

Indicaciones: Cada hoja entregada debe indicar **nombre**, **número de C.I.**, y **número de hoja**.
Complete el siguiente cuadro y entréguelo junto con sus respuestas.



Nombre		C.I.	
N° de lista		Carrera	

Problemas	1	2	Total
Número de hojas por problema			

***** **Cada pregunta se deberá comenzar en una hoja nueva.** *****

Factores de conversión e información adicional

$$1 \text{ inch} = 0.0833 \text{ ft} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ lb}^*/\text{in}^2 = 1 \text{ psia} = 0.06803 \text{ atm}$$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ kg}/\text{m}^3 = 0.0624 \text{ lb}/\text{ft}^3$$

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ lb}^* \text{ ft}/\text{s}$$

$$1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$$

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg}$$

$$1 \text{ cP} = 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m s}) = 6.72 \times 10^{-4} \text{ lb}/(\text{ft s})$$

$$g = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2 = 32.2 \text{ ft}/\text{s}^2$$

$$g_c = 32.2 \text{ lb} \cdot \text{ft}/(\text{lb}^* \text{ s}^2)$$

$$1 \text{ L}/\text{min} = 0.000589 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$1 \text{ ft}^3/\text{s} = 448.8 \text{ gpm}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 15850 \text{ gpm}$$

$$1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Tabla de primitivas

$$\int x^p dx = \frac{x^{p+1}}{p+1}; p \neq -1$$

$$\int \sqrt{a+bx} dx = \frac{2}{3b} (a+bx)^{3/2}$$

$$\int x\sqrt{a+bx} dx = \frac{2(3bx-2a)(a+bx)^{3/2}}{15b^2}$$

$$\int x^2\sqrt{a+bx} dx = \frac{2(8a^2-12abx+15b^2x^2)(a+bx)^{3/2}}{105b^3}$$

$$\int \frac{\sqrt{a+bx}}{x} dx = 2\sqrt{a+bx} + a \int \frac{dx}{x\sqrt{a+bx}}$$

$$\int \frac{dx}{x\sqrt{a+bx}} = \frac{1}{\sqrt{a}} \log \frac{\sqrt{a+bx} - \sqrt{a}}{\sqrt{a+bx} + \sqrt{a}}; a > 0$$

$$\int \frac{x^2}{\sqrt{a+bx}} dx = \frac{2(8a^2-4abx+3b^2x^2)}{15b^3} \sqrt{a+bx}$$

$$\int \frac{x}{\sqrt{a+bx}} dx = \frac{2(bx-2a)}{3b^2} \sqrt{a+bx}$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a+bx}} = \frac{2\sqrt{a+bx}}{b}$$

$$\int \frac{dx}{x^2\sqrt{a+bx}} = -\frac{\sqrt{a+bx}}{ax} - \frac{b}{2a} \int \frac{dx}{x\sqrt{a+bx}}$$

$$\int \frac{dx}{x\sqrt{a+bx}} = \frac{2}{\sqrt{-a}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{a+bx}{-a}}; a < 0$$

CONSULTA AL TRIBUNAL (Levante la mano y entregue la hoja a un docente)

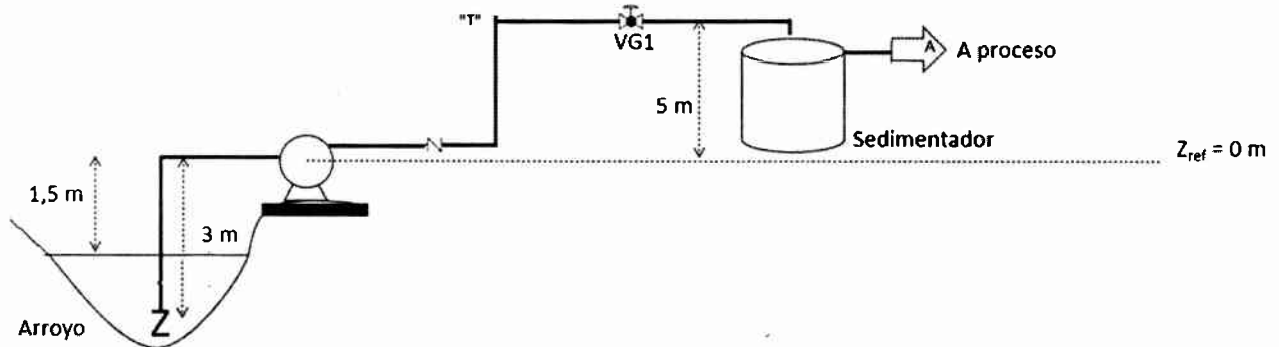
Pregunta:

Pregunta:

1/11

Problema 1

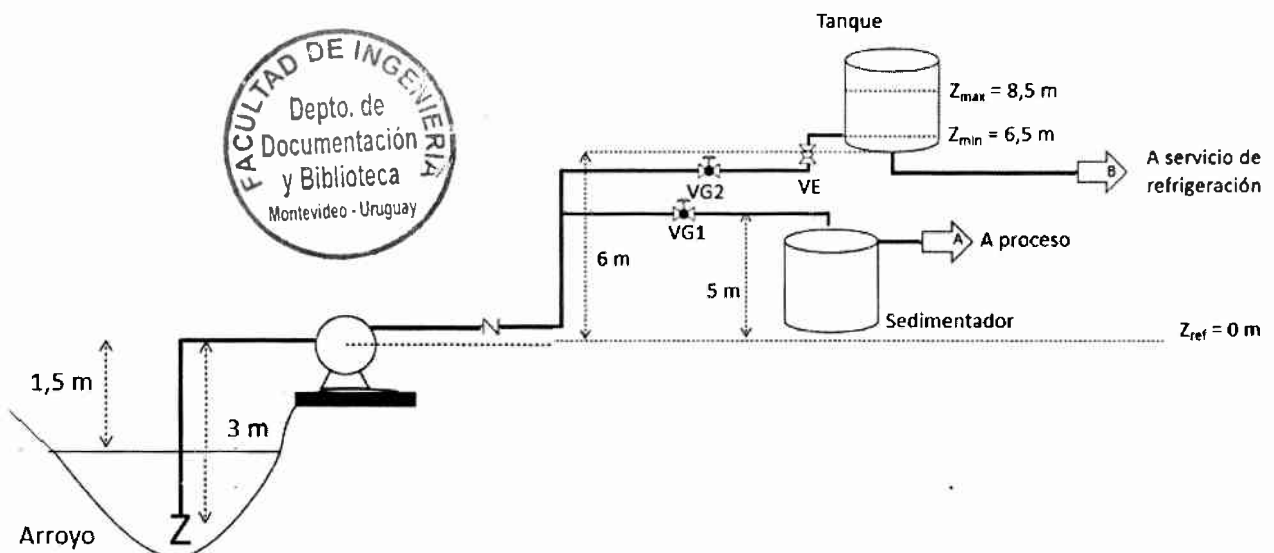
Una planta industrial prevé abastecerse de agua desde un arroyo. Como esta puede contener sólidos en suspensión, se decide instalar un sedimentador previo a su distribución hacia el proceso (línea A), como se muestra en el siguiente diagrama.



Para que el sedimentador funcione correctamente, el caudal debe mantenerse entre $6,0$ y $7,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Durante el verano, se ha reportado que el nivel del arroyo puede bajar hasta 1 m por debajo de su nivel máximo, el cual está indicado en el diagrama.

- Seleccione una bomba que permita un funcionamiento adecuado del sedimentador. Para esta parte asuma que la VG1 se mantiene completamente abierta.
- Para poder controlar que el caudal se encuentre dentro del rango deseado, uno de los ingenieros propone instalar un sistema de control con un tubo Pitot simple conectado a un manómetro diferencial en forma de "U" y un actuador para VG1. ¿Usted avala esta propuesta? Justifique. En caso negativo, proponga usted una opción completa.

Se desea conectar en la planta una línea B para un servicio de refrigeración empleando agua del mismo arroyo, y utilizando un tanque de almacenamiento como se muestra en el siguiente diagrama. Dicho servicio requiere un caudal de al menos $2 \text{ m}^3/\text{h}$.



- La bomba seleccionada en la parte a) ¿Puede cumplir con ambas demandas? De no ser así, evalúe acoplar la bomba seleccionada en parte a) con otra idéntica.

2/11

- d) Si en determinado momento el sistema de bombeo se apaga y las válvulas VE y VG1 y VG2 permanecen en posición completamente abiertas, ¿Es posible asegurar el correcto funcionamiento del sedimentador? De ser así, ¿Por cuánto tiempo? Para esta parte asuma que el tanque se encuentra en su nivel máximo y el servicio de refrigeración se corta en el momento que se apaga el sistema de bombeo.

Datos y consideraciones:

Cañería: todas las cañerías son de acero comercial IPS Sch 40 de 1" de diámetro nominal, el cual tiene una rugosidad absoluta de $4,5 \times 10^{-5}$ m.

Conducciones:

El tramo de la succión tiene como accesorios un codo STD 45° y una válvula de pie con filtro de obturador oscilante. Largo de cañería de 5 m.

El tramo entre la bomba y la "T" tiene como accesorios un codo STD 90° y una válvula de retención de disco oscilante tipo clapeta (VR). Largo de cañería de 10 m.

Entre la "T" y el sedimentador tiene como accesorio una válvula globo (VG1) y un codo estándar de 90°. Largo de cañería de 12 m (tramo vertical de la descarga de longitud despreciable)

Entre la "T" y el tanque 1 tiene como accesorio una válvula de esfera (VE), una válvula globo (VG2) y 3 codos estándar de 90°. Largo de cañería de 25 m.

Las entradas a tuberías son de cantos vivos.

Considere que no hay diferencia de nivel entre la succión y descarga de la bomba.

Sedimentador: diámetro 3 m, altura 4 m, salida por desborde.

Tanque: diámetro 4 m, altura 3 m. Su nivel varía entre 0,5 y 2,5 m por encima del fondo. Ambos están venteados a la atmósfera.

Propiedades físicas del agua del arroyo.

$\rho_{\text{agua}} = 998 \text{ kg/m}^3$; $\mu_{\text{agua}} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $P_{\text{vap}} = 2300 \text{ Pa}$

(Se pueden asumir constantes en el rango de temperaturas de trabajo)

Presión atmosférica: $P_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$

Ajustes de las curvas de las bombas a 2900 rpm

2CP25/16A: $H(m) = -0,39 [Q(m^3/h)]^2 + 0,04 Q(m^3/h) + 67,17$

2CP25/16B: $H(m) = -0,30 [Q(m^3/h)]^2 - 0,74 Q(m^3/h) + 57,60$

2CP25/16C: $H(m) = -0,35 [Q(m^3/h)]^2 - 0,74 Q(m^3/h) + 47,31$

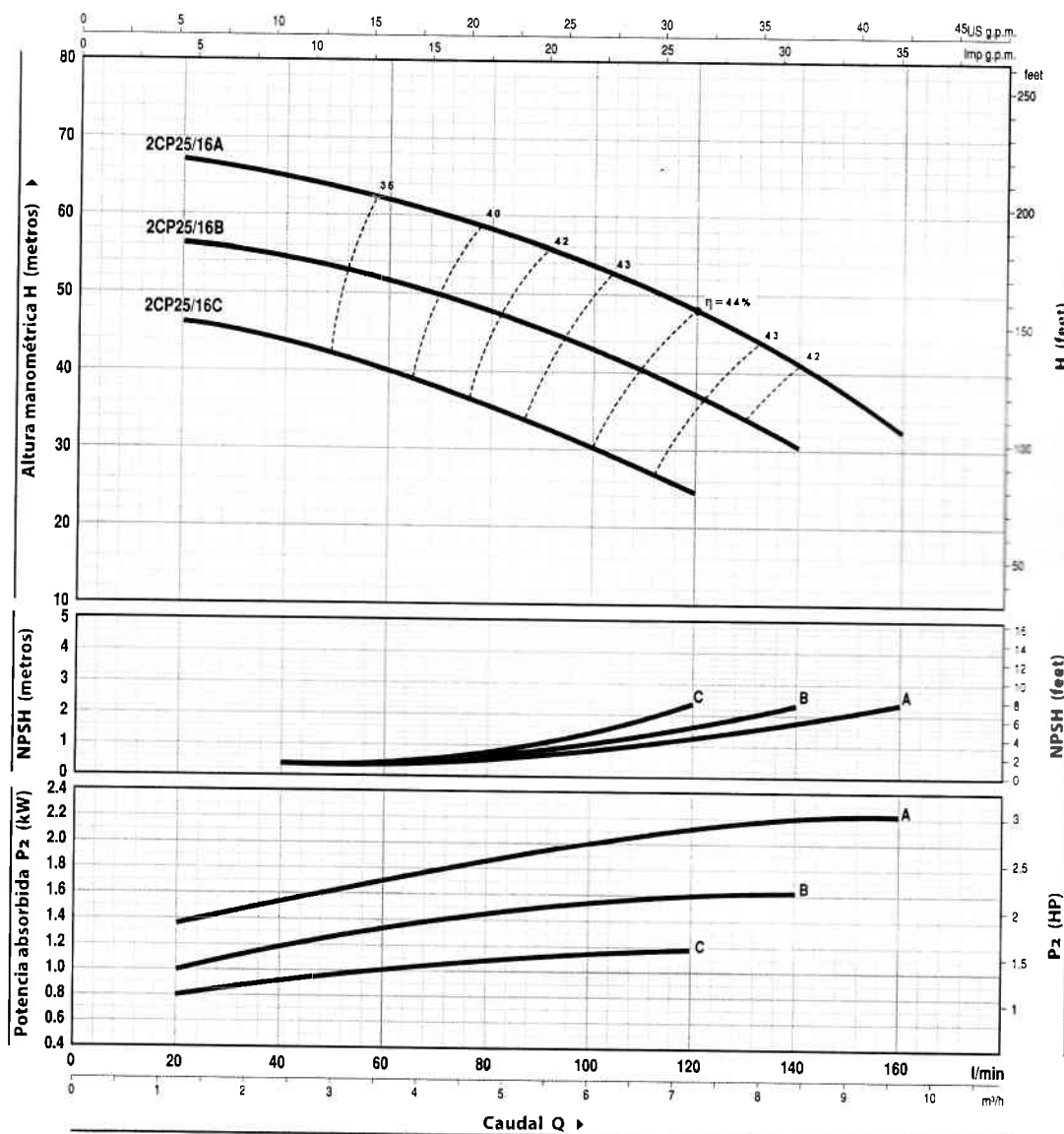
3/11





CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

50 Hz $n = 2900 \text{ min}^{-1}$ $HS = 0 \text{ m}$



4/11

Problema 2

En una planta de producción de oxígeno, se separa el nitrógeno del oxígeno del aire mediante el proceso de **Adsorción por Oscilación de Presión (PSA)**, en el cual se produce la adsorción selectiva del nitrógeno sobre zeolita (un material natural con alta capacidad adsorbente).

Dos torres para la purificación de oxígeno, cargados de zeolita, operan de manera alternada cumpliendo ciclos de adsorción-desorción:

Adsorción: El aire es comprimido e introducido en la torre a presión, para que sea adsorbido preferentemente al nitrógeno, mientras que el oxígeno pase a través de esta con mínima adsorción.

Desorción: Una vez que el material adsorbente alcanza su capacidad máxima de adsorber nitrógeno, la presión se reduce. Esta reducción de presión provoca que el nitrógeno adsorbido se libere o se desorba del material adsorbente, y pueda ser venteado a la atmósfera.

El aire se presuriza hasta una presión máxima de 8 bar manométricos en una sola etapa, mediante un compresor de dos cilindros y doble efecto, e ingresa a la torre de adsorción luego de pasar por un enfriador que baja su temperatura hasta los 30°C de modo de favorecer la adsorción del nitrógeno (puede asumir que en la torre se mantiene a esta temperatura durante todo el proceso de adsorción).

Durante este proceso, que dura 5 minutos, ingresan a una torre 10 kg de aire y en simultáneo se produce la desorción del nitrógeno en la otra torre.

El proceso de adsorción tiene dos etapas: Durante la primera etapa, que dura 60 segundos, el gas contenido en la torre aumenta desde 1 barg hasta 8 barg, y no hay salida de gas. Durante la segunda etapa, que dura los 4 minutos restantes, se habilita la salida de oxígeno, de modo que se mantiene la presión dentro de la torre en 8 barg. Durante los 5 minutos el flujo másico de aire debe ser constante, para lo cual se utiliza un sistema de control que regula la velocidad del motor, mediante un variador de frecuencia.

En la otra torre, mientras tanto, el venteo del nitrógeno que se desorbe se debe realizar también con un flujo másico aproximadamente constante, mientras la presión dentro de la torre baja desde 8 barg hasta 1 barg. Una conducción de venteo permite conducir el nitrógeno hasta el exterior de la planta, y descargarlo a la atmósfera, a 8 metros por sobre el nivel del suelo, permitiendo su dilución en la atmósfera, de manera segura. Al inicio de la conducción de venteo se ubica una válvula reductora de presión.

- ¿Con qué rango de frecuencia eléctrica debería alimentarse el motor del compresor?
- ¿Cuál sería la máxima potencia entregada por el motor?
- ¿Cuál es la función de la válvula reductora de presión en el sistema? Aunque esta permitiese una regulación perfecta de la presión, indique por qué aun así el flujo másico de nitrógeno no será constante.



5/11

Datos y consideraciones:

Presión atmosférica: 1 bar

Temperatura del aire atmosférico: 15°C

Cp/Cv del nitrógeno y del oxígeno: 1.4

Composición molar del aire: 79% N₂ y 21% O₂

PM N₂: 28g/mol, PM O₂: 32g/mol

Puede asumir que la separación entre nitrógeno y oxígeno es perfecta.

Compresor:

Diámetro de cada cilindro: 100mm

Longitud de la carrera: 150mm

Diámetro del vástago de los pistones: 15mm

Fracción de volumen muerto: 8 %

Factores de eficiencia volumétrica:

- Factor de temperatura: 0.97
- Factor de pérdida de carga: 0.97
- Factor de fugas: 0.94

Coeficiente politrópico: $k=1.20$

Eficiencia mecánica: 78%

Eficiencia politrópica: 90%

Control de velocidad mediante variador de frecuencia (25 Hz a 60 Hz)

Relación de transmisión desde Motor: 0.4

La pérdida de carga entre el compresor y las torres de adsorción es despreciable en todo momento.

Motor:

Potencia nominal: 20 HP

Velocidad nominal: 1450 rpm

Eficiencia eléctrica: 85%

Torres:

Altura: 4 m

Volumen: 12 m³ cada una.

Presión máxima admisible: 12 barg

Conducción de venteo:

Tubería de PVC de 50 mm de diámetro interno

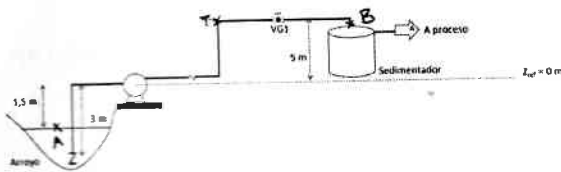
Rugosidad: 2×10^{-7} m

Longitud: 20 m

Accesorios: Una válvula reductora de presión y 5 codos estándar de 90°



6/11



$$\text{BEM A-B} : \frac{\Delta u^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z + \Delta h_f = H$$

$$\frac{u^2}{2g} + z_b - z_a + \left(\frac{fL}{D} + \sum K \right) \frac{u^2}{2g} = H$$

$$6 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Correcto funcionamiento del Sedimentador

$$D_w = 1" \text{ Sch 40}$$

$$\text{Perry} \rightarrow D = 0,0266 \text{ m}$$

$$\text{Crane} \rightarrow f_r = 0,023$$

$$\begin{aligned} \text{En verano} : Q > 6 \text{ m}^3/\text{h} &\rightarrow z_a = -2,5 \text{ m} \\ \text{En invierno} : Q < 7 \text{ m}^3/\text{h} &\rightarrow z_b = -1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$K = k_{fr} (\text{Crane})$$

Conducción	Largo (m)	Accesorio	k	K	Cantidad	$\sum K$	$\sum K$
Succión	5	Codo 45°	16	0,368	1	0,368	2,093
		VRpf; Obt. Osc	75	1,725	1	1,725	
		Entrada a tubería	Ya incluida en VRpf; Obt Osc		1	0	
Bomba-T	10	Codo 90°	30	0,69	1	0,69	1,84
		VR; Obt. Clapeta	50	1,15	1	1,15	
T-Sedimentador	12	V. Globo	340	7,82	1	7,82	8,51
		Codo 90°	30	0,69	1	0,69	
		V. Esfera	3	0,069	1	0,069	
T-Tanque	25	V. Globo	340	7,82	1	7,82	9,959
		Codo 90°	30	0,69	3	2,07	

$$\sum K = \sum K_{\text{succión}} + \sum K_{\text{Bomba-T}} + \sum K_{\text{T-Sedimentador}} + K_{\text{T, Flujo derivado}} \rightarrow 60 f_r \Rightarrow \sum K = 13,82$$

$$L = 27 \text{ m}$$

$$u = \frac{Q}{A_{\text{flujo}}} \rightarrow A_{\text{flujo}} = \frac{\pi D^2}{4} = 5,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rightarrow \text{Si } Q = 6 \text{ m}^3/\text{h} : u = 2,99 \text{ m/s} \rightarrow Re = \frac{\rho u D}{\mu} = 79483 \rightarrow f = F(Re, \epsilon, D) = 0,0247$$

$$\rightarrow \text{Si } Q = 7 \text{ m}^3/\text{h} : u = 3,49 \text{ m/s} \rightarrow Re = 92731 \rightarrow f = 0,0244$$

Colebrook-White



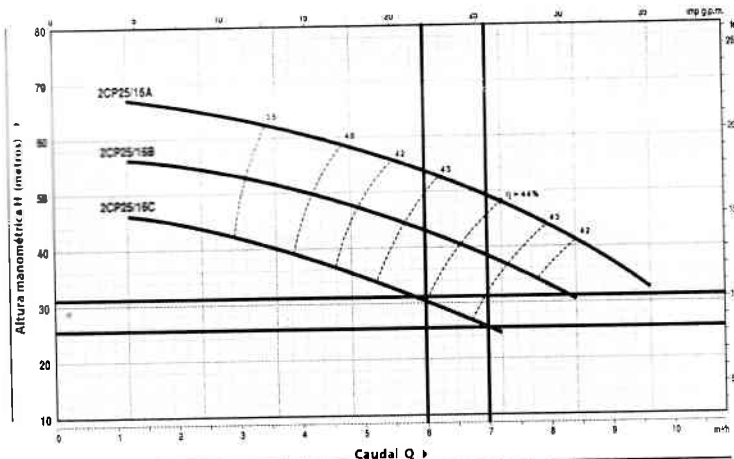
$$\text{En verano} \rightarrow H_{\text{req}} = 25,46 \text{ m}$$

$$\text{En invierno} \rightarrow H_{\text{req}} = 31,01 \text{ m}$$

Sin modificar VG1
Para asegurar el correcto funcionamiento del sedimentador

La bomba debe entregar:

$$\begin{aligned} H &> 25,46 \text{ m cuando } Q = 6 \text{ m}^3/\text{h} \\ H &< 31,01 \text{ m cuando } Q = 7 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$



La única bomba que cumple con los requisitos es la 2CP25/16C

Riesgo de cavitación $\rightarrow NPSH_b > NPSH_r$

$$\text{BEM A-S} : 0 = \frac{u_s^2}{2g} + \frac{P_s - P_{atm}}{\rho g} - z_a + \left(\frac{fL_s}{D} + \sum K \right) \frac{u_s^2}{2g}$$

$$\frac{u_s^2}{2g} + \frac{P_s - P_{atm}}{\rho g} = \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\rho g} + z_a - \left(\frac{fL_s}{D} + \sum K \right) \frac{u_s^2}{2g}$$

$NPSH_b$

$u_s \rightarrow$ Al caudal de operación en las condiciones más desfavorables $\rightarrow z_a = -2,5 \text{ m}$

7/11

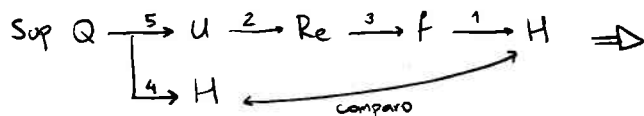
$$\frac{U^2}{2g} + z_0 - z_A + \left(\frac{fL}{D} + \sum K \right) \frac{U^2}{2g} = H \quad [1]$$

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \quad [2]$$

$$f = F(Re, \epsilon, D) \quad [3]$$

$$H = -0,35 Q^2 - 0,74 Q + 47,31 \quad [4]$$

$$\frac{Q (m^3/h)}{3600} = \frac{U (m/s)}{A_{flujos}} \quad [5]$$



Q operando	6,41	m³/h
u	3,20	m/s
Re	84968	
f	0,02456	
H _{req}	28,17	m
H _{obta}	28,17	m
Objetivo	0	



$$NPSH_b = \frac{1 \times 10^5 - 2300}{998 \times 9,81} - 2,5 - \left(\frac{0,02456 \times 5}{0,0266} + 2,093 \right) \left(\frac{3,2^2}{2 \times 9,81} \right) = 4 \text{ m}$$

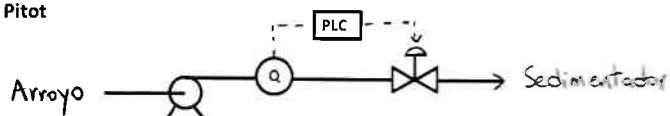
$$NPSH_r (Q_{op} = 6,41 \text{ m}^3/h) = 1,8 \text{ m}$$

$NPSH_b > NPSH_r \rightarrow$ No hay riesgo de cavitación

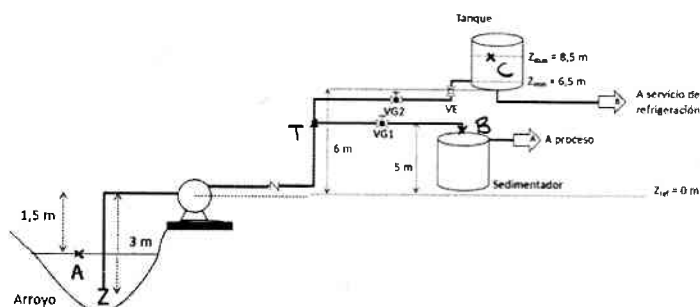
$\rightarrow$ La bomba seleccionada es la 2CP25/16C

- b) No es una buena propuesta por que la medida del manómetro en "U" es muy difícil e impráctica de utilizar en un sistema de control. A su vez, el tubo Pitot puede obstruirse con los sólidos en suspensión presentes en el fluido.

Una alternativa viable es utilizar un PLC que regule el grado de apertura de VG1 con un actuador a partir de la medida de un caudalímetro Doppler.



c)



$\rightarrow$ Con 6 m³/h alcanza

$$6 \leq Q_b \leq 7 \text{ m}^3/h$$

Por balance de masa en la T:

$$Q_c \geq 2 \text{ m}^3/h$$

$$Q_A = Q_{bomba} \geq 8 \text{ m}^3/h$$

$\rightarrow$ La bomba elegida en a) no debería trabajar a caudales de 8 m³/h ya que estaría fuera de su rango de diseño (ver curva)

$\rightarrow$ Por este motivo, se descarta el acoplamiento en serie

Acople en paralelo: $H_p = \frac{-0,35 Q^2}{4} - \frac{0,74 Q}{2} + 47,31 \rightarrow H_p = -0,0875 Q^2 - 0,37 Q + 47,31$

BEM_{T-C}: $\frac{-U_c^2}{2g} + \frac{P_{atm} - P_T}{\rho g} + z_{max} - z_T + \left(\frac{f L_{T-C}}{D} + \sum K \right) \frac{U_c^2}{2g} = 0$

$\downarrow$ más desfavorable (mayor $P_{T, req}$)

$$Q = 2 \text{ m}^3/h \rightarrow U_c = 0,996 \text{ m/s}$$

$$Re = 26495 \rightarrow f = 0,02796$$

$$\sum K = 9,959 + \frac{1}{K_{salida}} = 10,959 ; L_{T-C} = 25 \text{ m}$$

$$\rightarrow P_T = 153187 \text{ Pa}$$

8/11

$$\text{BEM}_{T-B} : \frac{P_{atm} - P_T}{\rho g} + \left(\frac{f L_{T-B}}{D} + \sum K \right) \frac{U_B^2}{2g} = 0$$

$$\sum K = 8,51 ; L_{T-B} = 12 \text{ m}$$

$$\rightarrow P_T = 187514 \text{ Pa}$$

$$Q = 6 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow U_B = 2,989 \text{ m/s}$$

$$Re = 79484 \rightarrow f = 0,02469$$

Valor a alcanzar, luego se cierra VG2 para regular Q_C en $2 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_A = 8 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow U_A = 3,985 \text{ m/s}$$

$$Re = 105979 \rightarrow f = 0,02418$$

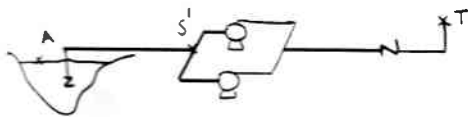
$$\text{BEM}_{A-T} : \frac{U_A^2}{2g} + \frac{P_T - P_{atm}}{\rho g} + z_T - z_A + \left(\frac{f L_{A-T}}{D} + \sum K \right) \frac{U_A^2}{2g} = H_{ref}$$

$$\sum K = 3,933 ; L_{A-T} = 15 \text{ m}$$

$$\rightarrow H_{ref} = 31,45 \text{ m}$$

$$H_{paralelo} (Q = 8 \text{ m}^3/\text{h}) = 38,75 \text{ m}$$

$H_T > H_{ref} \rightarrow$ El acople en paralelo entrega el caudal suficiente



$$\text{BEM}_{A-S'} : \frac{U_{S'}^2}{2g} + \frac{P_{S'} - P_{atm}}{\rho g} - z_A + \left(\frac{f L_{S'}}{D} + \sum K \right) \frac{U_{S'}^2}{2g} = 0$$

$$U_{S'} = 3,985 \text{ m/s} \rightarrow Q = 8 \text{ m}^3/\text{h} = Q_{op} \text{ (Regulo con las VG)}$$

$$z_A = -2,5 \text{ m} \rightarrow \text{más desfavorable}$$

$$\rightarrow P_{S'} = 15047 \text{ Pa}$$

* Despreciando las pérdidas de carga del acople

$$NPSH_b = \frac{U_{S'}^2}{2g} + \frac{P_{S'} - P_{vap}}{\rho g} = 1,5 \text{ m}$$

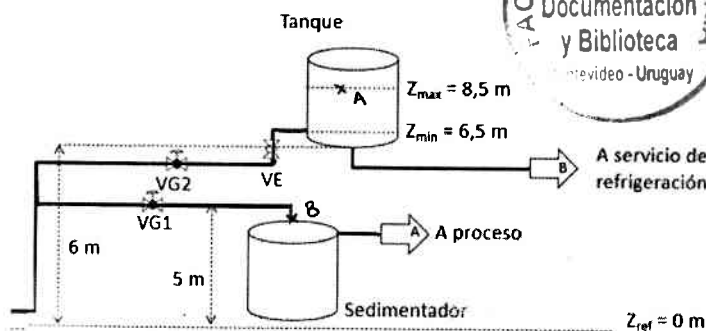
$$NPSH_r = 0,6 \text{ m}$$

$NPSH_b > NPSH_r \rightarrow$ No hay riesgo de cavitación

$$\text{Por cada bomba} \rightarrow U_s = \frac{3,985}{2} = 1,99 \text{ m/s} (Q = 4 \text{ m}^3/\text{h})$$

El acople en paralelo cumple con el servicio

$$d) 6 < Q < 7 \text{ m}^3/\text{h}$$



$$\text{BEM}_{A-B} : \frac{U^2}{2g} + z_B - z_A + \left(\frac{f L_{A-B}}{D} + \sum K \right) \frac{U^2}{2g} = 0 \quad (1)$$

Calculo $Q_{\max}$ y evalúo si está dentro del rango deseado

$$\sum K = \underbrace{\sum K_{T-B}}_{8,51} + \underbrace{\sum K_{T-A}}_{9,96} + \underbrace{K_{entrada}}_{0,5} + \underbrace{K_{T, flujo desviado}}_{60 f_T}$$

$$\sum K = 20,35 ; L_{A-B} = 37 \text{ m}$$

$$Q_{\max} \rightarrow z_A = 8,5 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (2) \quad f = F(Re, E, D) \quad (3)$$

$$\text{Sup } U^2 \rightarrow Re^3 \rightarrow f \rightarrow U$$

Comparo

$$\rightarrow U = 1,07 \text{ m/s} \rightarrow Q = U A \rightarrow Q = 2,15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Nunca se logra un correcto funcionamiento del sedimentador

9/11

a) $f_{\text{motor}} = \frac{N_{\text{motor}}}{N_{\text{nominal}}} \times f_{\text{nominal}} \rightarrow 50 \text{ Hz}$
 $N_{\text{nominal}} \rightarrow 1450 \text{ rpm}$

$N_{\text{motor}} = \frac{N_{\text{compresor}}}{RT}$
 $RT \rightarrow \text{Relación de transmisión}$

$W = P_1 \eta_{v,\text{real}} V_{D,\text{tot}} N_{\text{compresor}}$

$W = P_1 \eta_{v,\text{real}} V_{D,\text{tot}} N_{\text{motor}} RT$

$V_{D,\text{tot}} = 2 \times 2 \left(\frac{\pi D_c^2 L}{4} \right) - 2 \left(\frac{\pi D_{\text{vástago}}^2 L}{4} \right) = 4,66 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 $\rightarrow \text{efectos}$
 $\rightarrow \text{Cilindros en paralelo}$

El vástago está en solo uno de los dos efectos. El vástago genera una disminución en el volumen desplazado.



Etapas de adsorción $\rightarrow 10 \text{ kg}$ en 5 min

$\rightarrow$ El flujo de aire es constante

$W = \frac{10 \text{ kg}}{5 \text{ min}} = 2 \text{ kg/min}$

$P_1 = \frac{P_1 PM}{RT_1}$

$PM_{\text{aire}} = y_{N_2} PM_{N_2} + y_{O_2} PM_{O_2} = 28,84 \text{ g/mol}$

$P_1 = \frac{1 \times 10^5 \times 28,84 \times 10^{-3}}{8,3145 (15 + 273,15)} = 1,2 \text{ kg/m}^3$
 $\rightarrow \text{composición molar}$

La torre se presuriza desde 1 barg hasta 8 barg $\rightarrow r_{c,i} = 2$; $r_{c,f} = 9 \Rightarrow$ Para que el flujo sea constante, se de

$\eta_{v,\text{real}} = \eta_{v,\text{teo}} (f_r f_{r_f}) = [1 + c(1 - r_c^{1/k})] (f_r f_{r_f}) \rightarrow \eta_{v,\text{real},i} = 0,829$; $\eta_{v,\text{real},f} = 0,514$
 $0,884$

$N_{\text{motor}} = \frac{W}{P_1 \eta_{v,\text{real}} V_{D,\text{tot}} RT}$
 $N_{\text{motor},i} = 1075 \text{ rpm} \rightarrow f_{\text{motor},i} = 37 \text{ Hz}$
 $N_{\text{motor},f} = 1735 \text{ rpm} \rightarrow f_{\text{motor},f} = 60 \text{ Hz}$

b) Máxima potencia entregada por el motor?

$W_{\text{ciclo}} = P_1 (V_1 - V_4) \frac{k}{k-1} (r_c^{\frac{k-1}{k}} - 1) \rightarrow \text{Ciclo IDEAL}$

$P_{\text{mec}} (\text{kW}) = \frac{W_{\text{ciclo}} (\text{kJ/ciclo}) N_{\text{compresor}} (\frac{\text{ciclos}}{\text{min}})}{\eta_{\text{mec}} \eta_{\text{poli}} \times 60 \text{ s/min}}$

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

$\eta_{v,\text{teo}} = \frac{(V_1 - V_4)_{\text{teo}}}{(V_1 - V_3)_{\text{tot}}} \rightarrow (V_1 - V_4)_{\text{teo}} = \eta_{v,\text{teo}} (V_1 - V_3)_{\text{tot}}$

$\rightarrow W_{\text{ciclo}} = P_1 \eta_{v,\text{teo}} (V_1 - V_3)_{\text{tot}} \frac{k}{k-1} (r_c^{\frac{k-1}{k}} - 1)$

$W_{\text{ciclo}} = P_1 [1 + c(1 - r_c^{1/k})] (V_1 - V_3)_{\text{tot}} \frac{k}{k-1} (r_c^{\frac{k-1}{k}} - 1)$

El trabajo por ciclo puede llegar a disminuir si la relación de compresión aumenta demasiado, producto de la disminución de la eficiencia volumétrica. La velocidad del motor aumenta con la relación de compresión, por lo que hay efectos contrapuestos.

$N_{\text{compresor}} = \frac{W}{P_1 \eta_{v,\text{real}} V_{D,\text{tot}}} = \frac{W}{P_1 [1 + c(1 - r_c^{1/k})] f_r f_{r_f} V_{D,\text{tot}}}$

$\rightarrow$ Se observa que a mayor r_c , mayor potencia

$P_{\text{mec},\text{máx}} = 11,83 \text{ kW}$

r_c	$W_{\text{ciclo}} (\text{kJ/ciclo})$	$N_{\text{compresor}} (\text{rpm})$	$P_{\text{mecánica}} (\text{kW})$
2	0,321	430	3,28
3	0,494	458	5,38
4	0,600	488	6,96
5	0,666	521	8,23
6	0,704	557	9,31
7	0,723	597	10,25
8	0,727	643	11,08
9	0,718	694	11,83

10/11

Alternativa $\rightarrow P_{mec} (kW) = \frac{\hat{W} (kJ/kg) W (kg/s)}{\eta_{mec} \eta_{poli} f_{rff} f_T}$

$$P_{mec, \max} = \frac{220,4 \text{ kJ/kg} \times 2 \text{ kg/min}}{0,78 \times 0,9 \times 0,97^2 \times 0,94 \times 60 \text{ s/min}} = \underline{\underline{11,83 \text{ kW}}}$$

Para $r_c = 9 \rightarrow P_{mec, \max}$

$$\hat{W} = \frac{k}{k-1} (r_c^{\frac{k-1}{k}} - 1) \frac{RT}{PM} = 220,4 \text{ kJ/kg}$$

- c) La válvula reductora de presión se utiliza para disminuir la variabilidad en el flujo de nitrógeno, fijando la presión de descarga de la torre. De esta manera, se mantiene constante la diferencia de presión entre la válvula y la descarga atmosférica durante todo el venteo por lo que al no realizar modificaciones en la conducción, se controla en cierta manera el flujo de nitrógeno.

Aunque la presión en la válvula se regule con precisión, no se lograría un flujo constante de nitrógeno debido a que la expansión del gas en la torre por la despresurización a lo largo del venteo, provoca una disminución en la temperatura del gas. Esto se debe al intercambio de energía interna, donde la energía en forma de entalpía se convierte en energía cinética al acelerar el nitrógeno durante el venteo. Como se ventea un gas cada vez menos denso, resulta imposible mantener un flujo másico constante.



11/11