

TERMODINÁMICA

Examen Intersemestral

Nombre _____ Grupo _____

La figura adjunta representa un dispositivo cilindro-pistón que dispone, a su vez, de un pistón interno de 200 kg y calor específico $0,3 \text{ kJ/kg-K}$ que puede deslizarse sin rozamiento y que se considera diatermo. Las paredes del cilindro y del pistón externo (el que hace de tapa del sistema) son adiabáticas. El pistón interno tiene en su centro un taladro de modo que pone en comunicación ambas cámaras del cilindro. La presión ambiente es de 100 kPa. El cilindro presenta un diámetro interior de 500 mm. El pistón externo también puede deslizarse sin rozamiento.

En el estado inicial se han realizado algunas modificaciones a la configuración, de modo que el taladro se ha taponado y ambas caras del pistón interno se han recubierto de un material aislante. Además, el pistón interno se encuentra inmovilizado por un mecanismo. En este estado inicial, de equilibrio, cada compartimento contiene 5 kg de una sustancia pura (tablas adjuntas), el volumen de B es de 600 litros y el de A de 1900 litros, la presión en B es de 2 bar y el pistón interior se encuentra a 100°C .

En un instante dado se libera el mecanismo que sujeta al pistón interior, se suprime su tapón y se le retiran los aislamientos, dejando que el sistema evolucione hasta alcanzar el equilibrio.

Determinar:

- Presión y temperatura final en cada cámara
- Desplazamiento del pistón exterior

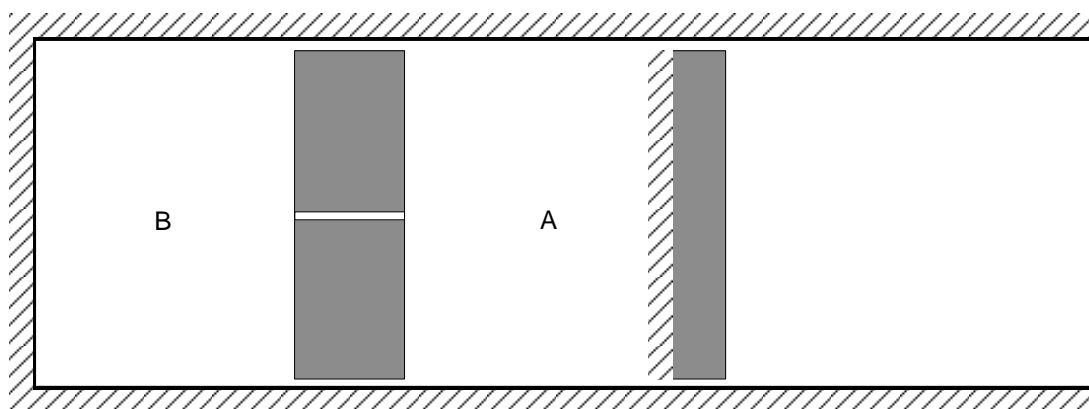


Tabla de saturación (líquido-vapor)

p	t	v _f	v _g	u _f	u _g	h _f	h _g	s _f	s _g
[bar]	[°C]	[m3/kg]	[m3/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kJ/kg-K]
0,5	8,885	0,001586	0,63204	-385,95	-60,849	-385,87	-29,247	-1,81330	-0,54884
1	27,48	0,001634	0,33084	-344,58	-34,663	-344,41	-1,579	-1,67126	-0,53088
1,5	39,73	0,001669	0,22601	-316,35	-16,888	-316,10	17,014	-1,57922	-0,51455
2	49,13	0,001697	0,17216	-294,12	-2,993	-293,78	31,438	-1,50923	-0,50009
2,5	56,87	0,001722	0,13918	-275,45	8,595	-275,02	43,390	-1,45195	-0,48713
3	63,51	0,001744	0,11684	-259,16	18,629	-258,63	53,681	-1,40305	-0,47537
3,5	69,36	0,001765	0,10066	-244,58	27,532	-243,96	62,764	-1,36012	-0,46457
4	74,6	0,001784	0,08839	-231,32	35,568	-230,61	70,925	-1,32167	-0,45459
4,5	79,38	0,001802	0,07875	-219,10	42,916	-218,29	78,351	-1,28674	-0,44528
5	83,77	0,001820	0,07096	-207,72	49,700	-206,81	85,178	-1,25465	-0,43657
5,5	87,85	0,001837	0,06453	-197,05	56,011	-196,04	91,504	-1,22489	-0,42837
6	91,66	0,001853	0,05914	-186,98	61,920	-185,86	97,402	-1,19710	-0,42063
6,5	95,24	0,001869	0,05454	-177,41	67,481	-176,20	102,930	-1,17099	-0,41329
7	98,62	0,001885	0,05057	-168,30	72,736	-166,98	108,134	-1,14633	-0,40632
7,5	101,8	0,001900	0,04711	-159,57	77,722	-158,15	113,052	-1,12294	-0,39969
8	104,9	0,001916	0,04406	-151,20	82,465	-149,67	117,714	-1,10066	-0,39335
8,5	107,8	0,001931	0,04136	-143,14	86,990	-141,49	122,144	-1,07938	-0,38730
9	110,6	0,001945	0,03894	-135,35	91,317	-133,60	126,365	-1,05899	-0,38151
9,5	113,3	0,001960	0,03677	-127,82	95,464	-125,96	130,393	-1,03940	-0,37596
10	115,8	0,001975	0,03480	-120,53	99,443	-118,55	134,245	-1,02054	-0,37064
10,5	118,3	0,001990	0,03301	-113,44	103,268	-111,35	137,933	-1,00234	-0,36553

Tabla de vapor sobrecalentado

1 bar (sat = 27,48°C)					2 bar (sat = 49,13°C)				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
[°C]	[m3/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[°C]	[m3/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
sat	0,33084	-34,663	-1,579	-0,53088	sat	0,17216	-2,993	31,438	-0,50009
30	0,33412	-30,638	2,774	-0,51646	50	0,17277	-1,487	33,067	-0,49505
35	0,34060	-22,576	11,484	-0,48796	55	0,17627	7,216	42,470	-0,46617
40	0,34702	-14,412	20,290	-0,45962	60	0,17972	16,005	51,950	-0,43750
45	0,35339	-6,145	29,194	-0,43141	65	0,18313	24,884	61,509	-0,40902
50	0,35971	2,227	38,199	-0,40332	70	0,18649	33,854	71,152	-0,38071
55	0,36600	10,705	47,305	-0,37536	75	0,18982	42,918	80,882	-0,35256
60	0,37225	19,289	56,514	-0,34751	80	0,19312	52,078	90,701	-0,32456
65	0,37846	27,980	65,826	-0,31976	85	0,19638	61,336	100,612	-0,29669
70	0,38465	36,779	75,244	-0,29212	90	0,19962	70,692	110,617	-0,26895
75	0,39080	45,687	84,767	-0,26457	95	0,20284	80,149	120,717	-0,24133
80	0,39694	54,703	94,396	-0,23711	100	0,20604	89,706	130,914	-0,21382
85	0,40304	63,827	104,132	-0,20973	105	0,20921	99,365	141,208	-0,18641
90	0,40913	73,061	113,974	-0,18244	110	0,21237	109,127	151,601	-0,15911
95	0,41520	82,404	123,924	-0,15523	115	0,21551	118,991	162,093	-0,13190
100	0,42125	91,856	133,981	-0,12810	120	0,21864	128,958	172,686	-0,10479
105	0,42729	101,417	144,146	-0,10104	125	0,22175	139,028	183,378	-0,07776
110	0,43330	111,087	154,418	-0,07405	130	0,22485	149,201	194,172	-0,05082
115	0,43931	120,866	164,797	-0,04714	135	0,22794	159,478	205,066	-0,02397
120	0,44530	130,754	175,284	-0,02029	140	0,23102	169,858	216,062	0,00281
125	0,45128	140,749	185,878	0,00648	145	0,23409	180,342	227,159	0,02951

Piston interno:

$$M_{pi} = 200 \text{ kg}$$

$$c_{pi} = 0.3 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

Diámetro

Perforado

$$\text{Ambiente: } P_0 = 100 \text{ kPa}$$

$$D = 500 \text{ mm}$$

$$m_1^A = m_1^B = 5 \text{ kg}$$

$$v_1^B = 0.6 \text{ m}^3 \quad P_1^B = 2 \text{ bar}$$

$$v_1^A = 1.9 \text{ m}^3 \quad P_1^A = 1 \text{ bar}$$

$$T_{pi} = 100^\circ\text{C}$$

Estado inicial

$$v_1^B = \frac{0.6}{5} = 0.12 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \left. \vphantom{\frac{0.6}{5}} \right\} \text{ vapor húmedo}$$

$$P_1^B = 2 \text{ bar}$$

$$0.12 = 0.001697 + x_1^B (0.17216 - 0.001697)$$

$$\rightarrow x_1^B = 0.69401$$

$$u_1^B = -294.12 + 0.69401 (-2.993 + 294.12) = -92.075 \text{ kJ/kg}$$

$$T_1^B \approx 49.13^\circ\text{C}$$

$$v_1^A = \frac{1.9}{5} = 0.38 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \left. \vphantom{\frac{1.9}{5}} \right\} \text{ vapor sobrecalentado}$$

$$P_1^A = 100 \text{ kPa}$$

$$u_1^A = 30.1691 \text{ kJ/kg}$$

$$T_1^A \approx 68^\circ\text{C}$$

Debido a la brusca liberación de la presión el proceso será no estático, lo que obligará a evaluar el trabajo a partir de las fuerzas externas.

Tomando como sistema A + B + pistón interno, la única fuerza externa es la debida a la presión ambiente sobre el pistón externo.

$$Q_{12}^{x0} - w_{12} = (m_1^A + m_1^B) u_2 - m_1^A u_1^A - m_1^B u_1^B + m_{pi} (p_1 (T_2 - T_1^{pi}))$$

$$w_{12} = P_0 [(m_1^A + m_1^B) v_2 - 2.5 \text{ m}^3]$$

Sustituyendo y operando:

$$(1) \begin{cases} 0 = 10 u_2 + 1000 v_2 + 60 T_2 - 5940.4705 = f(T_2) \\ P_2 = 1 \text{ bar} \end{cases}$$

Para hallar el estado final se supone que es vapor húmedo:

$$T_2 = T_{sat}(P_2) = 27.48^\circ\text{C}$$

con esta temperatura es obvio que el estado final no puede ser vapor húmedo, pero no obstante se plantea

$$u_2 = -344.58 + x_2 (-34.663 + 344.58) = -344.58 + 309.92 x_2$$

$$v_2 = 0.001634 + x_2 0.329206$$

Sustituyendo en (1):

$$0 = 10(-344,58 + x_2 309,917) + 1000(0,001634 + x_2 0,329200) + 600 \times 27,48 - 5940,4705$$

$$x_2 = \frac{7735,8315}{3428,376} = 2,25 !!$$

Por tanto, el estado final ha de ser vapor sobrecalentado:

$P_2 = 100 \text{ kPa}$			
T_2	v_2	u_2	$f(T_2, u_2, v_2)$
100	0,42125	91,856	1399,3395
90	0,40913	73,061	599,2695
80	0,39694	54,703	-196,5005
85	0,40304	63,827	200,8395

$$T_2 - 80 = \frac{85 - 80}{200,8395 + 196,5005} (0 + 196,5005)$$

$$\boxed{T_2 = 82,4727^\circ\text{C}}$$

$$\boxed{P_2 = 1 \text{ bar}}$$

$$v_2 = 0,39694 = \frac{0,40304 - 0,39694}{200,8395 + 196,5005} (196,5005)$$

$$v_2 = 0,399957 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\Delta z = \frac{10 \times 0,399957 - 2,5}{\frac{\pi 0,5^2}{4}} = \underline{\underline{7,6372 \text{ m}}}$$

Como el volumen aumenta el pistón exterior se desplaza hacia la derecha. (\rightarrow)