

Fluidodinámica 2022

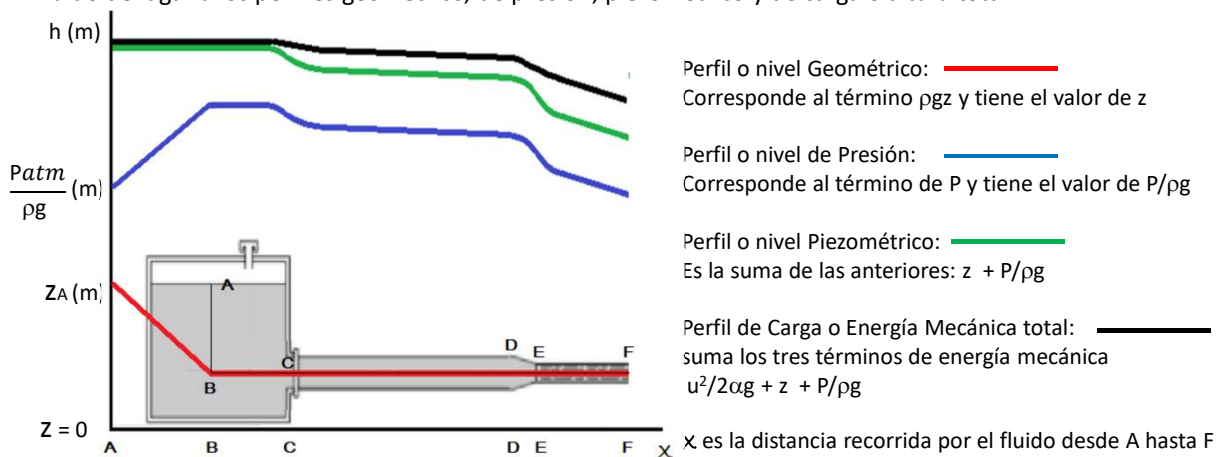
Temas Semana 2 :

- Perfiles de Energía Mecánica
- Complemento sobre Pérdida de carga en accesorios: Método de las 2K
- Pérdidas de carga en T con flujos convergente y divergente
- Guía de Resolución de Problemas Complejos

Perfiles de Energía Mecánica

Cuando el fluido es incompresible los procesos térmicos se desacoplan de los mecánicos, de modo que solo son relevantes las formas de **Energía Mecánica: Energía debida a la presión, a la altura y a la velocidad**.

El análisis de la evolución de las formas de energía a lo largo de una conducción en unidades de altura de fluido de lugar a los perfiles geométrico, de presión, piezométrico y de carga o altura total.



Pérdidas de carga por fricción en Accesorios

MÉTODO DE LAS DOS K (The two K method predicts. William B. Hopper, Chemical Engineering 1981)

Es un método desarrollado especialmente para bajos Re (especialmente laminar)

Se observa experimentalmente que K se incrementa levemente al bajar Re por debajo de 10000 y marcadamente al bajar por debajo de 1000.

El método de las 2K permite modelar razonablemente bien esta variación

$$\Delta h_f \text{ accesorio} = [K_1/Re + K_\infty(1 + 1/D)] u^2/2g \quad (\text{para accesorios en gral.})$$

$$\Delta h_f = [K_1/Re + K_\infty] u^2/2g \quad (\text{para entrada y salida de tubería})$$

Valores de K_1 y de K_∞ para cada accesorio

D es el diámetro interno en pulgadas

Pérdidas de carga por fricción en Accesorios

MÉTODO DE LAS DOS K

Tabla con valores publicados de K_1 y K_∞ →

La tabla no incluye valores para entrada y salida de tubería

Entrada de tubería:

$K_1 = 160$; $K_\infty = 0.50$ para entrada borde cuadrado
y 1 para entrada con resalte al interior

Salida de tubería:

$K_1 = 0$; $K_\infty = 1$

La publicación está disponible en la plataforma EVA y se recomienda su lectura

Fitting type	K_1	K_∞
Standard ($R/D = 1$), screwed	800	0.40
Standard ($R/D = 1$), flanged/welded	800	0.25
Long-radius ($R/D = 1.5$), all types	800	0.20
90° Elbows		
1 Weld (90° angle)	1,000	1.15
Mitered 2 Weld (45° angles)	800	0.35
elbows 3 Weld (30° angles)	800	0.30
($R/D=1.5$) 4 Weld (22½° angles)	800	0.27
5 Weld (18° angles)	800	0.25
45° Elbows		
Standard ($R/D = 1$), all types	800	0.20
Long-radius ($R/D = 1.5$), all types	800	0.15
Mitered, 1 weld, 45° angle	800	0.25
Mitered, 2 weld, 22½° angles	800	0.15
180° Elbows		
Standard ($R/D = 1$), screwed	1,000	0.60
Standard ($R/D = 1$), flanged/welded	1,000	0.35
Long radius ($R/D = 1.5$), all types	1,000	0.30
Used as elbow		
Standard, screwed	800	0.70
Long-radius, screwed	800	0.40
Standard, flanged or welded	800	0.90
Stub-in-type branch	1,000	1.00
Tees		
Run-through, screwed	300	0.10
Flanged or welded	150	0.05
tee Stub-in-type branch	300	0.00
Gate, Full line size, $\beta = 1.0$	300	0.10
ball, Reduced trim, $\beta = 0.8$	500	0.15
plug, Reduced trim, $\beta = 0.8$	1,000	0.25
Valves		
Globe, standard	1,500	4.00
Globe, angle or Y-type	1,000	2.00
Diaphragm, dam type	1,000	2.00
Butterfly	800	0.25
Lift	2,000	10.00
Check: Swing	1,500	1.50
Tilting-disk	1,000	0.50

Note: Use $R/D = 1.5$ values for $R/D = 5$ pipe bends, 45° to 180°. Use appropriate tee values for flow through crosses.

Pérdidas de carga por fricción en Accesorios

COMPARACIÓN de la constante K obtenida por el método de Crane y por el método de las 2K, para régimen Laminar y Turbulento

	Globo 1/2"	Globo 1"	Globo 4"	Codo 1/2"	Codo 1"	Codo 4"	Esclusa 1/2"	Esclusa 1"	Esclusa 4"
Crane	9,2	7,8	5,8	0,8	0,7	0,5	0,2	0,2	0,1
2k	27,0	23,0	20,0	13,5	12,3	11,4	3,3	3,2	3,1
2k/Kcrane	2,9	2,9	3,5	17	18	22	15	17	23
k1	1500	1500	1500	1000	1000	1000	300	300	300
kinfinito	4	4	4	1,15	1,15	1,15	0,1	0,1	0,1
Ej. c/Re laminar	100	100	100	100	100	100	100	100	100
D (inch)	0,5	1	4	0,5	1	4	0,5	1	4
	Globo 1/2"	Globo 1"	Globo 4"	Codo 1/2"	Codo 1"	Codo 4"	Esclusa 1/2"	Esclusa 1"	Esclusa 4"
Crane	9,2	7,8	5,8	0,8	0,7	0,5	0,2	0,2	0,1
2k	15,0	11,0	8,0	5,5	4,3	3,4	0,9	0,8	0,7
2k/Kcrane	1,6	1,4	1,4	7	6	7	4	4	5
k1	1500	1500	1500	1000	1000	1000	300	300	300
kinfinito	4	4	4	1,15	1,15	1,15	0,1	0,1	0,1
Ej. c/Re laminar	500	500	500	500	500	500	500	500	500
D (inch)	0,5	1	4	0,5	1	4	0,5	1	4
	Globo 1/2"	Globo 1"	Globo 4"	Codo 1/2"	Codo 1"	Codo 4"	Esclusa 1/2"	Esclusa 1"	Esclusa 4"
Crane	9,2	7,8	5,8	0,8	0,7	0,5	0,2	0,2	0,1
2k	12,0	8,0	5,0	3,5	2,3	1,4	0,3	0,2	0,1
2k/Kcrane	1,3	1,0	0,9	4,3	3,3	2,8	1,4	1,1	0,9
k1	1500	1500	1500	1000	1000	1000	300	300	300
kinfinito	4	4	4	1,15	1,15	1,15	0,1	0,1	0,1
Ej. c/Re turbulento	1,00E+05	1,00E+05	1,00E+05	1,00E+05	1,00E+05	1,00E+05	1,00E+05	1,00E+05	1,00E+05
D (inch)	0,5	1	4	0,5	1	4	0,5	1	4

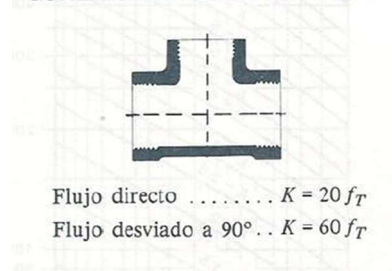
Pérdidas de carga por fricción en T

Flujo en dos ramas:

Los valores de K publicados para flujo en T (Crane, 2K, etc.) aplican cuando hay flujo solo en dos de las tres ramas, y tienen valores distintos si el flujo es directo o desviado.

Ej: Crane

CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"



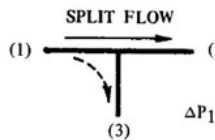
Hay dos valores de pérdida de carga en una T con flujo en las tres ramas, y dichos valores que dependen de cual es la velocidad y el sentido del flujo en cada rama.

Disponemos de ecuaciones para determinar las pérdidas de carga en T con división y con confluencia de flujo, para las distintas posibilidades.

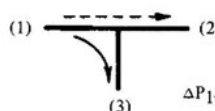
Pérdidas de carga por fricción en T

Flujo en tres ramas. Ecuaciones de Nicholas:

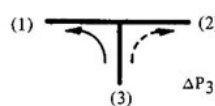
SPLIT FLOW



$$\Delta P_{1-2} = (1.08 \times 10^{-4}) \rho (1.36 U_2^2 - 0.64 U_1^2 - 0.72 U_1 U_2)$$

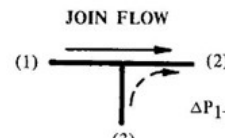


$$\Delta P_{1-3} = (1.08 \times 10^{-4}) \rho (1.8 U_3^2 - 0.37 U_1 U_3)$$

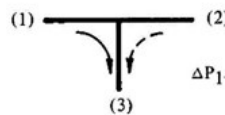


$$\Delta P_{3-1} = (1.08 \times 10^{-4}) \rho (1.8 U_1^2 - 0.37 U_1 U_3)$$

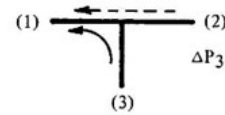
JOIN FLOW



$$\Delta P_{1-2} = (1.08 \times 10^{-4}) \rho \left\{ 2U_2^2 - 0.05U_1^2 - 2U_2 \left(0.205U_3 \frac{Q_3}{Q_2} + U_1 \frac{Q_1}{Q_2} \right) \right\}$$



$$\Delta P_{1-3} = (1.08 \times 10^{-4}) \rho \left\{ 2U_3^2 - 0.4U_1^2 - 0.41U_3 \left(U_1 \frac{Q_1}{Q_3} + U_2 \frac{Q_2}{Q_3} \right) \right\}$$



$$\Delta P_{3-1} = (1.08 \times 10^{-4}) \rho \left\{ 2U_1^2 - 0.4U_3^2 - 2U_3 \left(0.205U_3 \frac{Q_3}{Q_1} + U_2 \frac{Q_2}{Q_1} \right) \right\}$$

Ecuaciones en unidades del sistema inglés. u es velocidad media

ΔP corresponde a $P_{\text{entrada}} - P_{\text{salida}}$ en la trayectoria con flecha continua.
(incluye pérdida por fricción y variación de energía cinética)

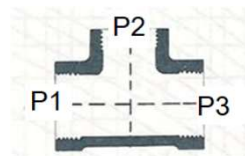
Pérdidas de carga por fricción en T

Resolución de Ecuaciones de Nicholas:

Para determinar las diferencias de presión se requiere conocer las velocidades en las ramas, lo cual implica un proceso iterativo.

Debido a que generalmente las variaciones de presión en la T son despreciables, en relación al conjunto del sistema, cuando haya flujo convergente o divergente, en el práctico vamos a despreciar esta variación de presión.

Esto implica asumir $P_1 = P_2 = P_3$



Bajo esta hipótesis, cuando hay flujo convergente o divergente, podemos plantear 3 BEM (uno en cada una de las ramas), despreciando el efecto de la T en la presión.

Los flujos en las tres ramas se vinculan por el Balance de masa,

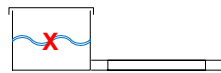
Guía de Resolución de Problemas Complejos

- Presenta una metodología confiable y rápida para el abordaje y resolución de problemas complejos

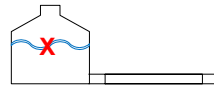
Resolución de problemas típicos de flujo

1. Asegurarse de entender precisamente cuál es el problema
¿de qué información se dispone? ¿qué es lo que se pregunta?

- Datos que se asumen sabidos: tanque-cañería



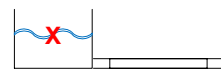
- Tk con tapa no hermética



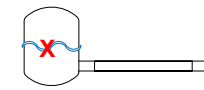
- Tk con venteo



- Curso de agua natural



- Tk sin tapa



- Tk hermético

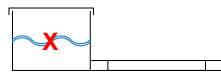
- En **X** $u \ll u_{\text{cañería}}$
- En **X** asumir $u=0$ excepto que se pida tiempo de vaciado/llenado

➤ Presentación adaptada de Prof. Ana Inés Torres, Fluidodinámica 2019.

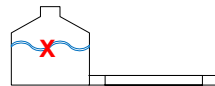
Resolución de problemas típicos de flujo

1. Asegurarse de entender precisamente cuál es el problema
¿de qué información se dispone? ¿qué es lo que se pregunta?

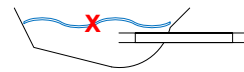
- Datos que se asumen sabidos: tanque-cañería



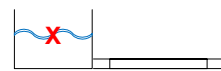
- Tk con tapa no hermética



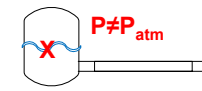
- Tk con venteo



- Curso de agua natural



- Tk sin tapa



- Tk hermético
Excepción

- Excepto si el tanque es hermético, en **X** $P = P_{atm}$

Resolución de problemas típicos de flujo

1. Asegurarse de entender precisamente cuál es el problema
¿de qué información se dispone? ¿qué es lo que se pregunta?

- Datos que se asumen sabidos: tanque-cañería



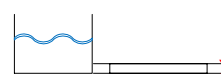
- Tk con tapa no hermética



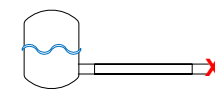
- Tk con venteo



- Curso de agua natural



- Tk sin tapa



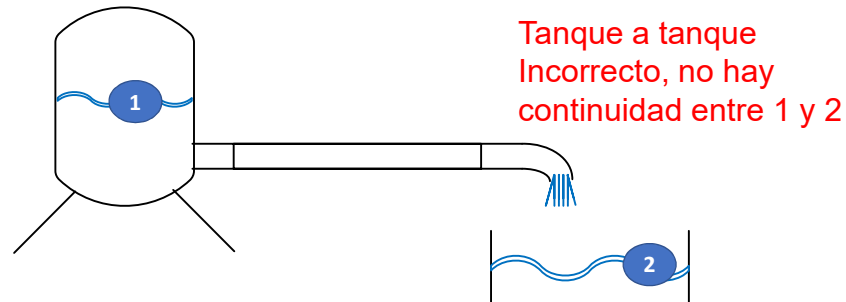
- Tk hermético

- Si descarga a la atmósfera, en **X** $P = P_{atm}$

Resolución de problemas típicos de flujo

1. Asegurarse de entender precisamente cuál es el problema
¿de qué información se dispone? ¿qué es lo que se pregunta?

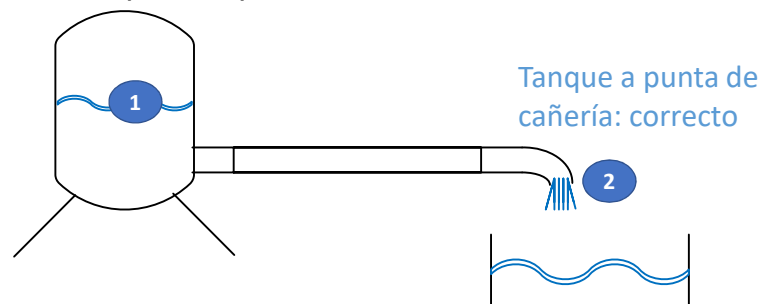
- Datos que se asumen sabidos:
- BM y BEM son ecuaciones de continuidad, o sea en los tramos en que se aplican debe haber una fase continua



Resolución de problemas típicos de flujo

1. Asegurarse de entender precisamente cuál es el problema
¿de qué información se dispone? ¿qué es lo que se pregunta?

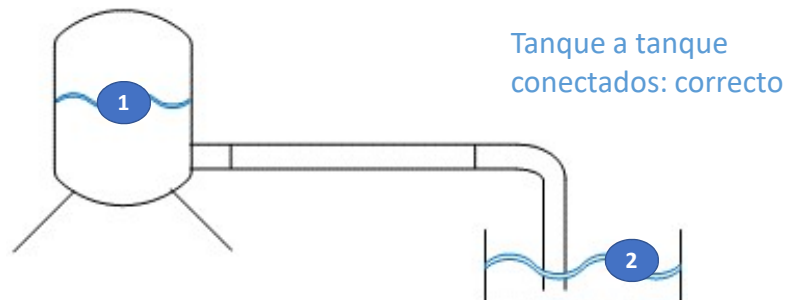
- Datos que se asumen sabidos:
- BM y BEM son ecuaciones de continuidad, o sea en los tramos en que se aplican debe haber una fase continua



Resolución de problemas típicos de flujo

1. Asegurarse de entender precisamente cuál es el problema
¿de qué información se dispone? ¿qué es lo que se pregunta?

- Datos que se asumen sabidos:
- BM y BEM son ecuaciones de continuidad, o sea en los tramos en que se aplican debe haber una fase continua



Resolución de problemas típicos de flujo

2. Elegir las leyes físicas que relacionan lo que se sabe con lo que se quiere encontrar
 - BM y BEM
 - Expresiones para caudales y Reynolds
 - Diagrama de Moody
 - Expresiones para cálculo de pérdida de carga en cañería y accesorios
 - Otras
3. Escribir la forma útil de esas leyes físicas, realizar las simplificaciones, suposiciones y arreglos necesarios.
 - α • $u \sim 0$ • Identificar los términos del BEM que son = 0

Resolución de problemas típicos de flujo

4. Realizar análisis de grado de libertad (GDL).

- Chequear que sean cero
(n° ec. indep. = n° incógnitas. Moody es una ec. implícita)
- Si GDL > 0,
 - chequear que no falten ecuaciones
 - Releer la letra buscando condiciones no explícitas
- Si GDL < 0 alguna ecuación fue usada 2 veces
¡¡¡MAL!!! Revisar derivaciones, el problema así no tiene solución

5. Resolver

Resolución de problemas típicos de flujo

- Analicemos las ecuaciones a resolver

– BEM $-\hat{W}_s = \Delta P / \rho g + \Delta z + \frac{\Delta u^2}{2\alpha g} + \Delta h_f$

– BM $\sum_i (\rho u \pi D^2 / 4)_{ent} = \sum_j (\rho u \pi D^2 / 4)_{sal}$

– Reynolds $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$

$f = f(Re, e/D)$

– Diagrama de Moody

– Pérdida de carga $\Delta h_f = (f L / D + \sum K) u^2 / 2g$

**Si P_i o z_i o L
incógnitas**



Sistema lineal



**Se puede resolver
directamente**

Resolución de problemas típicos de flujo

- Analicemos las ecuaciones a resolver

– BEM $-\hat{W}_s = \Delta P / \rho g + \Delta z + \frac{\Delta u^2}{2\alpha g} + \Delta h_f$

**Si u_i o D_i
incógnitas**

– BM $\sum_i (\rho u \pi D^2 / 4)_{ent} = \sum_j (\rho u \pi D^2 / 4)_{sal}$

⇓

– Reynolds $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$

**Varios
términos no
lineales**

– Diagrama de Moody $f = f(Re, e/D)$

⇓

– Pérdida de carga $\Delta h_f = (f L / D + \sum K) u^2 / 2g$

**Posibilidad de soluciones
múltiples (solo una con
sentido físico)**

Resolución de problemas típicos de flujo

- Analicemos las ecuaciones a resolver

– BEM $-\hat{W}_s = \Delta P / \rho g + \Delta z + \frac{\Delta u^2}{2\alpha g} + \Delta h_f$

**Si u o D
incógnitas**

– BM $\sum_i (\rho u \pi D^2 / 4)_{ent} = \sum_j (\rho u \pi D^2 / 4)_{sal}$

⇓

– Reynolds $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$

**Además, no es
posible
despejar y
resolver
directamente**

– Diagrama de Moody $f = f(Re, e/D)$

– Pérdida de carga $\Delta h_f = (f L / D + \sum K) u^2 / 2g$

=> Resolución por iteración

El problema de la determinación del caudal

Para determinar el caudal que es transportado por una conducción es necesario utilizar el BEM en el cual aparece a través de la velocidad media ($u=Q/A$) en los términos de energía cinética y de pérdida de carga por fricción.

$$-\hat{W}_s = \Delta P/\rho g + \Delta z + \frac{\Delta u^2}{2\alpha g} + \Delta h_f \text{ con } \Delta h_f = (f L/D + \Sigma K) u^2/2g$$

En principio $f = f(Re, e/D)$ siendo $Re = \rho u D / \mu$

¿Cuál es el problema? Para determinar u necesitamos f , para determinar f necesitamos Re y para determinar Re necesitamos u

Además, si $\hat{W}_s \neq 0$, su valor depende del caudal y por lo tanto de u . (dejaremos este caso para la segunda parte del curso)

El problema de la determinación del caudal

Si $\hat{W}_s = 0$

$$\Delta P/\rho g + \Delta z + \frac{\Delta u^2}{2\alpha g} + \Delta h_f = 0 \text{ con } \Delta h_f = (f L/D + \Sigma K) u^2/2g$$

En principio $f = f(Re, e/D)$ siendo $Re = \rho u D / \mu$

¿Cuál es la solución? **ITERAR**

(1)Suponemos u , (2)calculamos Re , (3)determinamos f y (4) del BEM obtenemos u .

Si no coinciden volvemos a intentar con el último valor, hasta que coincidan (tolerancia 2%)

Para empezar a iterar hay tres opciones recomendadas:

- Arrancar con la u que nos da el BEM si utilizamos f de completa turbulencia
- Arrancar con la u que nos da el BEM si utilizamos f estimado a partir de datos del problema
- En circuitos con bombeo, es razonable asumir una velocidad media de entre 1 y 3 m/s (velocidades recomendadas para bombeo económico)

El problema de la selección del diámetro

En el diseño de un sistema de conducción para un caudal objetivo, una de las variables a definir es el diámetro.

El diámetro es una variable discreta, cuyos valores dependen de las normas de fabricación.

$$-\hat{W}_s = \Delta P / \rho g + \Delta z + \frac{\Delta u^2}{2\alpha g} + \Delta h_f \quad \text{con} \quad \Delta h_f = (f L/D + \sum K) u^2 / 2g$$

En principio $f = f(Re, e/D)$ siendo $Re = \rho u D / \mu$

¿Cuál es el problema? Para seleccionar D necesitamos f y u , pero ambos dependen de D

El problema de la selección del diámetro

En el diseño de un sistema de conducción, una de las variables a definir es el diámetro.

El diámetro es una variable discreta, cuyos valores dependen de las normas de fabricación.

$$-\hat{W}_s = \Delta P / \rho g + \Delta z + \frac{\Delta u^2}{2\alpha g} + \Delta h_f \quad \text{con} \quad \Delta h_f = (f L/D + \sum K) u^2 / 2g$$

En principio $f = f(Re, e/D)$ siendo $Re = \rho u D / \mu$

¿Cuál es la solución? **ITERAR**

(1) Suponemos u , (2) calculamos D y Re , (3) determinamos f y (4) del BEM obtenemos u .

Si no coinciden volvemos a intentar con el último valor, hasta que coincidan (tolerancia 2%)

El D obtenido será un D teórico, que seguramente no encontrará en el mercado.

¿De qué diámetro compraría las tuberías?

Autoevaluación

- 1) ¿Por qué la diferencia entre el método de Crane y el de las 2K para Re bajos es mayor en un codo que en una válvula globo? (analice la geometría de estos accesorios)
- 2) ¿La hipótesis simplificadora según la cual $P_1 = P_2 = P_3$ en una T con flujo en las tres ramas, es más confiable con flujo convergente o con flujo divergente?
- 3) Si para una T de diámetro conocido en la que se da un flujo convergente conoce las presiones en las dos entradas y la presión en la salida ¿Qué ruta de cálculo emplearía para determinar los tres flujos?
- 4) ¿Cuál es el caudal de agua que circula por una tubería de acero comercial de diámetro 2" Sch 40, si la pérdida de carga en 100m de tubería recta es de 5,0 mca? $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$, $e = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$
- 5) ¿Cuál es el valor mínimo que puede alcanzar la presión absoluta en una conducción que transporta un fluido?
- 6) Si conectamos tubos verticales suficientemente altos en distintas secciones de una conducción y los dejamos abierto a la atmósfera, los niveles que alcanzará el líquido dentro de los mismo, ¿Qué perfil representan?
- 7) ¿Qué debe incluir un volumen de control para que aumente la energía mecánica en el sentido del flujo?
- 8) ¿Es posible que el nivel piezométrico aumente en el sentido del flujo? ¿En qué situaciones?
- 9) Proponga una ruta de cálculo para la selección del diámetro, partiendo por suponer un diámetro.