

Guía de problemas N° 2

Escurrecimiento en ductos de fluidos compresibles

Recomendamos que antes de asistir a las clases prácticas, vea el ejercicio que se encuentra en la plataforma EVA junto con el video de su resolución, donde se detallan elementos fundamentales para la resolución de todos los ejercicios de esta guía. Además, se sugiere que realice los problemas de resolución previa.

Semana 1

Al final de esta semana podrá resolver las preguntas de autoevaluación 1 a 6

Problema de resolución previa

p.1. En una planta industrial se cuenta con un horno que consume gas natural. En la entrada a la planta un reductor de presión ubicado junto al medidor de consumo, asegura un valor de presión estable de 40mbar en la entrada de dicho medidor. En la entrada al horno el gas llega a presión atmosférica. Se toma dos lecturas del medidor con un intervalo de 10 minutos resultando una diferencia de 4.13 m^3 entre ambas lecturas.

Estime la longitud equivalente de la tubería entre la entrada al medidor y la entrada al horno, sabiendo que la conducción es de acero comercial Sch40 de $\frac{3}{4}$ " de diámetro nominal, aplicando los modelos incompresible y compresible isotérmico. Compare los resultados obtenidos. *(Respuesta: según el modelo incompresible se obtiene una Leq de 16.7 m y a partir del modelo compresible isotérmico una Leq de 16.4 m)*

Datos adicionales:

- Temperatura 15°C (puede asumirse constante)
- PM: 19 g/mol
- Viscosidad: 0.012 cP
- Presión atmosférica: 1.04 bar
- La entrada al quemador se encuentra 2 metros por encima de la entrada al medidor.
- Rugosidad de la cañería: $50\mu\text{m}$

Problema de resolución en clase

c.1. Para un nuevo ramal de un gasoducto que transporta metano se debe instalar un tramo de 120 km de tubería entre dos estaciones de presurización. El máximo flujo másico previsto es 32 kg/s . De acuerdo con las especificaciones del proyecto la presión no debe caer por debajo de los 40 barg, y en la salida de las estaciones de presurización la temperatura puede alcanzar los 50°C .

Estime la mínima presión necesaria en la salida de la primera estación de presurización para asegurar las condiciones anteriores empleando el factor de compresibilidad promedio. Compare el resultado con el obtenido con el modelo de gas ideal.

Datos adicionales:

La viscosidad del metano puede asumirse constante: $1.1 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$

Tubería de 50 centímetros de diámetro interior y rugosidad $5 \times 10^{-5} \text{ m}$

Semana 2

Al final de esta semana podrá resolver las preguntas de autoevaluación 7 a 11

Problema de resolución previa

p.2. Dos tanques idénticos A y B de 10m^3 de volumen que contienen nitrógeno se conectan entre sí a través de una conducción con 15 metros de longitud, con 5 codos estándar de 90° y dos válvulas esféricas. Las válvulas se abren y se permite el flujo hasta que se equilibran las presiones en ambos tanques. Si inicialmente ambos tanques están a temperatura ambiente (15°C), el tanque A tiene una presión de 8,0 barg y el tanque B tiene una presión de 4,0 barg. **Estime el máximo flujo másico entre ambos tanques utilizando el diagrama de Lapple.**

(Respuesta: $9,5 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$)

Datos adicionales:

- Tubería de acero comercial Sch40 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro nominal
- Rugosidad de la tubería: $5 \times 10^{-5} \text{ m}$
- Entrada a tubería con resalte hacia el interior
- Datos del nitrógeno: Viscosidad $\mu = 1,8 \times 10^{-2} \text{ cP}$; $C_p/C_v = 1,4$
- Presión atmosférica: 1 bar

Problemas de resolución en clase

c.2. Una conducción horizontal de acero comercial de 1" (Sch40, $e=5 \times 10^{-5} \text{ m}$) por la que circula dióxido de carbono, cuenta con un medidor de caudal que indica $30 \text{ m}^3/\text{h}$, y junto a este un sensor de presión y otro de temperatura que marcan 8.2 barg y 51°C . A 120 metros otro manómetro indica 4.1 barg.

- Evalúe la confiabilidad de los datos.
- Si solo uno de los datos no fuera confiable, ¿debería ser mayor o menor al valor indicado? (Evalúe la situación para cada uno de los siguientes datos: lectura de los medidores de presión, temperatura, caudal, diámetro nominal, cédula, rugosidad y longitud)

c.3. Un compresor alimenta un tanque de aire comprimido, desde donde se abastecen varios equipos. El compresor se enciende cuando la presión en el tanque baja hasta 4 barg y se apaga cuando la presión sube hasta 6 barg. El aire en el tanque se encuentra a 20°C cuando el compresor se enciende y asciende constantemente con el aumento de la presión, hasta 60°C .

La conducción hacia uno de los equipos cuenta con un manómetro en la tubería inmediatamente antes de la descarga, donde se lee 2 bar. La conducción desde el tanque hasta el equipo es de acero comercial IPS Sch 40, diámetro nominal 1" y tiene una longitud equivalente de 40 m.

Sabiendo que la temperatura ambiente es 20°C , estime o acote, de la mejor forma posible, los flujos másicos máximo y mínimo que llegan a ese equipo.

Problema de evaluación

e.1. A través de una tubería de acero comercial IPS Sch 40 $\phi_N = 1"$ de 5 m de longitud equivalente, se suministra aire para un proceso que opera con una presión de 3 bar manométricos, desde un tanque con aire comprimido. **¿Cuál deberá ser la presión manométrica mínima del tanque de aire comprimido si se quiere asegurar un flujo másico de al menos 38 kg/min ? (Respuesta: 8,5 barg)**

Datos adicionales:

- El tanque contiene el aire a 20°C (temperatura ambiente).
- El proceso se puede modelar como un reservorio.
- Presión atmosférica 1,0 bar.
- Rugosidad del acero comercial $5 \times 10^{-5} \text{ m}$.
- Propiedades del aire: $PM = 28,8 \text{ g/mol}$; $\gamma = c_p/c_v = 1,4$; $\mu = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Semana 3

Al final de esta semana podrá resolver las preguntas de autoevaluación 12 a 14

Problema de resolución previa

p.3. Un reactor, que opera en un rango de temperaturas de entre 100 y 120 °C, genera entre 100 y 150 kg/h de gases residuales que deben ser evacuados de modo que la presión en el reactor no supere los 2 bar manométricos. Estos gases son quemados en una antorcha que opera a presión atmosférica. La conducción desde el reactor hasta la descarga en la antorcha tiene una longitud equivalente de 120 m.

Seleccione el diámetro nominal mínimo de tubería de acero comercial Sch 40 para conducir los gases residuales, utilizando el diagrama de Lapple. Justifique la validez de su uso para este caso. (Respuesta: 1")

Datos adicionales:

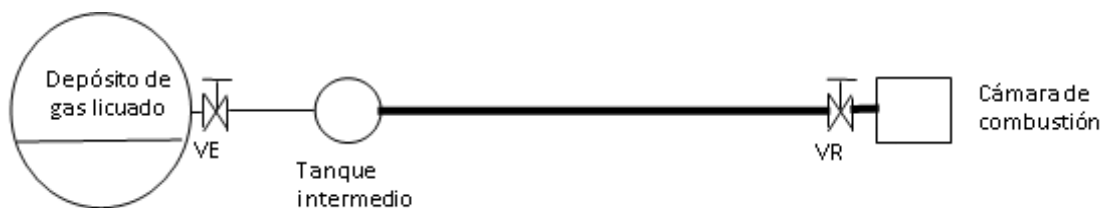
- Rugosidad del acero comercial: 5×10^{-5} m
- Presión atmosférica: 1,0 bar
- Propiedades de la mezcla de gases residuales:
 $PM = 40$ g/mol; $c_p/c_v = 1,3$; $\mu = 2 \times 10^{-5}$ Pa·s

Problemas de resolución en clase

c.4. Una empresa distribuidora de gas propano abastece a las empresas instaladas en un parque industrial desde un depósito de gas licuado. Para garantizar el suministro, limita el consumo por contrato.

Con el fin de controlar que ninguna empresa consuma mayor caudal al contratado, para cada una de ellas tiene un pequeño tanque intermedio conectado al depósito principal mediante una válvula esclusa, instalada en una cañería recta de acero comercial IPS Sch 80 de $\frac{1}{2}$ " de diámetro nominal y de largo adecuado, que asegura flujo sónico al final de ésta. Desde el tanque intermedio el gas fluye por una cañería de acero comercial Sch 80 de 2" de diámetro nominal hacia las instalaciones del cliente, quien cuenta con una válvula reguladora de flujo.

Una empresa contrata un suministro máximo de 0,2 kg/s de propano. La conducción de 2" tiene una longitud equivalente de 120 m con la válvula de control de flujo totalmente abierta. El propano se descarga en una cámara de combustión que opera a una presión absoluta de 1,0 bar y a 350°C.



En el depósito principal el propano líquido está a temperatura ambiente (17 °C) y en equilibrio con su vapor, siendo la presión de este 7,7 bar absolutos.

Considere que la velocidad de vaporización no limita el flujo.

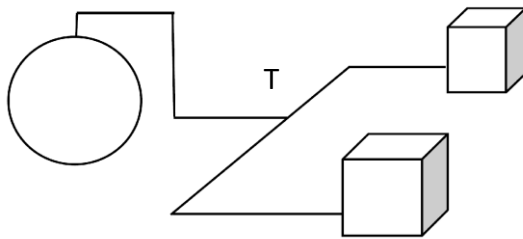
En el tanque intermedio el intercambio de calor con el ambiente puede despreciarse, así como la energía cinética del gas en su interior.

- ¿Cuál es el largo del caño de $\frac{1}{2}$ " requerido si la entrada a cañería es de cantos vivos?
- Demuestre que, en estado estacionario, la temperatura del propano en el tanque intermedio es igual a la temperatura en el depósito de gas licuado.
- Determine la máxima presión que debe soportar el tanque intermedio.
- Detalle la ruta de cálculo para determinar la presión mínima en el depósito intermedio. Indique todos los parámetros requeridos que conoce previo al cálculo.

Datos adicionales:

- Las longitudes equivalentes incluyen las entradas a tubería
- Rugosidad absoluta del acero comercial: 5×10^{-5} m
- Peso molecular del propano: 44 g/mol. Viscosidad del propano: 8×10^{-6} Pa·s
- Asuma para el propano en las condiciones de trabajo: gas ideal y $c_p/c_v = 1,15$

c.5. Desde un depósito de gas licuado se abastecen los quemadores de dos hornos que operan en paralelo, según el diseño de la figura.



La longitud equivalente entre el depósito y la T es de 8 m, incluyendo una válvula de apertura y cierre, y entre la T y la entrada a cada uno de los quemadores es de 18 m, incluyendo una válvula reguladora de flujo. La presión manométrica en la entrada a los quemadores es aproximadamente 30 mbar en condiciones de operación normales.

La temperatura del gas licuado varía entre 10 y 25 °C, manteniéndose muy próxima a la temperatura ambiente. En este rango de temperaturas, la presión de vapor del propano saturado se puede aproximar por la función:

$$P = 0,0024 T^2 - 1,185 T + 150,2$$

siendo T la temperatura en K y P la presión en bar absolutos.

Determine si se puede asegurar un flujo de al menos 0,5 kg/s a cada quemador en todo momento.

Datos adicionales:

- Los hornos operan a 350 °C y a una presión manométrica de 10 mbar.
- El diámetro interno de la conducción es 3,8 cm y su rugosidad 5×10^{-5} m.
- PM $C_3H_8 = 44$ g/mol
- Asuma que $\gamma = c_p/c_v = 1,2$ en el rango de temperaturas considerado.
- Presión atmosférica 1,0 bar.
- Puede asumirse régimen completamente turbulento en todos los casos.
- Puede asumirse que los valores extremos de flujo masa se producen a las temperaturas extremas.
- Las variaciones de presión en la T pueden despreciarse.

Problema de evaluación

e.2. Una bomba de vacío se utiliza para mantener vacío en un tanque desde el cual se da servicio de vacío a una línea de producción. La bomba de vacío enciende cuando el manómetro (vacuómetro) del tanque indica -500 mmHg y se apaga cuando la lectura alcanza los -700 mmHg. La planta industrial trabaja en dos turnos de 8 horas. La bomba de vacío se conecta al comenzar el primer turno del día y se desconecta únicamente al terminar el segundo.

Un operario observa que, al comenzar el primer turno del día, sistemáticamente el tanque se encuentra sin vacío, lo cual retrasa el inicio de la operación en la línea de producción. La información llega al gerente de producción, quien encarga investigar el asunto al jefe del último turno. Este decide quedarse después de hora a analizar el tema. Deja conectada la bomba de vacío y reduce el vacío del tanque hasta que se enciende la bomba. Luego que se apaga, registra 31 minutos hasta que se vuelve a prender. El volumen interno del sistema es de 296 litros y puede asumir que la compresión del aire contenido en el sistema es isotérmica y a la temperatura del ambiente.

Estime el diámetro equivalente de la “fuga de vacío” (en milímetros), despreciando su longitud equivalente.
(Respuesta: 0,5 mm)

Datos adicionales:

Propiedades del aire atmosférico: $T = 25^{\circ}\text{C}$; $P = 1,02 \text{ bar}$; $c_p/c_v = 1,4$; $PM = 28,8 \text{ g/mol}$; $\mu = 1,85 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

ANEXO: Factores de compresibilidad del metano

TABLA 3-172 Factores de compresibilidad del metano (R50)*										
Temperatura, K	Presión, bar									
	1	5	10	20	40	60	80	100	200	300
150	0.9854	0.9225	0.8275	0.0714	0.1411	0.2093	0.2763	0.3423	0.6599	0.9623
200	0.9936	0.9676	0.9339	0.8599	0.6784	0.3559	0.3172	0.3618	0.6141	0.8568
250	0.9965	0.9838	0.9680	0.9352	0.8682	0.8020	0.7386	0.6854	0.6899	0.8554
300	0.9983	0.9915	0.9830	0.9667	0.9343	0.9047	0.8783	0.8556	0.8280	0.9154
350	0.9991	0.9954	0.9911	0.9825	0.9662	0.9520	0.9401	0.9306	0.9227	0.9800
400	0.9995	0.9977	0.9953	0.9912	0.9835	0.9772	0.9726	0.9696	0.9779	1.0245
450	0.9997	0.9989	0.9979	0.9963	0.9935	0.9917	0.9911	0.9916	1.0098	1.0528
500	0.9999	0.9997	0.9995	0.9995	0.9996	1.0005	1.0022	1.0048	1.0285	1.0699
600	1.0000	1.0009	1.0020	1.0039	1.0081	1.0125	1.0171	1.0217	1.0540	1.0969
800	1.0003	1.0017	1.0034	1.0068	1.0130	1.0197	1.0263	1.0330	1.0678	1.1068
1000	1.0004	1.0014	1.0035	1.0071	1.0141	1.0207	1.0274	1.0342	1.0678	1.1033