

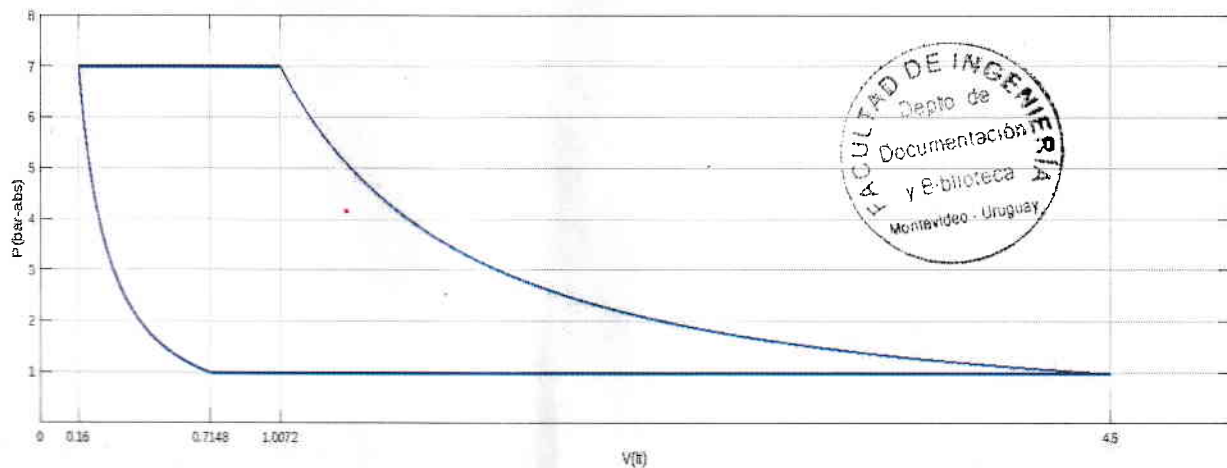
MAQUINAS PARA FLUIDOS 1

EXAMEN

Diciembre 2024

Un fabricante de compresores recíprocos, está evaluando el diseño de un compresor de una etapa, simple efecto, mono-cilindro del que se tiene el modelo del ciclo ideal.

Se estima los rendimientos : $\eta_p = 95\%$ $\eta_v = 96\%$ $\eta_m = 89\%$. Considere la presión atmosférica como 1 bar absoluto.



- Calcular el volumen desplazado, el espacio nocivo y el índice de expansión politrópica.
- Calcular el caudal volumétrico que entrega el compresor, y potencia en punta de eje requerida si trabajara en la condición de funcionamiento dada en el diagrama, asumiendo que está acoplado a un motor con una velocidad de giro nominal de 750 rpm.
- Se requiere suministrar 2300 lt/min (1 bar absoluto, 20°C) de aire comprimido alimentando en forma continua a un tanque con una condición de trabajo entre una presión máxima de 9,5 bar y una presión mínima de 8,5 bar (presiones absolutas). Determinar el mínimo volumen del tanque para que el tiempo entre encendidos sucesivos sea de por lo menos 30 segundos. Calcular la potencia en punta de eje cuando el compresor en la condición de trabajo de alimentación al tanque. Considere que el compresor opera a velocidad de giro nominal y que la temperatura en el interior del tanque se mantiene a 20°C.
- Se plantea diseñar un sistema de regulación de caudal de modo que el compresor trabaje en la condición de caudal y presión media dada en c) en forma continua.
 - evaluar un sistema de regulación de caudal por medio de bolsillos, calcular el volumen del bolsillo necesario
 - evaluar un sistema de regulación de caudal por medio de estrangulación en la succión, calcular la caída de presión que debe imponer la válvula.
- Calcular la energía que se tiene asociada al funcionamiento de compresor en un turno de 8 horas para c), d1) y d2)

$$V_3 = 0,16 \text{ lt} \quad r = 4$$

$$V_D = 4,5 \text{ lt} - 0,16 \text{ lt} = 4,34 \text{ lt}$$

$$n = \frac{\log(r)}{\log(V_D/V_2)} = 1,3$$

$$b) \dot{V} = V_D N Z_j^{\frac{1}{n}} e_{v0} e_{v1} e_{v2} \eta_v$$

$$e_{v0} = \frac{4,5 - 0,148}{4,5 - 0,16} = 0,865$$

$$\dot{V} = 2702,95 \text{ lt/min}$$

$$\dot{W} = \frac{n}{n-1} \frac{P_1 \dot{V}}{\eta_v \eta_m} \left[r^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right] = 13,6 \text{ KW}$$

$$c) \dot{V}_a = 2300 \text{ lt/min}$$

$$P_{max} = 9,5 \text{ bara} \quad | \quad P_{med} = 9 \text{ bara} \rightarrow r = 9$$

$$P_{min} = 8,6 \text{ bara}$$



$$e_{vol} = 1 - C \left(r^{\frac{1}{n}} - 1 \right) = 0,865 \Rightarrow C = 3,893 \times 10^{-2}$$

$$e_{vol} = 0,828$$

$$\dot{V} = 2587,3 \text{ lt/min}$$

$$\frac{(P_{max} - P_{min})}{P_1} \cdot \frac{V_T}{\tau_{enc}} = \frac{P_1 (V - V_a)}{P_1}$$

$$\frac{(P_{max} - P_{min})}{P_1} \cdot \frac{V_T}{\tau_{cp}} = \frac{P_1 V_a}{P_1}$$

$$\tau_{enc} + \tau_{cp} = 0,5 \text{ min}$$

$$V_T = 127,7 \text{ lt}$$

$$\tau_{enc} = 0,44 \text{ min}$$

$$\tau_{cp} = 0,06 \text{ min}$$

$$\tau_{enc} = 0,88$$

$$\tau_{enc} + \tau_{cp}$$

$$N = 15,2 \text{ kW}$$

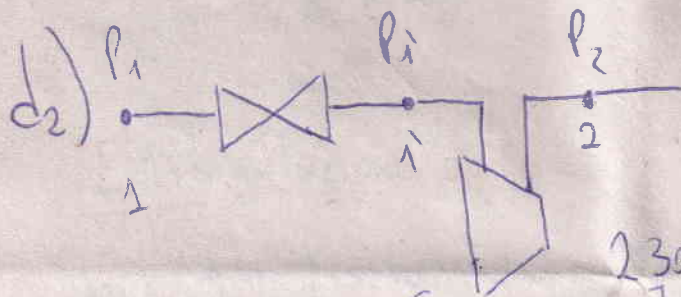
$$d_1) \dot{V}_{comp} = \dot{V}_u = 2300 \text{ lt/min} = V_D N \eta_v e_{vo}$$

$$\left. \begin{aligned} e_{vo} &= 0,136 = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3} \\ V_4 &= r^{1/n} V_3 \end{aligned} \right\} V_3 = \frac{1 - e_{vo}}{r^{1/n} - e_{vo}} V_1$$

$$V_3 = 0,254 \text{ lt}$$

$$V_{bolsillos} = 0,094 \text{ lt}$$

$$W = 13,5 \text{ kW}$$



$$\dot{V}_{comp} = \dot{V}_u = 2300 \text{ lt/min}$$

$$2300 \text{ lt/min} = V_D N \eta_v [1 - c(r^{1/n} - 1)] \frac{P_1}{P_i}$$

$$r = \frac{P_2}{P_i}$$

$$\dot{W} = (P_1 - P_i) \frac{\dot{V}}{\eta_v} + \frac{\eta_c}{\eta_v} \left[\frac{P_i \dot{V}}{\eta_v} (r^{1/n} - 1) \right]$$

$$\dot{W} = 371 \text{ W} + 14286 \text{ W}$$

$$P_i [1 - c(r^{1/n} - 1)] = \frac{P_1 2300}{V_D N \eta_v} = 13604$$

$$\dot{W} = 14,7 \text{ kW}$$

$$P_i = 90405 P_2$$

$$e_{vo} = 0,814$$

$$r = 9,92$$

ON-OFF

$$\dot{W} = 15,2 \text{ kW}$$

$$\text{horas} = 0,88 \cdot 8 \text{ horas} = 7,04 \text{ h}$$

$$E = 107 \text{ kWh}$$



Bolsillos

$$\dot{W} = 13,5 \text{ kW}$$

$$\text{horas} = 8 \text{ h}$$

$$E = 108 \text{ kWh}$$

Estrangulación

$$\dot{W} = 14,7 \text{ kW}$$

$$\text{horas} = 8 \text{ h}$$

$$E = 117,6 \text{ kWh}$$

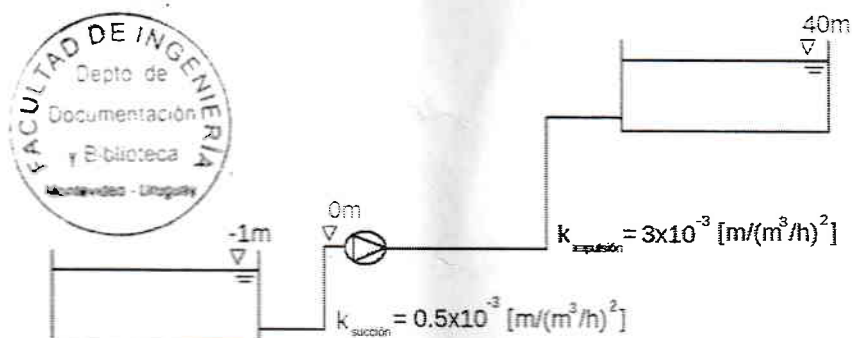
4/9

Máquinas para Fluidos I

Examen

Diciembre, 2024

Se cuenta con la instalación de bombeo de la figura, donde se bombea agua a un tanque elevado. La bomba debe vencer una pérdida de carga de $k_{impulsión} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$ en la impulsión y $k_{succión} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$ en la succión de la misma.



Se desea instalar una de las dos bombas presentadas a continuación:

Bomba 1: $N = 3500 \text{ rpm}$ $D = 220 \text{ mm}$

$Q[\text{m}^3/\text{h}]$	10	40	80	120	160	200	240	280
$H[\text{m}]$	95	93	92	90	85	78	70	61
$\text{NPSH}[\text{m}]$	2,4	2,5	2,5	2,7	3	3,5	4,6	7
$\eta[\%]$	20	40	56	60	74	75	70	60

Bomba 2: $N = 3500 \text{ rpm}$ $D = 174 \text{ mm}$

$Q[\text{m}^3/\text{h}]$	10	20	40	60	80	100	120	140
$H[\text{m}]$	63	63	62	59	56	52	45	40
$\text{NPSH}[\text{m}]$	1,4	1,4	1,6	2,3	3,5	4,4	6,2	7,1
$\eta[\%]$	30	52	63	73	78	80	77	62

- 1) Calcular el punto de operación de cada bomba en la instalación dada, funcionando cada una a su velocidad de giro nominal.
- 2) Considerando que el tanque elevado tiene un volumen de 30 m^3 , y se consumen del mismo un caudal constante $Q_{\text{consumo}} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$. Calcular el número de encendidos anuales que debe realizar cada bomba, así como las horas de funcionamiento anuales, si se aplica regulación **ON-OFF**. Se supondrá que la cota del tanque no cambia y que la bomba se apaga cuando el tanque se llena y de enciende cuando el tanque se vacía.
- 3) Considerando un costo medio de energía de $5.308 \text{ \$/kWh}$, estimar el costo anual de operación. Seleccionar la bomba para la instalación, argumentando los motivos que identifica pertinentes.
- 4) La diferencia de costos de operación, debido a la selección realizada en la parte anterior, permite la adquisición de un variador de frecuencia que puede operar hasta un máximo del 130% de la velocidad de giro de la máquina. Encontrar el máximo caudal que puede impulsar la bomba sin que cavite.

$$H_{Inst} = 41 + 3.5 \times 10^{-3} Q^2$$

1) B1 $(H - 92) \cdot 40 = -2(Q - 80) \quad H = -0.05Q + 96$

$$3.5 \times 10^{-3} Q^2 + 0.05Q - 55 = 0$$

$$\begin{bmatrix} Q = 118 \text{ m}^3/\text{h} \\ H = 90 \text{ m} \end{bmatrix}$$

B2 $(H - 59) \cdot 20 = -3(Q - 60) \quad H = -0.15Q + 68$

$$3.5 \times 10^{-3} Q^2 + 0.15Q - 27 = 0$$

$$\begin{bmatrix} Q = 69 \text{ m}^3/\text{h} \\ H = 57.7 \text{ m} \end{bmatrix}$$



2) Tiempo instalación a pagar $T_{ap} = \frac{30}{5} = 6 \text{ hora}$

Tiempo encendido B1 $\frac{30}{118 - 5} = 0.265 \text{ horas}$

B2 $\frac{30}{69 - 5} = 0.469 \text{ horas}$

Ciclos B1 $\Delta t = 6.265 \text{ horas} \rightarrow \text{Cantidad} = \frac{8760}{6.265} = 1398$

Ciclos B2 $\Delta t = 6.469 \text{ horas} \rightarrow \text{Cantidad} = \frac{8760}{6.469} = 1354$

Tiempo de operación B1 370 horas

B2 635 horas 6/9

$$C_{En} = 5.308 \$ / \text{kWh}$$

$$\underline{B1} \rightarrow \eta = 59.8\% \quad P_{B1} = \frac{9800 \times \frac{118}{3600} \times 90}{0.598 \times 1000} = 48.3 \text{ kW}$$

$$\underline{B2} \rightarrow \eta = 75.3\% \quad P_{B2} = \frac{9800 \times \frac{69}{3600} \times 57.7}{0.753 \times 1000} = 14.4 \text{ kW}$$

$$E_{AB1} = 48.3 \times 0.265 \times 1398 = 17894 \text{ kWh/año}$$

$$E_{AB2} = 14.4 \times 0.469 \times 1354 = 9144 \text{ kWh/año}$$

$$C_{AB1} = 17894 \times 5.308 = \$ 94981$$

$$C_{AB2} = 9144 \times 5.308 = \$ 48536$$

Se selecciona bomba B2: Tiene menor costo y una cantidad menor de encendidos.



4) Instalación $H = 41 + 3.5 \times 10^{-3} Q^2$
 succión $h_{svr} = 9 - 0.5 \times 10^{-3} Q^2$

Si se cambia velocidad de giro
 $Q' = Q \left(\frac{N}{3500} \right)$ $H' = H \left(\frac{N}{3500} \right)^2$ $h_{svr}' = h_{svr} \left(\frac{N}{3500} \right)^2$

$$H = 41 \left(\frac{3500}{N} \right)^2 + 3.5 \times 10^{-3} Q^2$$

H, Q y h_{svr} @ 3500 rpm

$$h_{svr} = 9 \left(\frac{3500}{N} \right)^2 - 0.5 \times 10^{-3} Q^2$$

Si $N = 3500$ rpm $\begin{cases} Q = 69 \text{ m}^3/\text{h} \\ H = 54.7 \text{ m} \\ h_{svr} = 2.39 \end{cases} \rightarrow N = 4807 \text{ rpm}$



Si $N = 4807$ rpm $H = 21.7 + 3.5 \times 10^{-3} Q^2$
 $H = -0.2Q + 72 \rightarrow 3.5 \times 10^{-3} Q^2 + 0.2Q - 50.3 = 0$
 $Q = 94.7 \text{ m}^3/\text{h}$
 $H = 53.1 \text{ m}$
 $h_{svr} = 4.16 \text{ m} \rightarrow N = 3571 \text{ rpm}$

Si $N = 4189$ rpm $H = 28.6 + 3.5 \times 10^{-3} Q^2$ $3.5 \times 10^{-3} Q^2 + 0.2Q - 43.4 = 0$
 $Q = 86.4 \text{ m}^3/\text{h}$
 $H = 54.7 \text{ m}$
 $h_{svr} = 3.78 \rightarrow N = 3831 \text{ rpm}$

Si $N = 4010$ $H = 31.2 + 3.5 \times 10^{-3} Q^2$ $3.5 \times 10^{-3} Q^2 + 0.2Q - 40.8 = 0$
 $Q = 83.1 \text{ m}^3/\text{h}$
 $H = 55.4 \text{ m}$
 $h_{svr} = 3.64 \text{ m} \rightarrow N = 3943$ 8/9

$$N = 3976 \text{ rpm} \quad H = 31.8 + 3.5 \times 10^{-3} Q^2 \quad 3.5 \times 10^{-3} Q^2 + 0.2 Q - 40.2 = 0$$

$$Q = 82.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 55.5 \text{ m}$$



$$h_{NR} = 3.6 \text{ m} \rightarrow N = 3971 \text{ rpm} \quad \checkmark$$

$$Q_{\max} = 82.3 \text{ m}^3/\text{h}$$