

Máquinas para Fluidos 1

Examen – Julio 2026

En una pequeña planta industrial se tiene una demanda de aire comprimido a 8 bar (manométrica), distribuidos a lo largo de una jornada de 16 horas tal que, durante un turno de 8 horas se demandan 800 l/min de aire ambiente (20 °C y 1 bar-absoluto) y durante las otras 8 horas se demandan 1300 l/min de aire ambiente.

El Ingeniero de la planta está evaluando dos alternativas de sistemas de compresión de aire, ambas con el mismo modelo de compresor de tornillo inundado en aceite, pero con distintos métodos de regulación.

El compresor, que tiene una relación de compresión intrínseca de 9, cuando gira a 2900 rpm (velocidad de giro nominal) y operando a la relación intrínseca, entrega un caudal de 3150 l/min de aire ambiente y se tiene una potencia en punta de eje de 16500 W. Se puede asumir rendimiento isoterma constante e igual 0.85, pérdidas mecánicas proporcionales a la velocidad de rotación. Para el rendimiento volumétrico se puede asumir el modelo $\eta_v = 1 - c^r/N$, con c una constante, r la relación de compresión de operación, N la velocidad de rotación y se sabe que para el ensayo vale $\eta_v = 0.97$.

El compresor con el motor tiene un costo de U\$S 7000.

Las alternativas son:

- A) Control On-Off con presostato (costo U\$S 45) y tanque de almacenamiento (costo U\$S 200 por metro cúbico de tanque) girando a velocidad nominal.
- B) Regulación de velocidad con variador de frecuencia (costo U\$S 1900) para entregar siempre el caudal demandado, utilizando un tanque amortiguador de 200 l que se mantiene a presión constante.

1) En la alternativa A), determinar el volumen del tanque de almacenamiento para que la presión dentro del mismo descienda de 9 bar a 8 bar (manométricas) en 3 minutos cuando el compresor está apagado durante el turno de mayor demanda de caudal. Calcular el tiempo de encendido total en cada turno de 8 horas. Asumir temperatura del aire dentro del tanque de 20°C.

2) En la alternativa B), hallar las velocidades a la que debe girar el compresor para los dos valores de caudal demandados.

3) Calcular la potencia consumida por cada alternativa (en el caso de la alternativa B) calcular la correspondiente a cada caudal demandado).

4) Asumiendo un costo de energía eléctrica de 0.14 U\$S/kWh constante durante el día y costos anuales de Operación y Mantenimiento del 2% de la inversión inicial, determine el monto de la inversión inicial y costo anual para cada una de las alternativas.



PLANTA INVERSIÓN → TRABAJO 1: $V_1 = 800 \text{ l/min}$ AIRE AHB. + 6 kmol
→ TRABAJO 2: $V_2 = 1300 \text{ l/min}$

COMPRESOR DE TORCIÓN INVERSO EN AIRE → $N_{\text{HOR}} = 2900 \text{ rpm}$
 $r = 9$

$V_{\text{CGR}} = 3150 \text{ l/min}$ AIRE AHB.
 $r = 9$

$P_{\text{GR}} = 16.5 \text{ bar}$, $r = 0.65$, $r_v = 9.97$

ALTERNATIVAS DE REGULACIÓN → A) ON-OFF con MAREJE → B) VARIACIÓN DE VOLUMENES



1) $P_{\text{max}} = 9 \text{ bar}$
 $P_{\text{min}} = 8 \text{ bar}$
 $Z_{\text{ap}} = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$
 $V_{U2} = 1300 \text{ l/min}$

$$V = V_0 N \eta_v \xrightarrow{\text{dato}} 3950 \text{ l/min} = V_0 \cdot 2900 \text{ rpm} \cdot 0.97 \rightarrow V_0 = 1,119 \text{ l}$$

$$\eta_v = 1 - \frac{Q}{N} \rightarrow Q = (1 - \eta_v) \frac{N}{r} = (1 - 0.97) \cdot \frac{9}{2900} \rightarrow Q = 9.67$$

$$\text{EN LA PLANTA } r = 9.5 \rightarrow \eta_v = 1 - 9.67 \cdot \frac{9}{2900} = 0.968 \rightarrow V = 3147 \text{ l}$$

$$\text{TIEMPO EN CARGA: } Z_{\text{en}} = \left(\frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{P_1} \right) \cdot \frac{V}{r} = \frac{P_1}{r} \cdot \frac{(V - V_0)}{V} = \frac{V - V_0}{V} = \frac{V - V_0}{V}$$

$$\begin{aligned} 1^{\text{er}} \text{ TRABAJO} \rightarrow V_{U1} &= 800 \text{ l/min} \rightarrow Z_{\text{en1}} = 1.67 \text{ min} \\ 2^{\text{o}} \text{ TRABAJO} \rightarrow V_{U2} &= 1300 \text{ l/min} \rightarrow Z_{\text{en2}} = 2.12 \text{ min} \end{aligned}$$

TIEMPO APLICADO $Z_{ap} = V_T / \dot{V}_u$

1º PASO $\rightarrow \dot{V}_{u1} = 800 \text{ l/min} \rightarrow Z_{ap1} = 4.88 \text{ min}$

2º PASO $\rightarrow \dot{V}_{u2} = 650 \text{ l/min} \rightarrow Z_{ap2} = 3 \text{ min}$

GRUPO $\rightarrow Z_{ciclos} = Z_{enc1} + Z_{ap} \rightarrow 1^\circ \text{ PASO } Z_{ciclos1} = 6.55 \text{ min}$

2º PASO $Z_{ciclos2} = 5.12 \text{ min}$

EN PORCENTAJE $\rightarrow 1^\circ \text{ PASO } Z_{enc1} = 25.5 \%$

2º PASO $Z_{enc2} = 41.4 \%$

EN 6 HORAS $\rightarrow 1^\circ \text{ PASO } Z_{enc1} = 2.04 \text{ h}$

2º PASO $Z_{enc2} = 3.31 \text{ h}$



2) $\dot{V} = V_0 N \eta_v = V_0 N \left(1 - \frac{9.67 \times 9.0}{N} \right) = V_0 (N - 9.67 \times 9.0)$

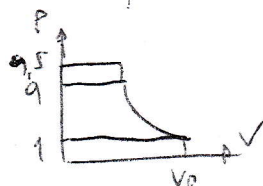
$\rightarrow N = \frac{\dot{V}}{V_0} + 9.67 \times 9.0 \rightarrow \begin{cases} 1^\circ \text{ PASO } N_1 = 802 \text{ rpm} \\ 2^\circ \text{ PASO } N_2 = 1299 \text{ rpm} \end{cases}$

3) DEL ENJARE AL COMPRESOR: $P_{ejc} = \frac{\rho_1 V_0 N L r_i}{\eta_i} + K N$

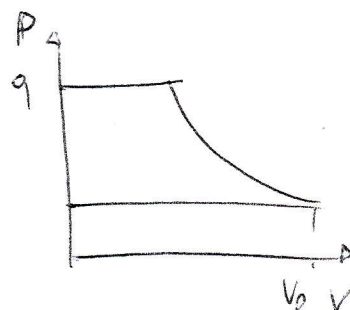
$\rightarrow K = \left(P_{ejc} - \frac{\rho_1 V_0 N L r_i}{\eta_i} \right) \cdot \frac{1}{N} \rightarrow K = 0.87 \text{ W/rpm}$

ALTERNATIVA A: $P_{ejc} = \frac{\rho_1 V_0 N L r_i}{\eta_i} + (\rho_1 - \rho_2) \frac{V_0 N}{\eta_i} + K N$

$P_{ejcA} = 16.848 \text{ W}$



ALTERNATIVA B: $P_{ejc} = \frac{\rho_1 V_0 N L r_i}{\eta_i} + K N$



ALTERNATIVA B 1º tramo ($N_1 = 802 \text{ rpm}$) : $P_{\text{pe}}_{B1} = 4564 \text{ W}$

ALTERNATIVA B 2º tramo ($N_2 = 1249 \text{ rpm}$) : $P_{\text{pe}}_{B2} = 7147 \text{ W}$



4) ALTERNATIVA A

INVERSIÓN : $\text{US\$ } 7000 + \text{US\$ } 45 + 3.9 \cdot \text{US\$ } 200 = \text{US\$ } 7825$

O & M : $\text{US\$ } 156,5$

$E = (Z_{\text{enc}_1} + Z_{\text{enc}_2}) P_{\text{pe}_A} \cdot 365 = 32900 \text{ kWh}$

$C_E = 0.14 \times 32900 = \text{US\$ } 4606$

$C_{\text{ANUAL}} = \text{US\$ } 4763$

ALTERNATIVA B

INVERSIÓN : $\text{US\$ } 7000 + \text{US\$ } 1900 + 0.2 \cdot \text{US\$ } 200 = \text{US\$ } 8940$

O & M : $\text{US\$ } 178.8$

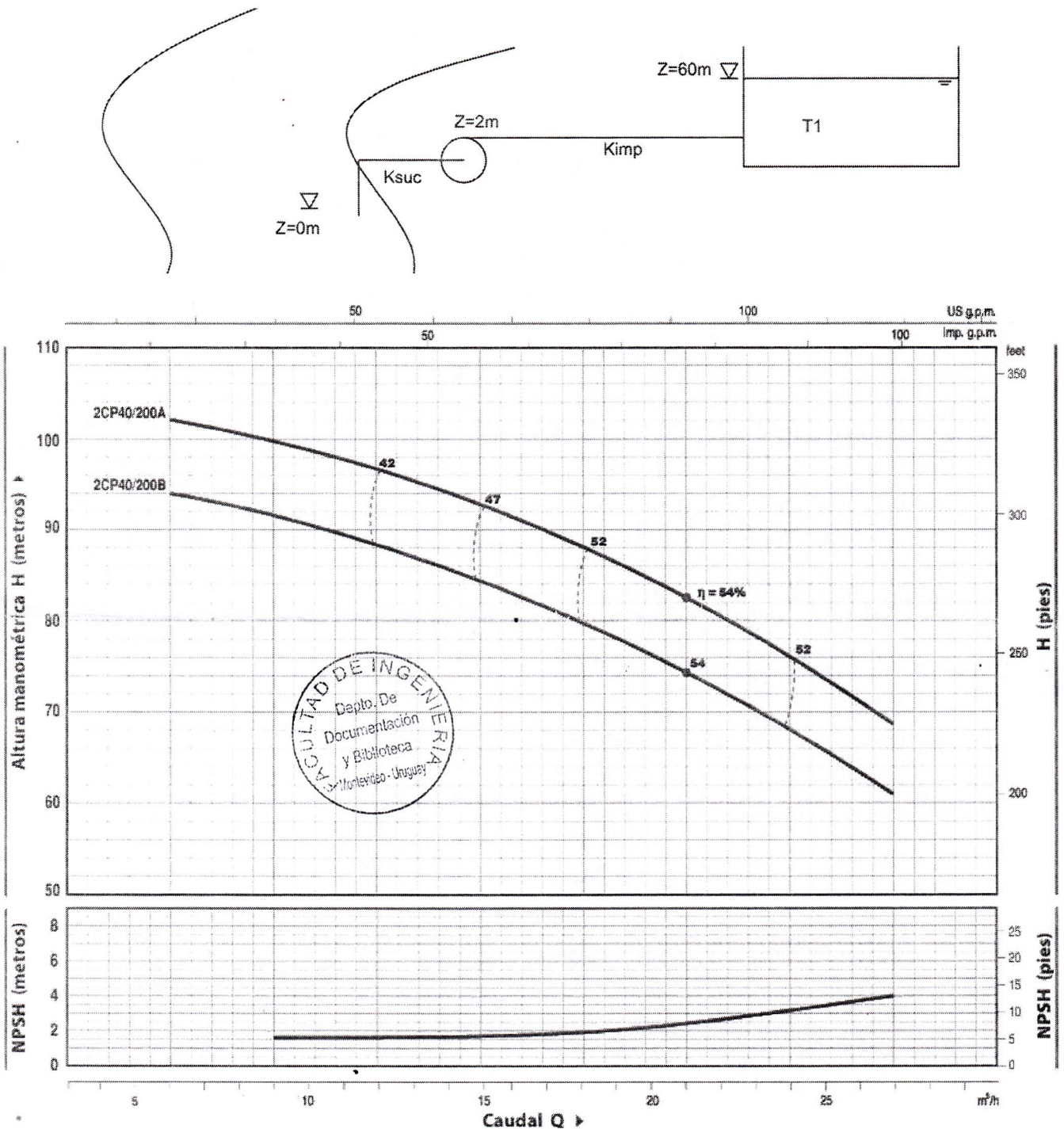
$E = (8 \text{ h.} \times P_{\text{pe}_{B1}} + 8 \text{ h.} \times P_{\text{pe}_{B2}}) \cdot 365 = 34196 \text{ kWh}$

$C_E = \text{US\$ } 4787$

$C_{\text{ANUAL}} = \text{US\$ } 4966$

Examen Máquinas para Fluidos I – Julio 2026

La figura presenta una instalación de abastecimiento de agua a una planta de tratamiento, donde la toma se realiza a cota 0 de un curso a 15°C que se puede asumir tiene velocidad 0 y es impulsado a T1 a través de una instalación con $K_{imp}=0,0185 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$ y $K_{suc}=0,0095 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$. La bomba utilizada es la 2CP40/200A cuya curva a 2900 RPM se presenta.



1. Del tanque 1 se consumen 450 m^3 por día. ¿En que punto de funcionamiento operaría? ¿Puede operarse la bomba en régimen ON-OFF sin variar las revoluciones? ¿Cuántas horas al día ha de estar prendida?
2. Al tiempo de su puesta de operación se observa que el tiempo de encendido aumentó en un 15%, mientras que el consumo del tanque 1 no varió ¿A qué se puede deber?
3. Considere utilizar la bomba 200B. Compare los consumos de energía de ambos casos. ¿Cavita?
4. Determine la velocidad de operación para que la bomba 200B trabaje de manera continua. En tal caso: ¿Qué consumo energético diario tendría? ¿Cavitaría?

Resolución

Parte 1

Si se opera sin variar las vueltas, en régimen ON OFF el punto de funcionamiento es determinado por el corte de la curva de la instalación con la curva de la bomba.

$$H_{inst} = 60m + (k_{suc} + k_{imp}) \cdot Q^2$$

$$\rightarrow H_b = 76,1m \quad Q_b = 24 \text{ m}^3/h$$

El tiempo de encendido resultará del volumen total a bombear en un día dividido por el caudal:

$$T_{ON} = \frac{(450 \text{ m}^3)}{24 \text{ m}^3/h} = 18h \ 45min$$

El punto de funcionamiento está dado por H_b y Q_b , adicionalmente se puede determinar el rendimiento, que en este caso es

$$\eta = 52\%$$

Parte 2

Podría ser cavitación, calculo $ANPA_D$ y extraigo $ANPA_R$ de la curva de la bomba para verificar

$$ANPA_R = 3m$$

$ANPA_D$ se determina a partir de la siguiente ecuación

$$ANPA_D = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} + h_s - z_0$$

$$z_0 = 2m \text{ (letra)}$$

$$\frac{P_v}{\rho \cdot g} = 0,1739 \text{ (tabulado para } 15^\circ C)$$

$$\frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} = \frac{101300Pa}{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_s = 0m - k_{suc} \cdot Q^2 = -5,47m$$

Por lo que

$$ANPA_D = 2,70m$$

Se identifican condiciones de cavitación, las que con tiempo suficiente pueden haber erosionado el rotor y afectado la curva de funcionamiento de la bomba, al punto de entregar caudales notoriamente menores que llevan al aumento en el tiempo necesario de bombeo para completar los 450 m³

Parte 3

El caso es análogo a la parte 1 pero con otra curva. En este caso

$$\rightarrow H_b = 72,9m \quad Q_b = 21,5 \text{ m}^3/h$$

$$ANPA_D = 3,98m$$

$$ANPA_R = 2,5m$$

$$T_{ON} = 20h \ 56min$$

6/7



$$\eta = 54\%$$

No cavita.

La energía consumida se puede determinar como

$$E_i = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \frac{T_{ON}}{\eta}$$

Resultando en

$$E_{200A} = 179,1 \text{ kWh}$$

$$E_{200B} = 165,2 \text{ kWh}$$

Se logra un ahorro de 7% en la energía solo por cambiar la bomba a la 200B.

Parte 4

Ahora quiero que la bomba trabaje de continuo, por lo que deberá entregar el caudal medio necesario para entregar 450 m³ en un día:

$$Q_b = \frac{450 \text{ m}^3}{24 \text{ h}} = 18,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

En esta instalación, esto implica entregar una carga de

$$H_{inst} = 60 \text{ m} + (k_{suc} + k_{imp}) \cdot (18,75 \text{ m}^3/\text{h})^2 = 69,8 \text{ m} = H_b$$

Para determinar las RPM a operar busco el punto homólogo en la curva a 2900 RPM, para eso busco el punto de la curva con el mismo:

$$\frac{H_b}{Q_b^2} = 0,1987 \text{ m} / \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)^2$$

Encontrando:

$$H_h = 77,1 \text{ m}$$

$$Q_h = 19,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$ANPA_{rh} = 2,3 \text{ m}$$



Así:

$$N = 2900 \text{ RPM} \cdot \frac{Q_b}{Q_h} = 2760 \text{ RPM}$$

El rendimiento es igual al rendimiento del punto homólogo:

$$\eta = 53\%$$

Por lo que la energía consumida:

$$E = 161,2 \text{ kWh}$$

Por otra parte, el ANPA_r se cambia con las RPM como una carga:

$$\frac{ANPA_{rh}}{H_h} \cdot H_b = ANPA_r = 2,1 \text{ m}$$

Y a partir de la información disponible para la instalación se puede determinar el ANPA_D

$$ANPA_D = 4,83 \text{ m}$$

Confirmándose que no se espera cavitación