

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.

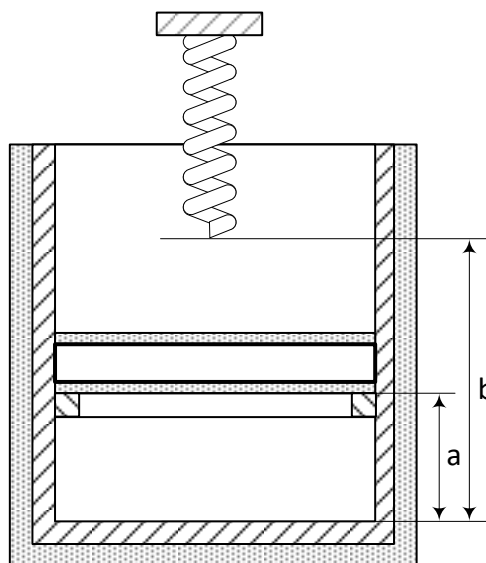
Problema -1 (6 puntos)

La figura inferior muestra un dispositivo cilindro-pistón de 200 mm de diámetro cuyas paredes (tanto del cilindro como del pistón) están aisladas térmicamente. La masa del pistón es de 400 kg. A una cierta cota (b) desde la base del cilindro se sitúa un muelle de rigidez 5 kN/m que en su posición inicial carece de deformación. El dispositivo contiene 100 g de un gas ideal ($R = 296,8 \text{ J/kg-K}$) cuyas tablas se adjuntan. La presión ambiente es de 95 kPa.

En el estado inicial el pistón descansa sobre un anillo, ocupando el gas 50 dm^3 y encontrándose a 20°C . Instantáneamente se retira el aislante de la base del cilindro y se coloca éste sobre un sólido de 7 kg ($c = 486,5 \text{ J/kg-K}$; $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$) que inicialmente está a 400°C . Se verifica entonces un proceso cuasiestático que finaliza cuando el muelle se ha comprimido 16 cm.

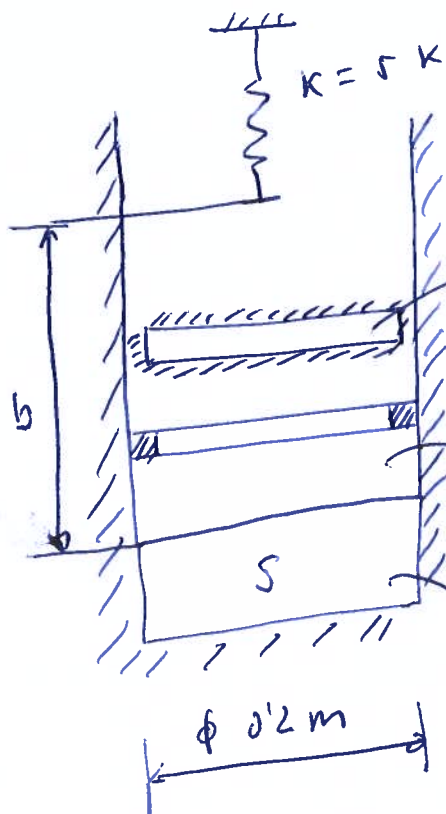
Determinar:

- Diagrama p-v del proceso.
- Fuerza que ejerce el anillo sobre el pistón en el estado inicial.
- Temperatura final del sólido.
- Cota “b”.



T [°C]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
0	0	81,03
5	3,698	86,21
10	7,396	91,4
15	11,09	96,58
20	14,79	101,8
25	18,49	106,9
30	22,19	112,1
35	25,9	117,3
40	29,6	122,5
45	33,31	127,7
50	37,01	132,9
55	40,72	138,1
60	44,44	143,3
65	48,15	148,5
70	51,87	153,7
75	55,59	158,9
80	59,31	164,1
85	63,04	169,3
90	66,77	174,5
95	70,5	179,7
100	74,23	184,9
105	77,97	190,2
110	81,72	195,4
115	85,46	200,6
120	89,22	205,9
125	92,97	211,1
130	96,73	216,3
135	100,5	221,6
140	104,3	226,8
145	108	232,1
150	111,8	237,4
155	115,6	242,6
160	119,4	247,9
165	123,2	253,2
170	127	258,5
175	130,8	263,7
180	134,6	269
185	138,4	274,3
190	142,2	279,6
195	146	284,9
200	149,8	290,2
205	153,7	295,6
210	157,5	300,9
215	161,3	306,2
220	165,2	311,5
225	169	316,9
230	172,9	322,2
235	176,8	327,6
240	180,6	332,9
245	184,5	338,3

T [°C]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
250	188,4	343,6
255	192,3	349
260	196,2	354,4
265	200,1	359,7
270	204	365,1
275	207,9	370,5
280	211,8	375,9
285	215,7	381,3
290	219,6	386,7
295	223,5	392,1
300	227,5	397,6
305	231,4	403
310	235,4	408,4
315	239,3	413,9
320	243,3	419,3
325	247,2	424,7
330	251,2	430,2
335	255,2	435,7
340	259,2	441,1
345	263,2	446,6
350	267,2	452,1
355	271,2	457,6
360	275,2	463
365	279,2	468,5
370	283,2	474
375	287,2	479,5
380	291,2	485,1
385	295,3	490,6
390	299,3	496,1
395	303,4	501,6
400	307,4	507,2
405	311,5	512,7
410	315,5	518,3
415	319,6	523,8
420	323,7	529,4
425	327,8	534,9
430	331,8	540,5
435	335,9	546,1
440	340	551,7
445	344,1	557,3
450	348,2	562,8
455	352,4	568,4
460	356,5	574,1
465	360,6	579,7
470	364,7	585,3
475	368,9	590,9
480	373	596,5
485	377,2	602,2
490	381,3	607,8
495	385,5	613,5



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

$$m_p = 400 \text{ kg}$$

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

$$R = 0.2968 \text{ kJ/kg-K}$$

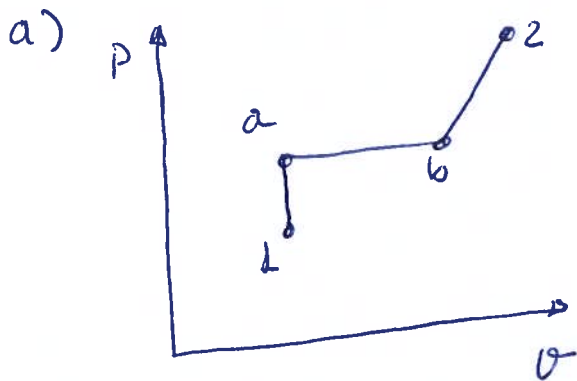
$$V_1 = 0.05 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$m_s = 7 \text{ kg}$$

$$c_s = 0.486 \text{ kJ/kg-K}$$

$$T_{is} = 400^\circ\text{C}$$

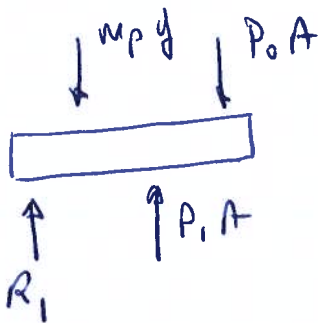


1-a: incremento de la presión hasta que el pistón despegue

a-b: movimiento del pistón antes de tocar el muelle

b-2: compresión del muelle.

b) Estado inicial



$$P_1 = \frac{m_g R T_{1g}}{V_1} = \frac{0.1 \times 0.2968 \times 293}{0.05} =$$

$$= 173.925 \text{ kPa}$$

$$173.925 + \frac{R_1}{A} = 95 + \frac{400 \times 9.8 \times 10^{-3}}{A}$$

$$\rightarrow \boxed{R_1 = 1.4405 \text{ kN}}$$

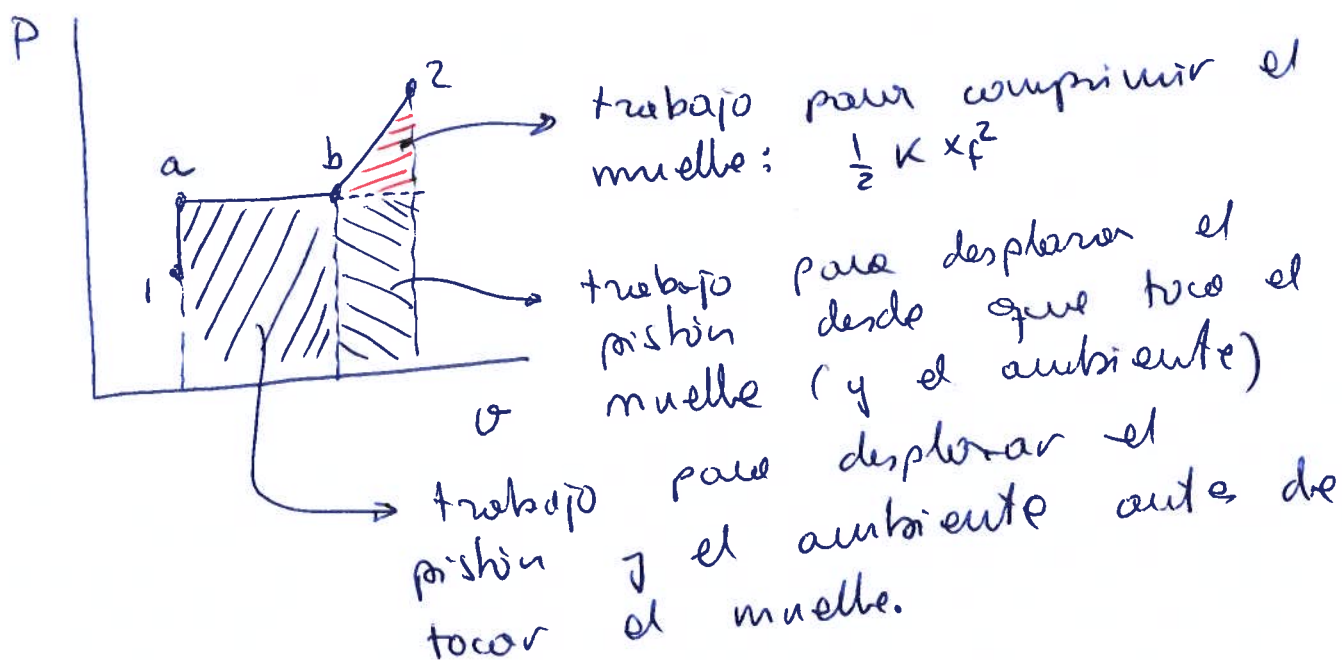
c) proceso

$$P_a = 95 + \frac{400 \times 9.8 \times 10^{-3}}{\frac{\pi \times 0.2^2}{4}} = 219.78 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_a + \frac{K \cdot x_f}{A} = 219.78 + \frac{5 \times 0.16}{\frac{\pi \cdot 0.2^2}{4}} = 245.24 \text{ kPa}$$

Tomando el sistema gas s6lido:

$$-W_{12} = m_y (u_2 - u_1) + m_s c_s (T_2 - T_{1s}) \quad [J]$$



$$W_{12} = P_a (\sqrt{b} - \sqrt{1}) + \frac{P_b + P_2}{2} \times (\sqrt{2} - \sqrt{b}) =$$

$$= P_a (\sqrt{2} - \sqrt{1}) + \frac{1}{2} K x_f^2 = 219.78 (\sqrt{2} - 0.05) +$$

$$+ \frac{1}{2} 5 \times 0.16^2 = 219.78 \sqrt{2} - 10.925 \quad [kJ]$$

↑
m³

$$P_2 \sqrt{2} = m_y R T_2 \Rightarrow 245,24 \sqrt{2} = 0,1 \times 0,2968 \times (T_2 + 273)$$

$$\hookrightarrow \sqrt{2} = 1,21024 \times 10^{-4} T_2 + 0,03304 \quad [2]$$

Sustituyendo [2] en [1]:

$$-219,78 [1,21024 \times 10^{-4} T_2 + 0,03304] + 10,925 =$$

$$= 0,1 [u_2 - 14,79] + 7 \times 0,486 (T_2 - 400)$$

Reordenando y simplificando:

$$\boxed{0,1 u_2 + 3,4286 T_2 - 1365,9425 = 0} = f(T_2)$$

Iterando en la tabla:

T_2	u_2	$f(T_2)$
395	303,4	18,6945
390	299,3	1,1415
T_2		0
385	295,3	-16,4015

$$T_2 - 385 = \frac{5}{1,1415 + 16,4015} 16,4015$$

$$\hookrightarrow \boxed{T_2 = 389,67^\circ\text{C}}$$

Volviendo a [2]:

$$\begin{aligned} V_2 &= 1,21024 \times 10^{-4} \times 389,67 + 0,03304 = \\ &= 0,0802 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Finalmente:

$$V_b = 0,0802 - \frac{\pi 0,2^2}{4} \times 0,16 = b \times \frac{\pi 0,2^2}{4}$$

$$\rightarrow \boxed{b = \underline{\underline{2,3928 \text{ m}}}}$$

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)

Una turbina de vapor (ver tablas adjuntas) de acción dispone de dos componentes:

- Tobera (1-2): Un caudal de $523 \text{ m}^3/\text{h}$ de vapor llega (1) a 10 bar y 300°C , expandiéndose hasta 1,6 bar siguiendo un proceso politrópico adiabático con disipación interna (irreversibilidad interna). La velocidad a la salida de la tobera es de 836 m/s .
- Rodete (2-3): El vapor entra (2) en un rodete que gira a gran velocidad transformando la energía cinética del vapor en trabajo en el eje. Dicha transformación se produce a presión constante y de forma adiabática, en presencia de fuerzas disipativas internas (irreversibilidades internas). El rodete logra convertir el 61% de la energía cinética a su entrada en trabajo en el eje.

La velocidad del vapor a la entrada de la tobera (1) y a la salida del rodete (3) se considera despreciable.

Se pide:

- Índice politrópico del proceso en la tobera.
- Potencia en el eje del rodete.
- Potencia de las fuerzas disipativas internas tanto en la tobera como en el rodete.

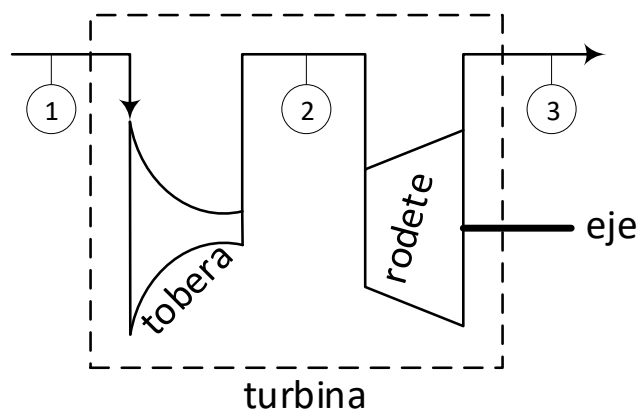
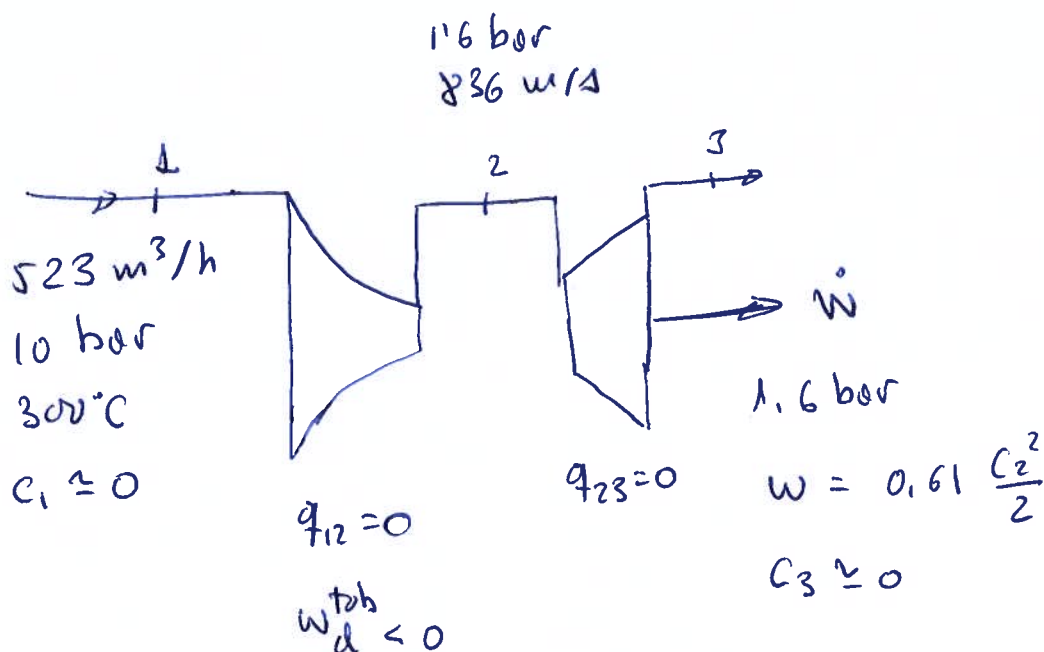


Tabla de saturación (líquido-vapor)

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]
0,5	81,316	0,00103	3,24	340,5	2483	340,5	2645	1,0912	7,5930
1	99,606	0,001043	1,694	417,4	2506	417,5	2675	1,3028	7,3589
1,5	111,350	0,001053	1,159	467	2519	467,1	2693	1,4337	7,2230
2	120,211	0,001061	0,8858	504,5	2529	504,7	2706	1,5302	7,1270
2,5	127,412	0,001067	0,7187	535,1	2537	535,3	2717	1,6072	7,0525
3	133,523	0,001073	0,6058	561,1	2543	561,4	2725	1,6717	6,9917
8	170,407	0,001115	0,2403	720	2576	720,9	2768	2,0456	6,6616
8,5	172,936	0,001118	0,2269	731	2578	732	2771	2,0705	6,6409
9	175,350	0,001121	0,2149	741,6	2580	742,6	2773	2,0940	6,6213
9,5	177,661	0,001124	0,2041	751,7	2581	752,7	2775	2,1165	6,6027
10	179,878	0,001127	0,1944	761,4	2583	762,5	2777	2,1381	6,5850
10,5	182,009	0,00113	0,1855	770,7	2584	771,9	2779	2,1587	6,5681
11	184,062	0,001133	0,1775	779,8	2585	781	2781	2,1785	6,5520
11,5	186,042	0,001136	0,1701	788,5	2587	789,8	2782	2,1975	6,5365
12	187,957	0,001138	0,1633	797	2588	798,3	2784	2,2159	6,5217

Tabla de vapor sobrecalentado

p = 1,6 bar (T _{sat} = 113,3 °C)					p = 10 bar (T _{sat} = 179,9 °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]
Tsat	1,091	2521	2696	7,2015	Tsat	0,1944	2583	2777	6,5850
115	1,097	2524	2700	7,2108	210	0,2116	2641	2852	6,7456
120	1,112	2532	2710	7,2379	215	0,2143	2650	2864	6,7697
125	1,128	2540	2721	7,2644	220	0,217	2659	2876	6,7934
130	1,143	2548	2731	7,2904	225	0,2197	2667	2887	6,8165
135	1,159	2556	2741	7,3158	230	0,2223	2676	2898	6,8393
140	1,174	2564	2752	7,3408	235	0,2249	2685	2910	6,8616
145	1,189	2572	2762	7,3654	240	0,2276	2693	2921	6,8836
150	1,204	2579	2772	7,3896	245	0,2302	2702	2932	6,9052
155	1,219	2587	2782	7,4135	250	0,2327	2710	2943	6,9265
160	1,234	2595	2792	7,4369	255	0,2353	2719	2954	6,9475
165	1,249	2603	2802	7,4601	260	0,2379	2727	2965	6,9681
170	1,264	2610	2813	7,4829	265	0,2404	2736	2976	6,9885
175	1,279	2618	2823	7,5055	270	0,243	2744	2987	7,0087
180	1,294	2626	2833	7,5277	275	0,2455	2752	2998	7,0286
185	1,309	2633	2843	7,5497	280	0,248	2761	3009	7,0482
190	1,324	2641	2853	7,5714	285	0,2505	2769	3019	7,0676
195	1,339	2648	2863	7,5929	290	0,253	2777	3030	7,0868
200	1,353	2656	2873	7,6141	295	0,2555	2785	3041	7,1058
205	1,368	2664	2883	7,6351	300	0,258	2794	3052	7,1246
210	1,383	2671	2893	7,6559	305	0,2605	2802	3062	7,1432



Tobora

$$v_1 = 0,258 \text{ m}^3/\text{kg} ; \dot{m} = \frac{523}{3600} \times \frac{1}{0,258} = 0,5631 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$h_1 = 3052 \text{ kJ/kg}$$

$$3052 = h_2 + \frac{836^2}{2000} \Rightarrow h_2 = 2702,55 \text{ kJ/kg}$$

$$v_2 = 1,1 \text{ m}^3/\text{kg}$$

La curva politrópica solo se puede aplicar en su forma original, al NO ser el fluido un gas ideal o perfecto.

$$10 \times 0,258^{n_{\text{tob}}} = 1,6 \times 1,1^{n_{\text{tob}}}$$

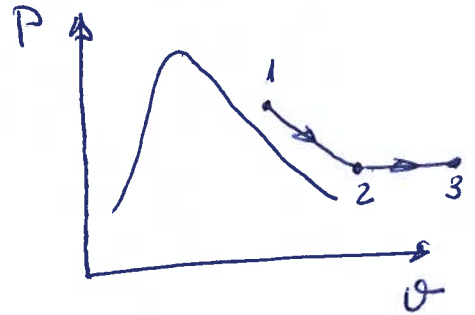
$$\rightarrow \boxed{n_{\text{tob}} = 1,2638}$$

Roquete

$$2702,55 + \frac{836^2}{2000} = w + h_3$$

$$w = 0,61 \times \frac{836^2}{2000} = 213,1633 \text{ kJ/kg}$$

$$\boxed{\dot{W}} = \dot{m} w = \underline{\underline{120,03 \text{ kW}}}$$



Trabajo disipativo

$$\boxed{\text{tubo}} \quad - \int_1^2 v dp = -w_d^{th} + \frac{C_2^2}{2}$$

$$\frac{\eta_{th}}{1 - \eta_{th}} \underbrace{(P_2 v_2 - P_1 v_1)}_{\neq R(T_2 - T_1)} = -w_d^{th} + \frac{C_2^2}{2}$$

$$\frac{1,2638}{1 - 1,2638} \left[160 \times 1,1 - 1000 \times 0,258 \right] = -w_d^{th} + \frac{836^2}{2000}$$

$$\rightarrow w_d^{th} = -43,3935 \text{ kJ/kg}$$

$$\boxed{\dot{W}_d^{th} = -24,435 \text{ kW}}$$

Rocket

$$- \int_2^3 v dp = 0 = w - w_d^{rod} - \frac{C_2^2}{2}$$

$$P_2 = P_3$$

$$w_d^{rod} = 213,1633 - \frac{836^2}{2000} = -136,2847 \text{ kJ/kg}$$

$$\boxed{\dot{W}_d^{rod} = \dot{m} w_d^{rod} = \underline{\underline{-76,74 \text{ kW}}}}$$