

TERMODINÁMICA

Examen intersemestral

Nombre _____ Grupo _____

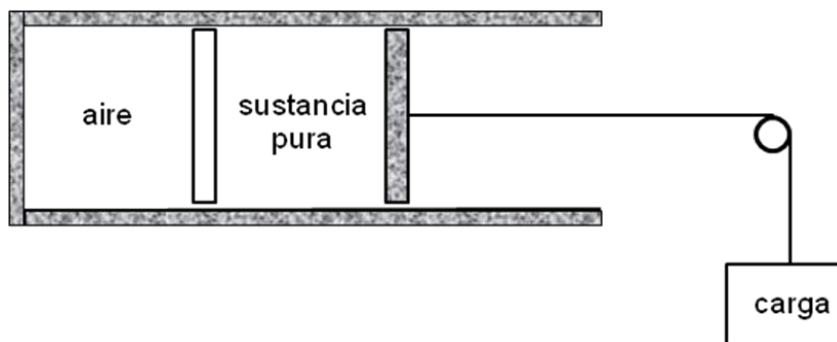
El esquema de la figura representa un cilindro de 500 mm de diámetro con dos pistones. El pistón externo es adiabático y cuelga una carga del mismo. El pistón interno es diatermo, pero en el estado inicial está recubierto de un aislante térmico. Ambos pistones deslizan sin rozamiento.

El compartimento limitado por ambos pistones contiene una sustancia pura que en el estado inicial ocupa 200 litros y se encuentra a 15°C. El otro compartimento contiene aire ($R = 287 \text{ J/kg-K}$; $\gamma = 1,4$) que en el estado inicial ocupa 800 litros y se encuentra a 50°C y 10 kPa.

El estado inicial es de equilibrio. Se retira instantáneamente el aislante térmico del pistón interior y se deja que el sistema evolucione hasta alcanzar de nuevo el equilibrio.

Determinar, asumiendo que el proceso es cuasiestático:

- a) Temperatura y presión final en ambas cámaras
- b) Desplazamiento de la carga, indicando si sube o baja
- c) Calor que atraviesa el pistón interno, indicando su sentido



Tablas 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]
0,080	5	0,001470	3,34892	-47,82	303,4	-47,80	330,0	-0,16552	1,19275
0,097	9	0,001479	2,76946	-38,15	309,2	-38,13	336,1	-0,13099	1,19538
0,118	13	0,001489	2,31674	-28,55	315,1	-28,53	342,4	-0,09723	1,19904
0,142	17	0,001498	1,94569	-19,02	321,0	-19,00	348,7	-0,06415	1,20299
0,170	21	0,001508	1,64384	-9,54	327,0	-9,51	355,0	-0,03170	1,20743
0,203	25	0,001517	1,39665	-0,10	333,0	-0,07	361,3	0,00019	1,21233
0,240	29	0,001527	1,19293	9,32	339,1	9,36	367,7	0,03156	1,21767
0,282	33	0,001537	1,02404	18,72	345,3	18,76	374,2	0,06246	1,22341
0,331	37	0,001547	0,88323	28,10	351,5	28,15	380,7	0,09292	1,22953
0,386	41	0,001557	0,76519	37,49	357,7	37,55	387,2	0,12299	1,23601
0,448	45	0,001567	0,66574	46,88	364,0	46,95	393,8	0,15269	1,24282
0,517	49	0,001577	0,58153	56,28	370,3	56,36	400,4	0,18206	1,24994
0,595	53	0,001588	0,50991	65,70	376,7	65,79	407,0	0,21112	1,25736
0,682	57	0,001598	0,44871	75,14	383,1	75,25	413,7	0,23990	1,26506
0,779	61	0,001609	0,39620	84,62	389,6	84,74	420,4	0,26843	1,27301
0,886	65	0,001619	0,35097	94,12	396,1	94,27	427,2	0,29671	1,28120
1,005	69	0,001630	0,31185	103,7	402,6	103,8	434,0	0,32478	1,28962
1,135	73	0,001641	0,27789	113,3	409,2	113,5	440,8	0,35265	1,29824
1,279	77	0,001653	0,24831	122,9	415,9	123,1	447,6	0,38033	1,30706
1,436	81	0,001664	0,22245	132,6	422,5	132,8	454,5	0,40784	1,31607
1,608	85	0,001676	0,19978	142,3	429,2	142,6	461,4	0,43520	1,32524

Tablas de vapor sobrecalentado

0,05 bar (sat = -3,72 °C)					0,1 bar (sat = 9,59 °C)				
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
sat	5,16981	290,9	316,7	1,18865	sat	2,70164	310,1	337,1	1,19609
0	5,24261	296,3	322,5	1,20987	10	2,70568	310,7	337,7	1,19840
5	5,34051	303,6	330,3	1,23828	15	2,75516	318,2	345,8	1,22661
10	5,43831	311,0	338,2	1,26655	20	2,80457	325,9	354,0	1,25469
15	5,53604	318,6	346,3	1,29468	25	2,85390	333,7	362,2	1,28264
20	5,63368	326,2	354,4	1,32269	30	2,90317	341,6	370,6	1,31047
25	5,73126	334,0	362,7	1,35057	35	2,95238	349,5	379,1	1,33820
30	5,82877	341,9	371,0	1,37835	40	3,00153	357,6	387,6	1,36582
35	5,92622	349,8	379,5	1,40601	45	3,05063	365,8	396,3	1,39334
40	6,02362	357,9	388,0	1,43358	50	3,09968	374,1	405,1	1,42077
45	6,12096	366,1	396,7	1,46105	55	3,14869	382,5	414,0	1,44811

0,5 bar (sat = 48,1 °C)					1,0 bar (sat = 68,9 °C)				
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
sat	0,60035	368,8	398,8	1,24822	sat	0,31318	402,4	433,7	1,28931
50	0,60445	372,1	402,3	1,25907	70	0,31444	404,4	435,9	1,29567
55	0,61489	380,6	411,3	1,28677	75	0,31994	413,5	445,4	1,32333
60	0,62529	389,2	420,4	1,31436	80	0,32539	422,6	455,1	1,35088
65	0,63565	397,9	429,7	1,34185	85	0,33081	431,8	464,9	1,37832
70	0,64597	406,7	439,0	1,36924	90	0,33620	441,1	474,7	1,40566
75	0,65625	415,6	448,4	1,39653	95	0,34156	450,5	484,7	1,43290
80	0,66650	424,7	458,0	1,42374	100	0,34689	460,1	494,7	1,46004
85	0,67672	433,8	467,6	1,45086	105	0,35219	469,7	504,9	1,48710
90	0,68690	443,0	477,4	1,47790	110	0,35747	479,4	515,2	1,51407
95	0,69706	452,4	487,2	1,50486	115	0,36273	489,3	525,5	1,54095

1,5 bar (sat = 82,5 °C)					2,0 bar (sat = 93,0 °C)				
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
sat	0,21382	425,1	457,2	1,31977	sat	0,16222	442,8	475,2	1,34404
85	0,21531	429,7	462,0	1,33326	95	0,16342	446,6	479,3	1,35515
90	0,21912	439,1	472,0	1,36093	100	0,16638	456,3	489,6	1,38288
95	0,22289	448,6	482,0	1,38847	105	0,16932	466,1	499,9	1,41049
100	0,22664	458,2	492,2	1,41590	110	0,17222	476,0	510,4	1,43796
105	0,23035	467,9	502,5	1,44321	115	0,17510	485,9	521,0	1,46532
110	0,23404	477,7	512,8	1,47042	120	0,17796	496,0	531,6	1,49257
115	0,23771	487,6	523,3	1,49754	125	0,18079	506,2	542,3	1,51970
120	0,24135	497,6	533,8	1,52455	130	0,18360	516,4	553,2	1,54674
125	0,24497	507,7	544,5	1,55148	135	0,18639	526,8	564,1	1,57367
130	0,24857	518,0	555,2	1,57832	140	0,18916	537,3	575,1	1,60052

Aire

$$V_{a1} = 0.8 \text{ m}^3$$

$$T_{a1} = 50^\circ\text{C}$$

$$P_{a1} = 10 \text{ kPa}$$

Sustancia

$$V_{s1} = 0.2 \text{ m}^3$$

$$T_{s1} = 15^\circ\text{C}$$

$$R = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} =$$

$$= C_p - C_v = (1.4 - 1) C_v$$

↓

$$C_v = 0.7175 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

Presión constante e igual en ambos cilindros, al tener un pistón fijo, están fijas las acciones externas y pueden deslizarse el pistón interno sin rozamiento, estando en posición horizontal.

Estado inicial

$$\left. \begin{array}{l} 10 \text{ kPa} \\ 15^\circ\text{C} \end{array} \right\} \rightarrow \text{vsc.} \quad \begin{aligned} v_{s1} &= 2.75516 \text{ m}^3/\text{kg} \\ m_{s1} &= 0.2 / 2.75516 = 0.072591 \text{ kg} \\ u_{s1} &= 318.2 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$P_{a1} V_{a1} = m_a R T_{a1} \Rightarrow m_a = \frac{10 \times 0.8}{0.287 \times 323} = 0.0863 \text{ kg}$$

Proceso

Sistema aire + sustancia:

$$0 - W_{12} = m_a C_v (T_2 - T_{a1}) + m_s (u_2 - u_1) \quad (1)$$

$$W_{12} = P_e (V_2 - V_1)$$

$$V_2 - V_1 = V_{a2} + V_{s2} - V_{a1} - V_{s1} =$$

$$= \frac{m_a R T_2}{P_2} + m_s v_{s2} - 1 = 0.002477 \frac{T_2}{\text{K}} + 0.072591 v_{s2} - 1 \quad [\text{m}^3] \quad (2)$$

Sustituyendo en (1):

$$-10 \left[0.002477 (T_2 + 273) + 0.072591 v_{s2} - 1 \right] =$$

$$= 0.0863 \times 0.7775 (T_2 - 50) + 0.072591 (u_{s2} - 318.2)$$

Operando

$$0 = 0.08669 T_2 + 0.72591 v_{s2} + 0.072591 u_{s2} - 29.43226 = f(T_2)$$

T_2	v	u	f
25	2.8539	333.7	-0.969719
30	2.90317	341.6	+0.072966

dado que son filas adyacentes de la tabla no se puede obtener una resolución. Interpolando.

$$T_2 - 25 = \frac{5}{0.072966 + 0.969719} (0 + 0.969719)$$

$$\boxed{T_2 = 29.65^\circ\text{C}}$$

$$\underline{P_2 = 10 \text{ kPa}}$$

Entrando en (2): $v_2 - v_1 = -0.039842 \text{ m}^3$ donde

$$v_{s2} = 2.8539 + \frac{2.90317 - 2.8539}{5} (29.65 - 25) =$$

$$= 2.89972 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Como el volumen total se reduce la carga debe:

$$\Delta z = \frac{0.039842}{\frac{\pi 0.5^2}{4}} = \underline{\underline{0.2029 \text{ m}}}$$

Tomando el sistema aire:

$$m_a (u(T_2 - T_{1a})) = -Q_{12} - P_2 \left(\frac{m_a R T_2}{P_2} - \frac{m_a R T_{1a}}{P_2} \right)$$

$$Q_{12} = m_a R (T_{1a} - T_2) - m_a (u(T_2 - T_{1a})) =$$

$$= m_a (T_{1a} - T_2) (R + u) = m_a c_p (T_{1a} - T_2) = -\Delta H$$

Finalmente:

$$Q_{12} = 0.0863 \times 1.0045 \times (50 - 29.65) = \underline{\underline{1.7641 \text{ kJ}}}$$

como se ha planteado " $-Q_{12}$ " el calor sale del sistema aire, es decir, pasa del aire a la sustancia.