

TERMODINÁMICA

Examen Intersemestral

Nombre _____ Grupo _____

No está permitido el empleo de calculadoras programables ni la consulta de libros, apuntes o formularios. Los teléfonos móviles y relojes “smartwatch” deberán permanecer apagados y fuera del alcance del alumno.

Problema -1 (6 puntos)

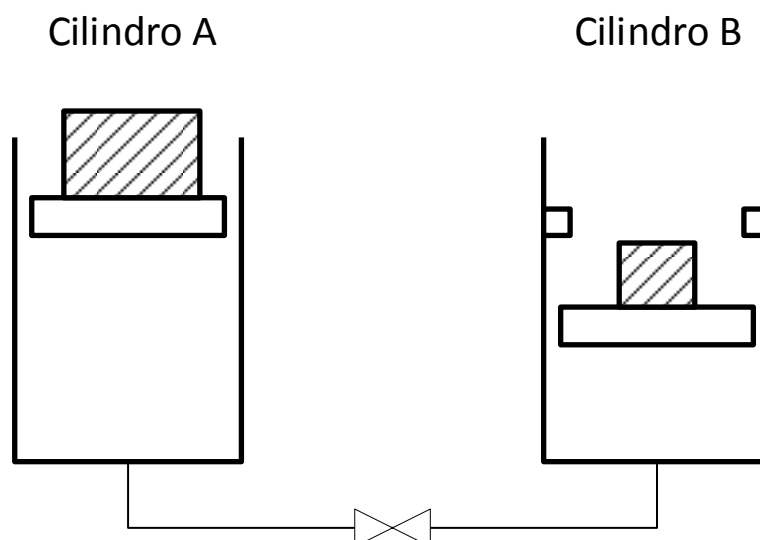
La figura inferior muestra dos dispositivos cilindro-pistón conectados mediante una tubería que presenta una válvula. El cilindro B tiene unos topes, estando colocado el pistón por debajo de los mismos (pegado a ellos o no, a determinar). La pared y la base de los cilindros son diatermas y el volumen de la tubería se considera despreciable. Sobre cada pistón hay situado un cierto peso. Los pistones y los pesos están aislados térmicamente. En el exterior actúa la presión ambiente (p_o) y la temperatura ambiente (T_o), ambas constantes. Los dos cilindros contienen propano, cuyas tablas se adjuntan.

En el instante inicial, que es de equilibrio, la válvula está cerrada. El cilindro A contiene 5 kg de sustancia, a una presión de 9,5 bar y con un título del 50%. En el cilindro B la presión es de 2 bar y el volumen de 100 litros.

Se abre la válvula y se permite que el sistema alcance el equilibrio. Los pesos permanecen sobre los pistones en todo momento. Al finalizar el proceso, el volumen de A se ha reducido un 20% y el de B se ha incrementado un 30%.

Determinar:

- Valor de la temperatura ambiente.
- Masa contenida en B en el estado inicial.
- ¿Ha alcanzado el pistón B los topes al finalizar el proceso? Razonar la respuesta.
- Masas de la sustancia en cada cilindro en el estado final.
- Calor intercambiado en el proceso con el ambiente, indicando su sentido.



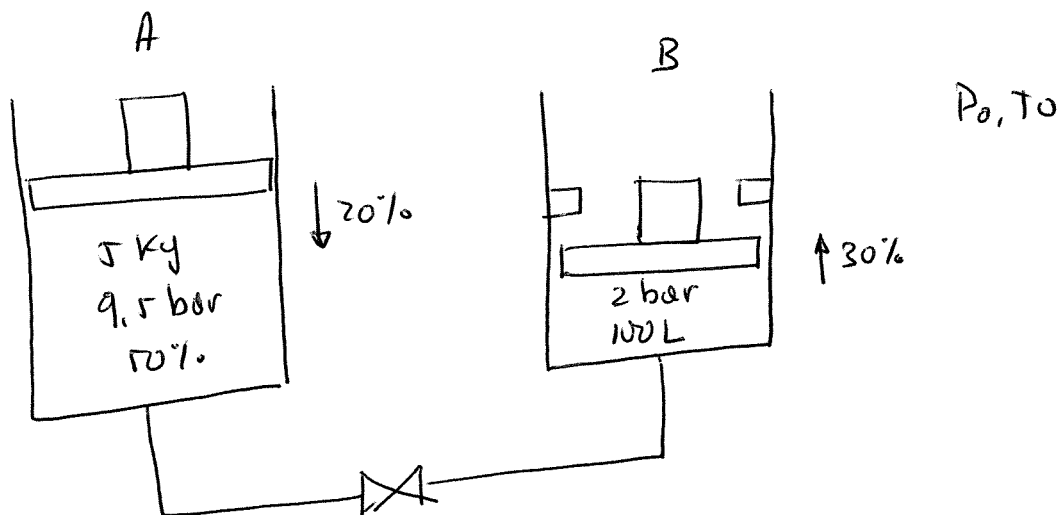
Propiedades del propano

Tabla de saturación (líquido – vapor)

p [bar]	T [°C]	v _f [m³/kg]	v _g [m³/kg]	u _f [kJ/kg]	u _g [kJ/kg]	h _f [kJ/kg]	h _g [kJ/kg]	s _f [kJ/kg·K]	s _g [kJ/kg·K]
1	-42,39	0,001719	0,4188	99,17	483,6	99,34	525,5	0,6028	2,4495
2	-25,44	0,001781	0,2193	137,9	501,7	138,3	545,6	0,7648	2,4091
4	-5,476	0,001865	0,1138	185,6	523,1	186,3	568,6	0,9500	2,3779
6	7,916	0,001932	0,07682	219	537,2	220,2	583,3	1,0719	2,3638
8	18,31	0,00199	0,05778	245,9	547,9	247,4	594,1	1,1658	2,3554
8,5	20,6	0,002004	0,05436	251,9	550,2	253,6	596,5	1,1865	2,3537
9	22,8	0,002018	0,05131	257,7	552,5	259,5	598,6	1,2063	2,3521
9,5	24,91	0,002032	0,04856	263,4	554,6	265,3	600,7	1,2253	2,3507
10	26,94	0,002045	0,04608	268,8	556,6	270,9	602,6	1,2436	2,3493
12	34,38	0,002097	0,03812	289,1	563,8	291,7	609,5	1,3107	2,3443

Tabla de vapor sobrecalentado

p = 2 bar				p = 9,5 bar			
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
-20	0,2252	509,1	554,1	25	0,04859	554,7	600,9
-17,5	0,2279	512,5	558,1	27,5	0,04937	559,1	606
-15	0,2306	515,9	562,1	30	0,05013	563,5	611,1
-12,5	0,2333	519,4	566	32,5	0,05088	567,9	616,2
-10	0,2359	522,8	570	35	0,05161	572,2	621,3
-7,5	0,2385	526,3	574	37,5	0,05233	576,6	626,3
-5	0,2412	529,8	578	40	0,05305	580,9	631,3
-2,5	0,2438	533,3	582,1	42,5	0,05375	585,3	636,3
0	0,2464	536,9	586,1	45	0,05444	589,6	641,3
2,5	0,249	540,4	590,2	47,5	0,05512	594	646,3
5	0,2516	544	594,3	50	0,0558	598,3	651,3
7,5	0,2541	547,6	598,4	52,5	0,05647	602,7	656,3
10	0,2567	551,2	602,6	55	0,05713	607,1	661,4
12,5	0,2593	554,9	606,7	57,5	0,05779	611,5	666,4
15	0,2618	558,5	610,9	60	0,05844	615,9	671,4
17,5	0,2644	562,2	615,1	62,5	0,05909	620,3	676,4
20	0,2669	565,9	619,3	65	0,05973	624,8	681,5
22,5	0,2695	569,7	623,6	67,5	0,06037	629,2	686,6
25	0,272	573,5	627,9	70	0,061	633,7	691,6
27,5	0,2745	577,2	632,1	72,5	0,06163	638,2	696,7



Estado inicial

Al ser paredes diatermas la temperatura inicial en A y B es la ambiente (el estado es de equilibrio). Como en A hay vapor húmedo, $T_1^A = T_{sat}(9.5 \text{ bar}) = \underline{\underline{24.91^\circ\text{C}}} = T_0$

$$P_1^A = 9.5 \text{ bar}; \quad T_1^A = 24.91^\circ\text{C} = T_0$$

$$u_1^A = 263.4 + 0.5(554.6 - 263.4) = 409 \text{ kJ/kg}$$

$$v_1^A = 0.002032 + 0.5(0.04856 - 0.002032) = 0.025296 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_1^A = 5 \times 0.025296 = 0.12648 \text{ m}^3$$

$$P_1^B = 2 \text{ bar}; \quad T_1^B = 24.91^\circ\text{C} \gg T_{sat}(2 \text{ bar}) \rightarrow \text{VSC}$$

$$v_1^B = 0.2695 = \frac{0.272 - 0.2695}{25 - 22.5} (24.91 - 22.5)$$

$$\rightarrow v_1^B = 0.27191 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_1^B - 569.7 = \frac{573.5 - 569.7}{2.5} (24.91 - 22.5)$$

$$\rightarrow u_1^B = 573.36 \text{ kJ/kg}$$

$$\underline{m_1^B} = \frac{0.1 \text{ m}^3}{0.27191} = \underline{0.36777 \text{ kg}}$$

Proceso

El proceso es no estático, debido a la gran diferencia de presiones existente al abrir la válvula. Durante el proceso los cuerpos externos no varían. Esto no significa que la presión sea constante, dado que habrá oscilaciones en las pistones y ondas de presión en el propeno. El estado final es de nuevo de equilibrio.

$$Q_{12} - W_{12} = \Delta E$$

tomando como sistema el conjunto del propeno:

$$\Delta E = (m_1^A + m_1^B) u_2 - m_1^A u_1^A - m_1^B u_1^B$$

$$W_{12} = \int_1^2 P_e dV = P_1^A \Delta V_A + P_1^B \Delta V_B$$

En la expresión del trabajo se ha usado la presión externa en cada depósito, que del equilibrio inicial coincide con las presiones iniciales.

Como en el estado final ha de haber la misma presión, y las cargas externas son

diferentes, ha de haber algo que haga incrementar la carga externa sobre el pistón B. Ese "algo" es el empuje de los tops, que añade la fuerza suficiente para que la presión del propulsor en B suba hasta 9,5 bar. Por tanto, el pistón B ha de alcanzar obligatoriamente los tops. Una vez alcanzados no hay variación de volumen, aunque aumente la presión. Por ello, el trabajo en B se calcula como $P_1^B \Delta V_B$.

Estado final

Al final hay un único estado (2), común. La presión y temperatura son las iniciales de A, aunque el ser vapor húmedo es preciso conocer otra propiedad, por ejemplo v_1 y de ahí obtener el título:

$$V_2^A = 0,12648 \times 0,8 = 0,101184 \text{ m}^3$$

$$V_2^B = 0,1 \times 1,3 = 0,13 \text{ m}^3$$

$$5 + 0,36777 = \frac{0,101184}{v_2} + \frac{0,13}{v_2} \rightarrow v_2 = 0,04307 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$0,04307 = 0,002032 + x_2 (0,04856 - 0,002032)$$

$$\rightarrow x_2 = 0,88199 \text{ p.u.}$$

$$\left[\begin{array}{l} m_2^A = \frac{0,101184}{0,04307} = 2,3493 \text{ Kg} \\ m_2^B = \frac{0,13}{0,04307} = \underline{\underline{3,0183 \text{ Kg}}} \end{array} \right]$$

$$u_2 = 263,4 + 0,88199 (554,6 - 263,4) = 520,2355 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\begin{aligned} \Delta E &= 5'36777 \times 520,2355 - 5 \times 409 - \\ &- 0,36777 \times 573,36 = 536,6398 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{12} &= 950 \times 0,12648 \times (-0,2) + 200 \times 0,1 \times 0,3 = \\ &= -24,0312 + 6 = -18,0312 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{Q_{12} = 536,6398 - 18,0312 = \underline{\underline{518,61 \text{ KJ}}}}}$$

TERMODINÁMICA

Examen Intersemestral

Nombre _____ Grupo _____

No está permitido el empleo de calculadoras programables ni la consulta de libro, apuntes o formularios. Los teléfonos móviles y relojes “smartwatch” deberán permanecer apagados y fuera del alcance del alumno.

Problema -2 (4 puntos)

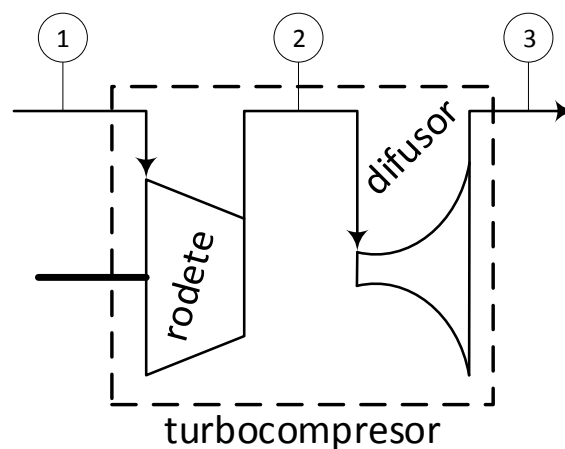
El proceso de compresión en un turbocompresor centrífugo se produce en dos etapas:

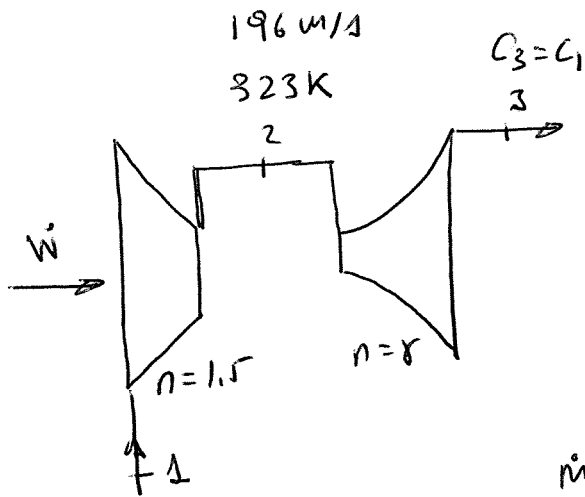
- Etapa 1-2: El aire ($R=0,287$ kJ/kg-K, $C_p=1,0045$ kJ/kg-K), entra (1) a 1 bar y 300 K a un rodete que gira a gran velocidad, experimentando una compresión adiabática que se puede asimilar a un proceso politrópico de índice 1,5, saliendo del mismo (2) a 323 K y una velocidad de 196 m/s.
- Etapa 2-3: De la salida del rodete (2) el aire pasa a un difusor en el que el proceso se considera adiabático e internamente reversible y del que sale (3) a la misma velocidad a la que entró al compresor (1).

El flujo másico de aire es de 0,95 kg/s y la sección de entrada tiene un diámetro de 15,5 cm.

Determinar:

- a) Potencia de accionamiento del compresor.
- b) Relación de presiones en el rodete (p_2/p_1), en el difusor (p_3/p_2) y global del compresor (p_3/p_1).
- c) Potencia disipada por irreversibilidades internas (trabajo disipativo).





$$R = 0,287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$c_p = 1,0045 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\dot{m} = \frac{A_1 C_1}{v_1}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0,287 \times 300}{100} = 0,861 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$C_1 = \frac{0,95 \times 0,861}{\frac{\pi \times 0,155^2}{4}} = 43,3484 \text{ m/s}$$

Resolte

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{C_1^2}{2} \right) + \dot{W} = \dot{m} \left(h_2 + \frac{C_2^2}{2} \right)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{323}{300} \right)^{\frac{1,5}{1,5-1}} = \underline{\underline{1,2481}}$$

$$\begin{aligned} \dot{W} &= \dot{m} c_p (T_2 - T_1) + \dot{m} \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} = \\ &= 0,95 \left[\underbrace{1,0045 (323 - 300)}_{23,1035} + \underbrace{\frac{196^2 - 43,3484^2}{2000}}_{18,2685} \right] = \\ &= \underline{\underline{39,3034 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

Ditutor

$$\frac{c_2^2}{2} + h_2 = \frac{c_3^2}{2} + h_3$$

$$\frac{196^2 - 433484^2}{2000} = 1,0045 (T_3 - 323)$$

$$\rightarrow T_3 = 341,1866 \text{ K}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{P_3}{P_2} = \left(\frac{341,1866}{323} \right)^{\frac{1,4}{0,4}} = \underline{\underline{1,2113}}$$

$$R = c_p - c_v = c_p \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) = c_p \frac{\gamma-1}{\gamma} \rightarrow \gamma = 1,4$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \left(\frac{P_3}{P_2} \right) \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 1,2113 \times 1,2481 = \underline{\underline{1,5118}}$$

Sólo hay irreversibilidades internas en el rodete:

$$- \dot{m} \int_1^2 v dp = - \dot{W} - \dot{W}_d + \dot{m} \left(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right)$$

$$- \int_1^2 v dp = \frac{n}{1-n} R (T_2 - T_1) = \frac{1,5}{1-1,5} 0,287 \times (323 - 300) =$$

$$= -19,803 \text{ kJ/kg}$$

$$\underline{\underline{\dot{W}_d}} = -39,8034 + 0,95 \left[\frac{196^2 - 433484^2}{2000} + 19,803 \right] =$$

$$= \underline{\underline{-3,1355 \text{ kW}}}$$