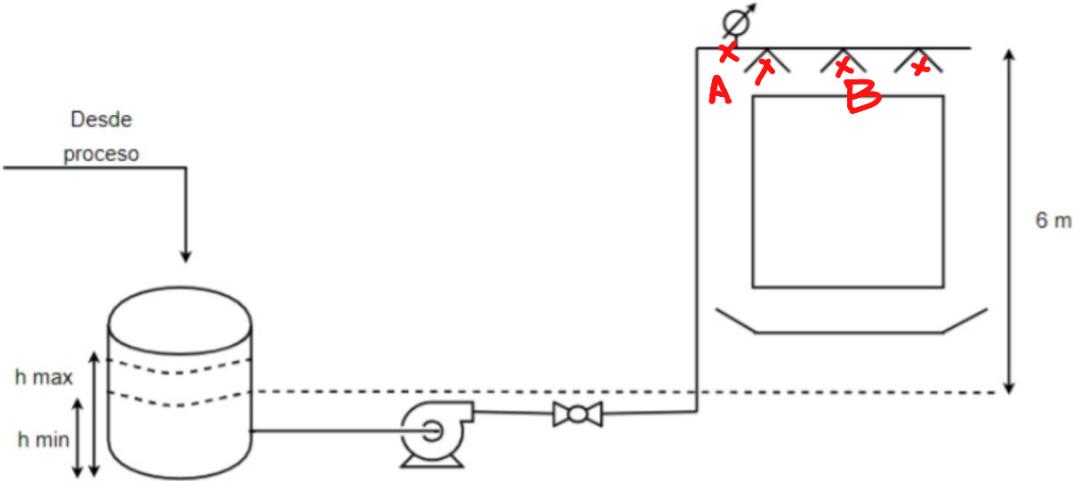


c5. La torre de enfriamiento de agua de proceso funciona como se esquematiza en la figura. Cuando el nivel de líquido en el tanque intermedio es el mínimo, el caudal que alimenta la bomba B1 a la torre de enfriamiento es $Q = 8 \text{ m}^3/\text{h}$. Para estas condiciones la lectura del manómetro es 0,4 bar.



- ¿Cuál es el modelo que, con la información disponible, mejor aproxima la caída de presión en el sistema de aspersores?
- Si por razones del proceso el caudal mínimo de alimentación a la torre de enfriar debe aumentar en 50% ¿es posible asegurar el nuevo servicio con el sistema existente?

Propiedades del fluido: $\rho = 970 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 3,6 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$, $P_v = 2300 \text{ Pa}$

La curva de la bomba (B1) ajusta a los datos:

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0
$H (\text{m})$	20,2	18,5	17,0	15,0	12,8	10,0	6,5	3,0
NPSH _r (m)	1,9	2	2	2,3	2,7	3,1	4	5

- Si cuenta con otra bomba (B2) ¿Es posible cumplir el servicio utilizando ambas bombas?

La curva de la bomba (B2) ajusta a los datos:

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
$H (\text{m})$	37,0	33,7	30,0	26,1	21,2	13,3	4,0
NPSH _r (m)	2	2,2	2,7	3,5	4,5	5,6	7

Datos adicionales:

- Todas las tuberías son de acero comercial IPS Sch 40 $\Phi_N = 1\frac{1}{2}''$.
- El tanque se encuentra abierto a la atmósfera y su nivel máximo es de 3 m por encima del nivel mínimo. El nivel mínimo está 1 m sobre el nivel de la bomba.
- Los aspersores de la torre descargan a presión atmosférica.
- La Le de la succión es un 20% de la Le total del sistema.
- La tubería de descarga cuenta con una válvula reguladora de caudal que se encuentra completamente abierta.

a) BEM (A-B)

$$\frac{\Delta h^2}{2\alpha g} + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z + \Delta h_f = 0$$

El mejor modelo

que approxima las perdidas de carga

es superar 0,4 el

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = -\Delta h_f$$

$$\frac{-0,4 \times 10^5}{970 \cdot 9,81} = -4,2 \text{ m} \Rightarrow \Delta h_f = 4,2 \text{ m}$$

$$4,2 = \frac{U^2}{2g} K \Rightarrow K = 28,85$$

b) $Q = 12 \text{ m}^3/\text{h}$

Curva de la Bomba 1

$$H = -4,85 \times 10^{-2} \cdot Q^2 - 0,1446Q + 21,35$$

Curva del Sistema

$$D_{int} = 1,61 \text{ m} = 0,0409 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta U^2}{2\alpha g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta h_f = H$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{U^2}{2\alpha g} + 6 + \frac{0,4 \times 10^5}{970 \cdot 9,81} + \frac{U^2}{2g} \left(\frac{f \cdot L_e}{0,0409} \right) = H$$

$$Q = 8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow U = 1,69 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow Re = 191587 \Rightarrow f = 0,0215$$

De la Curva de la Bomba con $Q = 8 \Rightarrow H = 17$

$$\textcircled{1} \Rightarrow L_e = 88,4 \text{ m}$$

BEM ($A_{tm} - A_{tm}$)

$$\frac{U^2}{2\alpha g} + 6 + \frac{U^2}{2g} \left(\frac{f \cdot 88,4}{0,0409} + 28,85 \right) = H$$

$$Q = 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow U = 2,537 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow Re = 287381 \\ f = 0,021$$

$$\Rightarrow H_{reg} = 30,7 \text{ m} \quad H_B = 12,8 \text{ m}$$

NO Cumple Servicio

c) B1 $Q = 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ $H = 12,8 \text{ m}$

B2 $Q = 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ $H = 21,2 \text{ m}$

En Serie

$H = 34 \text{ m} > 30,7 \text{ m}$ ✓

Verifico el Q_{op} dentro del rango de trabajo ($4 \leq Q_{op} \leq 16$)

PO. con Z_{min} $Q = 12,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$
 $H = 31,3 \text{ m}$

PO con Z_{max} $Q = 12,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$
 $H = 29,7 \text{ m}$

✓

Verifico NPSH_D

$$NPSH = \frac{P_s - P_{vap}}{\rho g} + \frac{U^2}{2g}$$

BEM $\frac{\Delta U^2}{2 \rho g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta h_f = 0$

$$\frac{U^2}{2g} - 1 + \frac{P_s - P_{atm}}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \left(\frac{F \cdot L_e'}{D} \right) = 0$$

$$L_e' = 0,2 \left(L_e + \frac{K \cdot D}{F} \right) = 28,66 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \frac{P_s}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = 6,82 \text{ m}$$

$$NPSH_D = 6,578 \text{ m}$$

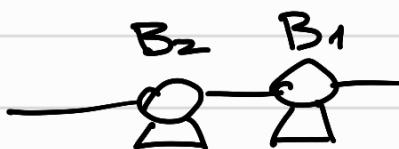
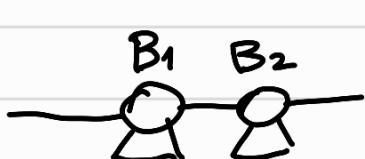
$NPSH_R$

Aca Tenemos 2 Bombas
en Serie

SI NO CAVITA EN LA
PRIMER BOMBA
NO LO HARÁ LA SEGUNDA

\Rightarrow Entonces Verifico
solo la Primer bomba

2 OPCIONES:



- Es recomendable poner la bomba con menor $NPSH_R$ primero, en este caso B1

$$NPSH_{R,B_1} = 2,7 \text{ m} \quad NPSH_D > NPSH_R \Rightarrow \text{No cavita}$$

e2. Para el tratamiento fisicoquímico de agua bruta, esta se bombea desde un pozo y se le dosifica polielectrolito en línea, el cual se diluye uniformemente en el agua bruta mediante un mezclador estático. A continuación del mezclador el agua ingresa a un tanque que opera a nivel constante (denominado floculador) donde las impurezas se agrupan en flóculos que decantarán luego en un sedimentador.

El tanque con polielectrolito está venteado a la atmósfera y tiene un volumen útil de 3m^3 , los cuales se reponen cada vez que el nivel en el tanque alcanza su valor mínimo. Para dosificar el polielectrolito se emplea una pequeña bomba reciprocase de émbolo con las siguientes características: Simplex y de simple efecto. Diámetro del émbolo: 2 cm. Longitud de la Carrera: 8cm. Deslizamiento: puede asumirse constante e igual a 12 %. Velocidad de operación: 100 rpm.

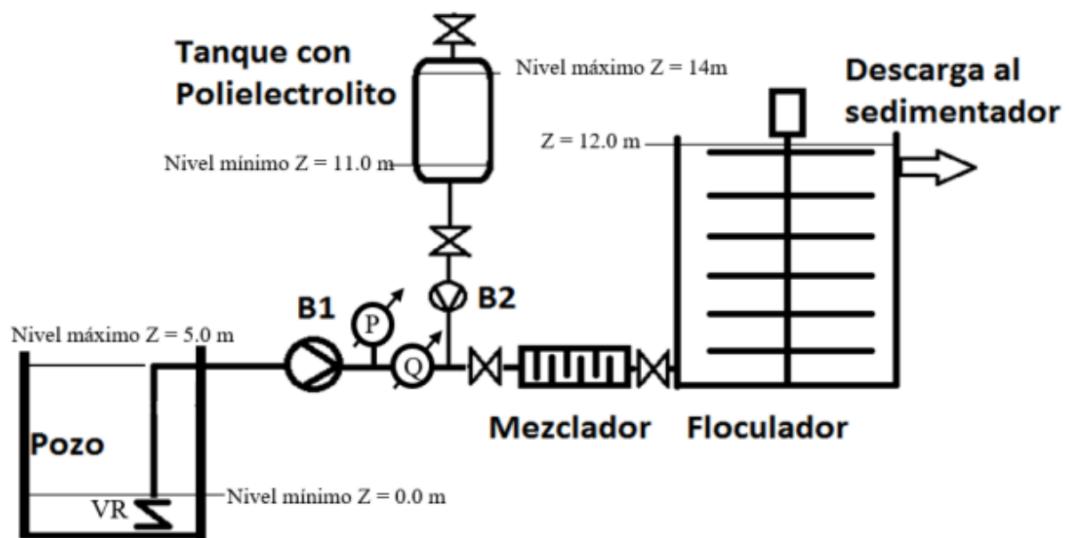
El caudal de polielectrolito es despreciable en relación al caudal de agua bruta y no afecta las propiedades físicas de la misma. La curva del sistema con las válvulas completamente abiertas se puede aproximar a $H(\text{m}) = \Delta z + 6 \times 10^{-3} (Q(\text{m}^3/\text{h}))^2$. El factor de fricción puede asumirse constante en el rango de caudales de operación.

- Se requiere que el caudal de agua bruta no supere los $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ni sea inferior a los $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Seleccione dos bombas iguales entre los modelos cuyas curvas se presentan, e indique como las acoplaría para lograr el servicio requerido operando a velocidad nominal (2900 rpm).
- Se propone utilizar una sola bomba modelo CN 50-125/40 controlada por un variador de frecuencia. Este se controlaría mediante un PLC que recibiría una señal del caudalímetro y ajustaría la frecuencia para intentar mantener el caudal constante en $55 \text{ m}^3/\text{h}$. Explique lo

ajustaría la frecuencia para intentar mantener el caudal constante en 55m³/h. Evalúe la viabilidad de esta propuesta asumiendo que no hubiera cavitación. Los valores de eficiencia corresponden a la bomba. Los valores de potencia corresponden a la potencia entregada por el motor, cuya potencia nominal (P_{nom}) es de 4kW (P_{máx} = 110% P_{nom}).

$$\text{Para CN 50-125/40 a 2900rpm: } H(m) = 27 + 5,9 \times 10^{-3} Q(\text{m}^3/\text{h}) - 2,6 \times 10^{-3} (Q(\text{m}^3/\text{h}))^2$$

- c) Asumiendo que fuera factible la propuesta planteada en c), y que en ese caso conoce el rango de variación de N (Nmáx y Nmín) y la lectura del manómetro cuando el nivel en el pozo es máximo, describa en forma detallada y paso a paso, como haría para evaluar si hay riesgo de cavitación cuando el pozo está alcanzando su nivel mínimo. (No se piden cálculos, pero sí escribir las ecuaciones utilizadas y la ruta de cálculo)
- d) Si el sistema opera en forma continua: ¿Cada cuantas horas debería reponerse el polielectrolito?



Datos adicionales:

El pozo, el tanque de polielectrolito y el floculador están a presión atmosférica.

Propiedades del agua bruta: Viscosidad = 1×10^{-3} Pa.s ; Densidad = 1,0 kg/L ; T = 15°C

Presión atmosférica: 0,98 bar

Polielectrolito: Suspensión líquida con Densidad 1200 kg/m³ y Viscosidad 15 cP.

Las tuberías son de acero comercial Sch40 de 3" de diámetro nominal

VR es una válvula de retención de pie con filtro. El resto de las válvulas son tipo esclusa.

El nivel máximo en el tanque coincide con el nivel del eje de la o las bombas centrífugas.

$$d) \quad 50 \leq Q \leq 60$$

$$H = \Delta Z + 6 \times 10^{-3} Q^2$$

$$\begin{aligned} 1) & \text{ Condición más desfavorable } \Delta Z = 12 \\ 2) & \text{ " " favorable } \Delta Z = 12 - 5 = 7 \end{aligned}$$

$$1) \quad H = 12 + 6 \times 10^{-3} \cdot 50^2 = 27 \text{ m}$$

$$2) \quad H = 7 + 6 \times 10^{-3} \cdot 60^2 = 28,6 \text{ m}$$

En Serie

$$13,5 \leq H \leq 14,1 \text{ m}$$

En Paralelo

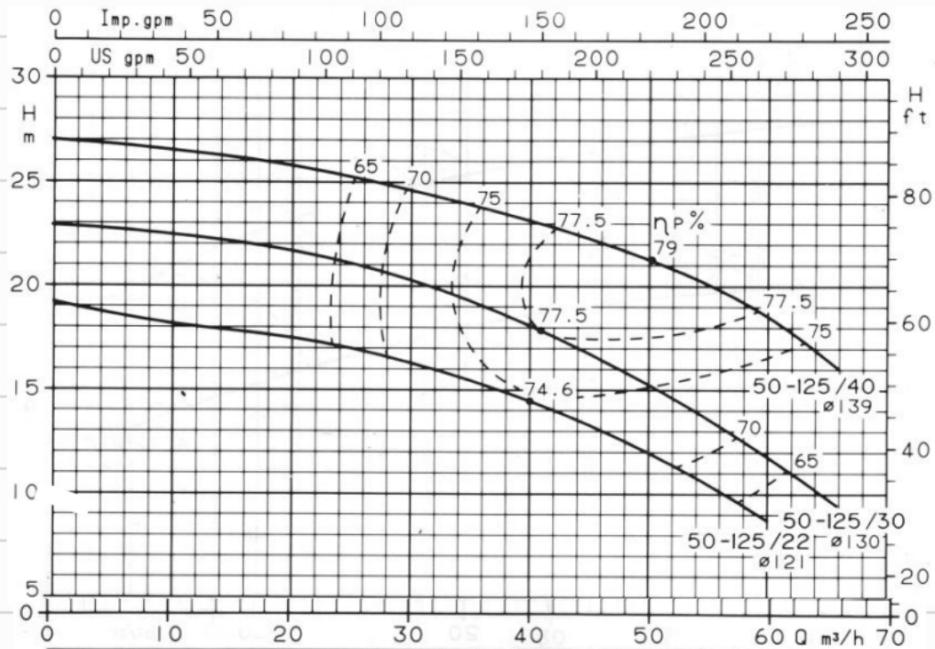
$$25 \leq Q \leq 31 \text{ m}^3/h$$

$$H_B = H_B(m) \leq 17,5$$

$$50 \leq Q\left(\frac{m^3}{h}\right) \leq 60$$

$$23 = Q\left(\frac{m}{h}\right) \leq 33$$

$$27 \leq H(m) \leq 28,6$$



\emptyset_{121} :

En Serie: $H(50) = 12$ X

En Paralelo: $H(25) = 17$ X

\emptyset_{130} :

En Serie: $H(50) = 15$ ✓

$H(60) = 12$ ✓

En Paralelo: $H(25) = 22$ X

\emptyset_{139} : En Serie: $H(50) = 22$ X
En Paralelo: $H(25) = 25,2$ X

\emptyset_{130} En Serie

b) $H_1 = 27 + 5,9 \times 10^{-3} Q_1 - 2,6 \times 10^{-3} Q_1^2$ $Q = 55 m^3/h$

Situación más desfavorable
(Mayor Potencial)
 $\Delta z = 12$

Leyes de Similitud
 $\eta_1 = \eta_2$

$$H_2 = 12 + 6 \times 10^{-3} \cdot 55^2 = 30,15 m$$

$$P_H = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q = 1000 \cdot 9,81 \cdot 30,15 \cdot \frac{55}{3600} = 4518,7 W$$

$\frac{P_H}{\eta_T} > P_{Max}$ \Rightarrow No puede darle esa potencia

c) $NPSH_D = \frac{P_s - P_{vap}}{\rho g} + \frac{U^2}{2g}$

$$\frac{P_s}{P_g} + \frac{V^2}{2g}$$

se desplaza de un BEM desde el pozo hasta antes de la bomba
(Tenemos dos NPSH_D con Δz_{min} y Δz_{max})

$$\frac{NPSH_{r_1}}{NPSH_{r_2}} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

NPSH_{r1} sale del gráfico

$$N_2 = (N_{\max}; N_{\min})$$

$$N_1 = 2900$$

Δz_{max} ⇒ N_{max} (Si T desfavorable)

Δz_{min} ⇒ N_{min} (" favorable")

$$2900$$

NPSH_D > NPSH_{r2} ⇒ No Cavitación

NPSH_D < NPSH_{r2} ⇒ Cavitación

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1''}{N_2''}$$

" " " "
Varia Varia

⇒ Q₁ varia

⇒ NPSH_{r1} varia

d) Bomba Reciprocatante

100 rpm

Deslizamiento 12%

Carrera = 8 cm = L

Diametro del Embolo 2 cm

$$V_T = 3 m^3$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi D_e^2 \cdot L \cdot 0,88}{4} = 2,212 \times 10^{-5} m^3$$

$$Q = \text{Volumen} \cdot rpm = 2,212 \times 10^{-5} m^3/min$$

$$V_T = Q \cdot t$$

$$\Rightarrow t = 1356 \text{ min} \Leftrightarrow 22,6 \text{ h}$$

e3. En el diseño de una planta de producción de bioetanol, se prevé que éste llegue por gravedad a un tanque subterráneo (Tanque C), desde donde será bombeado a los tanques de almacenamiento de producto terminado (Tanques A y B). El caudal de bombeo nunca debe ser inferior a 12 m³/h.

- Recomendaría alguna de las bombas cuyas curvas se presentan a 2900 rmp para el servicio requerido operando a esta velocidad? Justifique.
- Recomendaría acoplar dos bombas 32/160C a 2900 rmp para cumplir el servicio? Justifique.
- Se propone utilizar una bomba 32/160A con un variador de velocidad controlado por un PLC, que permite regular la velocidad de giro para mantener el caudal fijo en 12 m³/h. Para la máxima velocidad de giro requerida, estime el consumo de potencia eléctrica del motor, asumiendo que opere con una eficiencia eléctrica del 90%. (la eficiencia del gráfico es hidráulica).

- d) Como alternativa al uso de variador de velocidad o válvula regulador, se propone utilizar la bomba 32/160A reduciendo el diámetro del rodete. ¿Cuántos milímetros se debería reducir para lograr un caudal mínimo de 12 m³/h?

El número a la derecha de cada curva es el diámetro del rodete.

Las curvas de las bombas fueron determinadas con agua a 4 °C.

Las curvas de altura vs. caudal se pueden ajustar a las siguientes funciones:

$$32/160A \ H(m) = 37,3 + 1,23 \times 10^{-2} Q(m^3/h) - 1,86 \times 10^{-2} (Q(m^3/h))^2$$

$$32/160B \ H(m) = 30,0 + 0,19Q(m^3/h) - 0,03(Q(m^3/h))^2$$

$$32/160C \ H(m) = 22,9 + 0,42Q(m^3/h) - 0,04(Q(m^3/h))^2$$

Datos adicionales:

El bombeo a los dos tanques no es simultáneo, sino que se alternan, para lo cual se cuenta con válvulas "on-off" de accionamiento neumático.

Los tres tanques son en apariencia cerrados, pero tienen viento a la atmósfera.

La longitud equivalente de la conducción hasta la bomba es de 20 m, y desde la bomba a los depósitos A y B es de 60 m y 40 m respectivamente (incluyendo salida de tubería).

Todo el tendido de cañería es de acero comercial de 2" de diámetro nominal Sch40.

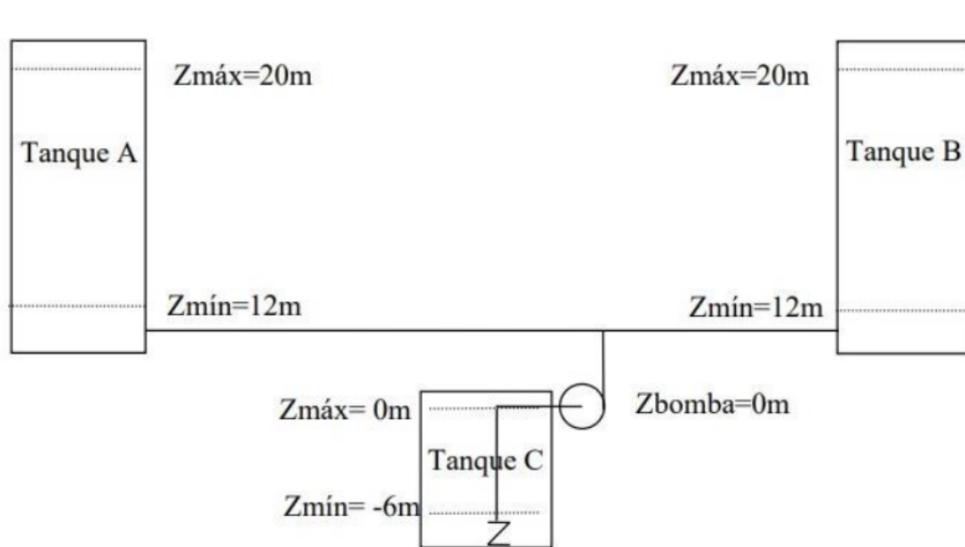
Propiedades del etanol a la temperatura de operación:

Densidad: $\rho = 870 \text{ kg/m}^3$. Viscosidad: $\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$.

Presión de vapor: $P_{\text{vap}} = 10,5 \text{ kPa}$. Presión atmosférica: $P_{\text{atm}} = 1,01 \text{ bar}$

Puede asumir régimen completamente turbulento.

En el siguiente esquema detallan los niveles extremos en los tanques



$$Q \geq 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$d_{int} = 0,0525 \text{ m}$$

$$f_T = 0,019$$

~~BEM~~ ~~$\frac{\Delta V^2}{2dg} + \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta h_f = H$~~

$$26 + \frac{Q^2}{2g \left(\frac{\pi \cdot 0,0525^2}{4} \cdot 3600 \right)^2} \left(\frac{0,019 \cdot 60}{0,0525} \right) = H$$

$$26 + 9,567 \times 10^{-4} Q^2 = H$$

$$H(12) = 28,62 \text{ m}$$

A ✓

B ✗

C ✗

A-C

$$\text{PO: } Q = 21,13 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 29,255 \text{ m}$$

$$U = 2,71 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

B-C

$$Q = 22,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H = 28,397 \text{ m}$$

$$U = 2,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{NPSH}_{D_{A-C}}: \frac{\Delta U^2}{2g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{Pg} + \Delta h_f = 0$$

$$\frac{U^2}{2g} + 6 + \frac{P_s - 1,01 \times 10^5}{Pg} + \frac{U^2}{2g} \cdot \left(\frac{0,019 \cdot 20}{0,0525} \right) = 0$$

$$\frac{P_s}{Pg} + \frac{U^2}{2g} = 3,125$$

$$\text{NPSH}_{D_{AC}}: \frac{P_s - P_{vap}}{Pg} + \frac{U^2}{2g} = 1,89 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_{D_{C-B}}: \frac{P_s}{Pg} + \frac{U^2}{2g} = 2,8375 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_{D_{AC}}: 1,6 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_{r_{AC}} = 2,5 \Rightarrow \text{Cavita}$$

**NO SIRVE
NINGUNA**

$$\text{NPSH}_{r_{BC}} = 2,8 \text{ m}$$

b)

$$32/160C H(\text{m}) = 22,9 + 0,42Q(\text{m}^3/\text{h}) - 0,04(Q(\text{m}^3/\text{h}))^2$$

$$Q_{mn} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Serie: } H_s = 2 \left(22,9 + 0,42 \cdot Q_s - 0,04 Q_s^2 \right)$$

$$H_5 (12) = 44,36 \text{ m} \checkmark$$

$$Q_p = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Parabol: $H_p = 22,9 + 0,42 Q_p - 0,04 Q_p^2$
 $H_p = 23,98 \times$

c) Leyes de Similitud:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

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

$$Q_2 = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_2 = 28,62 \text{ m}$$

$$N_1 = 2900$$

$$32/160A H(\text{m}) = 37,3 + 1,23 \times 10^{-2} Q(\text{m}^3/\text{h}) - 1,86 \times 10^{-2} (Q(\text{m}^3/\text{h}))^2$$

$$28,62 \cdot \left(\frac{2900}{N_2} \right)^2 = 37,3 + 1,23 \times 10^{-2} \cdot 12 \cdot \frac{2900}{N_2} - 1,86 \times 10^{-2} \left(\frac{2900}{N_2} \cdot 12 \right)^2$$

$$N_2 = 2651$$

$$Q_1 = \frac{2900}{2651} \cdot 12 = 13,13 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$P_H = P \cdot g H_2 Q_2 = 814,21 \text{ W}$$

$$\eta_B = 53,5 \Rightarrow P_M = \frac{814,21}{0,535} = 1522 \text{ W}$$

$$P_E = \frac{1522}{0,9} = 1691 \text{ W} \leftrightarrow 1,7 \text{ kW}$$

d) Leyes de Similitud

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

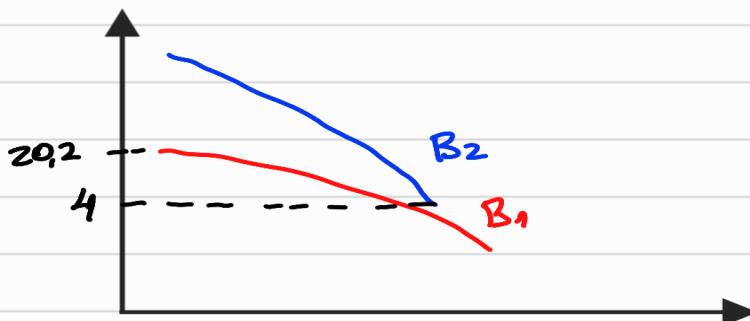
$$32/160A H(\text{m}) = 37,3 + 1,23 \times 10^{-2} Q(\text{m}^3/\text{h}) - 1,86 \times 10^{-2} (Q(\text{m}^3/\text{h}))^2$$

$$\left(\frac{169}{D} \right)^2 \cdot 28,62 = 37,3 + 1,23 \times 10^{-2} \cdot \left(\frac{169}{D} \right)^3 \cdot 12 - 1,86 \times 10^{-2} \left(\frac{169}{D} \right)^3 \cdot 12$$

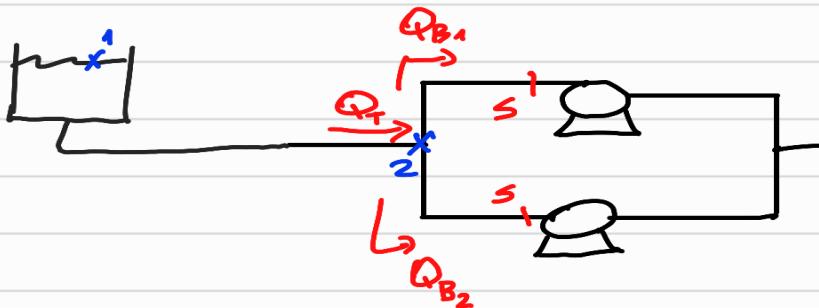
$$D_2 = 156,7 \text{ mm}$$

$$C_5) H_{sist} = 30 \text{ m } (\approx 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}})$$

Paralelo



$4 \leq H_p \leq 20,2 \Rightarrow$ No sirve el paralelo
 H_{sist} está fuera de rango



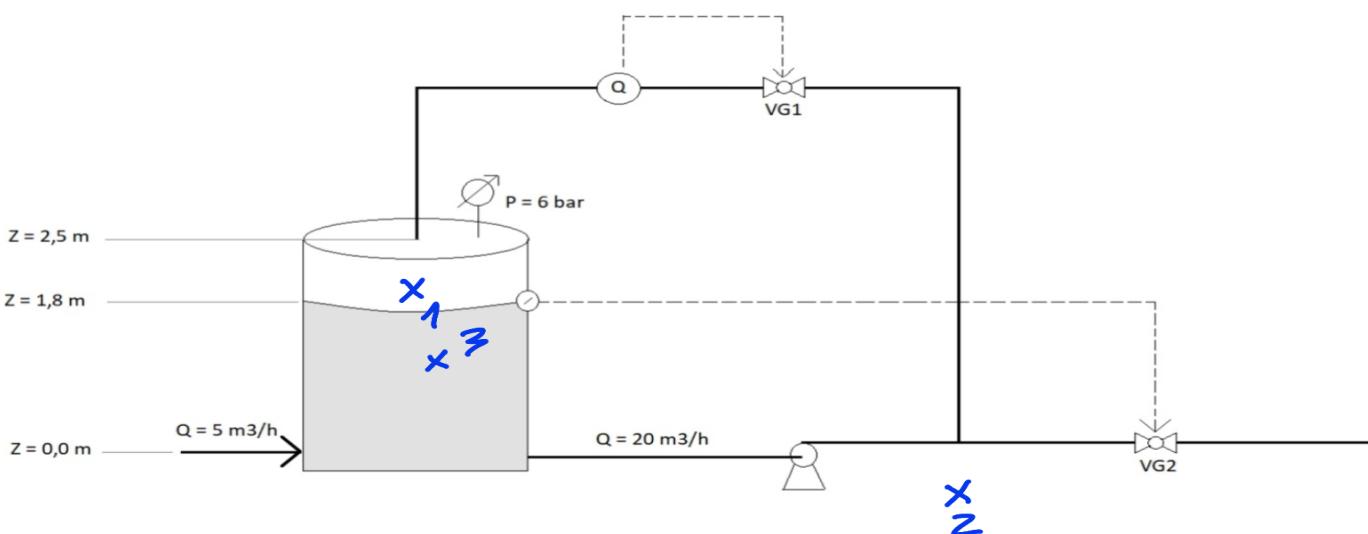
* BEM entre 1 y 2: $P_2(u_t)$
* BEM entre 2 y 5: $P_5(u_{B1}, u_{B2})$

$$\frac{P_5 - P_2}{\rho g} + f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{u_B^2}{2g} = 0$$

c6. La mezcla de un reactor se realiza simultáneamente con su carga y descarga, para lo cual se utiliza una bomba que recircule el fluido, según el sistema que se esquematiza en la figura. Las propiedades del fluido mezclado son: $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$ y $\mu = 1,2 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$

Los caudales de alimentación y salida del reactor son de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ y $20 \text{ m}^3/\text{h}$ respectivamente. El reactor debe operar a 6 barg y con una cámara de gas de 70 cm. Las tuberías son de acero comercial, IPS Sch 40 con $\Phi_N = 1 \frac{1}{2}"$, la longitud equivalente desde el tanque hasta la T es de 2,5 m y desde la T hasta la salida de tubería es de 15 m, incluyendo entre los accesorios una válvula globo completamente abierta.

Para el sistema de control, un caudalímetro ultrasónico colocado en circuito de recirculación controla mediante un PLC la apertura de la VG1. Mientras que un sensor de nivel colocado en el tanque asegura que su nivel sea constante, variando mediante un PLC la apertura de la VG2. Inicialmente VG2 se encuentran completamente abierta.



Se propone utilizar la bomba Ø150, siendo la potencia máxima del motor conectado a la misma de 1 kW. Verifique si esta bomba (sola o acoplada) permite cumplir el servicio.

La curva de la bomba se ajusta a la expresión analítica:

$$H(\text{m}) = -0.0092 Q (\text{m}^3/\text{h})^2 + 0.0707 Q (\text{m}^3/\text{h}) + 7.02$$

$$D = 0,0409 \text{ m} \quad \text{BEM (1-2)}$$

$$\frac{15 \text{ m}^3}{\text{h}} \Rightarrow U = 3,17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ f = 0,02217$$

$$\cancel{\frac{\Delta U^2}{2 \alpha g} + \frac{\Delta P}{P g} + \Delta z + \Delta h_f = 0}$$

$$\frac{20 \text{ m}^3}{\text{h}} \Rightarrow U = 4,23 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \Rightarrow 0,0217$$

$$2,5 + \frac{7 \times 10^5 - P_T}{1100 \cdot 9,81} + \frac{3,17^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,02217 \cdot 15}{0,0409} \right) = 0$$

$$P_T = 7,71 \text{ bar}$$

$$\text{BEM (3-2)}$$

$$\frac{\Delta U^2}{2 \alpha g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{P g} + \Delta h_f = H$$

$$-1,8 + \frac{4,23^2}{2,9,81} + \frac{7,71 \times 10^5 - 7 \times 10^5}{1100 \cdot 9,81} + \frac{4,23^2}{2 \cdot 9,81} \left(\frac{0,0217 \cdot 2,5}{0,0409} \right) = H$$

$$H = 5,9 \text{ m}$$

$$H_{bba} = -0,0092 \cdot Q^2 + 0,0707 Q + 7,02$$

$$H_{20,bba} = 4,751 \text{ m} \quad H_{sist} > H_{bba} \quad - \text{No sirve}$$

$$\text{En Serie: } Q = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad H_s = 2 \cdot 4,754 = 9,508$$

$$H_s > H_{sist} \checkmark \quad \text{Sirve}$$

Paralelo:

$$H_s = 0,0092 \cdot Q^2 + 0,0307 \cdot Q + 7,02$$

$$H = -0,0092 \cdot 10^2 + 0,0707 \cdot 10 + 7,02$$

$$H = -0,0092 \cdot 10^2 + 0,0707 \cdot 10 + 7,02$$

$$H = 6,807 \text{ m} > H_{\text{sist}} \quad \checkmark$$

Paralelo

$$\text{PO: } Q_{\text{op}} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{\text{op}} = 6,8 \text{ m}$$

$$\eta = 34\%$$

$$P_m = \frac{10 \cdot 6,8 \cdot 9,8 \cdot 1100}{3600 \cdot 0,34} = 595 \text{ W} \quad (\text{Cada Bomba}) < 1 \text{ kW}$$

Serie

$$\text{PO: } Q = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H = 4,75 \text{ m}$$

$$\eta = 40\%$$

$$P_m = 711 \text{ W} < 1 \text{ kW} \quad (\text{Cada Bomba})$$

\implies Eligo el Paralelo menor Potencia

