PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
Instituto de Física
FIS1523 — Termodinámica
Primer Semestre 2022
Profesores: F. Castillo, M. Domínguez, M. Favre, G. García, A. Meza, M.J. Retamal

Examen

30 junio 2022

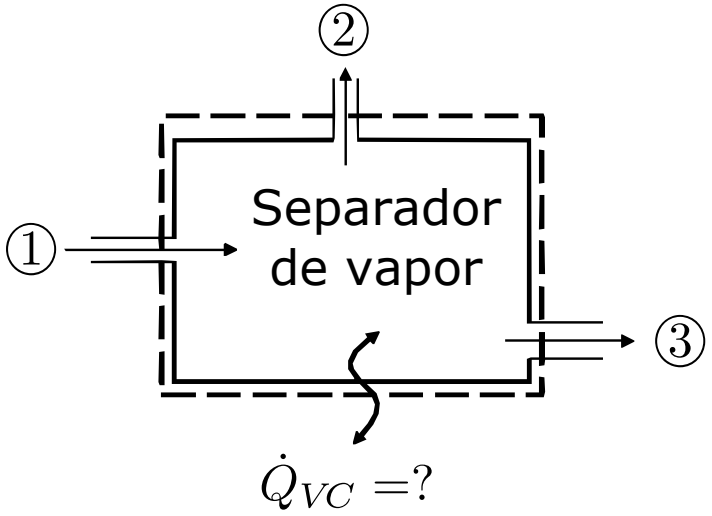
Tiempo: 2 horas

Reglas generales:

1. Los enunciados de los problemas y las hojas de respuesta vienen separadas.
2. Los enunciados de los problemas de desarrollo vienen junto con estas instrucciones.
3. Cada problema de desarrollo tiene un cuadernillo de respuesta individual.
4. Debe entregar todos los cuadernillos con las respuestas. No es necesario entregar los enunciados.
5. Debe poner su nombre y sección en cada cuadernillo de respuesta.
6. Cuando el encargado pase la lista, escriba su número de lista en cada cuadernillo de respuestas.
7. No separe las hojas de los cuadernillos de respuesta. No se pueden pedir hojas extra.
8. Consultas sólo de enunciado y en voz alta durante la primera media hora de la evaluación.
9. Se puede usar calculadora no programable.
10. No se puede usar celular. Guarde éste en su mochila.
11. No se puede prestar nada.
12. Si usa lápiz mina no podrá pedir recorrección.
13. El orden y las explicaciones son requisitos para obtener el puntaje máximo en cada problema.
14. Cualquier acto que vaya en contra del *código de honor* se sancionará con nota final 1.0 en el curso.

Problema 1 [6 puntos]

Considere el separador de vapor mostrado en la figura, que funciona en estado estacionario. Vapor con una calidad de 0,7, una presión de 150 kPa y un caudal de 10 kg/s entra en el separador por el punto ①. El vapor saturado a 150 kPa sale del separador por el punto ② con un caudal de 6,9 kg/s, mientras que el líquido saturado a 150 kPa sale del separador por el punto ③. Despreciando los efectos de energía cinética y potencial, determine la tasa de transferencia de calor, en kW, y su dirección asociada.



Problema 2 [6 puntos]

1 kg de aire como gas ideal ejecuta un ciclo de potencia de Carnot con una eficiencia térmica del 50 %. La transferencia de calor al aire durante la expansión isotérmica es de 50 kJ. Al final de la expansión isotérmica, la presión es de 574 kPa y el volumen es de 0,3 m^3. Determinar:

a) Las temperaturas máxima y mínima del ciclo en K. (1.5 ptos.)

b) La presión y el volumen al comienzo de la expansión isotérmica en kPa y m^3, respectivamente. (1.5 ptos.)

c) El trabajo y la transferencia de calor para cada uno de los cuatro procesos, en kJ. (1.5 ptos.)

d) Dibuje el ciclo en las coordenadas $P - V$. (1.5 ptos.)

Considere $R_{\text{aire}} = 0{,}287\,\text{kJ/kg·K}$.

Problema 3 [6 puntos]

Un recipiente inicialmente vacío con un volumen de 0,2 m^3 se llena con dióxido de carbono procedente de una línea a 1000 kPa, 500 K. Suponga que el proceso es adiabático y que el flujo continúa hasta que se detiene por sí solo. Considere capacidad calorífica constante para encontrar la masa y temperatura finales del dióxido de carbono en el recipiente y la generación de entropía total por el proceso. Considere $R_{m(CO_2)} = 0{,}1889\,\mathrm{kJ/kg{\cdot}K}$ y $c_{p(CO_2)} = 0{,}846\,\mathrm{kJ/kg{\cdot}K}$.

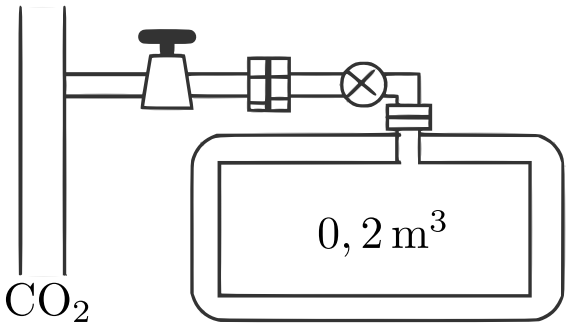


TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

		Volumen específico, m^3/kg		*Energía interna, kJ/kg*			*Entalpía, kJ/kg*			*Entropía, kJ/kg · K*		
Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Líq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líq. sat, h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

TABLE A7.1

Ideal-Gas Properties of Air, Standard Entropy at 0.1-MPa (1-Bar) Pressure

T (K)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s_T^0 (kJ/kg-K)	T (K)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s_T^0 (kJ/kg-K)
200	142.77	200.17	6.46260	1100	845.45	1161.18	8.24449
220	157.07	220.22	6.55812	1150	889.21	1219.30	8.29616
240	171.38	240.27	6.64535	1200	933.37	1277.81	8.34596
260	185.70	260.32	6.72562	1250	977.89	1336.68	8.39402
280	200.02	280.39	6.79998	1300	1022.75	1395.89	8.44046
290	207.19	290.43	6.83521	1350	1067.94	1455.43	8.48539
298.15	213.04	298.62	6.86305	1400	1113.43	1515.27	8.52891
300	214.36	300.47	6.86926	1450	1159.20	1575.40	8.57111
320	228.73	320.58	6.93413	1500	1205.25	1635.80	8.61208
340	243.11	340.70	6.99515	1550	1251.55	1696.45	8.65185
360	257.53	360.86	7.05276	1600	1298.08	1757.33	8.69051
380	271.99	381.06	7.10735	1650	1344.83	1818.44	8.72811
400	286.49	401.30	7.15926	1700	1391.80	1879.76	8.76472
420	301.04	421.59	7.20875	1750	1438.97	1941.28	8.80039
440	315.64	441.93	7.25607	1800	1486.33	2002.99	8.83516
460	330.31	462.34	7.30142	1850	1533.87	2064.88	8.86908
480	345.04	482.81	7.34499	1900	1581.59	2126.95	8.90219
500	359.84	503.36	7.38692	1950	1629.47	2189.19	8.93452
520	374.73	523.98	7.42736	2000	1677.52	2251.58	8.96611
540	389.69	544.69	7.46642	2050	1725.71	2314.13	8.99699
560	404.74	565.47	7.50422	2100	1774.06	2376.82	9.02721
580	419.87	586.35	7.54084	2150	1822.54	2439.66	9.05678
600	435.10	607.32	7.57638	2200	1871.16	2502.63	9.08573
620	450.42	628.38	7.61090	2250	1919.91	2565.73	9.11409
640	465.83	649.53	7.64448	2300	1968.79	2628.96	9.14189
660	481.34	670.78	7.67717	2350	2017.79	2692.31	9.16913
680	496.94	692.12	7.70903	2400	2066.91	2755.78	9.19586
700	512.64	713.56	7.74010	2450	2116.14	2819.37	9.22208
720	528.44	735.10	7.77044	2500	2165.48	2883.06	9.24781
740	544.33	756.73	7.80008	2550	2214.93	2946.86	9.27308

Examen - FIS1523 - 30 junio 2022

Nombre: _____

RUT: _____ Sección: _____ N. Lista: _____ Problema N°: _____

Examen - FIS1523 - 30 junio 2022

Nombre: _____

RUT: _____ Sección: _____ N. Lista: _____ Problema N°: _____

Examen - FIS1523 - 30 junio 2022

Nombre: _____

RUT: _____ Sección: _____ N. Lista: _____ Problema N°: _____

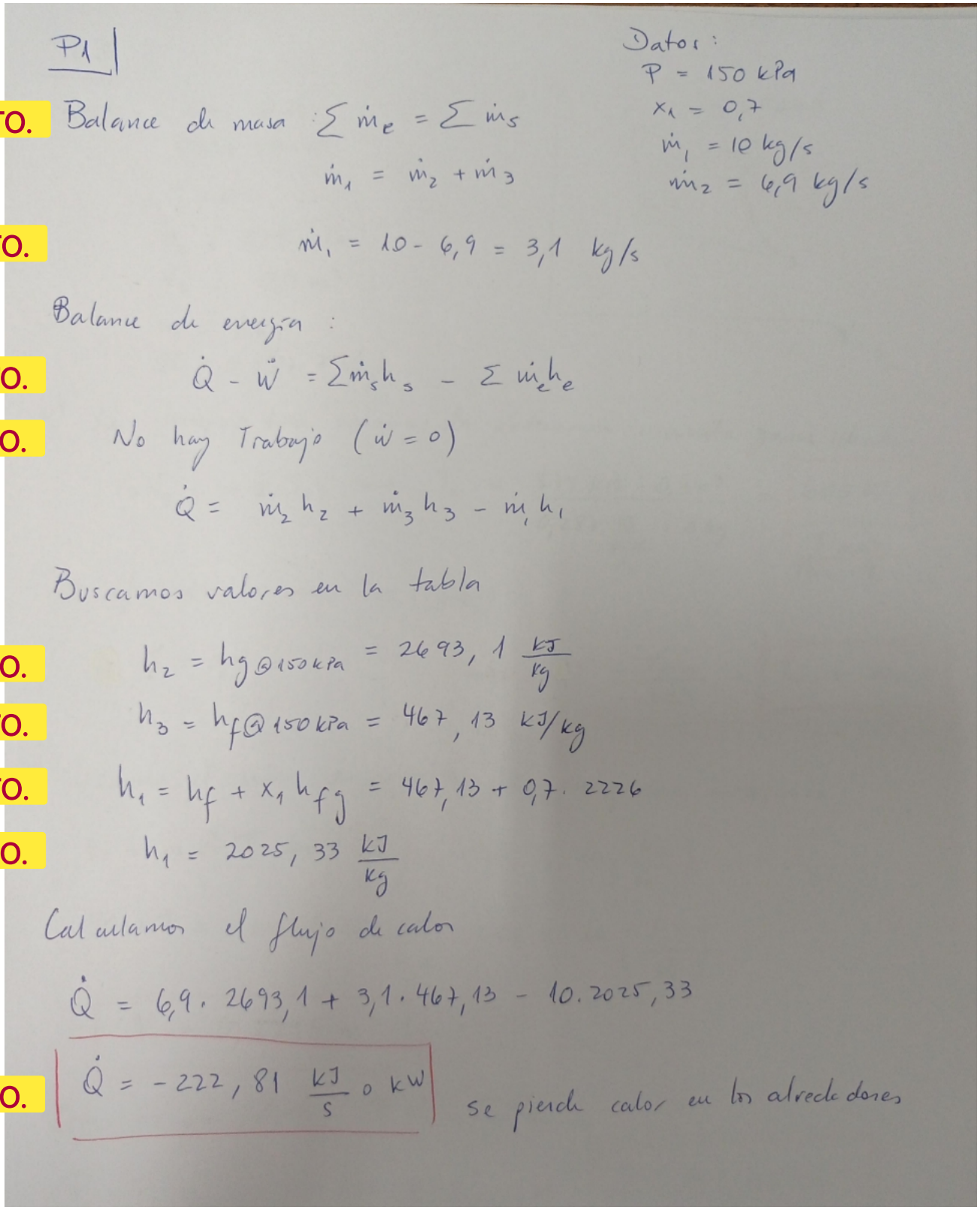
Examen - FIS1523 - 30 junio 2022

Nombre: _____

RUT: _____ Sección: _____ N. Lista: _____ Problema N°: _____

Pauta Examen FIS1523 2022-1

Comentario general: * En cada resultado o dato numérico, se descuenta 0.2 puntos si no tiene unidades.



P1

Datos:
$P = 150\ kPa$
$x_1 = 0,7$
$\dot{m}_1 = 10\ kg/s$
$\dot{m}_2 = 6,9\ kg/s$

+1.0 PTO. Balance de masa: $\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$

+0.5 PTO. $\dot{m}_1 = 10 - 6,9 = 3,1\ kg/s$

Balance de energía:

+1.0 PTO. $\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_s h_s - \sum \dot{m}_e h_e$

+0.5 PTO. No hay Trabajo ($\dot{W} = 0$)

$\dot{Q} = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_1 h_1$

Buscamos valores en la tabla

+0.5 PTO. $h_2 = h_{g@150kPa} = 2693,1\ \frac{kJ}{kg}$

+0.5 PTO. $h_3 = h_{f@150kPa} = 467,13\ kJ/kg$

+0.5 PTO. $h_1 = h_f + x_1 h_{fg} = 467,13 + 0,7 \cdot 2226$

+0.5 PTO. $h_1 = 2025,33\ \frac{kJ}{kg}$

Calculamos el flujo de calor

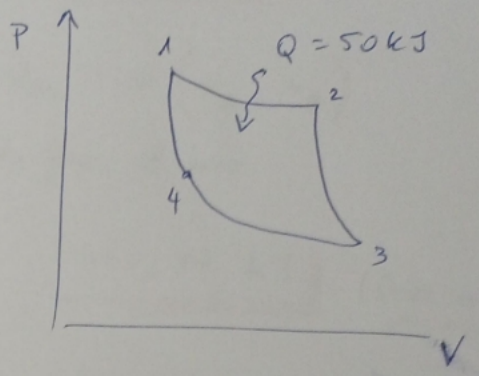
$\dot{Q} = 6,9 \cdot 2693,1 + 3,1 \cdot 467,13 - 10 \cdot 2025,33$

+1.0 PTO. $\dot{Q} = -222,81\ \frac{kJ}{s}$ o kW se pierde calor en los alrededores

P2

Datos: Gas ideal
Ciclo carnot

$\eta = 0,5$
$P_2 = 574\ kPa$
$V_2 = 0,3\ m^3$
$m = 1\ kg$
$R = 0,287\ kJ/kg\,k$



a) La temperatura máxima la obtenemos usando gases ideales

+0.5 PTO.

$$P_2 V_2 = m R T_2 \longrightarrow T_2 = \frac{574\ kPa \cdot 0,3\ m^3}{0,287\ \frac{kJ}{kg\,k} \cdot 1\ kg} = \boxed{600\ k}$$

+0.3 PTO.

T_{max}

$T_{max} = T_2 = T_1$

La eficiencia la conocemos, luego:

+0.2 PTO.

+0.5 PTO.

$$\eta = 0,5 = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} \Longrightarrow 0,5 = \frac{T_{min}}{600} \rightarrow \boxed{T_{min} = 300\ k}$$

$T_{min} = T_3 = T_4$

b) Usando el calor de entrada para un proceso isotérmico:

+0.5 PTO.

$$Q = m R T \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = m R \cdot T_2 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$50\ kJ = 1\ kg \cdot 0,287\ \frac{kJ}{kg\,k} \cdot 600\ k \ln\left(\frac{0,3}{V_1}\right)$$

$$\boxed{V_1 = 0,2245\ m^3}$$

+0.3 PTO.

Como es gas ideal $P_1 V_1 = P_2 V_2$

+0.5 PTO.

$$P_1 = P_2 \frac{V_2}{V_1} = 574\ kPa \cdot \frac{0,3\ m^3}{0,2245\ m^3} \Rightarrow \boxed{P_1 = 763,03\ kPa}$$

+0.2 PTO.

c) 1-2 isotérmico $W_{12} = Q_{12} = 50\ kJ$ +0.3 PTO.

2-3 adiabático $W_{23} = \Delta U_{23} = m(u_2 - u_3)$ +0.2 PTO.

Los valores se buscan en la tabla para el aire

$W_{23} = 435,1 - 214,36 = 220,74\ kJ$ +0.2 PTO. (Debe ser positivo)

3-4 isotérmico $W_{34} = Q_{34}$ +0.3 PTO.

Con la eficiencia podemos calcular el calor que sale:

$\eta = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{12}} \rightarrow 0,5 = \frac{Q_{34}}{50\ kJ} \rightarrow Q_{34} = 25\ kJ$

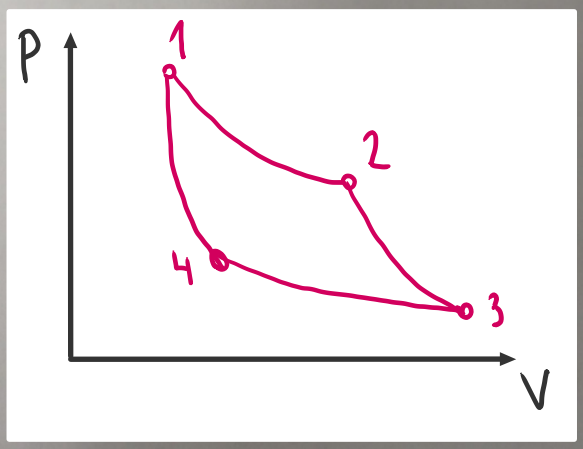
$W_{34} = -25\ kJ$ +0.2 PTO.

4-1 adiabático

$W_{41} = \Delta U_{41} = m(u_4 - u_1) = 1 \cdot (214,36 - 435,1)$

$W_{41} = -220,74\ kJ$ +0.3 PTO.

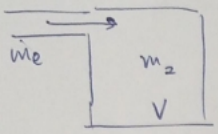
d)



+1.0 PTO: si etiqueta procesos del 1-4 de manera correcta

+0.5 PTO: si se diferencia pendientes de isotérmicos y adiabáticos

P3



Datos:

$V = 0{,}2\ m^3$

$P_e = 1000\ kPa$

$T_e = 500\ K$

Proceso adiabático $\Rightarrow Q = 0$

$c_p = 0{,}842\ \frac{kJ}{kgK}$

+0.5 PTO. Balance de masa: $\dot{m}_e - \dot{m}_s = \dot{m}_2 - \dot{m}_1$

$$m_e = m_2$$

Balance de energía

+0.5 PTO. $Q - W = m_s h_s - m_e h_e + (m_2 u_2 - m_1 u_1)$

Q: adiabático; W: no hay trabajo; $m_s h_s$: no hay salida; $m_e h_e$: entrada; $m_2 u_2$: final; $m_1 u_1$: inicio vacío

+0.5 PTO. $0 = -m_e h_e + m_2 u_2 \Rightarrow h_e = u_2$

Por definición de entalpía

$$h_2 = u_2 + P v_2$$

+0.2 PTO. $\Delta h = c_p \Delta T \rightarrow h_2 - h_{ent.} = c_p (T_2 - T_{ent})$ $T_{ent} = T^\circ$ entrada, $h_{ent} = h$ entrada

Luego:

+0.3 PTO. $u_2 + P v_2 - u_2 = c_p (T_2 - T_e)$

+0.5 PTO. $P \frac{V_2}{m_2} = c_p (T_2 - T_e)$

$$1000\ kPa \cdot \frac{0{,}2}{m_2} = 0{,}842\ \frac{kJ}{kgK} \cdot (T_2 - 500) \quad (1)$$

Por otro lado, podemos considerar como gas ideal

+0.5 PTO. $PV = nRT \rightarrow PV = \frac{m}{m_n} RT = mRT$

En el estado final

$$1000\ kPa \cdot 0,2 = m_2 \cdot 0,1889\ T_2$$

+0.5 PTO.

$$\frac{1000\ kPa \cdot 0,2 m^3}{m_2} = 0,1889 T_2 \quad (2)$$

Reemplazamos en (1)

$$0,1889\ T_2 = 0,842 \frac{kJ}{kg\,K} (T_2 - 500)$$

$$0,1889\ T_2 = 0,842\ T_2 - 421$$

$$421 = 0,6531\ T_2$$

+0.5 PTO.

$$T_2 = 644,6\ K$$

+0.5 PTO.

$$m_2 = \frac{1058,76}{T_2} = 1,643 kg$$

La entropía generada se obtiene de:

+0.5 PTO.

$$m_2 s_2 - \cancel{m_1 s_1}^{0} = m_e s_e - \cancel{m_s s_s}^{0} + S_{2\,gen}$$

$$S_{gen} = m_2 s_2 - m_e s_e \quad , \text{ pero } m_2 = m_e$$

$$= m_2 (s_2 - s_e)$$

+0.5 PTO.

y $\Delta s = s_2 - s_e = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_e}\right)$

$$S_{gen} = m_2 c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_e}\right) = 1,643 \cdot 0,842 \cdot \ln\left(\frac{644,6}{500}\right)$$

+0.5 PTO.

$$S_{gen} = 0,351 \frac{kJ}{K}$$