

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo G

**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.**

Una masa de 8 kg de un cierto gas ideal ( $M = 44 \text{ kg/kmol}$ ) se encuentra contenida en un dispositivo cilindro-pistón en posición horizontal, tal como se muestra en la figura. Tanto la base y superficie lateral del cilindro como la superficie externa del pistón son adiabáticas. El diámetro del pistón es de 750 mm y su masa de 10 kg. En el instante inicial, de equilibrio, el gas se encuentra a  $100^\circ\text{C}$  y el pistón se encuentra soldado a las paredes del cilindro, de modo que el gas ocupa  $150 \text{ dm}^3$ . La longitud del cilindro es de 4 m, y en el extremo opuesto a la base existe un anillo interior, que impediría que el pistón se saliese del cilindro. Los espesores del pistón y el anillo se pueden considerar despreciables.

En un momento dado se rompe la soldadura que mantiene sujeto el pistón, produciéndose la expansión del gas de forma no estática hasta alcanzar el equilibrio. No existe rozamiento entre el pistón y el cilindro. Las condiciones del ambiente son de  $35^\circ\text{C}$  y  $95 \text{ kPa}$ .

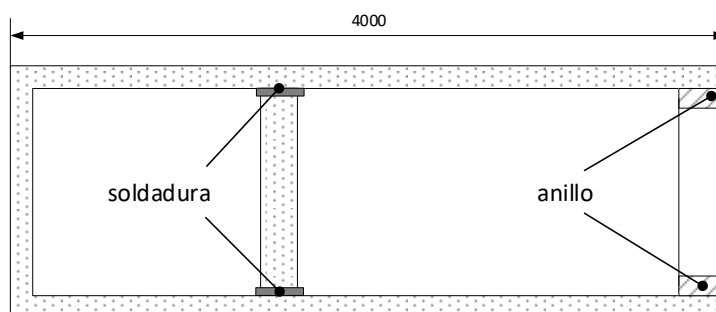
Determinése, para el estado final:

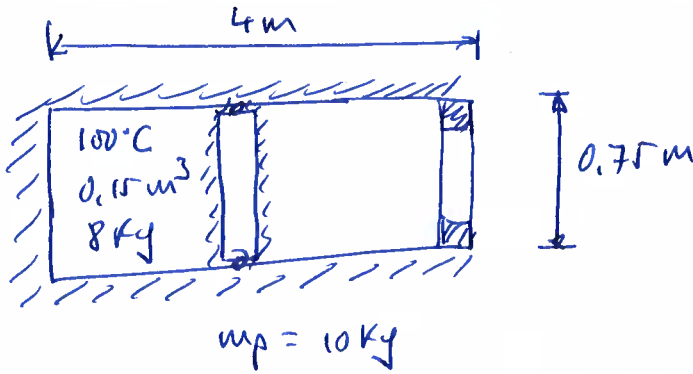
- Posición del pistón, indicando si alcanza o no el anillo.
- Temperatura final del gas.
- Presión final del gas.
- Representar el trabajo de expansión del gas en el diagrama p-v.

**Tabla de gas ideal**

T [ $^\circ\text{C}$ ]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
40	25,89	33,44
45	29,24	37,74
50	32,62	42,07
55	36,03	46,42
60	39,46	50,8
65	42,92	55,2
70	46,4	59,63
75	49,91	64,08
80	53,44	68,56
85	57	73,06

T [ $^\circ\text{C}$ ]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
90	60,58	77,58
95	64,18	82,13
100	67,81	86,7
105	71,46	91,3
110	75,13	95,91
115	78,82	100,6
120	82,54	105,2
125	86,28	109,9
130	90,04	114,6
135	93,82	119,3





$$P_0 = 95 \text{ kPa}$$

$$T_0 = 35^\circ\text{C}$$

$$M = 44 \text{ kg/kmol}$$

a) Suponemos que el pistón llega al anillo y se quede apretado contra él;

$$V_2 = \frac{\pi (0.75)^2}{4} \cdot 4 = 1.76715 \text{ m}^3$$

$$W_{12} = P_0 \Delta V = 95 (1.76715 - 0.15) = 153.63 \text{ kJ}$$

$$-153.63 = 8(u_2 - 67.81) \rightarrow u_2 = 48.6 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 73.13^\circ\text{C}$$

comprobamos la hipótesis:  $P_2 =$

$$8 \times \frac{8.314}{44} \times (73.13 + 273) = \frac{1.76715}{1.76715}$$

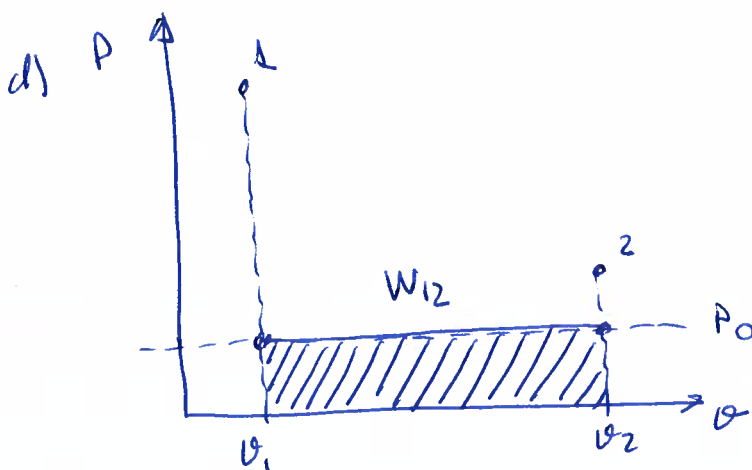
$$= 2.96 \text{ bar} > 95 \text{ kPa}$$

Sujeta al pistón.

✓ OK, el anillo

b)  $73.13^\circ\text{C}$

c)  $2.96 \text{ bar}$



El trabajo se calcula a partir de las fuerzas externas que actúan en la superficie, aunque el motor sea NO estático.

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupos B – C – F

**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.**

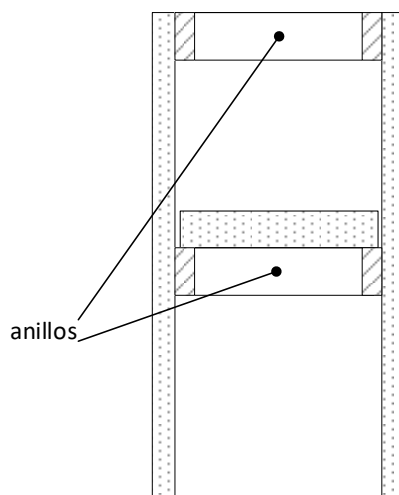
Un dispositivo cilindro-pistón se encuentra en posición vertical. El cilindro contiene en su interior dos anillos, uno a 500 mm de su base y otro a 1 m, tal como se muestra en la figura adjunta. El pistón, de 1942 cm<sup>2</sup> de área, descansa inicialmente sobre el anillo inferior. La superficie lateral del cilindro, así como las paredes del pistón, son adiabáticas. Sobre el pistón, de una cierta masa, actúa exclusivamente la presión ambiente (95 kPa). Los espesores del pistón y los anillos se pueden considerar despreciables.

En el espacio limitado por la base del cilindro y el pistón hay 210 g de una sustancia pura (ver tablas adjuntas), que en el estado inicial se encuentra a 50 kPa. Se aplica lentamente calor por la base del cilindro hasta que el pistón comienza a flotar sobre el anillo, a punto de desplazarse. En ese momento, la sustancia se encuentra como vapor saturado. Se continúa añadiendo calor lentamente hasta que en el estado final el pistón queda tocando el anillo superior y la presión de la sustancia duplica a la que tenía cuando se desplazaba.

El proceso se puede suponer cuasiestático, y la sustancia se puede modelar como gas perfecto ( $C_v = 1,624$  kJ/kg-K) cuando se encuentra como vapor saturado o sobrecalentado.

Determinar:

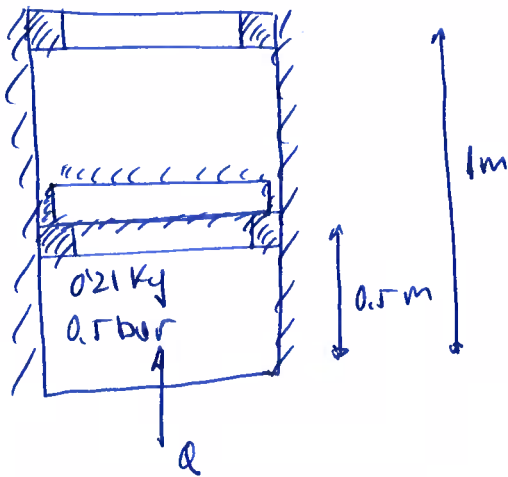
- Temperatura inicial.
- Temperatura final.
- Calor aportado en todo el proceso.
- Diagrama p-v del proceso, referido a la campana bifásica.



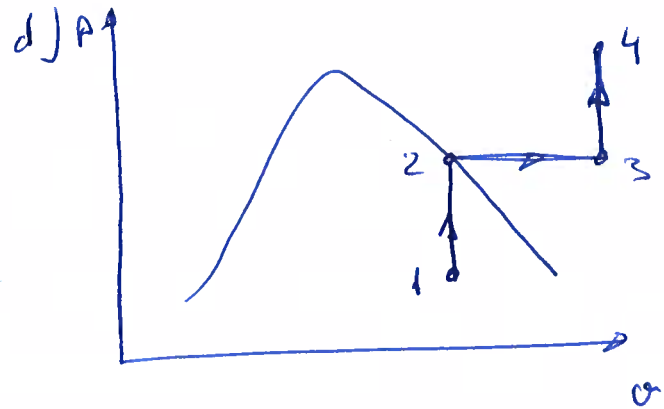
### Tablas de saturación (líquido-vapor)

p [bar]	T [°C]	$v_f$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v_g$ [m <sup>3</sup> /kg]	$u_f$ [kJ/kg]	$u_g$ [kJ/kg]	$h_f$ [kJ/kg]	$h_g$ [kJ/kg]
0,2	60,06	0,001017	7,648	251,4	2456	251,4	2609
0,3	69,09	0,001022	5,229	289,2	2468	289,3	2625
0,4	75,86	0,001026	3,993	317,6	2476	317,6	2636
0,5	81,32	0,00103	3,24	340,5	2483	340,5	2645
0,6	85,93	0,001033	2,732	359,8	2489	359,9	2653
0,7	89,93	0,001036	2,365	376,7	2494	376,8	2659
0,8	93,49	0,001039	2,087	391,6	2498	391,7	2665
0,9	96,69	0,001041	1,87	405,1	2502	405,2	2670
1	99,61	0,001043	1,694	417,4	2506	417,5	2675
2	120,2	0,001061	0,8858	504,5	2529	504,7	2706
2,5	127,4	0,001067	0,7187	535,1	2537	535,3	2717
3	133,5	0,001073	0,6058	561,1	2543	561,4	2725
3,5	138,9	0,001079	0,5242	583,9	2548	584,3	2732
4	143,6	0,001084	0,4624	604,2	2553	604,7	2738
4,5	147,9	0,001088	0,4139	622,6	2557	623,1	2743
5	151,8	0,001093	0,3748	639,5	2561	640,1	2748
5,5	155,5	0,001097	0,3426	655,2	2564	655,8	2752
6	158,8	0,001101	0,3156	669,7	2567	670,4	2756
6,5	162	0,001104	0,2926	683,4	2569	684,1	2760
7	164,9	0,001108	0,2728	696,2	2572	697	2763

$$A_p = 1942 \text{ cm}^2$$



$$P_0 = 95 \text{ kPa}$$



$$v_1 = v_2 = \frac{0.5 \times 0.1942}{0.21} = 0.4624 \text{ m}^3/\text{kg} = v_g(P_2) \rightarrow \underline{P_2 = 4 \text{ bar}}$$

$$P_3 = 8 \text{ bar}$$

$$T_1 = T_{\text{sat}}(0.5 \text{ bar}) = \underline{81.32^\circ\text{C}}$$

$$u_2 = u_g(4 \text{ bar}) = 2553 \text{ kJ/kg}$$

$$0.4624 = 0.00103 + x_1(3.24 - 0.00103) \rightarrow x_1 = 0.1424$$

$$u_1 = 340.5 + 0.1424(2483 - 340.5) = 645.59 \text{ kJ/kg}$$

$$v_3 = 2v_2 = 0.9248 \text{ m}^3/\text{kg} = v_4$$

$$400 \times 0.4624 = R(\underset{\substack{\uparrow \\ T_{\text{sat}}(4 \text{ bar})}}{143.6} + 273) \rightarrow K = 0.444 \text{ kJ/kg-K}$$

$$800 \times 0.9248 = 0.444 \times T_4 \rightarrow \underline{T_4 = 1666.4 \text{ K} = 1393.4^\circ\text{C}}$$

$$Q_2 = 0.21(2553 - 645.59) = 400.55 \text{ kJ}$$

$$Q_{23} = 0.21 \times 1.624 \times (1393.4 - 143.6) + 400 \times 0.21 \times (0.9248 - 0.4624) = 465.07 \text{ kJ}$$

$$\underline{Q_{14} = 400.55 + 465.07 = 865.63 \text{ kJ}}$$

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupos A - D - E

**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.**

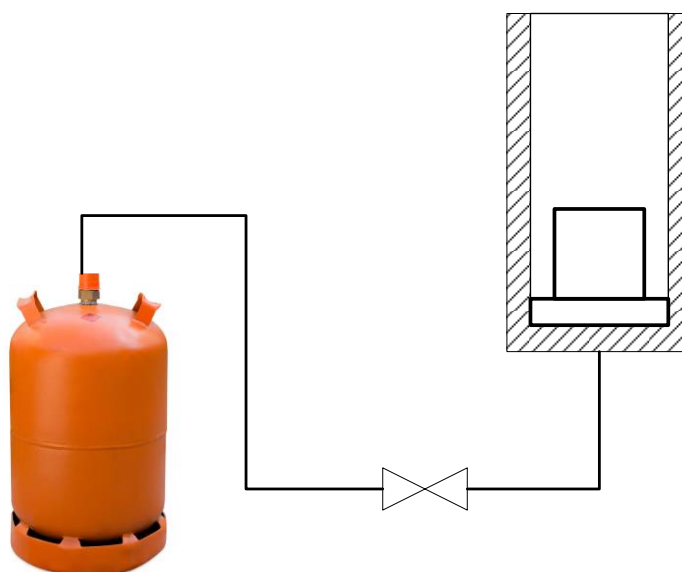
Se pretende usar la presión de una bombona de butano convencional recién comprada ( $26,1 \text{ dm}^3$ ;  $12,5 \text{ kg}$  de butano) para elevar un peso. Para ello, se conecta a un dispositivo de cilindro-pistón en posición vertical, inicialmente vacío, a través de una tubería con una válvula. Las paredes de la bombona se consideran diatermas.

El cilindro tiene un diámetro de  $274 \text{ mm}$  y longitud suficiente, y con él se quiere elevar un peso de  $1.200 \text{ kg}$ , que se coloca sobre el pistón (de masa despreciable). Las paredes de cilindro y pistón son diatermas. Inicialmente, el gas butano se encuentra a temperatura ambiente ( $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ), y se abre súbitamente la válvula que lo conecta al cilindro, verificándose un proceso no estático hasta que el sistema queda en equilibrio.

La presión ambiente es de  $100 \text{ kPa}$ . Se adjuntan las tablas del butano como sustancia pura.

Determinar:

- Presión inicial en la bombona de butano y volumen que ocupa la fase líquida.
- Presión final del butano en la bombona.
- Altura a la que se elevará el peso de  $1.200 \text{ kg}$  sobre la base del cilindro.
- Calor intercambiado en el proceso.



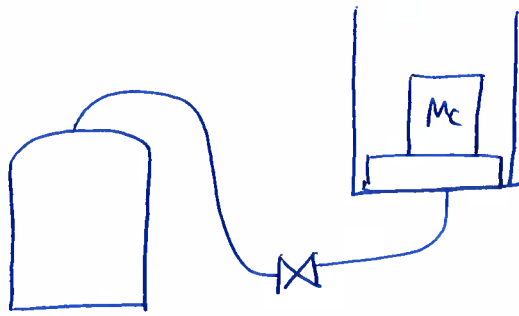
### Tablas de saturación (líquido-vapor)

p [bar]	T [°C]	v <sub>f</sub> [m³/kg]	v <sub>g</sub> [m³/kg]	u <sub>f</sub> [kJ/kg]	u <sub>g</sub> [kJ/kg]	h <sub>f</sub> [kJ/kg]	h <sub>g</sub> [kJ/kg]
1	-12,01	0,001683	0,3581	172,6	503,2	172,7	539
1,5	-1,216	0,001719	0,245	196,9	516,6	197,2	553,4
2	7,078	0,001748	0,1869	216,1	527,1	216,4	564,5
2,5	13,92	0,001774	0,1513	232,2	535,9	232,6	573,7
3	19,79	0,001797	0,1272	246,2	543,4	246,7	581,6
3,5	24,96	0,001818	0,1097	258,7	550,1	259,3	588,5
4	29,61	0,001839	0,09647	270,1	556,1	270,8	594,7
4,5	33,84	0,001858	0,08605	280,6	561,6	281,4	600,3
5	37,74	0,001876	0,07763	290,3	566,6	291,3	605,5
5,5	41,35	0,001893	0,07068	299,5	571,3	300,5	610,2

### Tablas de vapor sobrecalentado

1,5 bar			
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
0	0,2464	518,4	555,4
5	0,2518	525,8	563,6
10	0,2572	533,2	571,8
15	0,2625	540,8	580,1
20	0,2678	548,4	588,6
25	0,273	556,1	597,1
30	0,2783	563,9	605,7
35	0,2834	571,9	614,4
40	0,2886	579,9	623,2
45	0,2937	588	632,1

3 bar			
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
25	0,1303	551,8	590,8
27	0,1315	555	594,4
29	0,1326	558,2	598
31	0,1338	561,5	601,6
33	0,1349	564,7	605,2
35	0,1361	568	608,8
37	0,1372	571,3	612,4
39	0,1383	574,6	616,1
41	0,1395	577,9	619,7
43	0,1406	581,2	623,4



$$V = 26.1 \text{ dm}^3$$

$$m = 12.5 \text{ kg}$$

$$P_0 = 100 \text{ kPa} ; T_0 = 30^\circ\text{C}$$

$$M_c = 1200 \text{ kg}$$

$$M_p = 0$$

$$u_f(30^\circ\text{C}) = 271.07 \text{ kJ/kg}$$

$$u_g(30^\circ\text{C}) = 556.61 \text{ "}$$

$$v_1 = 0.0261 / 12.5 = 0.002088 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \left\{ \begin{array}{l} v_f(30^\circ\text{C}) = 0.0018408 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_g(30^\circ\text{C}) = 0.0955093 \text{ "} \end{array} \right.$$

$$0.002088 = 0.0018408 + x_1 (0.0955093 - 0.0018408) \rightarrow x_1 = 0.0026391$$

$$P_1 = P_{\text{sat}}(30^\circ\text{C}) = \underline{4.046 \text{ bar}}$$

$$u_1 = 271.07 + 0.0026391 (556.61 - 271.07) = 271.82 \text{ kJ/kg}$$

$$V_e = 12.5 (1 - 0.0026391) \times 0.0018408 = 0.0229493 \text{ m}^3 = \underline{22.95 \text{ dm}^3} \quad (87.43\% \text{ del volumen})$$

$$P_2 = 100 + \frac{1200 \times 9.8 \times 10^{-3}}{\pi \times \frac{0.274^2}{4}} = 299.44 \text{ kPa} \pm \underline{3 \text{ bar}}$$

$$T_2 = 30^\circ\text{C} \rightarrow T_{\text{sat}}(P_2) \rightarrow \text{VSC} \rightarrow v_2 = 0.1332 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_2 = 559.85 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta V = 12.5 \times 0.1332 - 0.0261 = 1.6389 \text{ m}^3 \rightarrow \Delta z = \frac{1.6389}{\pi \times \frac{0.274^2}{4}} = \underline{27.795 \text{ m}}$$

$$Q_{12} = m(u_2 - u_1) + P_2 \Delta V = 12.5 (559.85 - 271.82) + 300 \times 1.6389 = \underline{4092.05 \text{ kJ}}$$

Aunque 1-2 no es NO estático, se puede hallar  $W_{12}$  a partir de las fuerzas externas superficiales.