

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo F1

**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 depósito cilíndrico rígido de 500 dm<sup>3</sup> en posición horizontal tiene sus paredes (superficie lateral y tapas) aisladas térmicamente. Su interior está dividido en dos cámaras por un pistón que puede deslizarse sin rozamiento y cuyas superficies se consideran diatermas. Ambas cámaras están ocupadas por aire ( $R = 287 \text{ J/kg-K}$ ) que se considera gas ideal y cuyas tablas se adjuntan. El pistón se considera incompresible ( $C = 500 \text{ J/kg-K}$ ;  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ ) y tiene una masa de 5 kg, siendo su volumen despreciable. La masa del depósito es despreciable.

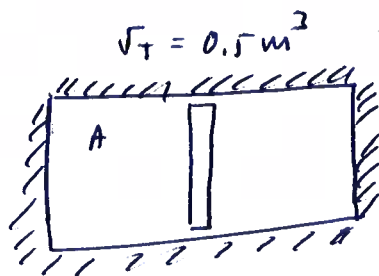
En el estado inicial, que es de equilibrio, el pistón se encuentra a 459,5 °C y en la cámara A la presión es de 5 bar y el volumen de 150 dm<sup>3</sup>. El ambiente se encuentra a 20 °C y 95 kPa.

Instantáneamente se retira el aislamiento de todas las superficies del cilindro y se deja que el sistema evolucione hasta alcanzar el equilibrio. El proceso se asume cuasiestático.

Se pide:

- a) Masa de gas en la cámara A (la que inicialmente tiene 150 m<sup>3</sup>)
- b) Masa de gas en la cámara B
- c) Temperatura final
- d) Presión final
- e) Calor intercambiado con el ambiente

T [°C]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	T [°C]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
10	202,2	283,5	410	499,4	695,5
20	209,4	293,6	420	507,3	706,3
30	216,6	303,6	430	515,2	717,0
40	223,8	313,7	440	523,1	727,8
50	231,0	323,7	450	531,0	738,6
60	238,2	333,8	460	538,9	749,4
70	245,4	343,9	470	546,9	760,2
80	252,6	353,9	480	554,9	771,1
90	259,8	364,0	490	562,9	782,0
100	267,0	374,1	500	570,9	792,9



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

piston:  $\begin{cases} C = 0,5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ \rho = 7800 \text{ kg/m}^3 \\ m_p = 5 \text{ kg} \end{cases}$

①  $\begin{cases} T_1 = 459,5^\circ\text{C} \\ P_1^A = P_1 = 5 \text{ bar} \\ V_1^A = 0,15 \text{ m}^3 \end{cases}$

$T_0 = 20^\circ\text{C}$   
 $P_0 = 95 \text{ kPa}$

$\xrightarrow[\text{reine}]{Q_{12} \text{ aislado}} \left[ T_2 = 20^\circ\text{C} \right]$

$\boxed{m_1^A = m_A = \frac{500 \times 0,15}{0,287 \times (459,5 + 273)} = 0,3568 \text{ kg}}$

$\boxed{m_B = \frac{500 \times (0,5 - 0,15)}{0,287 (459,5 + 273)} = 0,8324 \text{ kg}}$

$\boxed{T_2 = 20^\circ\text{C} = T_0}$

$\underline{P_2} = \frac{(0,3568 + 0,8324) \times 0,287 \times (293)}{0,5} = \underline{200 \text{ kPa}}$

Tomando el sistema conjunto:

$Q_{12} = (m_A + m_B) [u_2 - u_1] + m_p C (T_2 - T_1)$

$u_1 = u(459,5^\circ\text{C}) = 538,51 \text{ kJ/kg}$

$u_2 = u(20^\circ\text{C}) = 209,4 \text{ kJ/kg}$

$\boxed{Q_{12} = (0,3568 + 0,8324) (209,4 - 538,51) + 5 \times 0,5 \times (20 - 459,5) = -1490,12 \text{ kJ}}$

el sistema cede calor al ambiente.

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo D1 F2

**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 de paredes adiabáticas contiene un gas perfecto ( $R = 287 \text{ J/kg-K}$ ;  $\gamma = 1,4$ ). Sobre el pistón se encuentra un muelle de rigidez  $k = 500 \text{ kN/m}$ . En el estado inicial el gas ocupa  $500 \text{ dm}^3$  y se encuentra en equilibrio a  $50^\circ\text{C}$  y 3 bar, hallándose el muelle en su longitud natural. La masa del cilindro se considera despreciable y el pistón se encuentra aislado térmicamente por todas sus caras. El diámetro del pistón es de 550 mm.

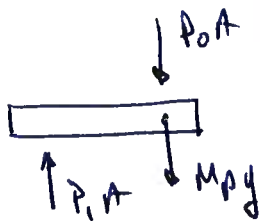
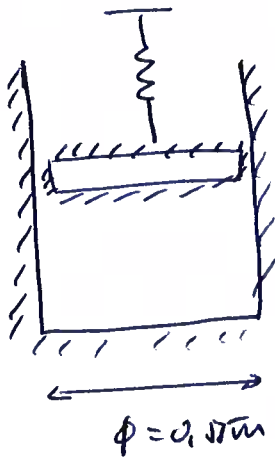
Se dispone también de un sólido incompresible ( $C = 500 \text{ J/kg-K}$ ;  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ ) de una cierta masa que inicialmente se encuentra a  $500^\circ\text{C}$  y tiene toda su superficie aislada.

Instantáneamente se retira el aislamiento de la base del cilindro y de parte de la superficie del sólido. Se ponen en contacto ambos dispositivos de modo que puedan cambiar calor entre ellos exclusivamente. El ambiente se encuentra a  $20^\circ\text{C}$  y 95 kPa.

Se permite que el sistema evolucione hasta alcanzar el equilibrio, verificándose un proceso cuasiestático en el que el pistón asciende 141 mm.

Se pide:

- a) Masa del pistón
- b) Temperatura final del gas
- c) Masa del sólido
- d) Trabajo desarrollado por el sistema “gas+pistón+muelle”
- e) Calor intercambiado entre el sólido y el gas.



$$\text{gas} \left[ \begin{array}{l} R = 0,287 \text{ kJ/kg-K} \\ \gamma = 1,4 \end{array} \right.$$

$$\text{Sólido} \left[ \begin{array}{l} C = 0,5 \text{ kJ/kg-K} \\ P = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ T_1 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$K = 500 \text{ kN/m}$$

$$\textcircled{1} \left[ \begin{array}{l} V_1 = 0,5 \text{ m}^3 \\ T_1 = 50^\circ\text{C} \\ P_1 = 3 \text{ bar} \end{array} \right. \quad v_N = v_1$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C} \\ P_0 = 95 \text{ kPa}$$

$$\textcircled{2} \left[ \begin{array}{l} \Delta z = 141 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$P_1 = P_0 + \frac{Mpg}{A} ; \quad 300 = 95 + \frac{M_p \times 9,8 \times 10^{-3}}{\frac{\pi \times 0,5^2}{4}}$$

Sistema gas + Sólido

$$\boxed{m_p = 4969,85 \text{ kg}}$$

$$Q_{12} - W_{12} = m_g C_v (T_2 - T_1) + m_s C (T_2 - T_{1s})$$

$$Q_{12} = 0 ; \quad W_{12} = \frac{P_1 + P_2}{2} (v_2 - v_1)$$

$$\left. \begin{array}{l} P = P_1 + K \frac{v - v_1}{A^2} \\ \frac{v_2 - v_1}{A} = 0,141 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$m_g = \frac{300 \times 0,5}{0,287 \times (500 + 273)} = 1,6181 \text{ kg}$$

$$P_2 = 300 + \frac{500}{\frac{\pi \times 0,5^2}{4}} \times 0,141 = 596,74 \text{ kPa}$$

$$v_2 = 0,5335 \text{ m}^3$$

$$\boxed{T_2 = \frac{596,74 \times 0,5335}{1,6181 \times 0,287} = 685,53 \text{ K} = \underline{\underline{412,53^\circ\text{C}}}}$$

$$W_{12} = \frac{300 + 596,74}{2} \times 0,0335 = 15,02 \text{ kJ}$$

$$-15,02 = 1,6181 \times 0,7175 (412,53 - 500) + m_s 0,5 (412,53 - 500)$$

$$R = C_p - C_v = C_v (\gamma - 1) \rightarrow C_v = 0,7175 \text{ kJ/kg-K}$$

$$\boxed{m_s = 9,9671 \text{ kg}}$$

Sistema: gas + pistón + muelle

Sólo queda fuera del sistema la presión ambiente, así que:

$$\boxed{W_{12}^{\text{gas}}} = P_0 (V_2 - V_1) = 95 \times 0,0335 = \underline{\underline{3,1825 \text{ kJ}}}$$

Tomando como sistema el ~~gas~~ sólido:

$$\begin{aligned} \boxed{Q_{12}^s} &= m_s c (T_2 - T_1) = 9,9671 \times 0,5 (412,53 - 500) = \\ &= \underline{\underline{-435,91 \text{ kJ}}} \end{aligned}$$

el sólido cede calor al gas.

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo C1 D2

**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 en posición vertical contiene 0,1 kg de agua (tablas de propiedades adjuntas), que se encuentra a temperatura ambiente, 20 °C (estado 1).

Las paredes y base del cilindro, así como las del pistón están aisladas térmicamente. El pistón tiene una superficie de 0,03 m<sup>2</sup>. Se desprecia el rozamiento entre el pistón y el cilindro. La presión ejercida sobre el agua, debida a la presión ambiente, al peso del pistón y a un bloque de 2000 kg que hay sobre él, es de 8 bar.

En el fondo del cilindro se ha colocado una resistencia eléctrica, conectada a una batería a través de un interruptor, de manera que cuando se cierra el circuito, la potencia disipada por la resistencia es de 500 W.

En un momento dado se cierra el circuito de la resistencia, hasta el momento justo en que la última gota de líquido se convierte en vapor (estado 2).

Posteriormente, se abre el circuito, se retira súbitamente el bloque de 2000 kg y simultáneamente se quita el aislamiento de las paredes del cilindro, dejando que el sistema alcance el equilibrio (estado 3).

Se pide:

- a) Altura que alcanza el pistón en el estado (2), medida desde el fondo del recipiente
- b) Temperatura del agua en el estado (2)
- c) Tiempo que ha estado conectada la resistencia eléctrica
- d) Calor cedido al ambiente por el sistema en todo el proceso
- e) Dibujar el proceso cualitativamente en un diagrama P-v

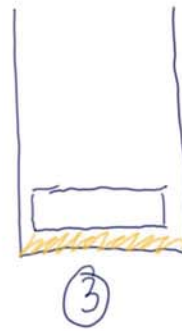
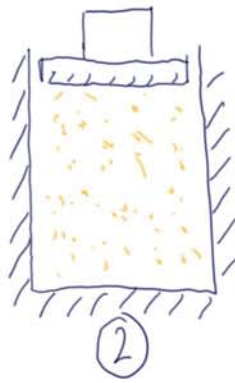
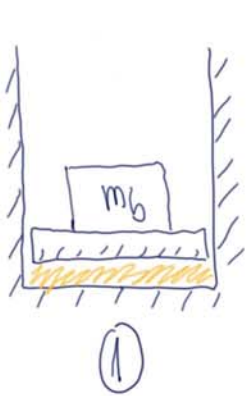
### Tablas de saturación

T [°C]	p [bar]	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]
0,01	0,006117	0,0010002	206,005	0,00	2374,9	0,01	2500,9
2	0,00706	0,0010001	179,776	8,39	2377,7	8,39	2504,6
4	0,008135	0,0010001	157,135	16,81	2380,4	16,81	2508,2
6	0,009353	0,0010001	137,652	25,22	2383,2	25,22	2511,9
8	0,01073	0,0010002	120,846	33,63	2385,9	33,63	2515,6
10	0,01228	0,0010003	106,319	42,02	2388,6	42,02	2519,2
12	0,01403	0,0010006	93,732	50,41	2391,4	50,41	2522,9
14	0,01599	0,0010008	82,804	58,79	2394,1	58,79	2526,5
16	0,01819	0,0010011	73,295	67,17	2396,9	67,17	2530,2
18	0,02065	0,0010015	65,005	75,54	2399,6	75,54	2533,8
20	0,02339	0,0010018	57,762	83,91	2402,3	83,91	2537,4
22	0,02645	0,0010023	51,422	92,28	2405,0	92,28	2541,1
24	0,02986	0,0010028	45,861	100,64	2407,8	100,65	2544,7
26	0,03364	0,0010033	40,975	109,01	2410,5	109,01	2548,3
28	0,03783	0,0010038	36,673	117,37	2413,2	117,37	2551,9

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]
0,8	93,5	0,0010385	2,0873	391,63	2498,2	391,71	2665,2
0,9	96,7	0,0010409	1,8696	405,11	2502,1	405,20	2670,3
1,0	99,6	0,0010432	1,6941	417,40	2505,6	417,51	2675,0
1,5	111,3	0,0010527	1,1594	466,97	2519,2	467,13	2693,1
2,0	120,2	0,0010605	0,8858	504,49	2529,1	504,71	2706,3
2,5	127,4	0,0010672	0,7187	535,08	2536,8	535,35	2716,5
3,0	133,5	0,0010732	0,6058	561,11	2543,2	561,43	2724,9
3,5	138,9	0,0010786	0,5242	583,88	2548,5	584,26	2732,0
4,0	143,6	0,0010836	0,4624	604,22	2553,1	604,66	2738,1
4,5	147,9	0,0010882	0,4139	622,65	2557,1	623,14	2743,4
5,0	151,8	0,0010925	0,3748	639,54	2560,7	640,09	2748,1
6,0	158,8	0,0011006	0,3156	669,72	2566,8	670,38	2756,2
7,0	164,9	0,0011080	0,2728	696,23	2571,8	697,00	2762,8
8,0	170,4	0,0011148	0,2403	719,97	2576,0	720,86	2768,3
9,0	175,4	0,0011212	0,2149	741,55	2579,6	742,56	2773,0

### Tablas de vapor sobrecalentado

7 bar (sat = 164,95 °C)				10 bar (sat = 179,88 °C)			
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
sat	0,2728	2571,8	2762,8	sat	0,1944	2582,8	2777,1
180	0,2848	2600,0	2799,4	200	0,2060	2622,2	2828,3
200	0,3000	2635,3	2845,3	240	0,2276	2693,3	2920,9
240	0,3292	2702,2	2932,7	280	0,2480	2760,6	3008,6
280	0,3575	2767,2	3017,5	320	0,2679	2826,5	3094,4
320	0,3852	2831,7	3101,3	360	0,2874	2892,1	3179,4
360	0,4126	2896,3	3185,1	400	0,3066	2957,9	3264,5
400	0,4398	2961,4	3269,2	440	0,3257	3024,2	3349,9
440	0,4668	3027,2	3353,9	500	0,3541	3125,0	3479,1
500	0,5070	3127,4	3482,3	540	0,3730	3193,3	3566,2
600	0,5738	3299,2	3700,9	600	0,4011	3297,5	3698,6
700	0,6403	3477,6	3925,8	640	0,4198	3368,2	3788,0



$$m = 0,1 \text{ kg} \quad A_p = 0,03 \text{ m}^2 \quad m_b = 2000 \text{ kg}$$

En el estado ① el agua es líquido comprimido:  $T_1 < T_{\text{sat}}(8 \text{ bar})$

$$T_1 = 20^\circ\text{C} \quad v_1 \approx v_f(20^\circ\text{C}) = 0,0010018 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_1 = 8 \text{ bar} \quad u_1 \approx u_f(20^\circ\text{C}) = 83,91 \text{ kJ/kg}$$

En el estado ② el agua será vapor saturado, sin variar la presión

$$T_2 = T_{\text{sat}}(8 \text{ bar}) = 170,4^\circ\text{C} \quad b) \quad v_2 = 0,2404 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_2 = 8 \text{ bar}$$

$$u_2 = 2576 \text{ kJ/kg}$$

El volumen ocupado será  $V_2 = m \cdot v_2 = 0,1 \times 0,2404 = 0,02404 \text{ m}^3$

Y la altura del pistón:  $\boxed{z_2 = \frac{V_2}{A_p} = \frac{0,02404}{0,03} = 0,80 \text{ m}} \quad a)$

Para obtener el calor que recibe el gas (igual al que sufre la resistencia) aplicamos el 1º PPTO al sistema "solo gas"

$$Q_{12} - W_{12} = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

El trabajo se calcula teniendo en cuenta que las fuerzas exteriores son constantes:

$$W_{12} = - \int_1^2 \vec{F}_{\text{ext}} d\vec{r} = \int_1^2 P dV = P_1(V_2 - V_1) = P_1 m(v_2 - v_1) =$$

$$= 800 \times 0,1 \times (0,2404 - 0,0010018) = 19,15 \text{ kJ}$$



Y, por tanto, el calor:

$$Q_{12} = W_{12} + m(u_2 - u_1) = 19,15 + 0,1(2576 - 83,91) = 268,36 \text{ kJ}$$

Para generar este calor, la resistencia estará encendida:

$$t = \frac{W_{12}}{\dot{W}_r} = \frac{268,36}{0,5} = 536,7 \text{ s} = 8 \text{ min } 56,7 \text{ s} \quad c)$$

El calor cedido al ambiente será el cedido en el proceso 2-3 (no cuasiestático). El estado final del agua será:

$$T_3 = 20^\circ\text{C}$$

$$P_3 = P_2 - \frac{m_b \cdot g}{A_p} = 800 - \frac{2000 \cdot 9,81}{0,03 \cdot 1000} = 146 \text{ kPa} = 1,46 \text{ bar}$$

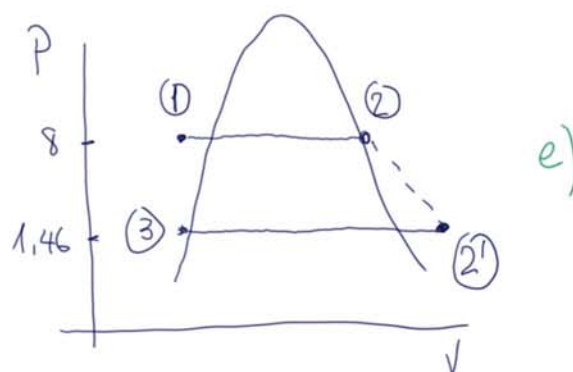
Por lo que, de nuevo, es líquido comprimido:

$$v_3 \approx v_1 \approx 0,0010018 \text{ m}^3/\text{kg} \quad u_3 \approx u_1 \approx 83,91 \text{ kJ/kg}$$

Operando de forma similar al apartado anterior:

$$W_{23} = - \int_2^3 \vec{F}_{\text{ext}} \cdot d\vec{r} = P_3 (V_3 - V_2) = 146 \times 0,1 \times (0,0010018 - 0,2404) = -3,495 \text{ kJ}$$

$$Q_{23} = W_{23} + m(u_3 - u_2) = -3,495 + 0,1 \cdot (83,91 - 2576) = -252,7 \text{ kJ} \quad d)$$



## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo A1

**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.**

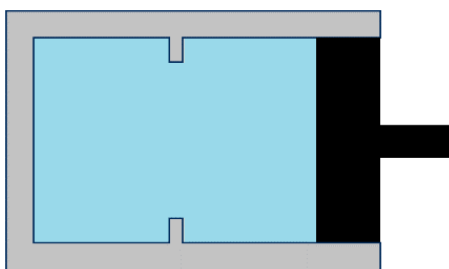
Un dispositivo cilindro pistón colocado en posición horizontal contiene 100 g de agua a 500°C en equilibrio (estado 1). El cilindro tiene un anillo en el interior que ejerce de tope del pistón. La presión en el exterior del pistón es 1 MPa en todo momento. La masa del pistón es 0.5 kg y su diámetro es 15 cm.

Se enfría el agua lentamente hasta que el cilindro contacta con el anillo que ejerce de tope y se reduce su volumen inicial a la mitad (estado 2). Posteriormente el enfriamiento continúa hasta que la temperatura del agua se reduce a 25°C (estado 3).

Considerar cualquier proceso como cuasi-estático y despreciar el rozamiento entre el pistón y el cilindro.

Se pide:

- a) Volumen inicial que ocupa el agua contenida en el cilindro
- b) Temperatura del agua en el estado 2
- c) Trabajo desarrollado por el agua durante el proceso 1 a 3
- d) Calor intercambiado entre el ambiente y el agua durante el proceso 1 a 3, indicando su sentido
- e) Representar el proceso en un diagrama P-v



### Tablas de saturación

T [°C]	p [bar]	$v_f$ [m³/kg]	$v_g$ [m³/kg]	$u_f$ [kJ/kg]	$u_g$ [kJ/kg]	$h_f$ [kJ/kg]	$h_g$ [kJ/kg]
0,01	0,006117	0,0010002	206,005	0,00	2374,9	0,01	2500,9
2	0,00706	0,0010001	179,776	8,39	2377,7	8,39	2504,6
4	0,008135	0,0010001	157,135	16,81	2380,4	16,81	2508,2
6	0,009353	0,0010001	137,652	25,22	2383,2	25,22	2511,9
8	0,01073	0,0010002	120,846	33,63	2385,9	33,63	2515,6
10	0,01228	0,0010003	106,319	42,02	2388,6	42,02	2519,2
12	0,01403	0,0010006	93,732	50,41	2391,4	50,41	2522,9
14	0,01599	0,0010008	82,804	58,79	2394,1	58,79	2526,5
16	0,01819	0,0010011	73,295	67,17	2396,9	67,17	2530,2
18	0,02065	0,0010015	65,005	75,54	2399,6	75,54	2533,8
20	0,02339	0,0010018	57,762	83,91	2402,3	83,91	2537,4
22	0,02645	0,0010023	51,422	92,28	2405,0	92,28	2541,1
24	0,02986	0,0010028	45,861	100,64	2407,8	100,65	2544,7
26	0,03364	0,0010033	40,975	109,01	2410,5	109,01	2548,3
28	0,03783	0,0010038	36,673	117,37	2413,2	117,37	2551,9

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]
10	179,9	0,0011272	0,19436	761,38	2582,7	762,51	2777,1
15	198,3	0,0011539	0,13171	842,81	2593,4	844,54	2791,0
20	212,4	0,0011767	0,09959	906,12	2599,1	908,47	2798,3
25	223,9	0,0011974	0,07995	958,87	2602,1	961,86	2801,9
30	233,9	0,0012166	0,06667	1004,63	2603,2	1008,28	2803,2
35	242,6	0,0012349	0,05706	1045,39	2602,9	1049,71	2802,7
40	250,4	0,0012524	0,04978	1082,38	2601,7	1087,39	2800,8
45	257,4	0,0012695	0,04406	1116,41	2599,7	1122,13	2798,0
50	263,9	0,0012862	0,03945	1148,07	2597,0	1154,50	2794,2
60	275,6	0,0013190	0,03245	1205,84	2589,9	1213,75	2784,6
70	285,8	0,0013515	0,02738	1258,00	2581,0	1267,46	2772,6
80	295,0	0,0013843	0,02352	1306,02	2570,5	1317,09	2758,7
90	303,3	0,0014177	0,02049	1350,89	2558,5	1363,65	2742,9
100	311,0	0,0014522	0,01803	1393,32	2545,2	1407,84	2725,4
110	318,1	0,0014881	0,01599	1433,87	2530,4	1450,24	2706,3

### Tabas de vapor sobrecalentado

	5 bar (sat = 151,83 °C)			7 bar (sat = 164,95 °C)		
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
sat	0,3748	2560,7	2748,1	0,2728	2571,8	2762,8
180	0,4047	2610	2812	0,2848	2600,0	2799,4
200	0,425	2643	2856	0,3000	2635,3	2845,3
240	0,4647	2708	2940	0,3292	2702,2	2932,7
280	0,5034	2771	3023	0,3575	2767,2	3017,5
320	0,5417	2835	3106	0,3852	2831,7	3101,3
360	0,5796	2899	3189	0,4126	2896,3	3185,1
400	0,6173	2964	3272	0,4398	2961,4	3269,2
440	0,6548	3029	3357	0,4668	3027,2	3353,9
500	0,7109	3129	3484	0,5070	3127,4	3482,3
600	0,8041	3300	3702	0,5738	3299,2	3700,9
700	0,897	3479	3927	0,6403	3477,6	3925,8
	10 bar (sat = 179,88 °C)			15 bar (sat = 198,29 °C)		
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
sat	0,1944	2582,8	2777,1	0,1317	2593,4	2791,0
200	0,2060	2622,2	2828,3	0,1325	2597,3	2796,0
240	0,2276	2693,3	2920,9	0,1483	2677,5	2900,0
280	0,2480	2760,6	3008,6	0,1628	2749,1	2993,3
320	0,2679	2826,5	3094,4	0,1765	2817,6	3082,4
360	0,2874	2892,1	3179,4	0,1899	2884,9	3169,8
400	0,3066	2957,9	3264,5	0,2030	2951,9	3256,5
440	0,3257	3024,2	3349,9	0,2160	3019,1	3343,1
500	0,3541	3125,0	3479,1	0,2352	3120,9	3473,7
540	0,3730	3193,3	3566,2	0,2479	3189,7	3561,5
600	0,4011	3297,5	3698,6	0,2668	3294,5	3694,7
640	0,4198	3368,2	3788,0	0,2793	3365,5	3784,5

Estado 1

$$m = 0.1 \text{ kg}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C}$$

$$P_1 = P_0 = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$$

$$V_1 = ?$$

Estado 2

$$T_2 = ?$$

$$P_2 = P_1 = 10 \text{ bar}$$

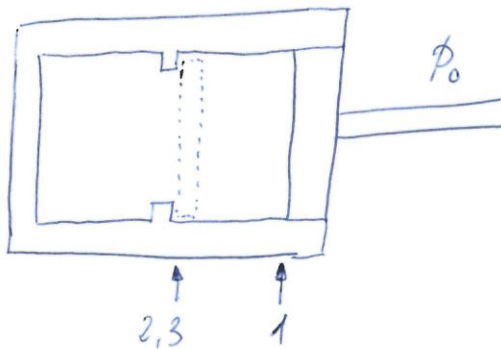
$$V_2 = V_1/2$$

Estado 3

$$T_3 = 25^\circ\text{C}$$

$$P_3 = ?$$

$$V_3 = V_2$$



1°  $V_1$

$$T_s(10 \text{ bar}) = 179.9^\circ\text{C} \quad T_1 > T_s(P_1) \rightarrow \text{Vapor Sobrecalentado}$$

$$v_1(10 \text{ bar}, 500^\circ\text{C}) = 0.3541 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_1 = m \cdot v_1 = 0.03541 \text{ m}^3 = 35.4 \text{ dm}^3$$

2°  $T_2$

$$V_2 = V_1/2 \quad v_2 = v_1/2 = 0.17705 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{Tabla saturación}$$

$$V_2 = 0.017705 \text{ m}^3 \quad P_2 = 10 \text{ bar}$$

$$v_f(10 \text{ bar}) = 0.0011272 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g(10 \text{ bar}) = 0.19436 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v(10 \text{ bar}) = 0.17705 \text{ m}^3/\text{kg} \rightarrow \text{Vapor húmedo}$$

$$T_2 = T_{\text{sat}}(10 \text{ bar})$$

3°  $W_{13}$

$$W_{13} = \int_1^3 P dV = \int_1^2 P dV = P_2 \cdot (V_2 - V_1) = 1000 \text{ kPa} \cdot (0.017705 \text{ m}^3 - 0.03541 \text{ m}^3) = -17.7 \text{ kJ}$$

$$W_{23} = 0$$

$$4: Q_{13}$$

Primer principio

$$Q_{13} - \underset{11}{W_{13}} = \Delta U = m(u_3 - u_1)$$

$$W_{12} = -17.7 \text{ kJ}$$

$$u_1 (10 \text{ bar}, 500^\circ\text{C}) \rightarrow \text{tabla V.S. } u_1 = 3125 \text{ kJ/kg}$$

$$V_3 = V_2$$

$$v_3 = v_2 = 0.17705 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_3 = 25^\circ\text{C}$$

$$v_F(25^\circ\text{C}) = 0.00100305 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_G(25^\circ\text{C}) = 43.418 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Interpolando en  
tablas V.H. entre  
24°C y 26°C

Vapor húmedo

$$0.17705 = 0.00100305 + x \cdot (43.418 - 0.00100305)$$

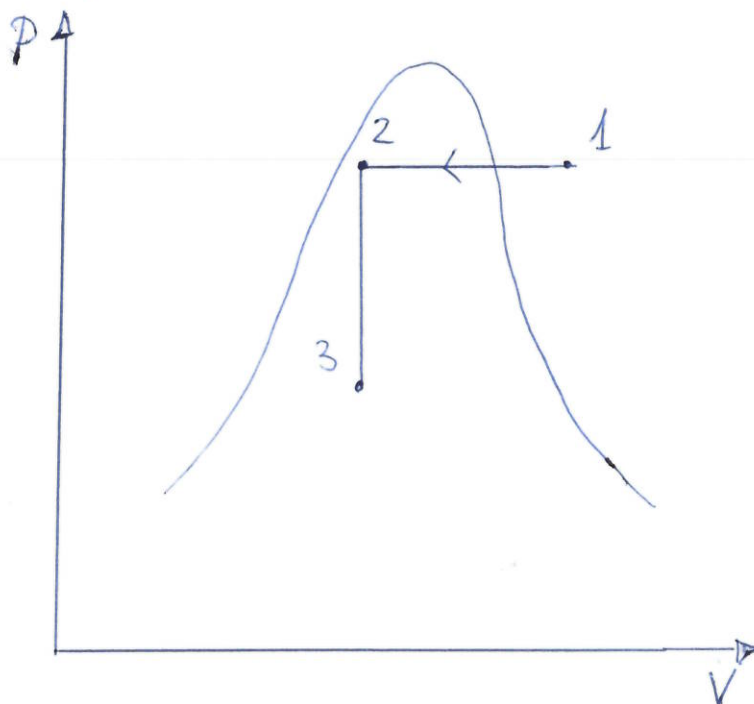
$$x = 4.05 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Interpolando } u_3 = 104.825 + 4.05 \cdot 10^{-3} \cdot (2409.15 - 104.825) = 114.168 \text{ kJ/kg}$$

$$u_F(25^\circ\text{C}) = 104.825 \text{ kJ/kg}$$

$$u_G(25^\circ\text{C}) = 2409.15 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{13} = 0.1 \cdot (114.168 - 3125) - 17.7 = -318.8 \text{ kJ}$$



Proceso 1-2  $P$  cte.

Proceso 2-3  $V$  cte.

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo C2

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 depósito rígido aislado térmicamente contiene agua en estado de vapor húmedo, siendo la masa del líquido saturado 20 kg y ocupando un 7% del volumen del depósito. En el interior del depósito hay una resistencia eléctrica de volumen despreciable, conectada a una batería mediante un interruptor.

Se cierra el interruptor y tras esperar 2 horas se observa que el agua se ha convertido totalmente en vapor saturado.

Se pide:

- Volumen del depósito
- Presión final del agua
- Temperatura final del agua
- Calor transferido al agua
- Potencia de la resistencia eléctrica



a)  $m_l = 20 \text{ kg}$ .

30°C {  $v_f = 0.001044 \text{ m}^3/\text{kg}$   
 $v_g = 32.879 \text{ m}^3/\text{kg}$   
 $u_f = 125.73 \text{ kJ/kg}$   
 $u_g = 2415.9 \text{ kJ/kg}$

masa de vapor inicial:  $\frac{0.287 - 0.020088}{32.879} = 0.008 \text{ kg de agua en estado de vapor.}$

b) estado final: vapor saturado.

c)  $v_2 = v_g(T_2) = \frac{V_{\text{depósito}}}{m_{\text{total}}} = \frac{0.287}{(20 + 0.008)} = 0.014 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

mirando en la tabla, ese valor de  $v_g$  corresponde a una  $T$  entre 320 y 330°C. Interpolando:  $T_2 = 324.52^\circ\text{C}$  y  $P_2 = 119.95 \text{ kPa}$ . y  $u_2 = 2513.86 \text{ kJ/kg}$ .

d) PP al sistema agua:  $Q_{12} - W_{12} = \Delta U = m_{\text{total}} \cdot u_2 - m_{\text{liq}} \cdot u_{f1} - m_{\text{vap}} \cdot u_{g1}$



$$Q_{12} = 32.879 \cdot 2513.86 - 20 \cdot 125.73 - 0.008 \cdot 2415.9 = 47763.5 \text{ kJ}$$

$$e) \dot{W} = \frac{Q_{12}}{t} = \frac{47763.5}{120 \cdot 60} = 6.63 \text{ kW}$$

**Tabla de vapor húmedo**

T	p	v <sub>f</sub>	v <sub>g</sub>	u <sub>f</sub>	u <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>fg</sub>	h <sub>g</sub>
[°C]	[bar]	[m³/kg]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
20	0,02339	0,0010018	57,762	83,91	2402,3	83,91	2453,5	2537,4
30	0,04247	0,0010044	32,879	125,73	2415,9	125,74	2429,8	2555,6
40	0,07385	0,0010079	19,515	167,53	2429,4	167,53	2406,0	2573,5
50	0,1235	0,0010122	12,026	209,33	2442,7	209,34	2382,0	2591,3
60	0,1995	0,0010171	7,667	251,16	2455,9	251,18	2357,7	2608,8
70	0,3120	0,0010228	5,040	293,04	2468,9	293,07	2333,0	2626,1
80	0,4742	0,0010291	3,405	334,97	2481,6	335,02	2308,0	2643,0
90	0,7018	0,0010360	2,359	376,97	2494,0	377,04	2282,5	2659,6
100	1,014	0,0010435	1,672	419,06	2506,0	419,17	2256,4	2675,6
110	1,434	0,0010516	1,209	461,27	2517,7	461,42	2229,7	2691,1
120	1,987	0,0010603	0,8913	503,60	2528,9	503,81	2202,1	2706,0
130	2,703	0,0010697	0,6681	546,10	2539,5	546,38	2173,7	2720,1
140	3,615	0,0010798	0,5085	588,77	2549,6	589,16	2144,3	2733,5
150	4,762	0,0010905	0,3925	631,66	2559,1	632,18	2113,8	2745,9
160	6,182	0,0011020	0,3068	674,79	2567,8	675,47	2082,0	2757,5
170	7,922	0,0011143	0,2426	718,20	2575,7	719,08	2048,8	2767,9
180	10,03	0,0011274	0,1938	761,92	2582,8	763,05	2014,2	2777,2
190	12,55	0,0011414	0,1564	806,00	2589,0	807,43	1977,9	2785,3
200	15,55	0,0011565	0,1272	850,46	2594,2	852,26	1939,8	2792,0
210	19,08	0,0011727	0,1043	895,38	2598,3	897,61	1899,7	2797,3
220	23,20	0,0011901	0,08609	940,79	2601,3	943,55	1857,4	2801,0
230	27,97	0,0012089	0,07151	986,76	2602,9	990,14	1812,8	2802,9
240	33,47	0,0012294	0,05971	1033,4	2603,1	1037,48	1765,5	2803,0
250	39,76	0,0012516	0,05009	1080,7	2601,8	1085,67	1715,3	2801,0
260	46,92	0,0012759	0,04218	1128,9	2598,7	1134,83	1661,8	2796,6
270	55,03	0,0013028	0,03562	1178,0	2593,7	1185,12	1604,6	2789,7
280	64,17	0,0013326	0,03015	1228,2	2586,4	1236,70	1543,2	2779,9
290	74,42	0,0013660	0,02555	1279,7	2576,5	1289,83	1476,9	2766,7
300	85,88	0,0014038	0,02166	1332,7	2563,6	1344,79	1404,8	2749,6
310	98,65	0,0014475	0,01833	1387,7	2547,1	1402,00	1325,9	2727,9
320	112,8	0,0014987	0,01547	1445,1	2526,0	1462,03	1238,5	2700,6
330	128,6	0,0015604	0,01298	1505,7	2499,2	1525,76	1140,3	2666,0
340	146,0	0,0016377	0,01078	1570,7	2464,5	1594,60	1027,4	2622,0
350	165,3	0,0017407	0,008806	1642,4	2418,3	1671,17	892,7	2563,9
360	186,7	0,0018950	0,006950	1726,2	2351,9	1761,53	720,1	2481,6



## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

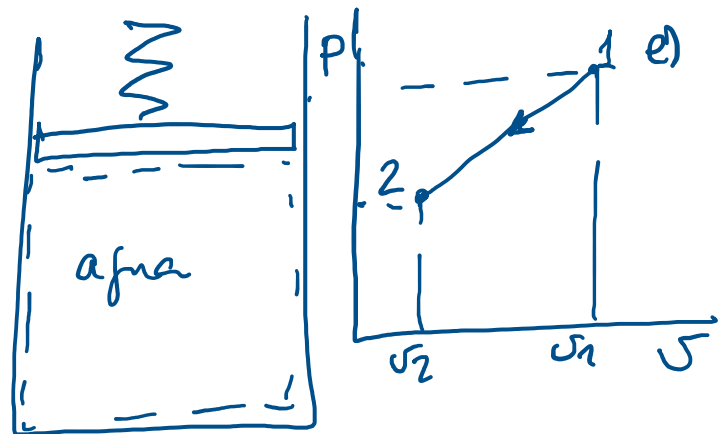
Nombre \_\_\_\_\_ Grupo G1

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.

En el interior de un dispositivo cilindro-pistón, que dispone de un muelle acoplado al pistón, hay agua en estado de vapor saturado a 200°C. Se realiza un proceso cuasiestático en el que el agua se condensa, finalizando como líquido saturado a 50°C.

Se pide:

- Presión inicial del agua
- Presión final del agua
- Trabajo intercambiado con el agua
- Calor intercambiado por el agua
- Dibuja el proceso en un diagrama p - v



$$\begin{aligned}
 a) \quad P_1 &= P_{\text{sat}}(200^\circ\text{C}) = 15.55 \text{ bar} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v_1 = v_g(200^\circ\text{C}) = 0.1272 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_1 = u_g(200^\circ\text{C}) = 2594.2 \text{ kJ/kg} \end{array} \right. \\
 b) \quad P_2 &= P_{\text{sat}}(50^\circ\text{C}) = 0.1235 \text{ bar} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v_2 = v_f(50^\circ\text{C}) = 0.0010122 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_2 = u_f(50^\circ\text{C}) = 209.33 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

$$c) \quad W_{12} = \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) (v_2 - v_1)$$

$$W_{12} = \left( \frac{15.55 + 0.1235}{2} \right) \cdot 100 \cdot (0.0010122 - 0.1272) = -98.89 \text{ kJ/kg}$$

$$d) \quad q_{12} - W_{12} = \Delta u$$

$$q_{12} = W_{12} + (u_2 - u_1) = -98.89 + (209.33 - 2594.2) = -2483.76 \text{ kJ/kg}$$

**Tabla de vapor húmedo**

T	p	v <sub>f</sub>	v <sub>g</sub>	u <sub>f</sub>	u <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>fg</sub>	h <sub>g</sub>
[°C]	[bar]	[m <sup>3</sup> /kg]	[m <sup>3</sup> /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
20	0,02339	0,0010018	57,762	83,91	2402,3	83,91	2453,5	2537,4
30	0,04247	0,0010044	32,879	125,73	2415,9	125,74	2429,8	2555,6
40	0,07385	0,0010079	19,515	167,53	2429,4	167,53	2406,0	2573,5
50	0,1235	0,0010122	12,026	209,33	2442,7	209,34	2382,0	2591,3
60	0,1995	0,0010171	7,667	251,16	2455,9	251,18	2357,7	2608,8
70	0,3120	0,0010228	5,040	293,04	2468,9	293,07	2333,0	2626,1
80	0,4742	0,0010291	3,405	334,97	2481,6	335,02	2308,0	2643,0
90	0,7018	0,0010360	2,359	376,97	2494,0	377,04	2282,5	2659,6
100	1,014	0,0010435	1,672	419,06	2506,0	419,17	2256,4	2675,6
110	1,434	0,0010516	1,209	461,27	2517,7	461,42	2229,7	2691,1
120	1,987	0,0010603	0,8913	503,60	2528,9	503,81	2202,1	2706,0
130	2,703	0,0010697	0,6681	546,10	2539,5	546,38	2173,7	2720,1
140	3,615	0,0010798	0,5085	588,77	2549,6	589,16	2144,3	2733,5
150	4,762	0,0010905	0,3925	631,66	2559,1	632,18	2113,8	2745,9
160	6,182	0,0011020	0,3068	674,79	2567,8	675,47	2082,0	2757,5
170	7,922	0,0011143	0,2426	718,20	2575,7	719,08	2048,8	2767,9
180	10,03	0,0011274	0,1938	761,92	2582,8	763,05	2014,2	2777,2
190	12,55	0,0011414	0,1564	806,00	2589,0	807,43	1977,9	2785,3
200	15,55	0,0011565	0,1272	850,46	2594,2	852,26	1939,8	2792,0
210	19,08	0,0011727	0,1043	895,38	2598,3	897,61	1899,7	2797,3
220	23,20	0,0011901	0,08609	940,79	2601,3	943,55	1857,4	2801,0
230	27,97	0,0012089	0,07151	986,76	2602,9	990,14	1812,8	2802,9
240	33,47	0,0012294	0,05971	1033,4	2603,1	1037,48	1765,5	2803,0
250	39,76	0,0012516	0,05009	1080,7	2601,8	1085,67	1715,3	2801,0
260	46,92	0,0012759	0,04218	1128,9	2598,7	1134,83	1661,8	2796,6
270	55,03	0,0013028	0,03562	1178,0	2593,7	1185,12	1604,6	2789,7
280	64,17	0,0013326	0,03015	1228,2	2586,4	1236,70	1543,2	2779,9
290	74,42	0,0013660	0,02555	1279,7	2576,5	1289,83	1476,9	2766,7
300	85,88	0,0014038	0,02166	1332,7	2563,6	1344,79	1404,8	2749,6
310	98,65	0,0014475	0,01833	1387,7	2547,1	1402,00	1325,9	2727,9
320	112,8	0,0014987	0,01547	1445,1	2526,0	1462,03	1238,5	2700,6
330	128,6	0,0015604	0,01298	1505,7	2499,2	1525,76	1140,3	2666,0
340	146,0	0,0016377	0,01078	1570,7	2464,5	1594,60	1027,4	2622,0
350	165,3	0,0017407	0,008806	1642,4	2418,3	1671,17	892,7	2563,9
360	186,7	0,0018950	0,006950	1726,2	2351,9	1761,53	720,1	2481,6

## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo B1 E1 G2

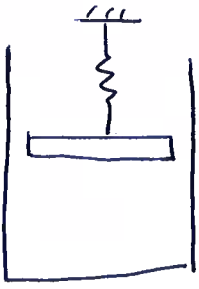
**No está permitido el empleo de calculadoras programables ni la consulta de libros, apuntes o formularios. Los teléfonos móviles y relojes “smartwatch” deberán permanecer apagados y fuera del alcance del alumno.**

Un sistema cilindro-pistón vertical, de  $0,75 \text{ m}^2$  de sección, cerrado por un pistón de masa despreciable y sin rozamiento, contiene 125 g de un gas perfecto ( $R = 208 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ;  $\gamma = 5/3$ ). Sobre el pistón actúa un muelle que cuando el gas se encuentra a la presión atmosférica (1 bar), ocupando un volumen de  $5 \text{ dm}^3$ , está en contacto con el pistón, con su longitud natural.

En el estado inicial, el gas ocupa un volumen de  $20 \text{ dm}^3$ . Se suministra calor al gas de modo que éste sufre un proceso politrópico hasta que tanto su volumen como su presión se duplican.

Se pide:

- a) Exponente politrópico
- b) Constante de rigidez del muelle
- c) Presión final del gas
- d) Calor intercambiado con el gas
- e) Diagrama  $p - v$  del proceso



$$m_p \geq 0$$

$$A_p = 0,75 \text{ m}^2$$

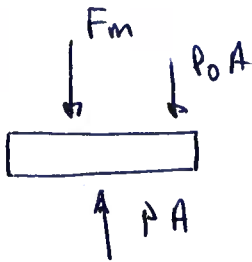
$$m_g = 0,125 \text{ kg}$$

$$(1) \left[ v_1 = 0,02 \text{ m}^3 \right]$$

$$(2) \left[ \begin{array}{l} v_2 = 2 v_1 \\ p_2 = 2 p_1 \end{array} \right]$$

$$\left[ \begin{array}{l} R = 0,208 \text{ kJ/kg-K} \\ \gamma = 1,67 \end{array} \right]$$

$$\left[ \begin{array}{l} p = 1 \text{ bar} \\ v_N = 0,005 \text{ m}^3 \end{array} \right]$$



1-2 = politisirno

$$\left\{ \begin{array}{l} p = p_0 + \frac{k(\gamma - \gamma_N)}{A^2} = \left( p_0 - \frac{k \gamma_N}{A^2} \right) + \frac{k}{A^2} \gamma \\ p \gamma^n = \text{cte} \Rightarrow \boxed{n = -1} \end{array} \right. \quad \gamma \quad p_0 = \frac{k \gamma_N}{A^2}$$

$$\boxed{k = \frac{100 \times 0,75^2}{0,005} = 11250 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}}$$

$$\boxed{p_2 = p_0 + \frac{k(\gamma_2 - \gamma_N)}{A^2} =}$$

$$= 100 + 11250 \frac{2 \times 0,02 - 0,005}{0,75^2} = \boxed{800 \text{ kPa}}$$

$$p_1 = p_2 / 2 = 400 \text{ kPa}$$

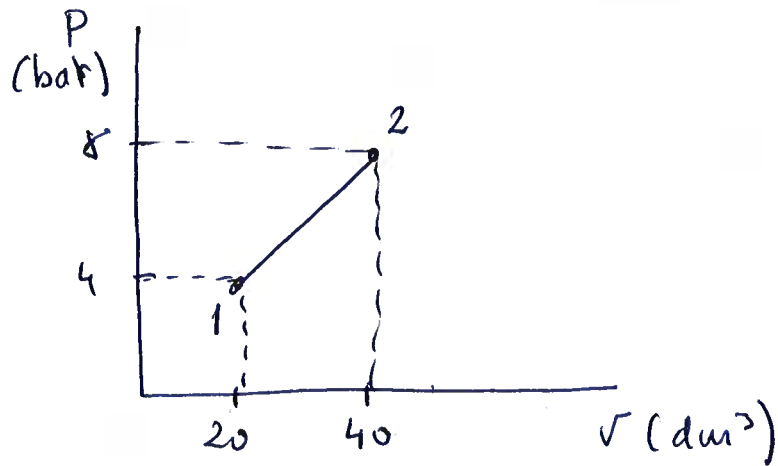
$$T_1 = \frac{400 \times 0,02}{0,125 \times 0,208} = 307,69 \text{ K} ; T_2 = \frac{800 \times 0,04}{0,125 \times 0,208} = 1230,77 \text{ K}$$

$$Q_{12} = W_{12} + m C_v (T_2 - T_1)$$

$$W_{12} = \frac{p_1 + p_2}{2} (\gamma_2 - \gamma_1) = \frac{400 + 800}{2} \times (0,04 - 0,02) = 12 \text{ kJ}$$

$$\boxed{Q_{12} = 12 + 0,125 \times (0,312) \times (1230,77 - 307,69) \approx \underline{\underline{48 \text{ kJ}}}}$$

$$R = C_p - C_v = C_v (r - 1) \rightarrow C_v = 0,312 \text{ kJ/kg-K}$$



## TERMODINÁMICA

### Ejercicio del Tema 3

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo A2 B2 E2

**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.**

200 g de un gas perfecto ( $R = 208 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ;  $\gamma = 5/3$ ) se encuentran encerrados en un sistema cilindro-pistón vertical, ocupando un volumen de  $0,1 \text{ m}^3$ , a una temperatura de 300 K. El volumen ocupado por el gas está cerrado por un pistón de 200 kg y  $0,1 \text{ m}^2$  de sección, de espesor despreciable, aislado térmicamente, que descansa sobre unos soportes. El espacio comprendido entre el pistón y el borde superior del cilindro tiene 5 m de altura, y está lleno de agua ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ). Se suministra energía en forma de calor al gas, de modo que transcurrido un cierto tiempo el pistón comienza a ascender lentamente, desbordando el agua por el borde del cilindro. El proceso finaliza cuando el pistón alcanza el borde del cilindro y, por tanto, no queda agua sobre él. La presión atmosférica es 1 bar.

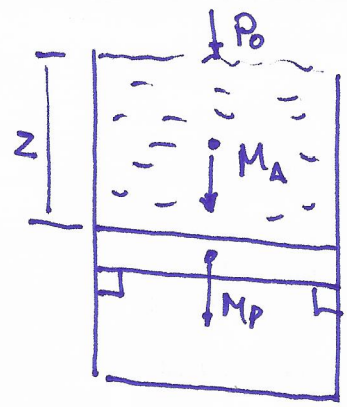
Se pide:

- a) Temperatura del gas cuando el pistón comienza a ascender
- b) Temperatura del gas en el estado final del proceso
- c) Trabajo realizado por el gas
- d) Calor suministrado al gas
- e) Diagrama  $p - v$  del proceso

$$\textcircled{1} \quad P_1 V_1 = n R T_1 \rightarrow P_1 = \underline{1.248 \text{ bar}}$$

$$P_0 + \frac{M_A g}{A} + \frac{M_P g}{A} = P_0 + \rho_A g z + \frac{M_P g}{A} = 1.687 \text{ bar}$$

→ El proceso 1-2 transcurre a  $V = \text{cte}$  hasta que se igualan las presiones.



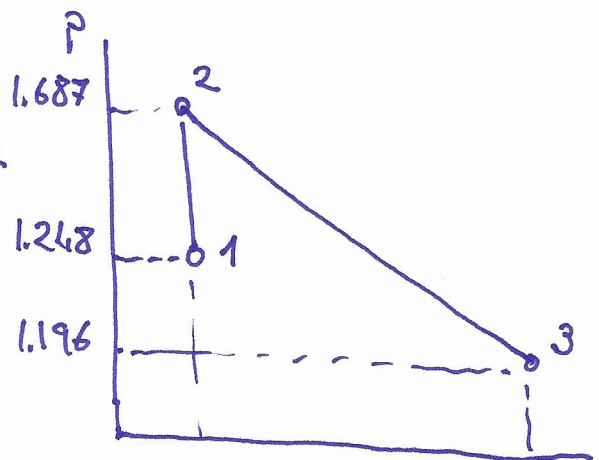
$$\textcircled{2} \quad V_2 = V_1 \text{ (el pistón no se ha separado de los gases)}$$

$$P_2 = P_0 + \rho_A g z + \frac{M_P g}{A} = \underline{1.687 \text{ bar}}$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{n R} = \underline{405.5 \text{ K}}$$

$$\textcircled{3} \quad \left. \begin{aligned} V_3 &= V_1 + A \cdot z = 0.6 \text{ m}^3 \\ P_3 &= P_0 + \frac{M_P g}{A} = 1.196 \text{ bar} \end{aligned} \right\} \rightarrow T_3 = \frac{P_3 V_3}{n R} = \underline{1725.3 \text{ K}}$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma; \quad C_p - C_v = R \rightarrow C_v = \frac{R}{\gamma - 1} = 312 \text{ J/kgK}$$



1.2

$$W_{12} = 0$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = n C_v (T_2 - T_1) = 6580.5 \text{ J}$$

2.3

$$W_{23} = \frac{P_2 + P_3}{2} (V_3 - V_2) = 72072.5 \text{ J}$$

$$Q_{23} = W_{23} + \Delta U_{23} = W_{23} + n C_v (T_3 - T_2) = 154430 \text{ J}$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = \underline{161010.5 \text{ J}}$$

$$W = W_{23} = \underline{72072.5 \text{ J}}$$