

## TERMODINÁMICA

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

### Problema – 1 (3 puntos)

**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.**

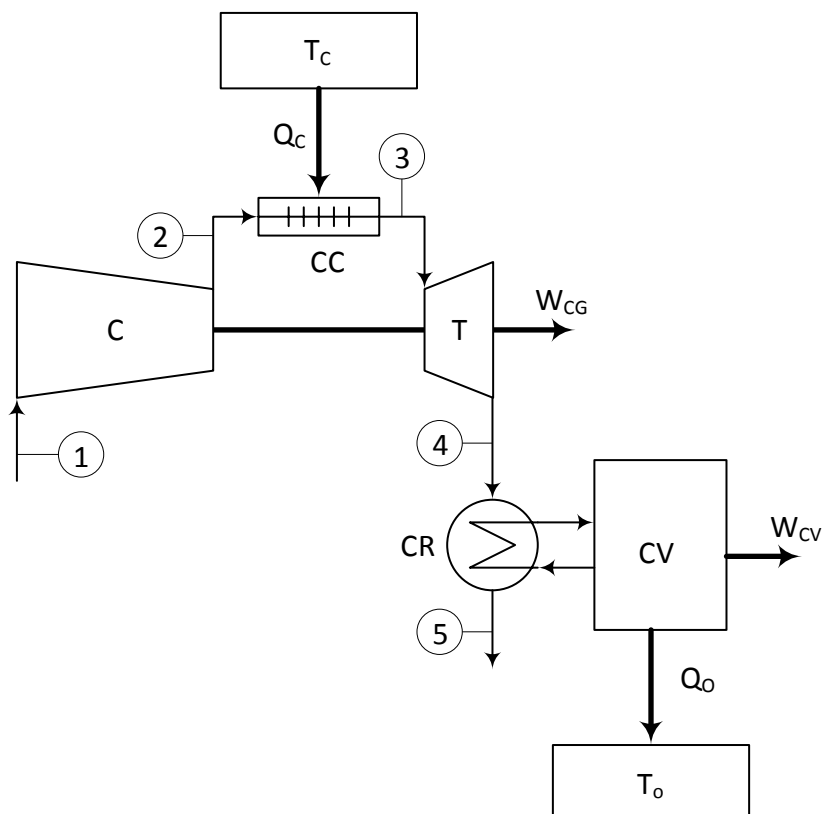
El esquema inferior representa un ciclo combinado. El compresor adiabático (C) aspira 1100 kg/s de aire (gas ideal,  $R = 287 \text{ J/kg-K}$ ) del ambiente ( $17^\circ\text{C}$ ; 1 bar) y lo entrega a la cámara de combustión (CC), que se modela como un aporte de calor externo a presión constante desde un foco a temperatura  $T_c$ . A la salida de la cámara de combustión el aire se encuentra a  $1097^\circ\text{C}$  y se dirige a una turbina adiabática (T) de rendimiento isentrópico 91,3%, donde se expande hasta la presión ambiente, saliendo de la misma (4) a  $532^\circ\text{C}$ . Seguidamente, el aire entra en la caldera de recuperación (CR), de rendimiento 75%, de la que sale sin perder presión.

La caldera de recuperación aporta calor a un ciclo de vapor que opera con un rendimiento del 31% y cede calor al ambiente (foco a  $T_o$ ). La potencia neta producida por el ciclo de gas es de 291,8 MW.

Determinar:

- Presión de salida del compresor.
- Potencia aportada en la cámara de combustión.
- Rendimiento isentrópico del compresor.
- Rendimiento del ciclo combinado.

$$\eta_{CR} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_1}$$



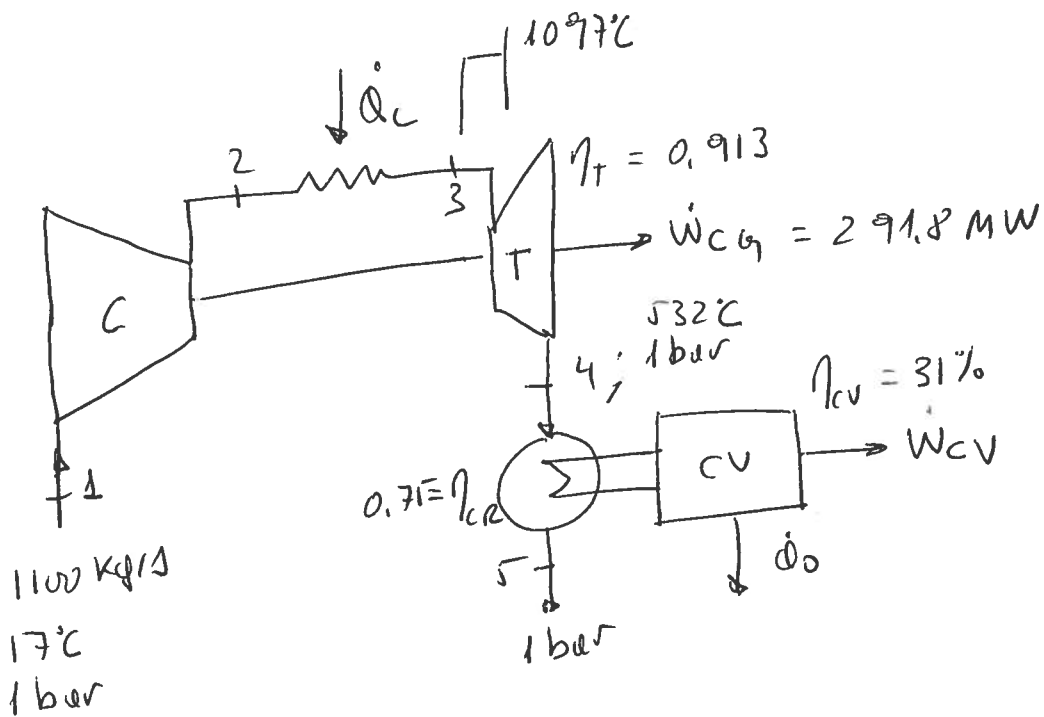


**Tablas del aire como gas ideal (Problema – 1)**

T [K]	h [kJ/kg]	s <sup>0</sup> [kJ/kg-K]	p <sub>r</sub> [-]	T [K]	h [kJ/kg]	s <sup>0</sup> [kJ/kg-K]	p <sub>r</sub> [-]
270	-3,161	-0,0116412	0,96025	630	365,5	0,852290	19,479
275	1,857	0,00677503	1,0239	635	370,8	0,860659	20,055
280	6,876	0,0248625	1,0905	640	376,1	0,868971	20,644
285	11,90	0,0426330	1,1601	645	381,4	0,877227	21,247
290	16,92	0,0600980	1,2329	650	386,7	0,885430	21,863
295	21,94	0,0772680	1,3089	655	392,0	0,893579	22,492
300	26,96	0,0941533	1,3882	660	397,3	0,901676	23,136
305	31,99	0,110794	1,4711	665	402,7	0,909720	23,793
310	37,01	0,127164	1,5574	670	408,0	0,917714	24,465
315	42,04	0,143273	1,6473	675	413,3	0,925657	25,152
320	47,07	0,159130	1,7409	680	418,7	0,933551	25,853
325	52,10	0,174741	1,8382	685	424,0	0,941395	26,570
330	57,13	0,190116	1,9393	690	429,4	0,949192	27,301
335	62,16	0,205261	2,0444	695	434,8	0,956941	28,048
340	67,20	0,220184	2,1535	700	440,1	0,964643	28,811
345	72,24	0,234892	2,2668	705	445,5	0,972299	29,590
350	77,28	0,249391	2,3842	710	450,9	0,979910	30,385
355	82,32	0,263687	2,5060	715	456,3	0,987475	31,196
360	87,36	0,277787	2,6321	720	461,7	0,994997	32,025
365	92,41	0,291696	2,7628	725	467,1	1,00247	32,870
370	97,46	0,305421	2,8981	730	472,5	1,00991	33,732
375	102,5	0,318966	3,0382	735	477,9	1,01730	34,612
380	107,6	0,332337	3,1831	740	483,3	1,02465	35,510
385	112,6	0,345538	3,3329	745	488,7	1,03196	36,426
390	117,7	0,358575	3,4877	750	494,2	1,03923	37,360
395	122,7	0,371452	3,6478	755	499,6	1,04645	38,313
400	127,8	0,384174	3,8131	760	505,1	1,05364	39,284
405	132,9	0,396744	3,9838	765	510,5	1,06079	40,275
410	137,9	0,409167	4,1600	770	516,0	1,06790	41,285
415	143,0	0,421448	4,3418	775	521,4	1,07497	42,314
420	148,1	0,433588	4,5294	780	526,9	1,08200	43,364
425	153,2	0,445593	4,7229	785	532,4	1,08899	44,433
430	158,3	0,457466	4,9223	790	537,8	1,09595	45,524
435	163,4	0,469210	5,1279	795	543,3	1,10287	46,635
440	168,4	0,480828	5,3397	800	548,8	1,10976	47,767
445	173,5	0,492324	5,5579	805	554,3	1,11661	48,920
450	178,6	0,503700	5,7826	810	559,8	1,12342	50,096
455	183,7	0,514960	6,0140	815	565,3	1,13020	51,293
460	188,9	0,526106	6,2521	820	570,8	1,13694	52,512
465	194,0	0,537141	6,4972	825	576,3	1,14366	53,754
470	199,1	0,548068	6,7493	830	581,9	1,15033	55,019
475	204,2	0,558889	7,0086	835	587,4	1,15697	56,308
480	209,3	0,569606	7,2752	840	592,9	1,16358	57,619
485	214,5	0,580222	7,5493	845	598,5	1,17016	58,955
490	219,6	0,590739	7,8311	850	604,0	1,17671	60,315
495	224,7	0,601160	8,1206	855	609,6	1,18322	61,699
500	229,9	0,611486	8,4181	860	615,1	1,18970	63,108
505	235,0	0,621719	8,7236	865	620,7	1,19615	64,542
510	240,2	0,631862	9,0374	870	626,3	1,20257	66,002
515	245,3	0,641916	9,3595	875	631,8	1,20896	67,487
520	250,5	0,651883	9,6903	880	637,4	1,21532	68,999
525	255,7	0,661765	10,030	885	643,0	1,22164	70,537
530	260,9	0,671564	10,378	890	648,6	1,22794	72,102
535	266,0	0,681282	10,735	895	654,2	1,23421	73,694
540	271,2	0,690919	11,102	900	659,8	1,24045	75,313
545	276,4	0,700478	11,478	905	665,4	1,24666	76,961
550	281,6	0,709960	11,863	910	671,0	1,25284	78,636
555	286,8	0,719367	12,259	915	676,6	1,25900	80,341
560	292,0	0,728699	12,664	920	682,2	1,26512	82,074
565	297,2	0,737959	13,079	925	687,9	1,27122	83,836
570	302,4	0,747148	13,504	930	693,5	1,27729	85,628
575	307,7	0,756266	13,940	935	699,1	1,28334	87,451
580	312,9	0,765316	14,387	940	704,8	1,28936	89,303
585	318,1	0,774299	14,844	945	710,4	1,29535	91,187
590	323,4	0,783215	15,313	950	716,1	1,30131	93,101
595	328,6	0,792066	15,792	955	721,7	1,30725	95,047
600	333,9	0,800853	16,283	960	727,4	1,31316	97,025
605	339,1	0,809577	16,786	965	733,1	1,31905	99,035
610	344,4	0,818239	17,300	970	738,8	1,32491	101,08
615	349,7	0,826841	17,826	975	744,4	1,33074	103,15
620	354,9	0,835383	18,365	980	750,1	1,33655	105,26
625	360,2	0,843865	18,915	985	755,8	1,34234	107,41

**Tablas del aire como gas ideal (Problema – 1)**

T [K]	h [kJ/kg]	s <sup>0</sup> [kJ/kg-K]	p <sub>r</sub> [-]	T [K]	h [kJ/kg]	s <sup>0</sup> [kJ/kg-K]	p <sub>r</sub> [-]
990	761,5	1,34810	109,59	1350	1182	1,70988	386,50
995	767,2	1,35384	111,80	1355	1188	1,71430	392,49
1000	772,9	1,35955	114,05	1360	1194	1,71869	398,55
1005	778,6	1,36524	116,33	1365	1200	1,72308	404,68
1010	784,3	1,37091	118,65	1370	1206	1,72745	410,89
1015	790,0	1,37655	121,00	1375	1212	1,73181	417,18
1020	795,7	1,38217	123,40	1380	1218	1,73615	423,54
1025	801,5	1,38776	125,82	1385	1224	1,74048	429,98
1030	807,2	1,39334	128,29	1390	1230	1,74480	436,49
1035	812,9	1,39889	130,80	1395	1236	1,74910	443,08
1040	818,7	1,40442	133,34	1400	1242	1,75339	449,76
1045	824,4	1,40992	135,92	1405	1248	1,75767	456,51
1050	830,2	1,41541	138,54	1410	1254	1,76193	463,34
1055	835,9	1,42087	141,21	1415	1260	1,76618	470,25
1060	841,7	1,42631	143,91	1420	1266	1,77042	477,24
1065	847,4	1,43173	146,65	1425	1272	1,77464	484,32
1070	853,2	1,43712	149,43	1430	1278	1,77885	491,48
1075	859,0	1,44250	152,26	1435	1284	1,78305	498,72
1080	864,8	1,44786	155,13	1440	1290	1,78724	506,05
1085	870,5	1,45319	158,04	1445	1296	1,79141	513,46
1090	876,3	1,45850	160,99	1450	1302	1,79557	520,96
1095	882,1	1,46380	163,99	1455	1308	1,79972	528,54
1100	887,9	1,46907	167,03	1460	1314	1,80386	536,21
1105	893,7	1,47432	170,11	1465	1320	1,80798	543,97
1110	899,5	1,47956	173,24	1470	1326	1,81209	551,82
1115	905,3	1,48477	176,42	1475	1332	1,81619	559,75
1120	911,1	1,48996	179,64	1480	1339	1,82028	567,78
1125	916,9	1,49513	182,90	1485	1345	1,82435	575,90
1130	922,7	1,50029	186,22	1490	1351	1,82842	584,11
1135	928,5	1,50542	189,58	1495	1357	1,83247	592,41
1140	934,4	1,51054	192,99	1500	1363	1,83651	600,81
1145	940,2	1,51564	196,45	1505	1369	1,84053	609,30
1150	946,0	1,52071	199,95	1510	1375	1,84455	617,88
1155	951,9	1,52577	203,51	1515	1381	1,84855	626,56
1160	957,7	1,53081	207,11	1520	1387	1,85255	635,34
1165	963,6	1,53584	210,77	1525	1393	1,85653	644,22
1170	969,4	1,54084	214,48	1530	1399	1,86050	653,19
1175	975,3	1,54583	218,23	1535	1405	1,86446	662,26
1180	981,1	1,55080	222,04	1540	1411	1,86840	671,43
1185	987,0	1,55575	225,91	1545	1417	1,87234	680,70
1190	992,8	1,56068	229,82	1550	1423	1,87627	690,07
1195	998,7	1,56559	233,79	1555	1429	1,88018	699,55
1200	1005	1,57049	237,82	1560	1436	1,88408	709,12
1205	1010	1,57537	241,89	1565	1442	1,88797	718,80
1210	1016	1,58023	246,03	1570	1448	1,89185	728,59
1215	1022	1,58508	250,22	1575	1454	1,89572	738,48
1220	1028	1,58991	254,46	1580	1460	1,89958	748,47
1225	1034	1,59472	258,76	1585	1466	1,90343	758,58
1230	1040	1,59952	263,12	1590	1472	1,90727	768,79
1235	1046	1,60430	267,54	1595	1478	1,91110	779,11
1240	1052	1,60906	272,02	1600	1484	1,91491	789,54
1245	1058	1,61381	276,55	1605	1490	1,91872	800,08
1250	1063	1,61853	281,15	1610	1497	1,92252	810,73
1255	1069	1,62325	285,80	1615	1503	1,92630	821,49
1260	1075	1,62795	290,52	1620	1509	1,93008	832,36
1265	1081	1,63263	295,30	1625	1515	1,93384	843,35
1270	1087	1,63729	300,13	1630	1521	1,93760	854,46
1275	1093	1,64194	305,04	1635	1527	1,94134	865,68
1280	1099	1,64658	310,00	1640	1533	1,94508	877,01
1285	1105	1,65120	315,03	1645	1539	1,94880	888,47
1290	1111	1,65580	320,12	1650	1545	1,95251	900,04
1295	1117	1,66039	325,28	1655	1552	1,95622	911,73
1300	1123	1,66496	330,51	1660	1558	1,95991	923,54
1305	1129	1,66952	335,80	1665	1564	1,96360	935,47
1310	1135	1,67406	341,16	1670	1570	1,96727	947,53
1315	1141	1,67859	346,58	1675	1576	1,97094	959,70
1320	1147	1,68311	352,07	1680	1582	1,97459	972,00
1325	1152	1,68761	357,64	1685	1588	1,97824	984,43
1330	1158	1,69209	363,27	1690	1595	1,98187	996,98
1335	1164	1,69656	368,97	1695	1601	1,98550	1009,7
1340	1170	1,70102	374,74	1700	1607	1,98912	1022,5
1345	1176	1,70546	380,58	1705	1613	1,99273	1035,4



### Turbina de gás

$$h_3 = h(1370\text{K}) = 1206 \text{ kJ/kg}$$

$$Pr_3 = 410,89$$

$$h_4 = h(805\text{K}) = 554,3 \text{ kJ/kg}$$

$$0,913 = \frac{1206 - 554,3}{1206 - h_{4s}} \rightarrow h_{4s} = 492,2 \text{ kJ/kg}$$

$$Pr_{4s} = 37,0204$$

$$\frac{P_3}{1} = \frac{410,89}{37,0204} \rightarrow \boxed{P_3 = 11,1 \text{ bar}}$$

### Balanco energético do gás

$$\dot{m}h_1 + \dot{Q}_c = \dot{W}_{CG} + \dot{m}h_4$$

$$h_1 = h(290\text{K}) = 16,92 \text{ kJ/kg}$$

$$\boxed{\dot{Q}_c = 291800 + 1100(554,3 - 16,92) = 882,92 \text{ MW}}$$

### Compressor

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_i (h_3 - h_2) \Rightarrow h_2 = \frac{-882920}{1100} + 1206 = 403,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r2s}}{P_{r1}} \\ P_{r1} = 1,2329 \end{array} \right\} \frac{11,1}{1} = \frac{P_{r2s}}{1,2329} \rightarrow P_{r2s} = 13,6852$$

$h_{2s} = 304,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$\boxed{\eta_c} = \frac{304,6 - 16,92}{403,35 - 16,92} = \boxed{74,45\%}$$

### Ciclo de vapor

$$0,75 = \frac{554,3 - h_5}{554,3 - 16,92} \rightarrow h_5 = 151,27 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{CR} = 1100 (554,3 - 151,27) = 443338,5 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{CV} = 443338,5 \times 0,31 = 137434,94 \text{ kW}$$

$$\boxed{\eta_{cc}} = \frac{291,8 + 137,43}{882,92} = \boxed{48,62\%}$$

## TERMODINÁMICA

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

### Problema – 2 (4 puntos)

**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 equipo portátil de aire comprimido está formado por un motor de gasolina de cuatro tiempos y un compresor alternativo. Ambos están conectados mediante una transmisión T cuyo rendimiento mecánico es 90% ( $0,9 = W_a / W_e$ ) que hace que el compresor gire a la mitad de régimen del motor.

El motor tiene una cilindrada de  $196 \text{ cm}^3$  y una relación de compresión de 8,5. Funcionando a 3.000 rpm, con un dosado relativo de 1,0, la presión media indicada del motor es un 50% de la correspondiente al ciclo Otto de aire equivalente, cuyas condiciones en el inicio de la compresión son 100 kPa y  $45^\circ\text{C}$ . En el mismo punto de funcionamiento, el rendimiento mecánico del motor es un 80%. La gasolina tiene un dosado estequiométrico de 1/14,9 y un PCI de 43,7 MJ/kg.

El compresor, refrigerado por aire, tiene dos cilindros idénticos de simple efecto en paralelo. Sus características son:

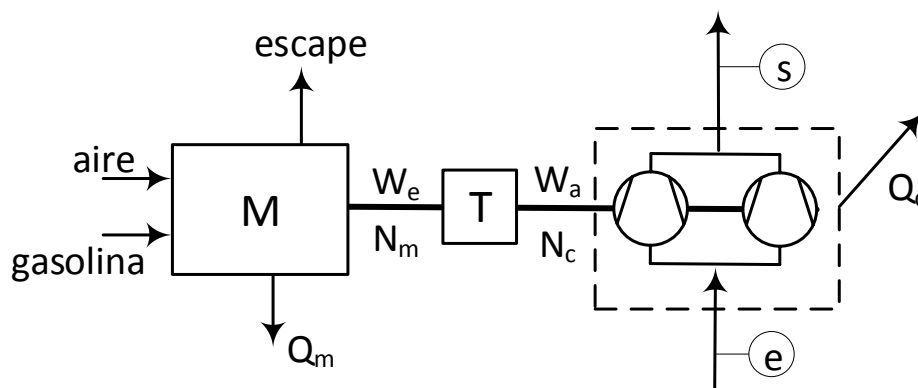
- Relación de espacio perjudicial ( $\alpha$ ): 8%
- Diámetro de cada pistón: 89,5 mm

En las condiciones descritas del funcionamiento del motor, el compresor aspira  $8,4 \text{ dm}^3/\text{s}$  de aire en condiciones atmosféricas (100 kPa,  $20^\circ\text{C}$ ), y lo comprime hasta 7 barg. El proceso de compresión se considera internamente reversible, pudiendo modelarse mediante una politrópica de índice 1,33. Las pérdidas de carga en la aspiración e impulsión son de 10 kPa y 20 kPa, respectivamente.

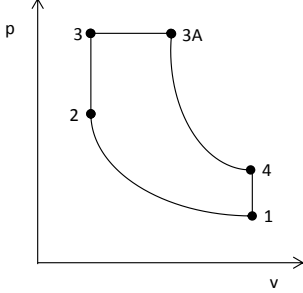
El aire se considera gas perfecto ( $R=287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ;  $\gamma=1,4$ ).

Se pide determinar:

- a) Potencia de accionamiento del compresor
- b) Carrera de los pistones del compresor
- c) Rendimiento mecánico del compresor



Formulario:

MOTORES	COMPRESORES
 $\alpha = \frac{p_3}{p_2} \quad \beta = \frac{v_{3A}}{v_3}$ $q_{23A} = \frac{R \cdot T_1 \cdot r^{\gamma-1}}{\gamma - 1} [\alpha - 1 + \alpha \cdot \gamma \cdot (\beta - 1)]$ $p_{mi} = p_1 \cdot \left( \frac{r}{r-1} \right) r^{\gamma-1} \frac{\{1 - \alpha \cdot [1 + \gamma \cdot (\beta - 1)]\} + \alpha \cdot \beta^\gamma - 1}{1 - \gamma}$	$\eta_{vi} = 1 - \alpha \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{1/n} - 1 \right]$ $w_i = R \cdot T_1 \cdot \left( \frac{n}{n-1} \right) \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$



## Motor

$$i = 1/2$$

$$V = 196 \text{ cm}^3$$

$$r = 8.5$$

$$N = 3000 \text{ rpm}$$

$$F = 1/14.9$$

$$p_{mi} = 0.5 p_{miotto}$$

$$P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$T_1 = 45^\circ\text{C}$$

$$\eta_m = 0.8$$

$$P_{ci} = 43700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

## Compressor

$$N_c = N_m/2$$

$$z = 2$$

$$\alpha = 8\%$$

$$D_p = 89.5 \text{ mm}$$

$$8.4 \text{ L/s} = \dot{V}_e$$

$$P_e = 1 \text{ bar}$$

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

$$P_s = 7 + 1 = 8 \text{ bar}$$

$$n = 1.33$$

$$\Delta P_e = 0.1 \text{ bar}$$

$$\Delta P_s = 0.2 \text{ bar}$$

$$\frac{T}{\eta_m} = 0.9$$

$$R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$\gamma = 1.4$$

## Motor

$$\beta = 1$$

$$q_{23A} = \frac{43700}{1 + 14.9} = 2748.43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \frac{0.287 \times 318 \times 8.5^{0.4}}{0.4} \times$$

$$\times [\alpha - 1] \Rightarrow \alpha = 6.1176$$

$$p_{miotto} = 100 \times \frac{8.5}{7.5} \times \frac{8.5^{0.4} \{1 - 6.1176\} + 6.1176 - 1}{1 - 1.4} =$$

$$= 1962.98 \text{ kPa} ; p_{mi} = 981.49 \text{ kPa}$$

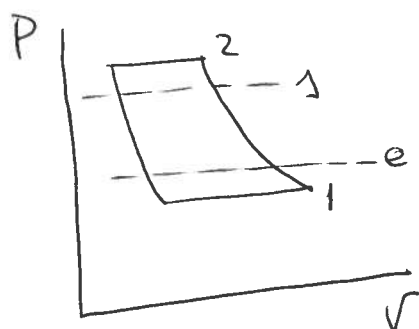
$$\dot{W}_i = 981.49 \times 196 \times 10^{-6} \times \frac{1}{2} \times \frac{3000}{60} = 4.81 \text{ kW}$$

$$0.8 = \frac{\dot{W}_e}{4.81} \Rightarrow \dot{W}_e = 3.8474 \text{ kW}$$

$$0.9 = \frac{\dot{W}_a}{\dot{W}_e} \Rightarrow \boxed{\dot{W}_a = 3.46 \text{ kW}}$$

Compressor

$$\eta_{vi} = 1 - 0.08 \left[ \left( \frac{8.2}{0.9} \right)^{1/1.33} - 1 \right] = 0.6587$$



$$P_2 = P_3 + \Delta P_1 = 8 + 0.2 = 8.2 \text{ bar}$$

$$P_1 = P_e - \Delta P_e = 1 - 0.1 = 0.9 \text{ bar}$$

$$0.6587 = \frac{\dot{W}_a}{P_1 \sqrt{2} \frac{N}{60}} \Rightarrow \sqrt{v} = 0.000283 \text{ m}^3 = \frac{\pi \times 0.0895^2}{4} \times L$$

$$P_1 = \frac{90}{0.287 \times 293} = 1.0703 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{W}_a = 8.4 \times 10^{-3} \times 1.1892 = 0.009989 \text{ kg/s}$$

$$P_e = \frac{100}{0.287 \times 293} = 1.1892 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{W}_i = 0.287 \times 293 \left( \frac{1.33}{0.33} \right) \left[ \left( \frac{8.2}{0.9} \right)^{1/1.33} - 1 \right] = 247.46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{W}_i = \dot{W}_a \quad \dot{W}_i = 2.4719 \text{ kW}$$

$$\boxed{\eta_m = \frac{2.4719}{3.46} = 71.44\%}$$

## TERMODINÁMICA

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

### Problema – 3 (3 puntos)

**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.**

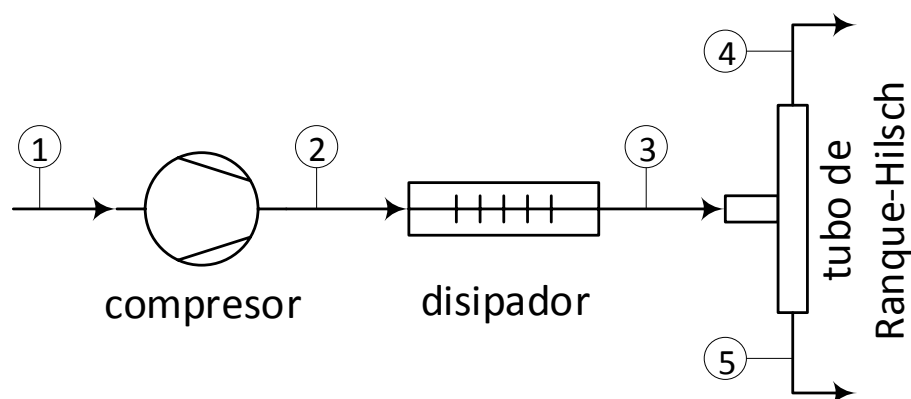
La figura inferior muestra una instalación para producir una corriente de aire frío (4) a partir de aire a presión (3) mediante un dispositivo denominado tubo de Ranque-Hilsch, que opera de forma adiabática y carece de partes móviles (no intercambia trabajo).

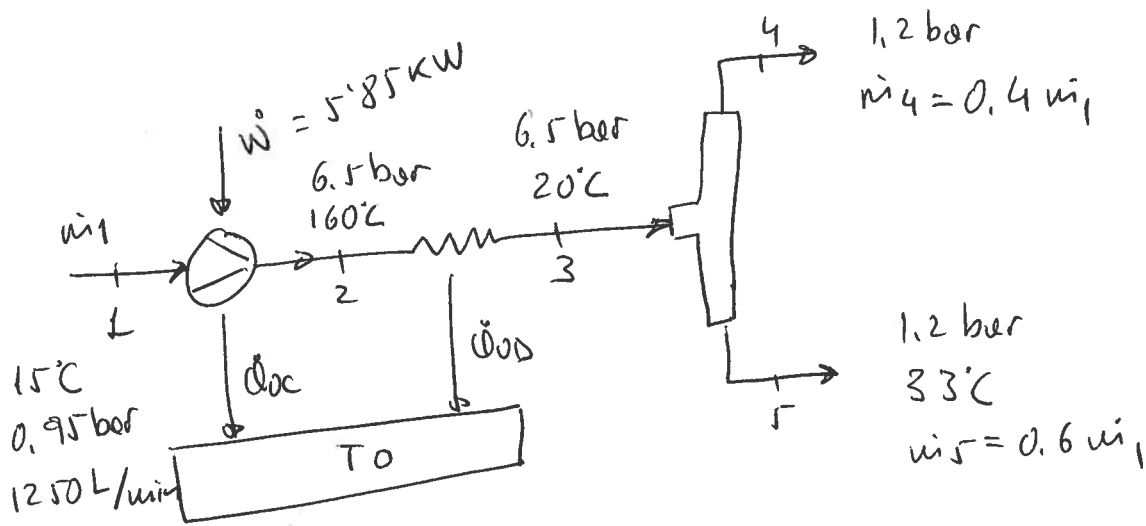
En un punto de trabajo el compresor aspira (1) aire ( $R = 287 \text{ J/kg-K}$ ;  $\gamma = 1,4$ ) del ambiente (foco a 95 kPa y  $15^\circ\text{C}$ ) un caudal de  $1.250 \text{ dm}^3/\text{min}$  medidos en condiciones ambiente. Dicho compresor consume 5,85 kW y disipa calor al ambiente. El aire sale del compresor (2) a 6,5 bar y  $160^\circ\text{C}$ , para dirigirse a un disipador en el que cede calor al ambiente, saliendo del mismo a  $20^\circ\text{C}$  y sin perder presión. El 40% del flujo másico que entra al tubo vórtice sale por la rama fría (4) a una presión de 1,2 bar. El resto sale por la rama (5) a  $33^\circ\text{C}$  y 1,2 bar.

Determinar:

- Temperatura del aire que sale por la rama fría (4)
- Realizar un diagrama de Sankey (sin valores numéricos) detallando todos los procesos
- Eficiencia exergética del conjunto de la instalación (compresor-disipador-tubo vórtice)

Tómense las condiciones ambiente (1) como coordenadas del estado muerto.





Tubo

$$m_1 h_3 = 0.4 m_1 h_4 + 0.6 m_1 h_5$$

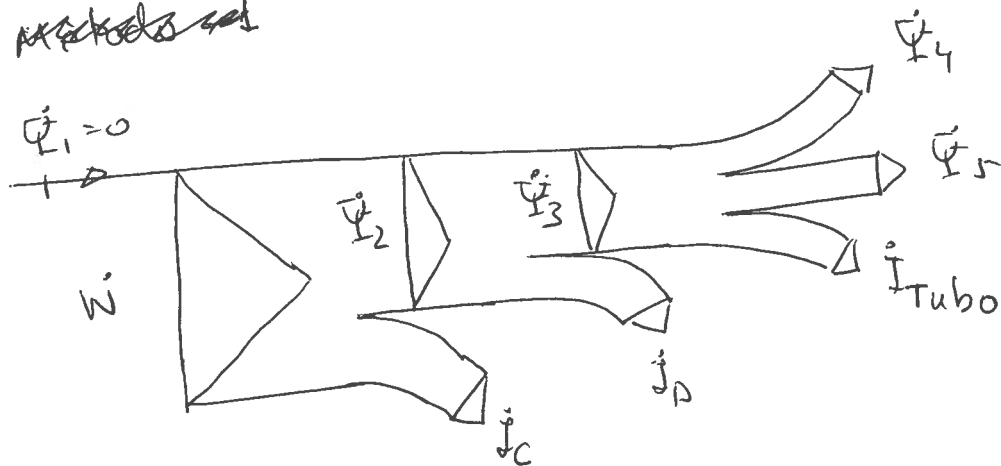
$$0.4(h_3 - h_4) = 0.6(h_5 - h_3) \Rightarrow 0.4(T_3 - T_4) = 0.6(T_5 - T_3)$$

$$0.4(20 - T_4) = 0.6(33 - 20)$$

$$\rightarrow \boxed{T_4 = 0.5^\circ\text{C}}$$

Instalación

~~Así como se~~



# Eficiencia exergética

\* Método -1

Se trata, en su conjunto, de un dispositivo que consume trabajo:

$$\varphi = \frac{\dot{W} - \dot{I}_{TOT}}{\dot{W}}$$

$$\dot{I}_{TOT} = T_0 \frac{dS_u}{dz}$$

$$\frac{dS_u}{dz} = \frac{\dot{Q}_{OC} + \dot{Q}_{OD}}{T_0} - \dot{m}_1 \Delta_1 + \dot{m}_4 \Delta_4 + \dot{m}_5 \Delta_5 =$$

$$= \frac{\dot{Q}_{OC} + \dot{Q}_{OD}}{T_0} + 0,4 \dot{m}_1 (\Delta_4 - \Delta_1) + 0,6 \dot{m}_1 (\Delta_5 - \Delta_1)$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W} = \dot{Q}_{OC} + \dot{m}_1 h_2$$

$$\dot{m}_1 = \dot{V}_1 \cdot \rho_1 = \left( \frac{1,25}{60} \right) \cdot \frac{95}{0,287 \times 288} = 0,023945 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{OC} = 0,023945 \times 1,005 \times (15 - 160) + 5,85 =$$

$$= 2,361 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_1 h_2 = \dot{Q}_{OD} + \dot{m}_1 h_3 \Rightarrow \dot{Q}_{OD} = 0,023945 \times 1,005 (160 - 20) =$$

$$= 3,369 \text{ kW}$$

$$\frac{dS_u}{dz} = \frac{5,7297}{288} + 0,023945 \times \left[ 0,4 \times 1,005 \times L \left( \frac{273,5}{288} \right) - \right.$$

$$- 0.4 \times 0.287 \times L\left(\frac{1.2}{0.95}\right) + 0.6 \times 1.005 \times L\left(\frac{306}{288}\right) -$$

$$- 0.6 \times 0.287 \times L\left(\frac{1.2}{0.95}\right) \Big] = 0.018667 \text{ kW/K}$$

$$\dot{I}_{\text{tot}} = 5.3762 \text{ kW}$$

$$\underline{\underline{\varphi = \frac{5.85 - 5.3762}{5.85} = \underline{\underline{8.1\%}}}}$$

### \* Método -2

Podemos aplicar la fórmula general:

$$\varphi = \frac{\dot{m}_4 \psi_4 + \dot{m}_5 \psi_5}{\cancel{\dot{m}_1 \psi_1} + \dot{W}}$$

que como  $\psi_1 = 0$  va a dar lo mismo que con el Método-1, ya que:

$$\cancel{\dot{m}_1 \psi_1} + \dot{W} = \frac{\dot{m}_4 \psi_4 + \dot{m}_5 \psi_5 + \dot{I}_{\text{tot}}}{\dot{W} - \dot{I}_{\text{tot}}}$$

En este método se evita calcular la entropía, aunque hay que hallar los exergías.

$$\psi_4 = 1.005 \left( \overset{273.15}{\cancel{273.15}} - 288 \right) - 288 \left[ 1.005 L\left(\frac{273.15}{288}\right) - \right.$$

$$\left. - 0.287 L\left(\frac{1.2}{0.95}\right) \right] = 19.6893 \text{ kJ/kg}$$

$$\psi_f = 1.005(33 - 15) - 288 \left[ 1.005 \times L\left(\frac{306}{288}\right) - 0.287 L\left(\frac{1.2}{0.95}\right) \right] =$$

$$= 19.8525 \text{ kJ/kg}$$

$$\varphi = \frac{0.023945 \times 19.787211}{5.85} = 8.1\% \quad \checkmark \checkmark$$