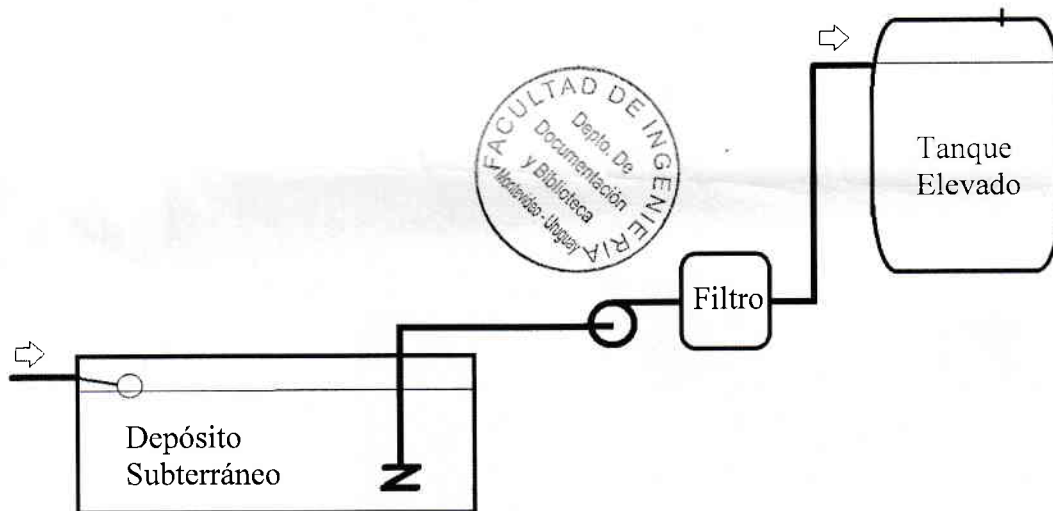


Problema 1.

Para asegurar el abastecimiento de agua a una industria, esta cuenta con una perforación desde la cual se bombea agua del acuífero hasta un depósito subterráneo. El ingreso del agua al depósito subterráneo se realiza a través de una válvula de flotador, que permite mantener su nivel prácticamente constante.

Para mejorar la calidad del agua se resuelve hacerla pasar a través de un filtro de carbón activado, que admite un caudal de hasta $6 \text{ m}^3/\text{h}$, y almacenarla en un tanque elevado para su distribución por gravedad. Se prevé colocar un sensor de nivel para apagar la bomba cuando el agua llegue el nivel máximo del tanque elevado (correspondiente al nivel de entrada del agua) y otro sensor de nivel para volver a encenderla cuando llega a su nivel mínimo (1 m por encima del fondo del tanque). En el siguiente esquema se presenta el sistema diseñado.



- Seleccione una bomba de entre las que se presentan en el gráfico adjunto, que permita bombear un caudal lo más próximo posible a $6 \text{ m}^3/\text{h}$, sin sobrepasar dicho valor.
- Para poder operar a la máxima capacidad del filtro de carbón activado, se propone instalar la más potente de las tres bombas y alimentarla con un variador de frecuencia. Indique si esta propuesta es factible, y en caso afirmativo estime en que rango debería variar la frecuencia de alimentación a la bomba.

Datos adicionales:

Propiedades del agua: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 1.0 \text{ mPa}\cdot\text{s}$; PM: 18 g/mol ; $P_{\text{vap}}: 23 \text{ mbar}$

Tuberías y accesorios:

Todas las tuberías son de acero comercial Sch40 con rugosidad absoluta de $5 \times 10^{-5} \text{ m}$

Entre el depósito y la bomba: Diámetro nominal $1 \frac{1}{4}"$, 6 metros de tubería, una válvula de retención de pie con filtro y obturador ascendente, y 2 codos estándar de 90°

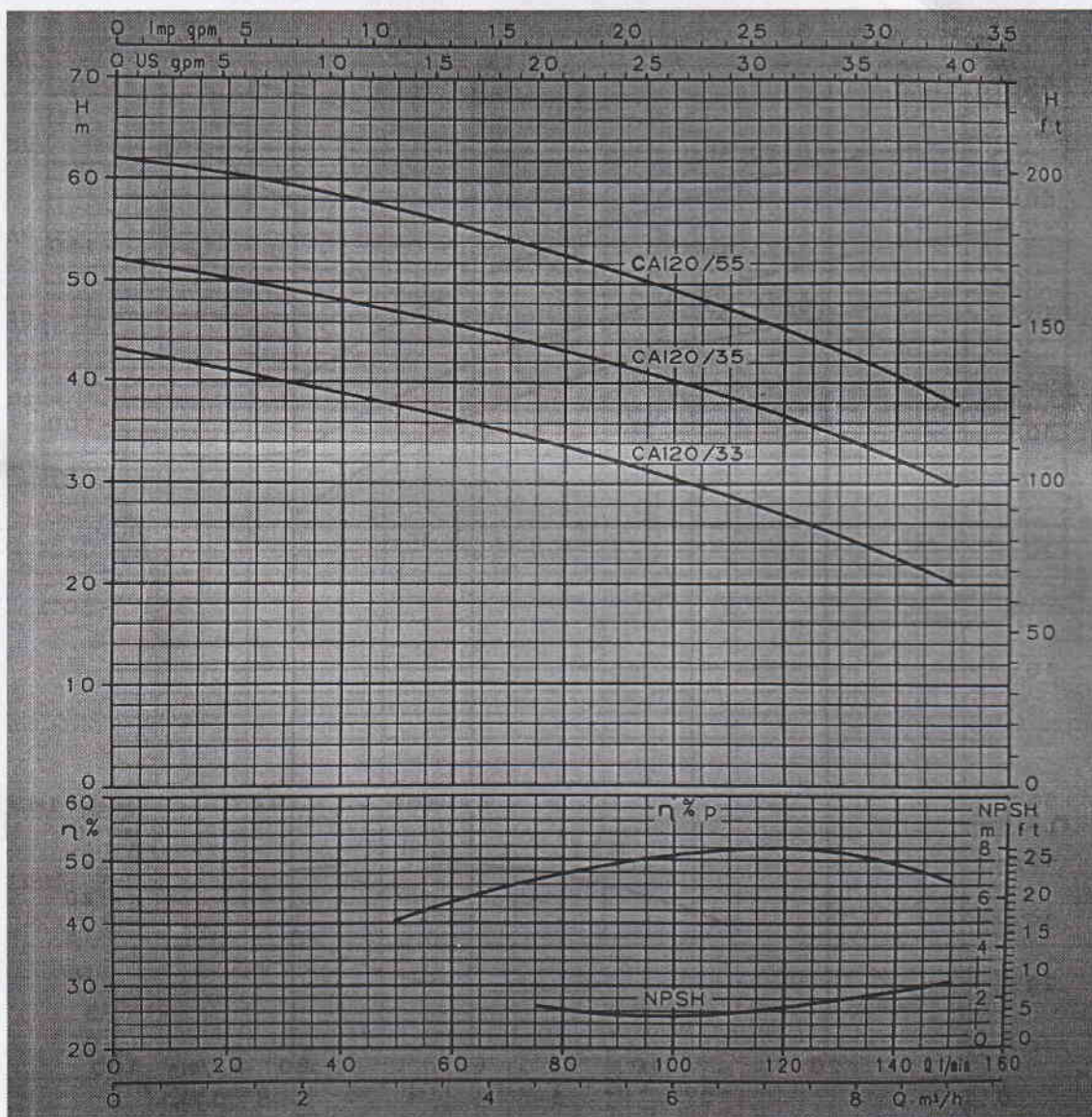
Entre la bomba y el tanque elevado: Diámetro nominal $1"$, 70 metros de tubería, 4 codos estándar de 90° , una válvula de compuerta y el filtro de carbón activado. Constante de pérdida de carga en el filtro K_f : Entre 3 y 8 según su estado.

Depósito: 5 m de diámetro, nivel constante a 50 cm por debajo de la bomba. Venteado a la atmósfera

Tanque elevado: 3 m de diámetro, nivel máximo 10 m y nivel mínimo 2 m por encima de la bomba. Venteado a la atmósfera.

1/7

$P_{atm} = 1 \text{ bar}$



Curvas para 50 Hz (2800rpm):

$$\text{CA120/33: } H(m) = 43 - 1.26Q(m^3/h) - 0.144[Q(m^3/h)]^2$$

$$\text{CA120/35: } H(m) = 52 - 1.01Q(m^3/h) - 0.159[Q(m^3/h)]^2$$

$$\text{CA120/55: } H(m) = 62 - 1.04Q(m^3/h) - 0.181[Q(m^3/h)]^2$$

2/7

Problema 2.

Una planta de embotellado de bebidas gaseosas planea incorporar una línea automatizada de llenado. En esta línea, se utilizarán válvulas neumáticas para controlar el ingreso de agua tratada y jarabe, dosificar el dióxido de carbono en cada botella, y activar el sistema de limpieza una vez terminado el turno.

El sistema contará con 40 válvulas actuadas neumáticamente, que requerirán aire comprimido para su funcionamiento. En promedio, se estima que cada válvula realizará 5 ciclos/min, con una demanda de 3 L/ciclo en condiciones estándares (1 atm y 15 °C). El aire comprimido será provisto por un compresor reciprocante, y se almacenará en un tanque pulmón, desde donde se enviará hacia un punto de distribución (*manifold*) conectado a las válvulas mediante ramales plásticos.

Para minimizar el ruido, se prevé ubicar el compresor y el tanque pulmón en una sala alejada de la planta. La conexión desde el tanque hasta el manifold se realizará mediante una cañería de acero comercial de 1/2" Sch 80, que, junto a los accesorios de esta, tiene una longitud equivalente de 100 metros. Se proyecta instalar un enfriador previo al tanque, así como un controlador ON-OFF para el compresor mediante un presostato.

- Si la presión de operación máxima del tanque se fija en 7 barg, determine el mínimo volumen del tanque pulmón para que el compresor no permanezca apagado por menos de 5 minutos cada vez.
- Verifique si el compresor seleccionado podría ser adecuado para operar en el sistema descrito.
- Mencione dos motivos por los cuales es útil disponer de un enfriador.

Datos de la instalación

Compresor seleccionado:

- Reciprocante, de simple efecto con 2 cilindros
- Cilindrada: 800 cm³/cilindro
- Fracción de volumen muerto del 3%
- Velocidad de giro del motor: 1450 rpm
- Relación de transmisión: 0,6
- Coeficiente politrópico (k): 1,3



Sistema de distribución de aire:

- Se requieren al menos 3,3 barg en el manifold de distribución para poder accionar las válvulas
- Rugosidad absoluta del acero comercial (ϵ): 5×10^{-5} m
- El enfriador previsto luego del compresor estará diseñado para mantener la temperatura de ingreso del aire al tanque pulmón entre 30 y 40 °C

Datos adicionales

- Temperatura ambiente: 15 °C
- Presión atmosférica: 1,01 bar
- Propiedades del aire: $P_M = 28,9 \times 10^{-3}$ kg/mol; $\gamma = c_p/c_v = 1,4$; $\mu = 1,85 \times 10^{-5}$ Pa·s
- Puede suponer despreciable la pérdida de carga del enfriador
- Puede despreciar el cambio de temperatura durante la descompresión del tanque.

3/7

$$Q \approx 6 \text{ m}^3/\text{h}$$

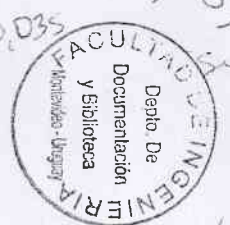
Determino $H_{\text{sist.}}$ por $Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$

Ben superficie de depósito a Tapa elevada

$$H = \frac{\Delta u^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z + \left(f_s \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{u_s^2}{2g} + \left(f_D \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{u_D^2}{2g}$$

$\frac{u_s^2}{2g}$
 $\frac{u_D^2}{2g}$

$10,56$
 $0,035$
 $10,5 \text{ m}$
 70
 $5,94$
 $0,0266$
 $42,8$



$$u_s = \frac{Q}{A_s} = \frac{6/60}{9,65 \times 10^{-4}} \Rightarrow u_s = 1,73 \text{ m/s} \Rightarrow Re_s = 6,05 \times 10^4 \Rightarrow f_{s_s} = 0,0243$$

$$u_D = \frac{Q}{A_D} = \frac{6/60}{5,58 \times 10^{-4}} \Rightarrow u_D = 2,88 \text{ m/s} \Rightarrow Re_D = 7,96 \times 10^4 \Rightarrow f_{s_D} = 0,0242$$

$$\sum K_s = 420 \times 0,022 + 2 \times 30 \times 0,022 \quad \leftarrow K_{\text{filtro}}$$

$$\sum K_D = 4 \times 30 \times 0,023 + 8 \times 0,023 + 3$$

Resultado $H = 44,8 \text{ m} \Rightarrow$ Selecciono CA 120/35 que da 40 m por $6 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow Q \approx 6 \text{ m}^3/\text{h}$

Verifico que no hay cavitación

Según grafico $NPSH_r \approx 1,8 \text{ m}$

$$NPSH_d = \frac{P_{\text{atm}}}{\rho g} - \Delta h_{f_s} + \Delta z - \frac{P_{\text{vap}}}{\rho g} = 7,22 \text{ m}$$

$10,2 \text{ m}$
 $2,25 \text{ m}$
 $-0,5 \text{ m}$
 $0,23 \text{ m}$

No cavitación ✓
 Continuo CA 120/35

$$Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$$

⇒ con BDM ya presentados determinar H_{sist} para

las k extremas del filtro ⇒ si $k_{\text{filtro}} = 3 \Rightarrow H_{\text{min}} = 44,8 \text{ m}$

si $k_{\text{filtro}} = 8 \Rightarrow H_{\text{max}} = 47,1 \text{ m}$

Apliquemos L.S a la curva de la bomba CS 120/SS

$$H_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 H_2 \quad Q_1 = \frac{N_1}{N_2} Q_2$$



$$\Rightarrow H \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = 62 - 1,04 \frac{N_1}{N_2} Q - 0,181 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Q^2$$

$$\Rightarrow H(\text{m}) = 62 \left(\frac{N_2}{2800} \right)^2 - 1,04 \frac{N_2}{2800} Q (\text{m}^3/\text{h}) - 0,181 \left(\frac{N_2}{2800} \right)^2 Q^2$$

siendo $Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$, si $H = 44,8 \text{ m} \Rightarrow N = 2692 \text{ rpm} \Rightarrow f_{\text{min}} = 48 \text{ Hz}$

si $H = 47,1 \text{ m} \Rightarrow N = 2749 \text{ rpm} \Rightarrow f_{\text{max}} = 48 \text{ Hz}$

NPSH_d coincide con el calculado en (a)

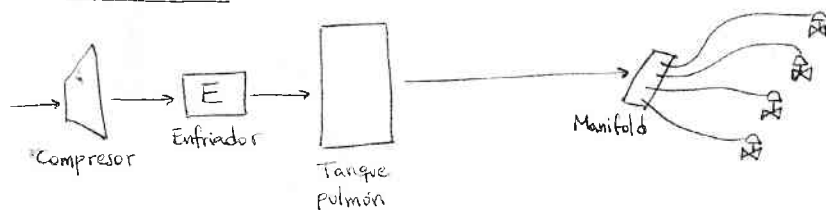
NPSH_r es menor al calculado en (a) porque ↓ si N ↓

⇒ No cavita.

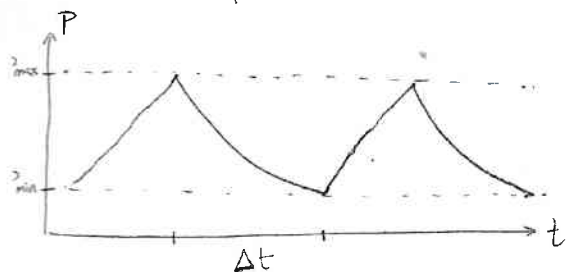
⇒ La propuesta es factible en el rango de frecuencias indicado

5/7

tema 2



En el tanque pulmón:



Para la descarga del tanque (descompresión):

$$BM \rightarrow \frac{dm}{dt} = -W_{salida}$$

$$W_{salida} = cte$$

$$\int_{m_i}^{m_f} dm = -W_{salida} \int_0^{\Delta t} dt$$



$$m_f - m_i = -W_s \Delta t$$

GAS IDEAL $\rightarrow PV = nRT \rightarrow PV = \frac{mRT}{PM}$

$$\left(\frac{P_f}{T_f} - \frac{P_i}{T_i} \right) \frac{V_{PM}}{R} = -W_s \Delta t$$

$$m = \frac{PV_{PM}}{RT}$$

letra $\rightarrow T_f = T_i$ (suposición) $\rightarrow (P_f - P_i) \frac{V_{PM}}{RT} = -W_s \Delta t$

$$P_i = 7 \text{ barg}$$

$P_f = ?$ $\rightarrow$ La necesaria para que en el manifold hayan 3,3 barg con el flujo de aire requerido

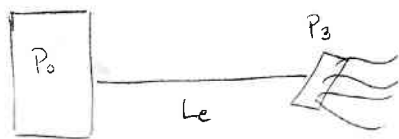
$$V = \frac{W_s R T \Delta t}{PM (P_i - P_f)}$$

$T = ?$ $\rightarrow$ La más conservadora $\rightarrow T = 40^\circ C$

A mayor $P_f \equiv P_o$, más conservador el resultado $\rightarrow$ Modelo isotérmico ($T > T_{amb}$)

3EM con entrada desde reservorio con flujo isotérmico

$$\left(\frac{\gamma - 1}{2\gamma} \right) X = r^2 - r^{\gamma+1} \quad (1)$$



$$\left(\frac{r^2 - z^2}{X} \right) r^{\gamma-1} - 2 \ln \left(\frac{r}{z} \right) = \frac{f_B L_e}{D} \quad (2I)_R$$

$$F = 2r^{\gamma-1} (3I)_R$$

$$F = \frac{P_3}{P_0} \quad (4)$$

$$W = PQ$$

$$X = \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{v_o}{P_0} \quad (\text{def } X)$$

$$Q = \frac{40 \times 5 \text{ m}^3/\text{min} \times 3 \text{ l/ciclo}}{1000 \text{ l/m}^3 \times 60 \text{ s/min}} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{En condiciones estándares (P=1atm, T=15}^\circ\text{C)}$$

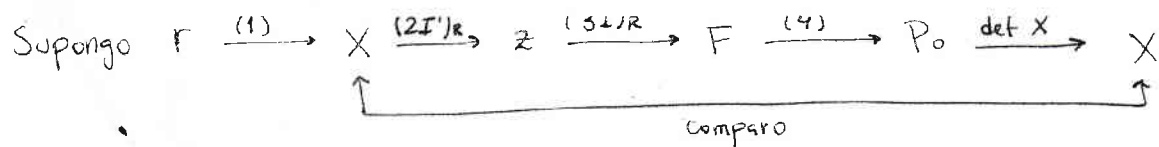
$$P_{spo} = \frac{P_s PM}{RT_s} = \frac{1,01 \times 10^5 \times 29 \times 10^{-3}}{8,3145 \times (15 + 273,15)} = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

$$W = 0,0122 \text{ kg/s}$$

$$Re = \frac{W}{A} \frac{D}{\mu} \Rightarrow \phi = \frac{1}{2}'' \left. \begin{array}{l} \text{Sch 40} \end{array} \right\} \rightarrow D = 0,01337 \text{ m} \rightarrow A_{flujo} = \frac{\pi D^2}{4} = 1,51 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Re = 60461 \rightarrow \text{Colebrook } \frac{\epsilon}{D} \rightarrow f_B = 0,0294$$

6/7



○ minimizo función objetivo con el Solver

$$\rightarrow X = 0,00189$$

$$r = 0,999$$

$$Z = 0,772$$

$$F = 0,772$$

$$P_0 = 556856 \text{ Pa} \rightarrow P_{TK, \min}$$

$$V = \frac{W_s R T \Delta t}{PM(P_{TK, \max} - P_{TK, \min})} = \boxed{1,35 \text{ m}^3}$$

b) Verifico compresor

$$W = V_0 \eta_{v, \text{real}} N_c \rho_1 Z j \quad \text{con} \quad N_c = N_{\text{motor}} \times (RT)$$

$$\rho_1 = \frac{P_1 PM}{RT_1} = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_{v, \text{real}} = \eta_{v, \text{teo}} = 1 + c(1 - r_c^{1/k})$$

(no se especifica lo contrario)



$$\text{Para } r_{c, \max} = 8 \rightarrow W = 0,025 \text{ kg/s}$$

$$\text{Para } r_{c, \min} = 5,46 \rightarrow W = 0,026 \text{ kg/s}$$

$$> W_{\text{demandado}} = 0,0122 \text{ kg/s}$$

$r_{c, \max} = 8 \rightarrow$ valor límite para compresión en una etapa $\rightarrow$ correcto
(aún razonable)

El compresor seleccionado es adecuado.

c)

Enfriador posterior $\rightarrow$ ¿Por qué es útil?

$$T_2 = T_1 r_c^{\frac{k-1}{k}} \cong 153^\circ \text{C para } r_{c, \min} \rightarrow \text{Muy elevada.}$$

$\rightarrow$ Un gas más frío implica un gas más denso y por ende, un mejor aprovechamiento del volumen del tanque.

$\rightarrow$ El aire caliente podría dañar las válvulas y las conexiones de plástico

$\rightarrow$ El aire caliente puede generar problemas de seguridad.