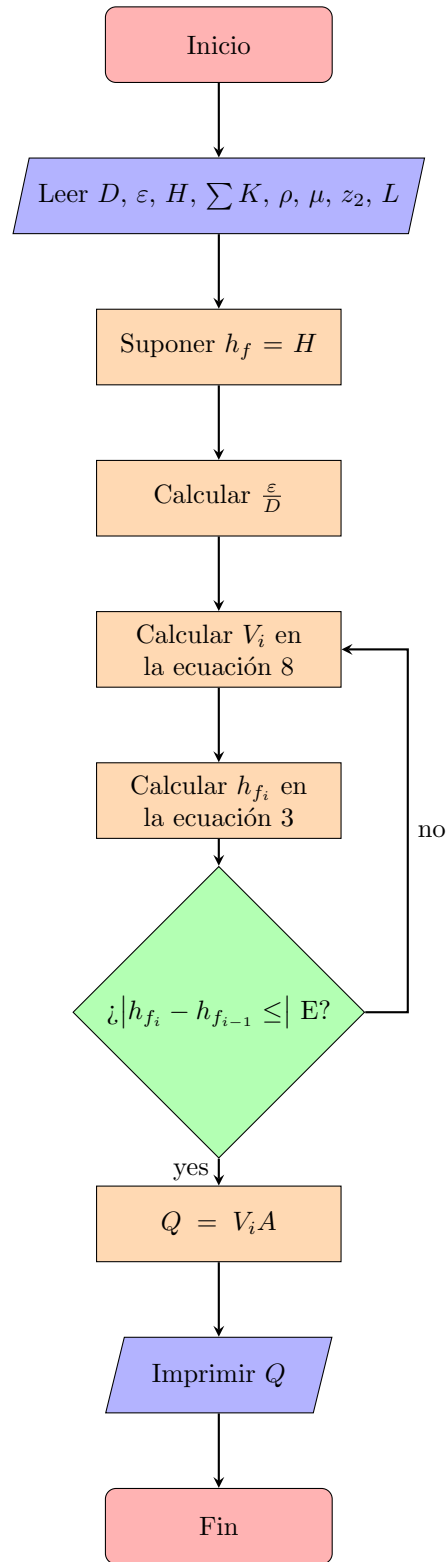


Figure 2: Diagrama de flujo para comprobación de diseño (adaptado de [?])