

Tema IV: PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FLUJO DE FLUIDOS

Esta obra está bajo una licencia Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 3.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/>.

Tema IV: Principios básicos del flujo de fluidos

OBJETIVOS

Al concluir el capítulo el alumno:

- Conocerá y entenderá mejor el flujo de fluidos...
- ...y las pérdidas de energía por rozamiento
- Podrá plantear el balance de energía (Ec. Bernoulli) en una instalaciones hidráulica sencilla.
- Podrá calcular la potencia necesaria para el flujo.
- Conocerá medidores de caudal

Tema IV: Principios básicos del flujo de fluidos

- En toda planta industrial de producción de alimentos es necesario el **manejo, transporte y almacenamiento** de diferentes líquidos y gases.
- El desplazamiento de líquidos se denomina flujo de fluidos y conlleva un **coste energético** (el fluido pierde energía durante el desplazamiento) y, por tanto, **económico**.
- Las instalaciones se **diseñan** teniendo en cuenta el coste de las **conducciones** y del equipo de **impulsión**.

4.1 Viscosidad (μ)

➤ Define la **resistencia** del fluido **al movimiento** existente entre las capas internas del fluido. (situación similar a una baraja de cartas)

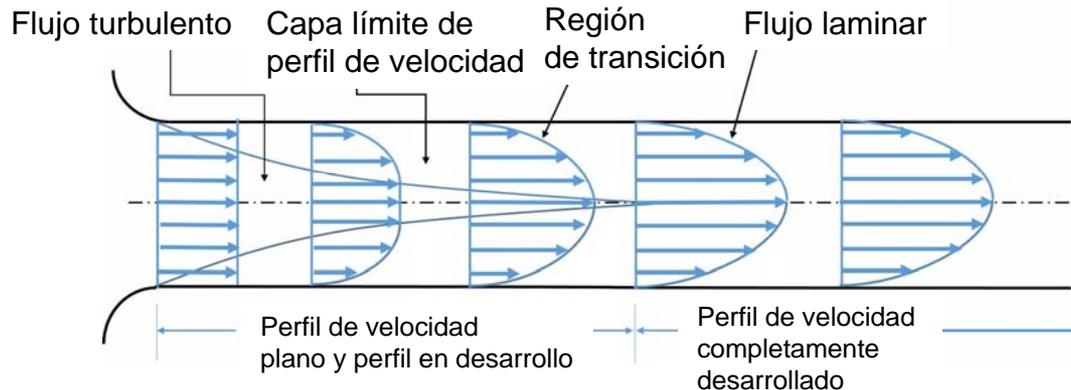
	μ
Sistema Internacional	[Kg/(m.s)]=[Pa.s]
Sistema C.G.S.	[g/(cm.s)]=[Poise]
Sistema Inglés	[lb/(pie.s)]

➤ La viscosidad se expresa también en centipoises (0,01 Poise). La viscosidad del **agua** a 20°C es de **1 centipoise (cP)** mientras que la de la **miel** es **8880 centipoise** (densidad 1,4 g/cm³).

Puede consultar videos relacionados en el apartado Otros Recursos.

4.2 Flujo laminar y flujo turbulento

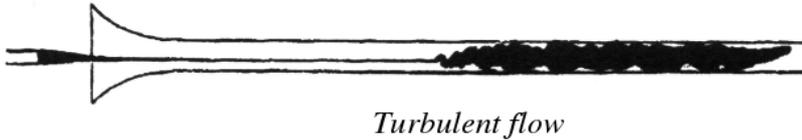
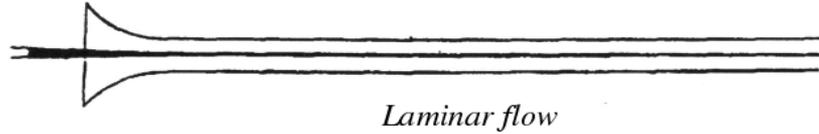
➤ En **régimen laminar**, las partículas de fluido circulan en trayectorias paralelas. Por el contrario, en **régimen turbulento**, las partículas y porciones de fluido se entremezclan al azar, desplazándose en todas direcciones.



Adaptación de imagen original de Devender Kumar5908 (publicada en Wikimedia Commons con licencia CC BY-SA 3.0)

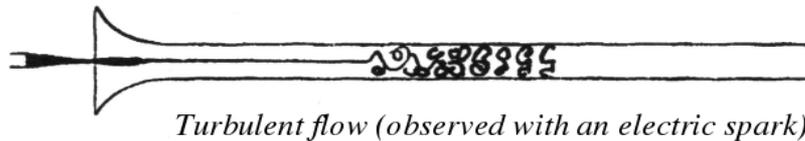
➤ El **experimento de Reynolds** (1883) puso de manifiesto la existencia de estos dos regímenes. El experimento consistió en inyectar una vena del mismo líquido coloreado, observando la permanencia de dicha vena a lo largo de la conducción.

4.3 Experimento de Reynolds



$$Re = \frac{VD\rho}{\mu}$$

V, velocidad media del fluido, m s⁻¹
D, diámetro de la conducción, m
 ρ , densidad, kg m⁻³
 μ , viscosidad, kg m⁻¹ s⁻¹



[Imagen de Osborne Reynolds \(publicada en Wikimedia Commons con licencia CC-0\)](#)

Reynolds concluyó que para:

Re < 2100

flujo laminar

Re > 10000

flujo turbulento

2100 < Re < 10000

región de transición

Puede consultar videos relacionados en el apartado [Otros Recursos](#).

4.4 Ecuaciones básicas

- Siempre existirá **pérdida de energía (o carga)**.
- **Necesidad** de mecanismo externo de **impulsión**.
- **Cálculo** de la pérdida de energía y potencia necesaria: ec. básicas o fundamentales.
- **Ecuaciones fundamentales:**

Balance de materia.

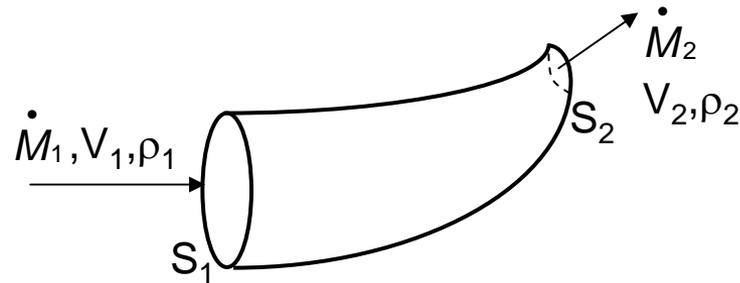
Balance de energía.

Ley de Newton (o de la viscosidad).

4.4 Ecuaciones básicas

4.4.1 Balance de materia

Balance de materia entre sección de **entrada** (S1) y **salida** (S2). Para un fluido que circula en régimen **estacionario**, por interior de una **conducción**.



$$\dot{M}_1 = \dot{M}_2 \longrightarrow \rho_1 V_1 S_1 = \rho_2 V_2 S_2 \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

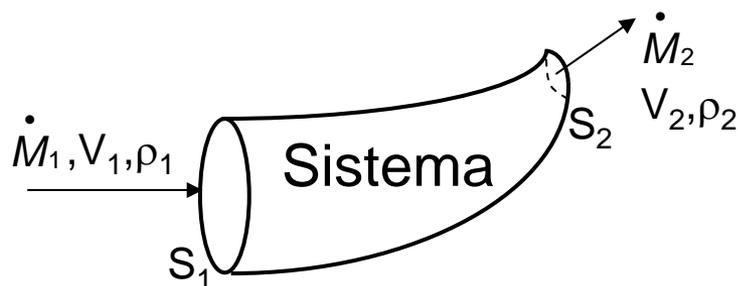
Asumiendo densidad constante, $\rho_1 = \rho_2$

$$V_1 S_1 = V_2 S_2 \longrightarrow Q_1 = Q_2 \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

4.4.2 Balance de energía

Aplicando el principio de conservación de la energía:

velocidad Entrada por flujo másico	-	velocidad Salida por flujo másico	\pm	velocidad Entrada/ Salida de calor	\pm	velocidad Entrada/ Salida trabajo realizado	=	velocidad neta Acumulación en el sistema
--	---	---	-------	--	-------	--	---	---



○ simplemente:

$$[E] - [S] \pm [Q] \pm [W] = [A] \quad \left[\frac{J}{s} = \text{wat} \right] \quad \text{ó} \quad \left[\frac{J}{Kg} \right]$$

Formas de energía

Ciertos **tipos de energía** están asociados con la **masa que fluye**, otros tipos, como el **calor** (Q) y el **trabajo** (W) son sólo formas de transmisión de energía.

Entre los tipos de energía asociadas con la **masa que fluye** los mas frecuentemente utilizados son: (por unidad de masa)

$$\frac{v^2}{2} = \text{carga } \mathbf{cinética} \text{ (relativa a la velocidad del fluido)} \quad \left[\frac{E}{M} \right] = \left[\frac{J}{kg} \right]$$

$$gz = \text{carga } \mathbf{potencial} \text{ (necesaria para vencer un cambio de altura)} \quad \left[\frac{E}{M} \right] = \left[\frac{J}{kg} \right]$$

$$\frac{P}{\rho} = \text{carga de } \mathbf{presión} \text{ (relativa a los cambios de presión de una posición a otra)} \quad \left[\frac{E}{M} \right] = \left[\frac{J}{kg} \right]$$

$$u = c_v T = \text{energía } \mathbf{interna} \text{ (rel. a la temperatura del fluido)} \quad \left[\frac{E}{M} \right] = \left[\frac{J}{kg} \right]$$

4.4.2 Balance de energía total

$$[E] - [S] \pm [Q] \pm [W] = [A]$$

$$\dot{M}_1 \left(\frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \frac{P_1}{\rho} + u_1 \right) - \dot{M}_2 \left(\frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \frac{P_2}{\rho} + u_2 \right) \pm Q \pm W = \frac{d(ME)}{dt}$$

$$\left[\frac{E}{T} \right] = \left[\frac{J}{s} \right] \quad (1)$$

En ocasiones, esta ecuación general puede **simplificarse**. Algunos de sus **términos se anulan**.

La aplicación de la ecuación general a un **flujo** se denomina ecuación de **Bernouilli**.

4.4.2 Balance de energía total

Sistema abierto, en régimen **estacionario**, **no recibe calor** del exterior e **isotermo** ($u=\text{constante}$)

$$\left(\frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \frac{P_1}{\rho} \right) - \left(\frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \frac{P_2}{\rho} \right) \pm Q \pm W = 0 \quad \left[\frac{E}{M} \right] = \left[\frac{J}{kg} \right] \quad (2)$$

Ingeniería
Química

Prof. Unai Iriarte

Reordenando, y dividiendo los términos por la aceleración de la gravedad:

$$\pm \frac{Q}{g} \pm \frac{W}{g} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad \left[\frac{J}{kg \cdot m \cdot s^{-2}} \right] = [m] \quad (3)$$

Considerando **Q** como calor generado por el fluido (por fricción) y que se **pierde al entorno** (negativo, $-h_f$) y **W** como trabajo **realizado sobre el sistema** (positivo, h_p):

$$-h_f + h_p = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad [m] \quad (4a)$$

4.4.2 Balance de energía total

- **Ec. de Bernoulli:** es la aplicación del balance de energía a sistemas en los que existe **flujo** de un **fluido incompresible**, en régimen **estacionario**, **adiabático** e **isotermo**.

$$-h_f + h_p = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad [m] \quad (4a)$$

Reordenando obtenemos:

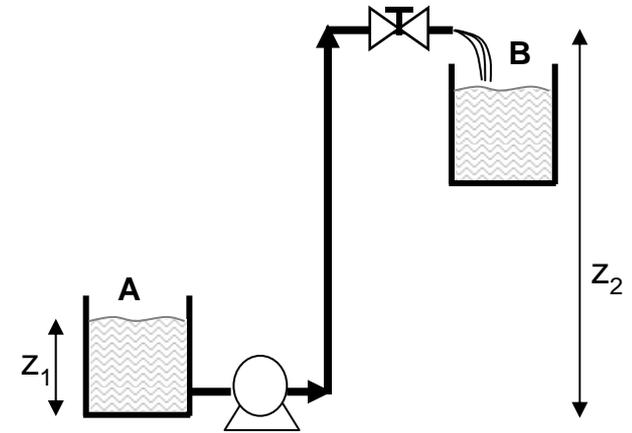
$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_p = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + h_f \quad [m] \quad (4b)$$

- **Elegir convenientemente** las **secciones 1 y 2** del sistema, pues en muchos casos algunos términos pueden anularse.

Ejemplo 4.1: transporte de líquido entre depósitos

Un líquido es transportado a través de una conducción desde el depósito A hasta el depósito B.

a) **Analice** los distintos **estados energéticos** del líquido.



Esquema de un sistema de flujo para alimentos líquidos.

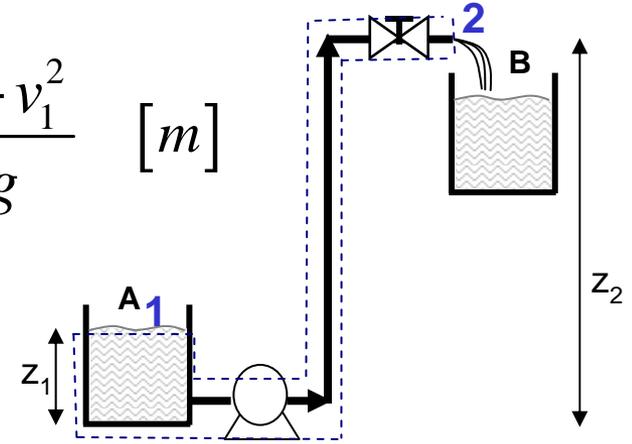
Se cumplen condiciones para aplicar la **Ec. Bernoulli**

$$-h_f + h_p = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad [m] \quad (4a)$$

Selección de la sección 1 y 2

Ejemplo 4.1: transporte de líquido entre depósitos

$$-h_f + h_p = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad [m]$$



La **energía potencial** es la E necesaria para vencer un cambio de altura durante el transporte de líquido de 1 a 2.

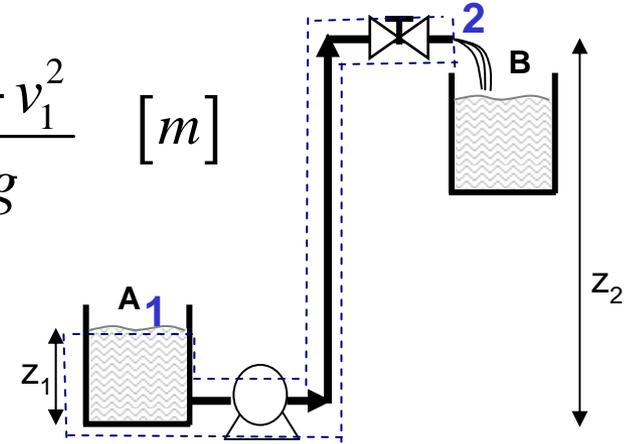
$$EP_2 - EP_1 = (z_2 - z_1), \left[\frac{\text{energía}}{\text{peso}} \right] = \left[\frac{J}{N} \right] = [m]$$

La **presión** puede variar de una posición a otra. Tales cambios pueden incluirse en las necesidades de energía. En este caso, ambas secciones tienen la **misma presión**.

$$Epe_2 - Epe_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} = 0 \quad [m]$$

Ejemplo 4.1: transporte de líquido entre depósitos

$$-h_f + h_p = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad [m]$$



El cambio en las velocidades del fluido genera un cambio de la **energía cinética** del mismo. La diferencia de energía cinética entre la sección 1 y la 2 es:

$$EC_2 - EC_1 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}, \quad [m]$$

Ecuación **continuidad**:

$$Q = V_1 S_1 = V_2 S_2 \quad V_2 = \frac{Q}{S_2}$$

Reordenando la ec. de Bernoulli obtenemos:

$$h_p = (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) + h_f \quad [m]$$

Ingeniería
Química

Prof. Unai Iriarte



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Por tanto, en este caso, la energía que aporta la bomba:

...aumenta la energía potencial

... aumenta la energía cinética

...se pierde por fricción

4.5 Pérdidas de Energía por rozamiento

- Las **fuerzas viscosas** son importantes en el flujo de un líquido. Estas fuerzas se deben al movimiento de una capa de líquido sobre otra.
- La **perdida de energía** de un liquido que circula a través de una conducción cerrada provoca una **perdida de presión** del flujo.
- Las **pérdidas** de energía (de presión) debidas a las fuerzas de fricción varían con las condiciones existentes en la tubería:

velocidad del fluido

propiedades del fluido

geometría del sistema/conducción

propiedades **material** conducción

número
de **Reynolds**

Rugosidad
relativa

La ecuación de **Fanning** se utiliza para calcular la caída de presión en tuberías.

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho g} = 2f \frac{\bar{u}^2 L}{gD} \quad [m] \quad \text{ò} \quad h_f = \frac{\Delta p}{\rho} = 2f \frac{\bar{u}^2 L}{D} \quad [m^2 s^{-2}]$$

Ingeniería Química

Prof. Unai Iriarte

- h_f pérdida de energía por fricción
- f factor de fricción (depende de: Re y rugosidad relativa)
- \bar{u} velocidad media del fluido en la tubería
- D diámetro de la tubería
- L longitud de la tubería

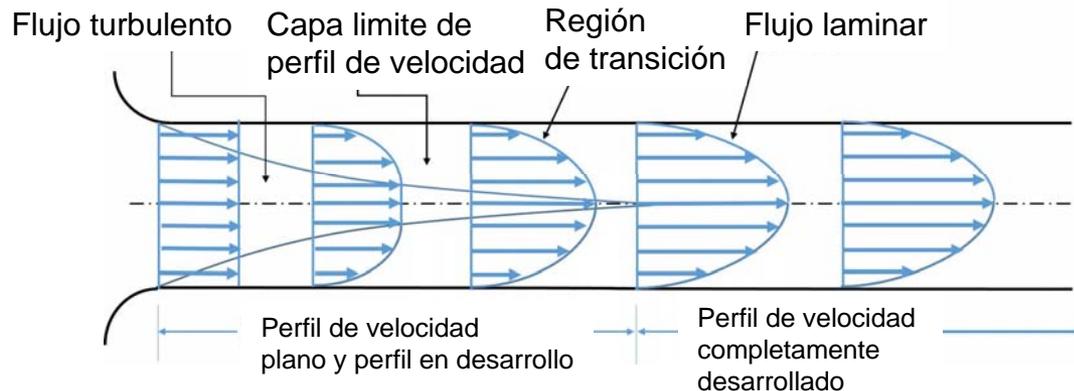
➤ u , L y D son propiedades fácilmente medibles pero...
¿Cómo se calcula f ?

El valor del **factor de fricción** (f) depende del tipo de **régimen del flujo**:

- a) **Flujo laminar**: es un flujo linear, perfil de velocidad parabólico. f se calcula fácilmente.

$$f = \frac{16}{Re} \quad \left(\text{donde } Re = \left(\frac{V \rho D_p}{\mu} \right) \right)$$

- b) **Flujo turbulento**: es un flujo errático, perfil de velocidad plano. Se utiliza el grafico de Moody.



Adaptación de imagen original de Devender Kumar5908 (publicada en Wikimedia Commons con licencia CC BY-SA 3.0)

Gráfico de Moody (f vs Re, ϵ)



Ingeniería
Química

Prof. Unai Iriarte



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

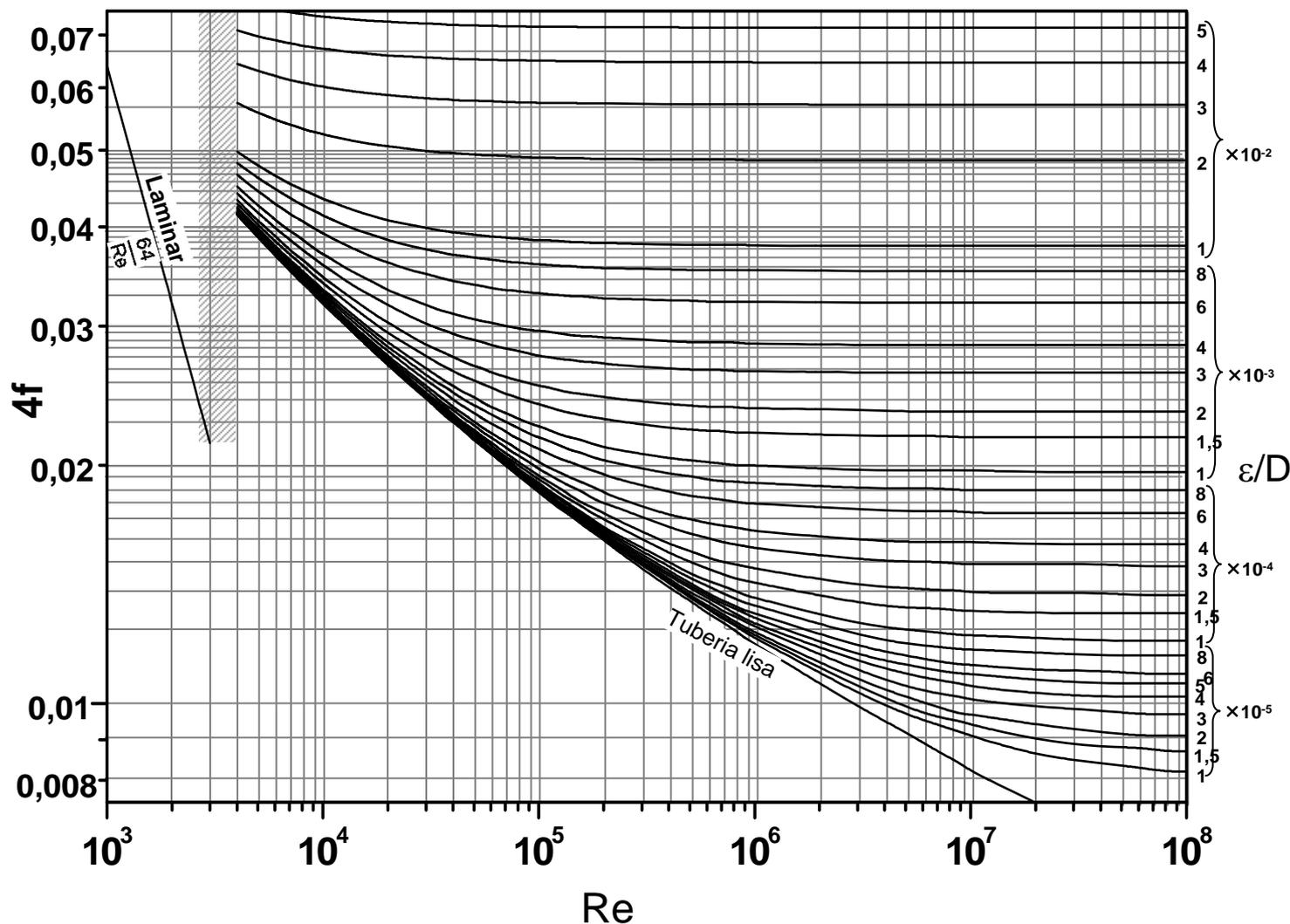


Diagrama de Moody para el factor de fricción de Fanning (f). Rugosidades equivalentes (ϵ), en metros, para tuberías nuevas: hierro fundido 259×10^{-6} ; tubo estirado $1,5235 \times 10^{-6}$; hierro galvanizado 152×10^{-6} ; acero o hierro forjado $45,7 \times 10^{-6}$.

Ejemplo 4.2: transporte de leche a través de una conducción horizontal

Se transporta leche de densidad específica 1,03 y viscosidad 0,0020 Pa.s a través de una conducción horizontal de acero con diámetro interior 1 cm y longitud 15 m. **Calcúlese el factor de fricción** para las siguientes situaciones:

- Caudal de leche 250 l/h
- Caudal de leche 500 l/h

$$a) \quad Re = \left(\frac{V \rho D_p}{\mu} \right)$$

$$Q = V \cdot S = V \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad V = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,250 / 3600 [m^3 s^{-1}]}{\frac{\pi 0,01^2}{4} [m^2]} = 0,88 \text{ ms}^{-1}$$

$$Re = \left(\frac{V \rho D_p}{\mu} \right) = \frac{0,88 [ms^{-1}] \cdot 1030 [kgm^{-3}] \cdot 0,01 [m]}{0,0020 [kgm^{-1} s^{-1}]} = 4532$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000457 [m]}{0,01 [m]} = 0,00457$$

Gráfico de Moody (f vs Re, ϵ)

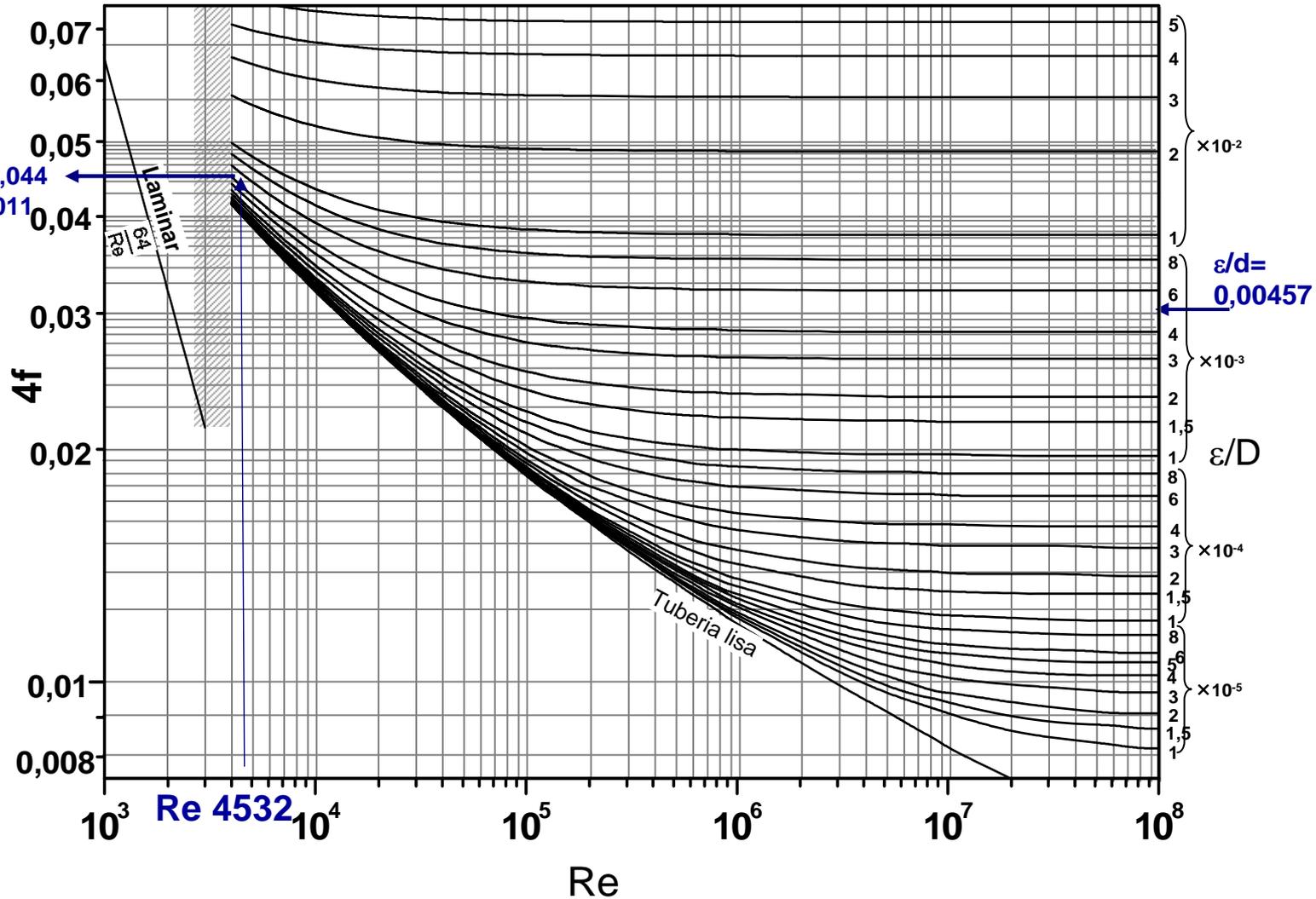


Ingeniería
Química

Prof. Unai Iriarte



Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea



Ejemplo 4.2: transporte de leche a través de una conducción horizontal

Se transporta leche de densidad específica 1,03 y viscosidad 0,0020 Pa.s a través de una conducción horizontal de acero con diámetro interior 1 cm y longitud 15 m. Calcúlese el factor de fricción

b) Caudal de leche 500 l/h

$$b) \quad Re = \left(\frac{V \rho D_p}{\mu} \right)$$

$$Q = V \cdot S = V \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,5 / 3600 [m^3 s^{-1}]}{\frac{\pi 0,01^2}{4} [m^2]} = 1,77 \text{ ms}^{-1}$$

$$Re = \left(\frac{V \rho D_p}{\mu} \right) = \frac{1,77 [ms^{-1}] \cdot 1030 [kgm^{-3}] \cdot 0,01 [m]}{0,0020 [kgm^{-1}s^{-1}]} = 9115$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000457 [m]}{0,01 [m]} = 0,00457$$

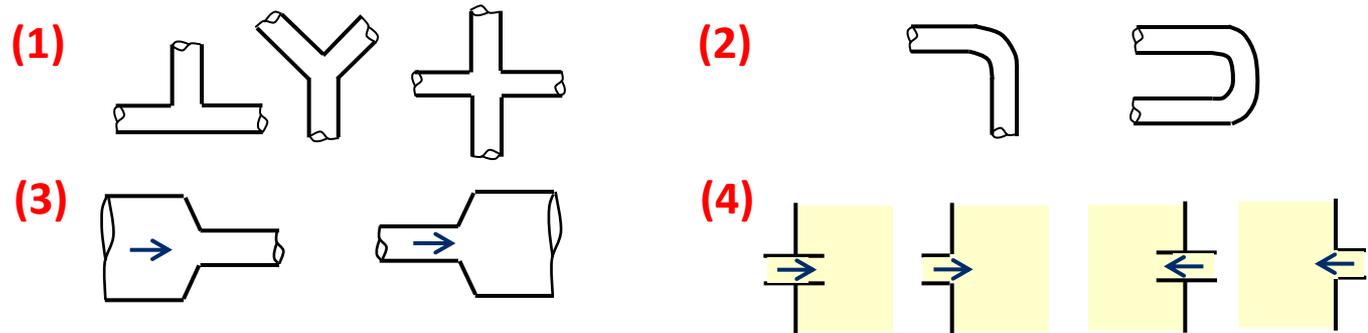
f=0,0095

4.6 Pérdidas de carga menores

En los sistemas flujo, además de tubería lisa, existen otros accesorios cuya función es controlar y dirigir el flujo.

Estos accesorios generan una pérdida de carga denominada pérdida de carga menor.

Por ejemplo:



- 1) Bifurcaciones.
- 2) Cambios de dirección (codos, u-s,...).
- 3) Ensanchamientos y estrechamientos.
- 4) Conexiones tubería-depósito.

4.6 Pérdidas de carga menores

Pueden calcularse de dos formas:

1. Utilizando la ecuación de Fanning, introduciendo el concepto de **longitud equivalente** (L_e)

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho g} = 2f \frac{u^{-2} L_e}{gD} \quad [m]$$

2. Utilizando el **Coefficiente de pérdida de carga** (K):

$$h_f = k \frac{v^2}{2g} \quad [m]$$

Ejemplo anterior, ($Q=500$ l/h, $V=1,77$ m/s, $L=15$ m, $D=1$ cm) un codo con $K=0,5$ genera una pérdida de carga (adicional al de la tubería lisa) de:

Por otro lado, si su longitud equivalente fuera $L_e=0,13$:

$$h_{f,codo} = 0,5 \frac{1,77^2}{2 \cdot 9,8} = 0,08 \quad [m] \qquad h_{f,codo} = 2 \cdot 0,0095 \frac{0,13}{0,01} \frac{1,77^2}{9,8} = 0,08 \quad [m]$$

4.7 Potencia necesaria para el flujo

Ecuación de Bernoulli, h_p refleja la **energía** (trabajo) que se debe **aportar desde el exterior** (bomba) para que el flujo pase del estado energético 1 al 2.

$$h_p = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_f \quad [m] \quad (4)$$

Los términos de la ecuación 4 reflejan energía **por unidad de peso** (se dividió por flujo *másico* y g). La magnitud potencia (Watio) indica energía por unidad de tiempo, por tanto:

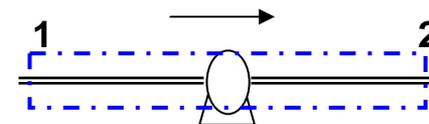
$$P = \dot{M} \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot g \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot h_p [m] \quad \left[\frac{J}{s} = W \right] \quad (5)$$

P será la **potencia necesaria**, en Watios, para hacer circular un flujo másico M , en kg/s, desde la sección 1 hasta la sección 2.

4.7 Potencia necesaria para el flujo

$$P = \dot{M} \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot g \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot h_p [m] \quad \left[\frac{J}{s} = W \right] \quad (5)$$

➤ **Cont. Ejemplo 4.2** transporte de leche



$$h_p = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_f \quad [m] \quad (4)$$

Simplificar la Ec. Bernoulli,

Transporte de leche a través
conducción **horizontal**

$$\longrightarrow z_1 = z_2$$

D=1 cm (constante)

$$\longrightarrow \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$$

Entrada y salida de conducción
están conectados a **atmosfera**

$$\longrightarrow \frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g}$$

Por tanto,

$$h_p = h_f \quad [m] \quad (4)$$

la energía que aporta la **bomba** es la necesaria para **compensar** las pérdidas por **fricción** en la conducción.

4.7 Potencia necesaria para el flujo

$$P = \dot{M} \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot g \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot h_p [m] \quad \left[\frac{J}{s} = W \right] \quad (5)$$

➤ Cont. Ejemplo 4.2 transporte de leche

a) Caudal **250 l/h** = $6,95 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ **f=0,011**

$$h_f = 2f \frac{\bar{u}^2 L}{gD} = 2 \cdot 0.011 \frac{0.884^2 [m^2 s^{-2}] \cdot 15 [m]}{9,8 [ms^{-2}] 0.01 [m]} \quad h_f = 2,63 [m]$$

Potencia de bombeo necesaria

$$P = 6,95 \cdot 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 1030 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot 2,63 [m] \quad P = 1,85 [W]$$

b) Caudal **500 l/h** = $13,90 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ **f=0,0095**

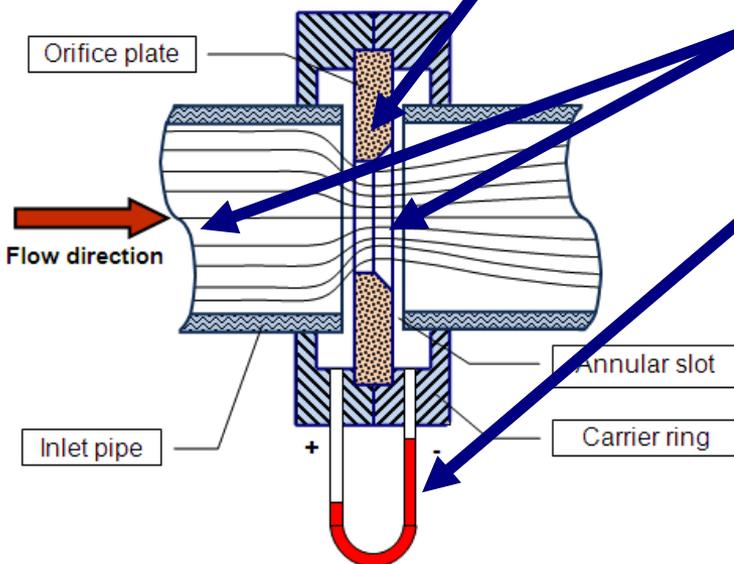
$$h_f = 2f \frac{\bar{u}^2 L}{gD} = 2 \cdot 0.0095 \frac{1.77^2 [m^2 s^{-2}] \cdot 15 [m]}{9,8 [ms^{-2}] 0.01 [m]} \quad h_f = 9,11 [m] \quad (x3,5)$$

Potencia de bombeo necesaria

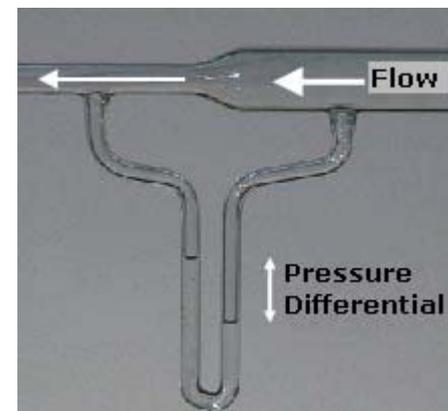
$$P = 13,90 \cdot 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 1030 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot 9,11 [m] \quad P = 12,7 [W] \quad (x7)$$

4.8 Medida de caudales: diafragma y venturímetro

- Proceso químico, se **manejan fluidos**. Requiere conocer los caudales, y por tanto, poder **medirlos**.
- Medidores **directos e indirectos**.
- **Indirectos**: se mide la **variación de presión** producida, por una variación de **velocidad** al introducir un **estrechamiento** en la conducción. Requieren **calibración**.



Diafragma



Venturímetro

4.8.1 Diafragma

- A **cada lado** se conectan las ramas de un **manómetro** de tubos en U. Líquido manométrico **inmiscible**, habitualmente **mercurio**.
- La **diferencia de presiones** $P_1 - P_2$ se mide por el **desnivel manométrico** h_m y se puede **relacionar** con la **velocidad** del fluido aplicando **Bernoulli**.
- Bernoulli entre la secciones conocidas, conducción (D) y en el orificio (D_o).

4.8.1 Diafragma

- **Bernoulli** entre sección 1 (**previo** al orificio) y 0 (**mismo orificio**).

$$V_o = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_o)}{\rho \left(1 - \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_m \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)}{\left(1 - \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4\right)}} \quad [L T^{-1}] \quad (6)$$

V_o velocidad media, LT^{-1}

g aceleración gravedad, LT^{-2}

h_m diferencia altura manométrica, L

ρ_m densidad líquido manométrico (mercurio), ML^{-3}

ρ densidad líquido, ML^{-3}

D_1 diámetro conducción, L

D_o diámetro orificio, L

Unidades: L-longitud, M-masa, T-tiempo

Tema 4: principios básicos del flujo de fluidos

4.8.1 Diafragma

- **Bernoulli** entre sección 1 (**previo** al orificio) y 0 (**mismo orificio**).

$$V_o = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_o)}{\rho \left(1 - \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_m \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)}{\left(1 - \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4\right)}} \quad [L T^{-1}] \quad (6)$$

Y el cálculo del **caudal másico**:

$$\dot{M} = V_o S_o \rho$$

- **A considerar:**

Posición del tubo manométrico posterior.

Formación **remolinos** y turbulencias que generan una **perdida de carga** adicional no considerada.

4.8.1 Diafragma

- **Bernoulli** entre sección 1 (**previo** al orificio) y 0 (**mismo orificio**).

$$V_o = C \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_m \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right)}{\left(1 - \left(\frac{D_o}{D_1} \right)^4 \right)}} \quad [L T^{-1}] \quad (7)$$

C factor corrector

El valor de C es una función de la localización exacta de las tomas de presión, del número de Reynolds y del cociente entre diámetros. Para $Re \geq 3000$, $C=0,61$.

4.8.2 Venturímetro

- **Bernoulli** entre sección 1 (previo al orificio) y 0 (mismo orificio).

$$V_o = C \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_m \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)}{\left(1 - \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4\right)}} \quad [L T^{-1}] \quad (7)$$

C factor corrector.

En el caso del venturímetro, el valor de C es prácticamente la unidad, $C=0,98$.