

TERMODINÁMICA

Examen Intersemestral

Nombre _____ Grupo _____

Problema -1

Se tiene un dispositivo cilindro pistón en posición vertical con todas sus superficies térmicamente aisladas. El pistón tiene una masa de 100 kg y un diámetro de 250 mm. El cilindro contiene 50 g de un gas ideal ($R = 188,5 \text{ J/kg-K}$) cuyas tablas se adjuntan. Las condiciones ambiente son de 95 kPa y 15°C. El estado inicial es de equilibrio y el pistón está separado 50 cm de la base del cilindro.

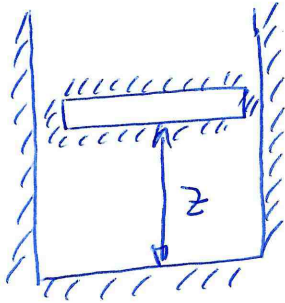
Súbitamente se deja caer sobre el pistón una masa de 1500 kg que queda incrustada en el pistón y se espera hasta que se alcanza el equilibrio de nuevo. Tómese $g = 9,8 \text{ N/kg}$.

Se pide:

- a) Temperatura inicial del gas.
- b) Temperatura final del gas.
- c) Distancia que separa el pistón de la base del cilindro en el estado final.
- d) Trabajo desarrollado por el gas.

Tablas de la sustancia como gas ideal

T [°C]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]	T [°C]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
10	13,74	67,13	70	106,3	171
12	16,55	70,31	72	109,6	174,7
14	19,37	73,51	74	113	178,5
16	22,21	76,73	76	116,5	182,3
18	25,07	79,96	78	119,9	186,1
20	27,95	83,22	80	123,4	190
22	30,85	86,5	82	126,9	193,8
24	33,77	89,79	84	130,4	197,7
26	36,71	93,11	86	133,9	201,6
28	39,66	96,44	88	137,4	205,5
30	42,64	99,8	90	141	209,4
32	45,64	103,2	92	144,5	213,4
34	48,65	106,6	94	148,1	217,4
36	51,69	110	96	151,8	221,4
38	54,74	113,4	98	155,4	225,4
40	57,81	116,9	100	159	229,4
42	60,91	120,3	102	162,7	233,4
44	64,02	123,8	104	166,4	237,5
46	67,15	127,3	106	170,1	241,6
48	70,3	130,9	108	173,8	245,7
50	73,47	134,4	110	177,6	249,8
52	76,66	138	112	181,3	254
54	79,87	141,6	114	185,1	258,1
56	83,1	145,2	116	188,9	262,3
58	86,35	148,8	118	192,8	266,5
60	89,62	152,4	120	196,6	270,7
62	92,91	156,1	122	200,5	275
64	96,22	159,8	124	204,3	279,2
66	99,54	163,5	126	208,2	283,5
68	102,9	167,2	128	212,1	287,8



Piston

$$m_p = 100 \text{ kg}$$

$$d_p = 0.25 \text{ m}$$

$$z_1 = 0.5 \text{ m}$$

Gas

$$m = 0.05 \text{ g}$$

$$R = 0.1885 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \text{ (ideal)}$$

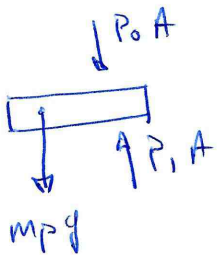
Ambiente

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

$$T_0 = 15^\circ \text{C}$$

Proceso NO estático; $m_c = 1500 \text{ kg}$; $g = 9.8 \text{ N/kg}$

Estado inicial



$$P_1 = 95 + \frac{100 \times 9.8 \times 10^{-3}}{\frac{\pi 0.25^2}{4}} = 114.964 \text{ kPa}$$

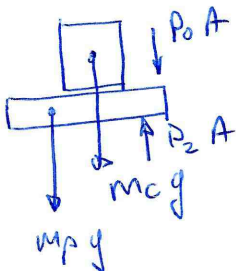
$$V_1 = \frac{\pi 0.25^2}{4} \times 0.5 = 0.02454 \text{ m}^3$$

$$T_1 = \frac{114.964 \times 0.02454}{0.05 \times 0.1885} - 273 = \underline{\underline{26.38^\circ \text{C}}}$$

Interpolando en la tabla:

$$u_1 = 37.27 \text{ kJ/kg}$$

Estado final



$$P_2 = P_1 + m_c g / A = 114.964 + \frac{1500 \times 9.8 \times 10^{-3}}{\frac{\pi 0.25^2}{4}} = 414.43 \text{ kPa}$$

Tomando el gas como sistema:

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

Al ser un proceso no estático el trabajo no se puede calcular a partir de la presión equivalente a las fuerzas externas, que son constantes durante el proceso al no rebotar la carga.

$$\begin{aligned}
 W_{12} &= \int_1^2 P_e dV = P_e (V_2 - V_1) = P_2 (V_2 - V_1) = \\
 &= mRT_2 - P_2 V_1 = 0,05 \times 0,1885 (T_2 + 273) - \\
 &\quad - 414,964 \times 0,02454 \text{ [kJ]} \\
 &= 0,05 \times 0,1885 (T_2 + 273) - \frac{414,964 \times 0,02454}{0,05} = \\
 &= 0,05 (u_2 - 37,27)
 \end{aligned}$$

$$-0,1885 T_2 + 189,2425 = u_2$$

$$\rightarrow u_2 + 0,1885 T_2 - 189,2425 = 0 = f(T_2)$$

T_2	u_2	$f(T_2)$
90	141	-31,2775
100	159	-11,3925
110	177,6	+9,0925
104	166,4	-3,2385
106	170,1	+0,8385

$$T_2 - 104 = \frac{106 - 104}{0,8385 + 3,2385} (0 + 3,2385)$$

$$\boxed{T_2 = 105,59^\circ\text{C}}$$

$$v_2 = \frac{0'05 \times 0,1885 (105'59 + 273)}{414,43} = 0'00861 \text{ m}^3$$

$$\boxed{z_2 = \frac{0'00861}{\frac{\pi 0,25^2}{4}} = \underline{\underline{0,1754 \text{ m}}}}$$

$$\boxed{W_{12} = P_2 (v_2 - v_1) = 414,43 (0,00861 - 0,02454) = \underline{\underline{-6,6019 \text{ kJ}}}}$$

El trabajo es comunicado al gas por las fuerzas externas que actúan en su superficie.

TERMODINÁMICA

Examen Intersemestral

Nombre _____ Grupo _____

Problema -2

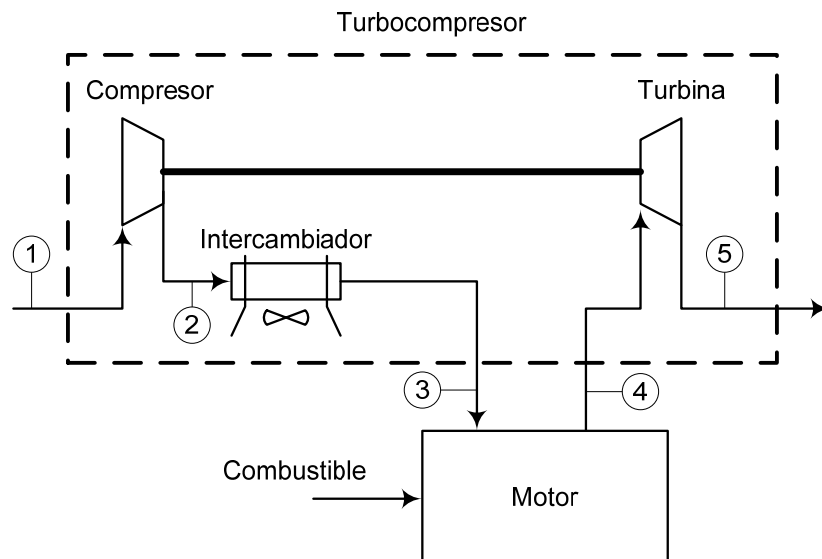
La figura adjunta representa el turbocompresor de un motor de automóvil. Consta de un compresor que es accionado por la turbina y un intercambiador de calor aire/aire. La turbina es movida por los gases de escape del motor.

Se sabe que en el compresor, que se puede considerar adiabático y libre de irreversibilidades, entran (1) 0,018 kg/s de aire ($R = 0,287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$; $\gamma = 1,4$) en condiciones de 100 kPa y 45°C y salen a 180 kPa (2). Tras abandonar el compresor el aire se introduce en un intercambiador de calor del que sale (3) a 75°C. Por la otra rama del intercambiador entra aire a 30°C y sale a 45°C.

La turbina recibe (4) un gasto másico de 0,02 kg/s de gases de escape con una presión de 150 kPa que salen de la misma (5) a 100 kPa y 260°C. La turbina está mal aislada y disipa calor al exterior (500 W), existiendo en ella irreversibilidades internas. El proceso de expansión que tiene lugar en la turbina se puede asimilar a una politrópica.

Suponiendo que los gases de escape tienen las mismas propiedades que el aire, calcular:

- Gasto másico de aire de refrigeración en el intercambiador.
- Índice del proceso politrópico en la turbina
- Potencia disipada por irreversibilidades en la turbina.



Compresor

En el compresor el proceso es adiabático y libre de irreversibilidades, por lo que al desarrollarse sobre un gas perfecto ($\gamma = 1.4$) se aproxima a una politrópica con $n = \gamma$

$$\frac{T_2}{273 + 45} = \left(\frac{180}{100} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \Rightarrow T_2 = 103,15^\circ\text{C}$$

$$R = c_p - c_v = c_p \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) \rightarrow c_p = 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_c &= \dot{m}_c c_p (T_2 - T_1) = 0,018 \times 1,005 \times (103,15 - 45) = \\ &= 1,05 \text{ kW} = 1051,95 \text{ W} \end{aligned}$$

Intercambiador

$$\dot{m}_c c_p (T_2 - T_3) = \dot{m}_a c_p \Delta T_a$$

$$\boxed{\dot{m}_a = \frac{0,018 (103,15 - 75)}{45 - 30} = 0,03378 \text{ kg/s}}$$

Turbina

$$\dot{m}_T h_4 = \dot{W}_T + \dot{m}_T h_5 + \dot{Q}_T$$

$$\dot{W}_T = 0,02 \times 1,005 (T_4 - 260) - 500 =$$

$$= 20,10 T_4 - 5726 \text{ [W]}$$

Todo el trabajo producido por la turbina lo consume el compresor:

$$20,10 T_4 - 5726 = 1051,95$$

$$\rightarrow T_4 = 337,21^\circ\text{C}$$

$$\frac{337,21 + 273}{260 + 273} = \left(\frac{150}{100} \right)^{\frac{n-1}{n}} \rightarrow \boxed{n = 1,5}$$

Nótese que como en la turbina el proceso es adiabático y presenta irreversibilidades internas $n \neq \gamma$. Es decir, allí γ actúa sólo como una propiedad.

Aplicando la ecuación de Bernoulli (conservación de la energía mecánica):

$$\frac{\dot{m} R}{1-n} (T_5 - T_4) = \dot{W}_T - \dot{W}_D$$

$$\frac{0,02 \times 1,5}{1-1,5} \times 287 \times (260 - 337,21) = 1054,95 - \dot{W}_D$$

$$\boxed{\dot{W}_D = -277,61 \text{ W}}$$