

PARCIAL 1-2 EQUIPOS

(1º parcial - 26/4/2022 - 1º cuatr.)

PROBLEMA 1

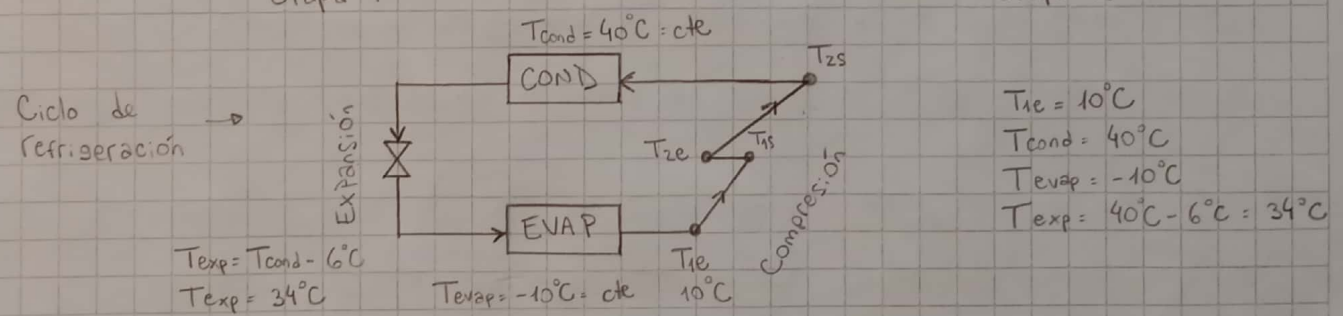
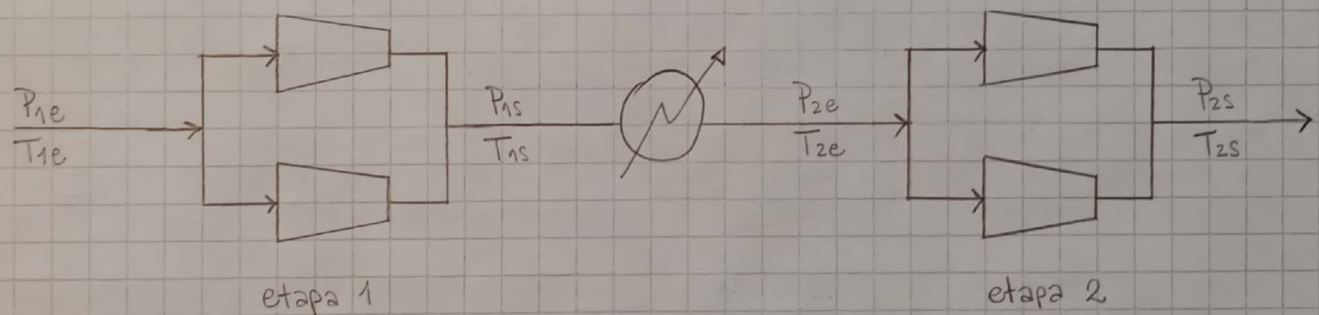
- Compresor alternativo
- 2 etapas, 2 cilindros c/u
- $N = 2900 \text{ rpm} \rightarrow f = \frac{N}{60} = \frac{2900}{60} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \rightarrow f = \frac{48,33}{\text{s}}$
- Cilindros de la 1ª etapa $\rightarrow D = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$
 $\rightarrow L_b = 82 \text{ cm} = 0,82 \text{ m}$
 $\rightarrow E_v = 0,78$

• Relación de compresión igual en cada etapa $\rightarrow r_p = \text{cte}$

- Circuito de refrigeración \rightarrow Mollier \rightarrow R134a
 - $T_{\text{evaporación}} = -10^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{condensación}} = 40^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{entrada comp}} = 10^\circ\text{C} \rightarrow T_{1e}$
 - Subenfriamiento del liq $= 6^\circ\text{C}$
 - Calor total del condensador $= 28000 \text{ kW} = \dot{M} \cdot \Delta H_{\text{cond}} = \dot{W}_{\text{cond}}$

NOTA: en ninguna etapa del ciclo debo considerar caída de presión

- Si $h_{\text{ad},1} = 0,8 \rightarrow$ determinar condiciones de salida de la etapa 1 (P, T, W_{real})
- Puede haber enfriamiento perfecto? Justificar
- Si el refrigerante ingresa a la etapa 2 a $T = 20^\circ\text{C} \rightarrow$ dibujar ciclo completo en Mollier
- Potencia del compresor
- Potencia de refrigeración del ciclo



⊛ El refrigerante entra al compresor a $T_{1e} = 10^\circ\text{C}$ y a la misma presión a la que sale del evaporador es decir que está como vapor sobrecalentado (porque sale del evaporador a $T = -10^\circ\text{C}$). Puedo leer del Mollier la presión a la que trabaja el evaporador.

$\rightarrow P_{\text{evap}} = P_{\text{sat}}(-10^\circ\text{C}) = 2 \text{ bar} \Rightarrow P_{1e} = 2 \text{ bar} \rightarrow$ marca el punto P_{1e}, T_{1e}

⊛ Volumen de barrido de 1 cilindro de la et 1 $\rightarrow V_b = L_b \cdot A = L_b \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 0,82 \text{ m} \cdot \frac{\pi (0,5 \text{ m})^2}{4} \Rightarrow V_b = 0,161 \text{ m}^3$

* Volumen admitido por 1 cilindro de la et. 1 $\rightarrow E_v = \frac{V_a}{V_b} \Rightarrow 0,78 = \frac{V_a}{0,161 \text{ m}^3} \Rightarrow V_a = 0,126 \text{ m}^3$

* Masa admitida por 1 cilindro de la etapa 1 $\rightarrow M_a = V_a \cdot \rho$ $\leadsto \rho$ a la entrada

\rightarrow Como conozco P_{ie} y T_{ie} , puedo leer el volumen específico del Mollier en esas condiciones

$V_{esp} = \frac{1}{\rho} \Rightarrow V_{esp} \approx 0,112 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \Rightarrow \rho_a = 8,93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

\rightarrow Entonces $M_a = 0,126 \text{ m}^3 \cdot 8,93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow M_a = 1,125 \text{ kg}$

* El caudal másico que circula por 1 cilindro de la etapa 1 es $\dot{M}_{1cil} = M_a \cdot \frac{N}{60} = M_a \cdot f$

$\dot{M}_{1cil} = 1,125 \text{ kg} \cdot \frac{2900 \text{ rpm}}{60 \text{ s} \cdot \text{rpm}} \Rightarrow \dot{M}_{1cil} = 54,375 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

* Como en la etapa 1 hay 2 cilindros en paralelo, el caudal másico total es $2 \cdot \dot{M}_{1cil}$

$\dot{M} = 2 \cdot \dot{M}_{1cil} = 2 \cdot 54,375 \text{ kg/s} \Rightarrow \dot{M} = 108,75 \text{ kg/s}$

* El condensador trabaja a una $T_{cond} = 40^\circ\text{C}$, por lo tanto la presión a la que trabaja es $P_{sat}(40^\circ\text{C})$. Puedo leer del Mollier cuál es esta presión. $\rightarrow P_{cond} = 10 \text{ bar}$

Además sé que el subenfriamiento del líquido que abandona el condensador es de 6°C es decir que está 6°C por debajo de la $T_{sat} = 40^\circ\text{C}$, a la presión a la que trabaja el condensador. Puedo marcar el punto en el Mollier. $\rightarrow P = 10 \text{ bar}, T = 34^\circ\text{C}$

Como la expansión es isoentálpica, trazo una trayectoria de entalpía constante (recta vertical) hasta llegar a la presión a la que opera el evaporador. (2 bar)

Con esto puedo trazar en el Mollier las etapas de expansión y evaporación completas

* Conozco que el calor total de condensación es $\dot{Q} = \dot{M} \cdot \Delta H_{cond} = 28000 \text{ kW}$

\rightarrow como conozco \dot{M} , despejo $\Delta H_{cond} \rightarrow 28000 \text{ kW} = 108,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \Delta H_{cond}$

$\Delta H_{cond} = 257,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = H_{cond, entrada} - H_{cond, salida} \leadsto H_{cond, salida} = H_{expansión}$

Del Mollier leo cuál es la entalpía de expansión $\rightarrow H_{cond, salida} = 245 \text{ kJ/kg}$

Entonces $H_{cond, entrada} = 257,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 245 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow H_{cond, entrada} = 502,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Marco el punto $H_{cond, entrada}$; P_{cond} en el Mollier. Uniéndolo con el punto $H_{cond, salida}$; P_{cond} puedo trazar la etapa de condensación completa.

* El punto de entrada al condensador es el de salida de la etapa 2 de compresión.

↳ Leo las condiciones de salida del compresor del Mollier $\rightarrow \begin{cases} T_{2s} = 120^\circ\text{C} \\ P_{2s} = 10 \text{ bar} \end{cases}$

* Considerando que no hay caída de presión entre la etapa 1 y 2 del compresor, y que la relación de compresión es la misma en ambas etapas

↳ $P_{1s} = P_{2e} \rightarrow r_p = \frac{P_{1s}}{P_{1e}} = \frac{P_{2s}}{P_{2e}} \Rightarrow \frac{P_{1s}}{P_{1e}} = \frac{P_{2s}}{P_{1s}} \rightarrow$ puedo despejar la P_{1s}

$\frac{P_{1s}}{2 \text{ bar}} = \frac{10 \text{ bar}}{P_{1s}} \Rightarrow \boxed{P_{1s} = 4,47 \text{ bar}}$ $\rightarrow r_p = \frac{4,47 \text{ bar}}{2 \text{ bar}} = 2,235 < 3,5 \checkmark$

* Puedo conocer el trabajo adiabático (ideal) de la etapa 1 de compresión si me muevo desde el punto P_{1e}, T_{1e} hasta la P_{1s} por una trayectoria de entropía constante en el Mollier. Marco el punto de llegada y leo la diferencia de entalpía.

↳ $H_{1e} = 410 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad H_{1s, \text{ad}}(4,47 \text{ bar}) = 427 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$W_{\text{ad},1} = \Delta H_{\text{ad},1} = (427 - 410) \text{ kJ/kg} \Rightarrow \boxed{W_{\text{ad},1} = 17 \text{ kJ/kg}}$

* El trabajo real está dado por $W_{\text{real},1} = \frac{W_{\text{ad},1}}{\eta_{\text{ad},1}} = \frac{17 \text{ kJ/kg}}{0,8} \Rightarrow \boxed{W_{\text{real},1} = 21,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$

* Como $W_{\text{real},1} = \Delta H_{\text{real},1} = H_{1s, \text{real}} - H_{1e} \rightarrow$ puedo despejar $H_{1s, \text{real}}$

$21,25 \text{ kJ/kg} = H_{1s, \text{real}} - 410 \text{ kJ/kg} \Rightarrow \boxed{H_{1s, \text{real}} = 431,25 \text{ kJ/kg}}$

Conociendo $H_{1s, \text{real}}$ y P_{1s} puedo leer en Mollier la temperatura $\rightarrow \boxed{T_{1s} = 40^\circ\text{C}}$

* Puedo trazar en el Mollier la etapa 1 de compresión (real).

Como sé que el refrigerante entra a la etapa 2 de compresión a $T_{2e} = 20^\circ\text{C}$ y a la $P_{2e} = P_{1s} = 4,47 \text{ bar}$, y sale de esta etapa a $P_{2s} = 10 \text{ bar}$ y $T_{2s} = 120^\circ\text{C}$ puedo trazar la etapa 2 de compresión completa. Uniendo la salida de la etapa 1 con la entrada de la etapa 2, cierro el ciclo de refrigeración en el Mollier.

* No puede haber enfriamiento perfecto ($T_{2e} = T_{1e} = 10^\circ\text{C}$) porque, si no hay caída de presión, $P_{2e} = P_{1s} = 4,47 \text{ bar}$. En esa condición de P, T el refrigerante se encuentra saturado, es decir, que es una mezcla líquido-vapor. Los compresores están diseñados para trabajar únicamente con gases/vapores, No puede ingresar líquido.

⊕ Potencia del compresor

$$\rightarrow \text{etapa 1} \rightarrow \boxed{w_{\text{real},1} = 21,25 \text{ kJ/kg}}$$

$$\rightarrow \text{etapa 2} \rightarrow w_{\text{real},2} = h_{2s} - h_{2e} \rightsquigarrow \text{las leo del Mollier } (h_{2s} = h_{\text{cond, entrada}})$$

$$w_{\text{real},2} = (502,47 - 414) \text{ kJ/kg} \Rightarrow \boxed{w_{\text{real},2} = 88,47 \text{ kJ/kg}}$$

$$\rightarrow \dot{w}_{\text{real}} = \sum (w_{\text{real},i} \cdot \dot{m}_i) = \dot{m} \cdot \sum w_{\text{real},i} = 108,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \left(21,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 88,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\boxed{\dot{w}_{\text{real}} = 11932,05 \text{ kJ/s}} \rightsquigarrow \boxed{\dot{w}_{\text{compresor}} = 11932 \text{ kW}}$$

⊕ Potencia de refrigeración del ciclo \rightarrow potencia del evaporador

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow \left[\begin{array}{l} h_{\text{evap, entrada}} = h_{\text{cond, salida}} = 245 \text{ kJ/kg} \\ h_{\text{evap, salida}} = h_{1e} = 410 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} w_{\text{evap}} = \Delta h_{\text{evap}} = (410 - 245) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 165 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right.$$

$$\rightarrow \dot{w}_{\text{evap}} = \dot{m} \cdot w_{\text{evap}} = 108,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 165 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \boxed{17943,75 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}} \rightsquigarrow \boxed{\dot{w}_{\text{refrig}} = 17944 \text{ kW}}$$

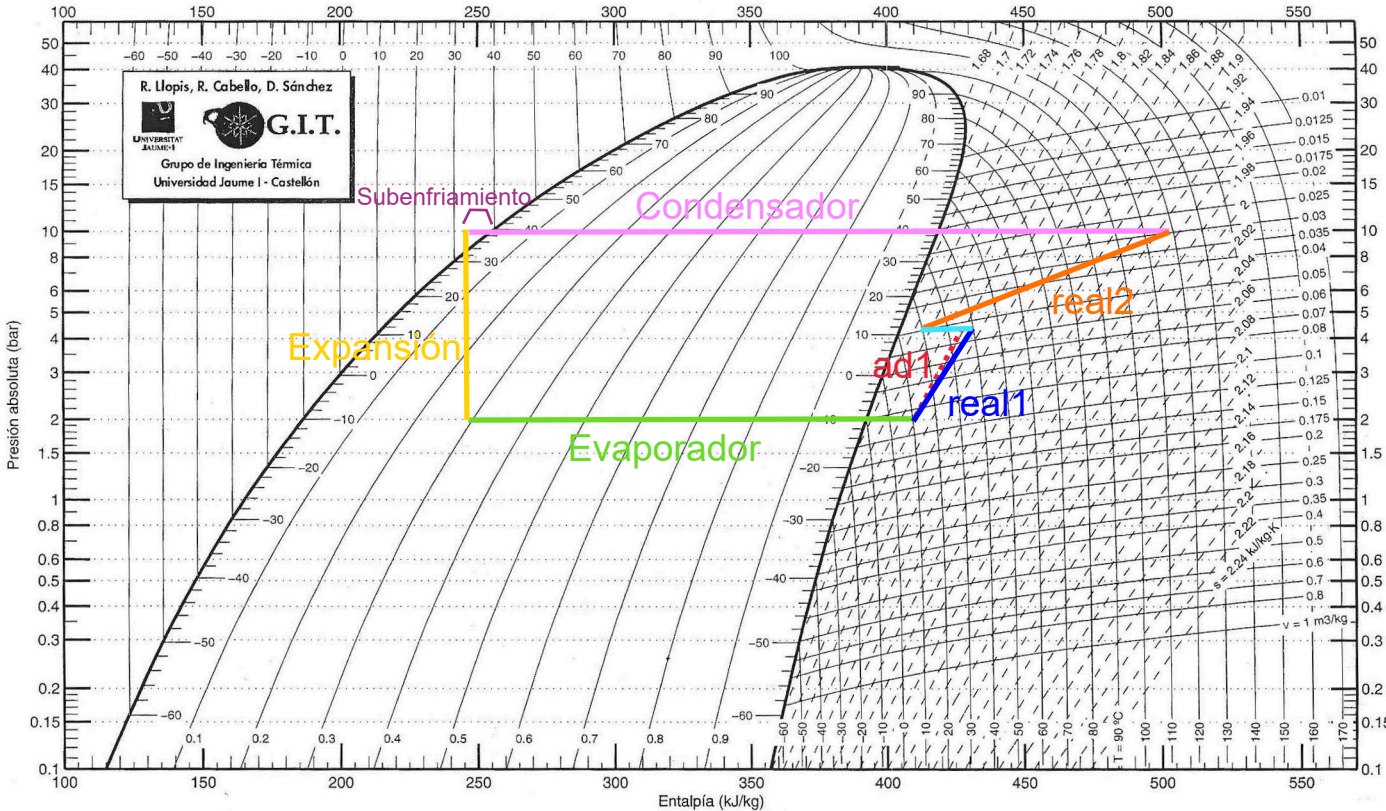
RESPUESTAS \rightarrow a) $P_{1s} = 4,47 \text{ bar}$ $T_{1s} = 40^\circ\text{C}$ $w_{\text{real},1} = 21,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

b) No puede haber enfriamiento perfecto porque entraría a la etapa 2 como mezcla líquido-vapor y solo puede ingresar vapor al compresor.

c) Ciclo completo graficado en el Mollier

d) $\dot{w}_{\text{compresor}} = 11932 \text{ kW}$

e) $\dot{w}_{\text{refrigeración}} = 17944 \text{ kW}$

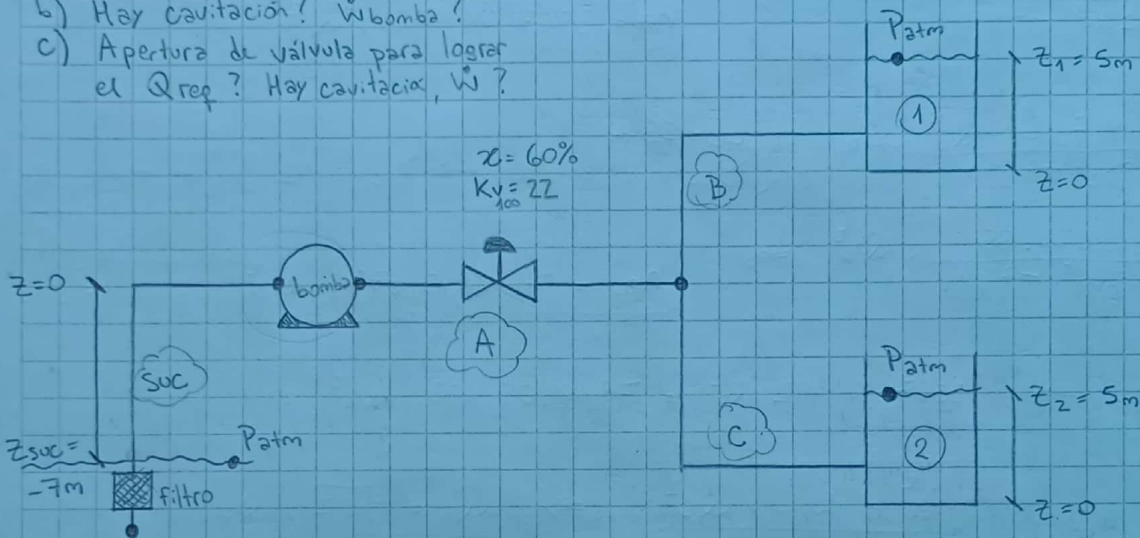


R. Llopis, R. Cabello, D. Sánchez
G.I.T.
Grupo de Ingeniería Térmica
Universidad Jaume I - Castellón

PROBLEMA 2

- $K_{\text{filtro}} = 1,8 \times 10^5$
- $P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}$
- $Z_1 = Z_2 = 5 \text{ m}$
- $Z_{\text{suc}} = -7 \text{ m}$
- Nivel $Z=0 \rightarrow$ bomba
- Válvula lineal $\rightarrow K_{v100} = 22$
 $\rightarrow x = 60\%$
- $Q_{1,\text{req}} = 3 \text{ m}^3/\text{h} = Q_B$
- $Q_{2,\text{req}} = 2 \text{ m}^3/\text{h} = Q_C$
- agua ($P_r, \mu, \rho_{\text{var}}$)

- ¿Q que llega a cada tanque?
- ¿Hay cavitación? ¿bomba?
- Apertura de válvula para lograr el Q_{req} ? ¿Hay cavitación, W?



- Tengo las curvas de H_B , h_v y $ANPA_{\text{req}}$ en función de $Q [\text{m}^3/\text{h}]$

- Hago un bce de energía mecánica para el sistema por la rama B y por la rama C. Si bien son 2 tanques de llegada, el sistema es uno solo, por lo tanto, los balances se igualan ($H_{\text{SB}} = H_{\text{SC}}$)

RAMA B

$$H_{\text{SB}} = \frac{\cancel{\Delta P_{\text{suc-1}}}}{\cancel{\rho g}} + \frac{\cancel{\Delta N^2}}{\cancel{2g}} + \underbrace{\Delta Z_{\text{suc-1}}}_{\Delta Z_{\text{suc-1}} = Z_1 - Z_{\text{suc}} = 5\text{m} - (-7\text{m}) = 12\text{m}} + (h_{f_{\text{suc}}} + h_{f_A} + h_{f_B}) + h_v$$

$P_{\text{suc}} = P_1 = P_{\text{atm}}$ $N_{\text{suc}} = N_1 \approx 0$ (diámetros grandes)

RAMA C

$$H_{\text{SC}} = \frac{\cancel{\Delta P_{\text{suc-2}}}}{\cancel{\rho g}} + \frac{\cancel{\Delta N^2}}{\cancel{2g}} + \underbrace{\Delta Z_{\text{suc-2}}}_{\Delta Z_{\text{suc-2}} = Z_2 - Z_{\text{suc}} = 5\text{m} - (-7\text{m}) = 12\text{m}} + (h_{f_{\text{suc}}} + h_{f_A} + h_{f_C}) + h_v$$

$P_{\text{suc}} = P_2 = P_{\text{atm}}$ $N_{\text{suc}} = N_2 \approx 0$ (diámetros grandes)

$$\textcircled{*} H_{SB} = H_{SC} \rightarrow \cancel{\Delta Z_{suc-1}} + \cancel{h_{fsuc}} + \cancel{h_{fA}} + h_{fB} + h_v = \cancel{\Delta Z_{suc-2}} + \cancel{h_{fsuc}} + \cancel{h_{fA}} + h_{fC} + h_v$$

$$\boxed{h_{fB} = h_{fC}}$$

$$\textcircled{*} h_{fB} = \frac{8 \cdot f_B \cdot L_B \cdot Q_B^2}{D_B^5 \pi^2 9} \quad \checkmark \quad \begin{cases} L_B = 25 \text{ m} \\ D_{NB} = 1" \text{ Sch 40} \rightarrow D_B = 1,049" = 0,0266 \text{ m} \\ f_B (1") = 0,023 \end{cases}$$

$$h_{fB} = \frac{8 \cdot 0,023 \cdot 25}{0,0266^5 \pi^2 9,81} \cdot Q_B^2 \Rightarrow \boxed{h_{fB} = 3567638,942 \cdot Q_B^2} \quad \begin{cases} Q \text{ [m}^3/\text{s]} \\ h_f \text{ [m]} \end{cases}$$

$$\textcircled{*} h_{fC} = \frac{8 \cdot f_C \cdot L_C \cdot Q_C^2}{D_C^5 \pi^2 9} \quad \begin{cases} L_C = 55 \text{ m} \\ D_{NC} = 1" \text{ Sch 40} \rightarrow D_C = 0,0266 \text{ m} \rightarrow f_C = 0,023 \end{cases}$$

$$h_{fC} = \frac{8 \cdot 0,023 \cdot 55}{0,0266^5 \pi^2 9,81} \cdot Q_C^2 \Rightarrow \boxed{h_{fC} = 7848805,673 \cdot Q_C^2} \quad \begin{cases} Q \text{ [m}^3/\text{s]} \\ h_f \text{ [m]} \end{cases}$$

$$\textcircled{*} h_{fB} = h_{fC} \rightarrow 3567638,942 \cdot Q_B^2 = 7848805,673 \cdot Q_C^2$$

$$\boxed{Q_B^2 = 2,2 \cdot Q_C^2} \Rightarrow \boxed{Q_B = \sqrt{2,2} \cdot Q_C}$$

⊗ Ahora calculo el Hs por alguna de las ramas (elijo la C): sabiendo que:

$$Q_T = Q_B + Q_C \Rightarrow Q_C = Q_T - Q_B = Q_T - \sqrt{2,2} \cdot Q_C \Rightarrow \boxed{Q_C = \frac{Q_T}{\sqrt{2,2} + 1}}$$

Tengo que calcular los hf de succión y A, y el h_v:

$$\bullet h_{fsuc} = \left(\frac{8 \cdot f_{suc} \cdot L_{suc}}{D_{suc}^5 \pi^2 9} + K_{filtro} \right) \cdot Q_T^2 \quad \checkmark \quad \begin{cases} L_{suc} = 15 \text{ m} \\ D_{Nsuc} = 2" \text{ Sch 40} = 2,067" \\ f_{suc} (2") = 0,019 \\ K_{filtro} = 1,8 \times 10^5 \text{ s}^2/\text{m}^5 \end{cases} = 0,0525 \text{ m}$$

$$h_{fsuc} = \left(\frac{8 \cdot 0,019 \cdot 15}{0,0525^5 \pi^2 9,81} + 1,8 \times 10^5 \right) Q_T^2$$

$$h_{fsuc} = (59043,158 + 1,8 \times 10^5) Q_T^2 \Rightarrow \boxed{h_{fsuc} = 239043,158 \cdot Q_T^2}$$

NOTA:
Como me da esas unidades, no tengo que usarlo como $h_{filtro} = 8 K_{filtro} \cdot \frac{Q_T^2}{D_{suc}^5 \pi^2 9}$

$$\bullet h_{fA} = \frac{8 \cdot f_A \cdot L_A \cdot Q_T^2}{D_A^5 \pi^2 9} \quad \checkmark \quad \begin{cases} L_A = 15 \text{ m} \\ D_{NA} = 2" \text{ Sch 40} = 2,067" = 0,0525 \text{ m} \rightarrow f_A = 0,019 \end{cases}$$

$$h_{fA} = \frac{8 \cdot 0,019 \cdot 15}{0,0525^5 \pi^2 9,81} \cdot Q_T^2 \Rightarrow \boxed{h_{fA} = 59043,158 \cdot Q_T^2}$$

el fluido
es agua

$$h_v = \frac{K_{val} \cdot Q_T^2}{P_3} \quad \rightarrow \quad K_{val} = \frac{P}{P_{uso}} \cdot \frac{1,296 \cdot 10^{12}}{K_v^2}$$

↳ No conozco el K_v pero sé que es LINEAL, $\chi = 60\%$ y $K_{v100} = 22$

$$\chi = 100\% \quad \rightarrow \quad K_v = 22$$

$$\chi = 60\% \quad \rightarrow \quad K_v = X \quad \rightarrow \quad X = 13,2 \quad \Rightarrow \quad K_v = 13,2$$

$$K_{val} = \frac{1,296 \cdot 10^{12}}{13,2^2} = 7438016529 \quad \frac{Pa}{(m^3/s)^2}$$

$$h_v = \frac{7438016529}{1000 \cdot 9,81} \cdot Q_T^2 \quad \Rightarrow \quad h_v = 758207,597 \cdot Q_T^2$$

$$H_{sc} = 12 + (239043,158 + 59043,158 + 758207,597) \cdot Q_T^2 + 7848805,673 \cdot Q_c^2$$

$$H_{sc} = 12 + 1056293,913 \cdot Q_T^2 + 7848805,673 \cdot \left(\frac{Q_T}{\sqrt{2,2^2 + 1}} \right)^2$$

$$H_{sc} = 12 + 1056293,913 \cdot Q_T^2 + 1272817,952 \cdot Q_T^2$$

$$H_{sc} = H_s = 12 \text{ m} + 2329111,865 \frac{s^2}{m^5} \cdot Q_T^2 \quad \rightarrow \quad \text{con } Q_T \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

⊛ Como tengo la curva de la bomba graficada para $Q_T [m^3/h]$ hago la conversión.

$$\rightarrow H_s = 12 \text{ m} + 2329111,865 \frac{s^2}{m^5} \cdot Q_T^2 \cdot \frac{(1h)^2}{(3600s)^2}$$

$$H_s = 12 \text{ m} + 0,178 \frac{h^2}{m^5} \cdot Q_T^2 \quad \rightarrow \quad \text{con } Q_T \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Dándole
valores
a Q_T
grafico
la curva
del sistema

$Q_T [m^3/h]$	$H_s [m]$
0	12
2	12,712
4	14,848
6	18,408
8	23,392
10	29,8
12	37,632

↳ El Q_T operativo se da en la intersección de las curvas de la bomba y del sistema ✓

$$\rightarrow \left[Q_{T \text{ op}} = 8,9 \frac{m^3}{h} \right] \quad \left[H_{T \text{ op}} = 27 \text{ m} \right] \quad \checkmark$$

* Entonces $\rightarrow Q_{C op} = \frac{Q_{Top}}{\sqrt{Z_2^2 + 1}} = \frac{8,9 \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{2,2^2 + 1}} \Rightarrow Q_{C op} = 3,584 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Caudal que llega al tanque 2}$

$\rightarrow Q_{B op} = \sqrt{Z_2^2} \cdot Q_{C op} = \sqrt{2,2^2} \cdot 3,58 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow Q_{B op} = 5,316 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Caudal que llega al tanque 1}$

Rta a \rightarrow { Al tanque 1 debían llegar $3 \text{ m}^3/\text{h}$ y están llegando $5,316 \text{ m}^3/\text{h}$
 Al tanque 2 debían llegar $2 \text{ m}^3/\text{h}$ y están llegando $3,584 \text{ m}^3/\text{h}$
 Los caudales son mayores a los requeridos, por lo tanto NO CUMPLE

b) * Para evitar cavitación $\rightarrow ANPA_{disp} \geq ANPA_{req}$ (en el Q_{Top})

• $ANPA_{disp} = \frac{P_{suc} - P_{vap}}{\rho \cdot g} + (Z_{bomba} - Z_{suc}) - h_{fsuc} \checkmark$

$ANPA_{disp} = \frac{101330 \text{ Pa} - 2340 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} + (0 \text{ m} - (-7) \text{ m}) - 239043,158 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} \times \left(8,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)^2$

$ANPA_{disp} = 10,0907 \text{ m} + 7 \text{ m} - 1,461 \text{ m} \Rightarrow ANPA_{disp} = 15,63 \text{ m}$

• Leo el $ANPA_{req}$ del gráfico para $Q_{Top} = 8,9 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow ANPA_{req} = 2,25 \text{ m}$

* La potencia consumida por la bomba es $\rightarrow \dot{W}_B = \frac{Q_{Top} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{Top}}{\eta_{op}} \checkmark$

• Leo la eficiencia del gráfico para $Q_{Top} \Rightarrow \eta_{op} = 58\% \checkmark$

• $\dot{W}_B = 8,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 27 \text{ m} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1}{0,58} \Rightarrow \dot{W}_B = 1129 \text{ W}$

Rta b \rightarrow { Como $ANPA_{disp} > ANPA_{req}$, NO hay peligro de cavitación
 La potencia que consume la bomba es 1129 W

c) * El caudal requerido es $Q_{T req} = Q_{B req} + Q_{C req} = (3 + 2) \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow Q_{T req} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

* Del gráfico leo cuál es la $H_{T req}$ correspondiente a $Q_{T req}$ sobre la curva de la bomba $\rightarrow H_{T req} = 29,5 \text{ m} \checkmark$

* La curva del sistema es la misma que antes, excepto el h_v :

(NOTA: tendría que haber escrito la H_s con la h_v por separado para no volver a calc.)

$$\rightarrow H_s = 12 \text{ m} + (2329111,865 - 758207,597) \times Q_T^2 + h_v$$

$$H_s = 12 \text{ m} + 1570904,268 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} \times Q_T^2 \times \frac{(1h)^2}{(3600s)^2} + h_v$$

$$H_s = 12 \text{ m} + 0,1212 \frac{h^2}{\text{m}^5} \times Q_T^2 + h_v$$

Reemplazando $H_s = H_{T\text{req}} = 29,5 \text{ m}$ y $Q_T = Q_{T\text{req}} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ despejo h_v

$$\rightarrow 29,5 = 12 + 0,1212 \times 5^2 + h_v \Rightarrow \boxed{h_v = 14,47 \text{ m}}$$

NOTA: este h_v puede leerse gráficamente si se tiene la curva del sistema SIN VÁLVULA. Podría haberla graficado y hacerlo así.

Como la curva que grafiqué ya tiene en cuenta la válvula abierta al 60%, es más difícil ver la diferencia de altura extra necesaria. Conviene hacerlo numéricamente en este caso.

$$\circledast \quad h_v = \frac{K_{val} \times Q_{T\text{req}}^2}{P.g} \Rightarrow 14,47 \text{ m} = \frac{K_{val}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \times \left(5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1h}{3600s} \right)^2$$

$$\text{Despejo.} \rightarrow \boxed{K_{val} = 7,359 \times 10^{10} \frac{\text{Pa}}{(\text{m}^3/\text{s})^2}}$$

$$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{bar}} \right]$$

$$\circledast \quad K_{val} = \frac{P}{P_{v20}} \times \frac{1,296 \times 10^{12}}{K_v^2} \Rightarrow 7,359 \times 10^{10} = \frac{1000}{1000} \times \frac{1,296 \times 10^{12}}{K_v^2} \Rightarrow \boxed{K_v = 4,197}$$

* Como la válvula es lineal y conozco $K_{v100} = 22$ donde $x = 100\%$ abierta:

$$K_v = 22 \quad x = 100\%$$

$$K_v = 4,197 \quad x = x \rightarrow \boxed{x = 19,07\%}$$

→ apertura aprox de la válvula

* Para evitar cavitación $ANPA_{disp} \geq ANPA_{req}$ (en Q_{Treq}) \rightarrow (idem b) pero con Q_{Treq} en vez de Q_{Top})

$$ANPA_{disp} = 10,0907 \text{ m} + 7 \text{ m} + 239043,158 \frac{s^2}{m^5} \left(\frac{5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{h} \right)^2$$

$$ANPA_{disp} = 17,55 \text{ m} \quad \text{---} \quad \text{CUMPLE}$$

• Leo el $ANPA_{req}$ del gráfico para el $Q_{Treq} = 5 \frac{m^3}{h} \rightarrow ANPA_{req} = 1,5 \text{ m}$

* La potencia consumida es $\dot{W}_B = \frac{Q_{Treq} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{Treq}}{\eta_{req}}$

• Leo la eficiencia del gráfico para $Q_{Treq} = 5 \frac{m^3}{h} \rightarrow \eta_{req} = 45\%$

$$\dot{W}_B = 5 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 29,5 \text{ m} \times \frac{1}{0,45} \Rightarrow \dot{W}_B = 893,19 \text{ W}$$

Rta c \rightarrow { La válvula debe tener una apertura aproximada del 19,07 %
Como $ANPA_{disp} > ANPA_{req}$, NO hay peligro de cavitación
La potencia que consume la bomba es 893,19 W

