TERMODINÁMICA

Ejercicio del Tema 5

Nombre ____ Grupo E

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 instalación de la figura representa una bomba de calor que toma calor del ambiente (0 °C y 95 kPa) en el evaporador y lo cede en el condensador a una corriente de agua para calentar una vivienda. La bomba opera con propano, cuyas tablas se adjuntan. El propano llega al compresor (1) a 3,5 bar como vapor saturado y sale del mismo a 20 bar. El compresor es adiabático y presenta un rendimiento isentrópico del 75%.

A la salida del condensador el propano presenta la misma presión que a la entrada, estando en estado de líquido saturado. El agua (c = 4,18 kJ/kg-K; ρ = 1000 kg/m^3) tiene un caudal de 2.150 dm^3/h, entrando al condensador a 40 °C y saliendo a 50 °C, sin perder presión.

Determinar:

a) COP máximo teórico y COP real con el que opera la bomba de calor.
b) Exergía destruida en el condensador.
c) Eficiencia exergética de la bomba de calor.
d) Diagrama T-s del propano, indicando la situación de los puntos 1 a 4 respecto a la campana bifásica.
e) Diagrama de Sankey (sin valores numéricos) de exergías de la bomba de calor, mostrando todos los elementos (compresor, intercambiadores y válvula).

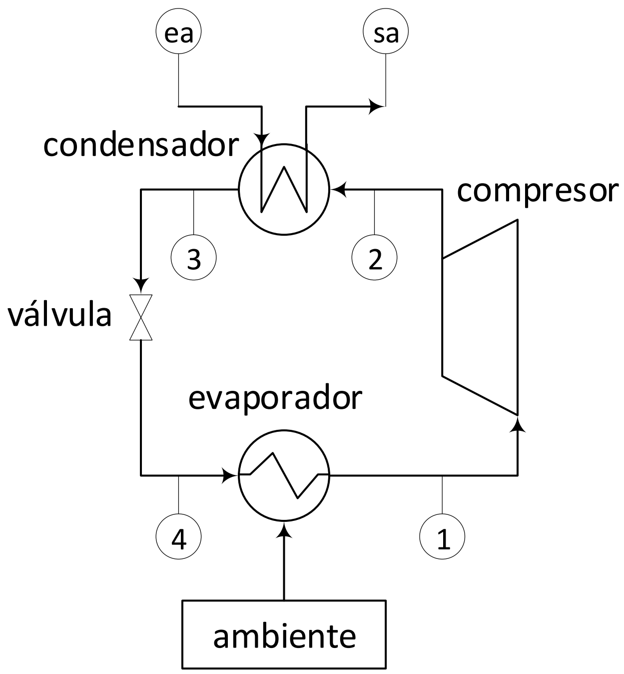


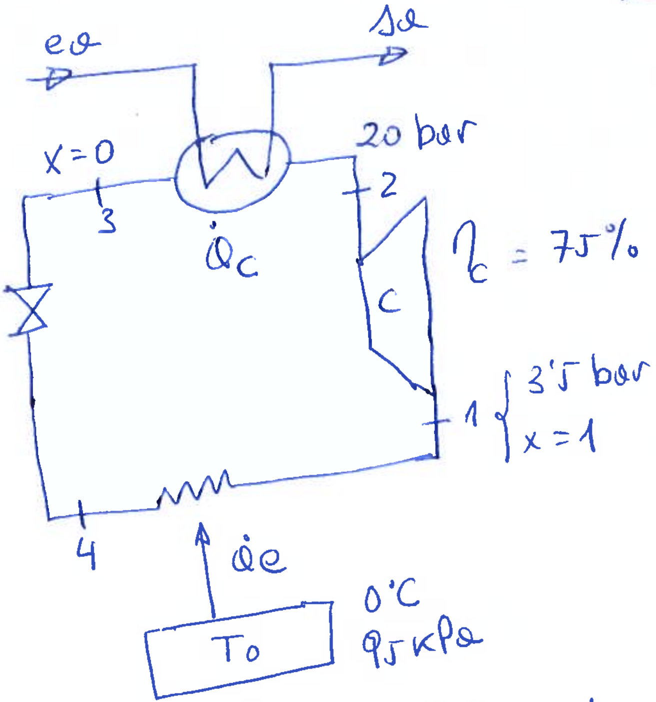
Tabla de saturación (líquido – vapor)

p [bar]	T [°C]	v_f [m^3/kg]	v_g [m^3/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]
2,5	-19,38	0,001805	0,1778	152,1	508,2	152,6	552,7	0,8216	2,3981
3	-14,18	0,001827	0,1496	164,5	513,8	165,1	558,7	0,8699	2,3897
3,5	-9,593	0,001847	0,1292	175,6	518,7	176,2	563,9	0,9122	2,3832
4	-5,476	0,001865	0,1138	185,6	523,1	186,3	568,6	0,9500	2,3779
5	1,721	0,0019	0,09175	203,4	530,7	204,3	576,6	1,0157	2,3698
8	18,31	0,00199	0,05778	245,9	547,9	247,4	594,1	1,1658	2,3554
12	34,38	0,002097	0,03812	289,1	563,8	291,7	609,5	1,3107	2,3443
16	46,88	0,0022	0,02792	324,6	575	328,1	619,7	1,4243	2,3353
20	57,26	0,002305	0,02161	355,6	583,2	360,2	626,4	1,5201	2,3256
24	66,2	0,002419	0,01725	383,8	588,8	389,6	630,2	1,6049	2,3139

Tabla de vapor sobrecalentado

p = 3,5 bar			
T [°C]	v [m^3/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
-10	0,001845	175,2	0,9084
-8	0,1303	566,6	2,3935
-6	0,1316	570	2,4062
-4	0,133	573,4	2,4189
-2	0,1343	576,8	2,4314
0	0,1356	580,2	2,4439
2	0,1369	583,6	2,4563
4	0,1382	587	2,4686
6	0,1394	590,4	2,4809
8	0,1407	593,8	2,4931
10	0,142	597,2	2,5052
12	0,1432	600,7	2,5173
14	0,1445	604,1	2,5293
16	0,1457	607,6	2,5413
18	0,147	611	2,5533
20	0,1482	614,5	2,5651
22	0,1495	618	2,5770
24	0,1507	621,5	2,5888
26	0,1519	625	2,6006
28	0,1532	628,5	2,6123

p = 20 bar			
T [°C]	v [m^3/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
60	0,02221	633,8	2,3481
62	0,02263	639,1	2,3639
64	0,02303	644,3	2,3793
66	0,02342	649,4	2,3943
68	0,0238	654,4	2,4091
70	0,02417	659,4	2,4236
72	0,02453	664,3	2,4379
74	0,02488	669,2	2,4520
76	0,02522	674	2,4659
78	0,02556	678,8	2,4796
80	0,0259	683,6	2,4932
82	0,02622	688,3	2,5066
84	0,02654	693,1	2,5199
86	0,02686	697,8	2,5330
88	0,02717	702,5	2,5461
90	0,02748	707,2	2,5591
92	0,02778	711,9	2,5719
94	0,02808	716,5	2,5847
96	0,02838	721,2	2,5974
98	0,02867	725,9	2,6100



agua $\begin{cases} c = 4{,}18 \text{ kJ/kg-K} \\ \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \end{cases}$

$\dot{V}_a = 2150 \text{ dm}^3/\text{h}$

$T_{ea} = 40°C \quad \Delta P_a = 0$

$T_{sa} = 50°C$

a) Operación totalmente reversible

$$\bar{T}_a = \frac{\cancel{c}(T_{sa} - T_{ea})}{\cancel{c}\, L\left(\frac{T_{sa}}{T_{ea}}\right)} = \frac{50-40}{L\left(\frac{50+273}{40+273}\right)} = 317{,}97 \text{ K}$$

$$T_0 = 273 \text{ K} \; ; \quad \boxed{COP_{max} = \frac{317{,}97}{317{,}97 - 273} = 7{,}07}$$

Operación real

$$\dot{m}_a = 2{,}150 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600 s} \times 1000 \frac{kg}{m^3} = 0'59722 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_c = 0{,}59722 \times 4{,}18(10) = 24{,}96 \text{ kW}$$

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= 563{,}9 \text{ kJ/kg} \\ s_1 &= 2{,}3832 \text{ kJ/kg-K} \end{aligned}\right\} \longrightarrow h_{2s} = 645{,}63 \text{ kJ/kg}$$

$$0{,}75 = \frac{645{,}63 - 563{,}9}{h_2 - 563{,}9} \longrightarrow h_2 = 672{,}87 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 360{,}2 \text{ kJ/kg}$$

$$24,96 = \dot{m}\,(672,87 - 360,2) \rightarrow \dot{m} = 0,07983 \text{ Kg/s}$$

$$\dot{W}_c = 0,07983\,(672,87 - 563,9) = 8,69898 \text{ KW}$$

$$\boxed{COP_{real}} = \frac{24,96}{8,69898} = \boxed{2,87}$$

$$s_2 = 2,46263 \text{ KJ/Kg-K}$$

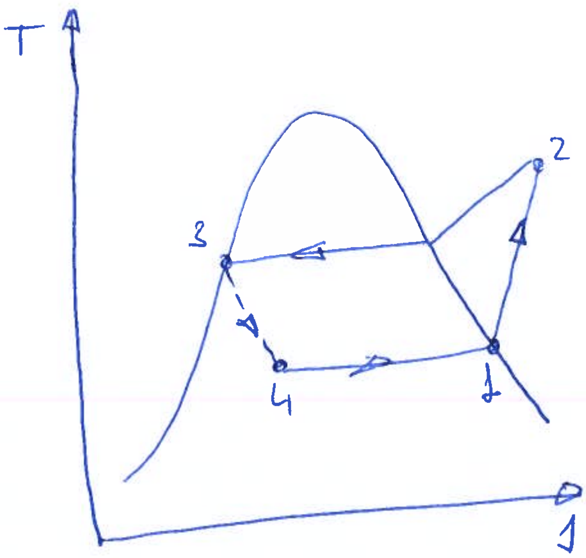
$$s_3 = 1,5201 \text{ KJ/Kg-K}$$

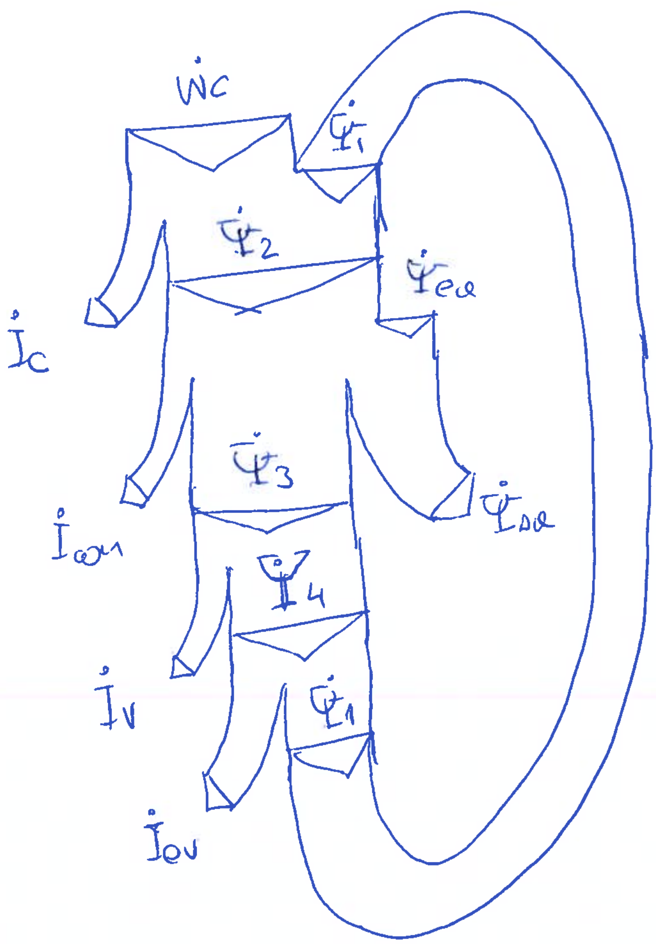
$$\dot{m}\,s_2 + \dot{m}_a\,s_{ea} + \dot{S}_{gen}^{con} = \dot{m}\,s_3 + \dot{m}_a\,s_{sa}$$

$$\dot{S}_{gen}^{con} = 0,07983\,(1,5201 - 2,46263) + 0,59722 \times 4,18 \times L\left(\frac{50+273}{40+273}\right) = 0,00327 \text{ KW/K}$$

$$\boxed{\dot{I}_{con}} = 273 \times 0,00327 = \boxed{0,8918 \text{ KW}}$$

$$\boxed{\varphi_{BC}} = \frac{2,87}{7,07} = \boxed{40,6\,\%}$$





TERMODINÁMICA

Ejercicio del Tema 5

Nombre ____ Grupo B - F

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 instalación de la figura representa un equipo de refrigeración que extrae calor de una corriente de agua en el evaporador para refrigerar una vivienda y cede calor al ambiente (35 °C y 95 kPa) en el condensador. El equipo opera con propano, cuyas tablas se adjuntan. El propano llega al compresor (1) a 5 bar como vapor saturado y sale del mismo a 20 bar. El compresor es adiabático y presenta un rendimiento isentrópico del 80%.

El propano sale del condensador como líquido saturado, sin perder presión. Seguidamente atraviesa una válvula que le conduce al evaporador, donde tampoco pierde presión. El agua (c = 4,18 kJ/kg-K; ρ = 1.000 kg/m^3) tiene un caudal de 4.200 dm^3/h, entrando al evaporador a 12 °C y saliendo a 7 °C, sin perder presión.

Determinar:

a) COP máximo teórico y COP real con el que opera el equipo de refrigeración.
b) Exergía destruida en el compresor
c) Eficiencia exergética del equipo de refrigeración.
d) Diagrama T-s del propano, indicando la situación de los puntos 1 a 4 respecto a la campana bifásica.
e) Diagrama de Sankey (sin valores numéricos) de exergías del equipo de refrigeración, mostrando todos los elementos (compresor, intercambiadores y válvula).

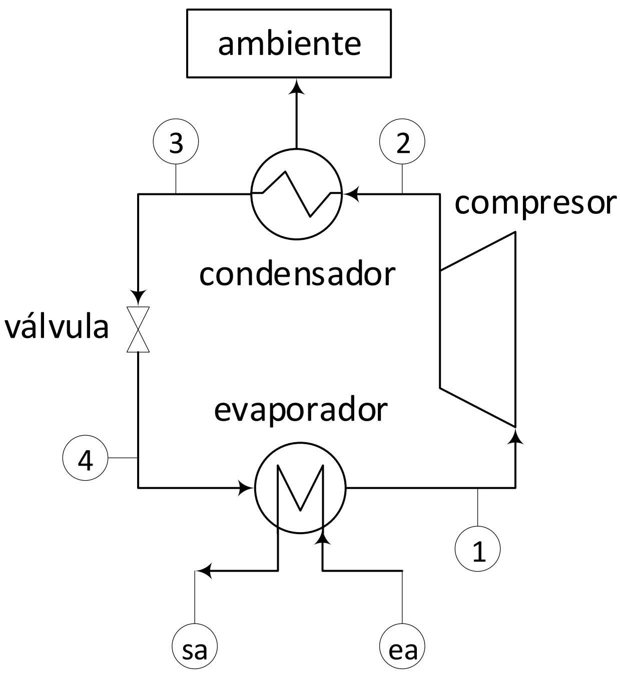


Tabla de saturación (líquido – vapor)

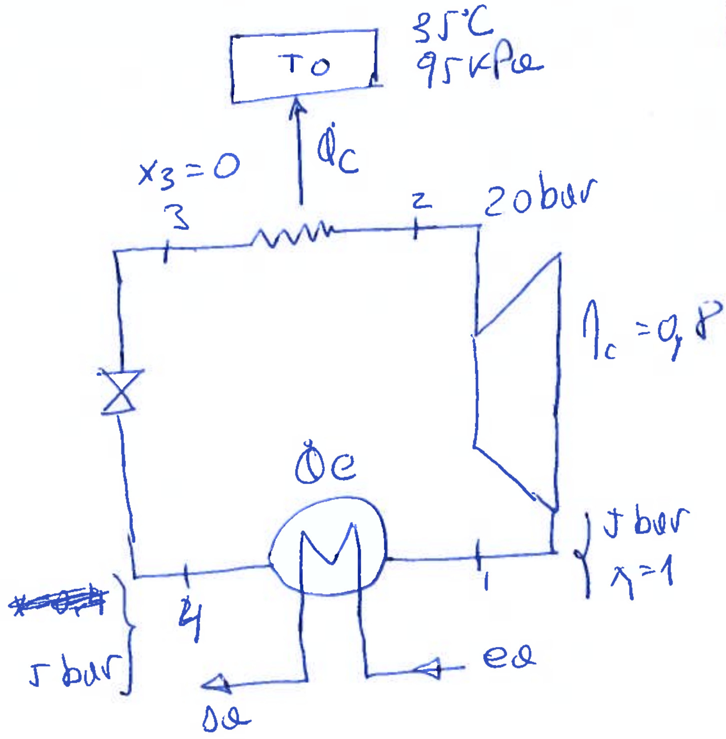
p [bar]	T [°C]	v_f [m³/kg]	v_g [m³/kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg·K]	s_g [kJ/kg·K]
2,5	-19,38	0,001805	0,1778	152,1	508,2	152,6	552,7	0,8216	2,3981
3	-14,18	0,001827	0,1496	164,5	513,8	165,1	558,7	0,8699	2,3897
3,5	-9,593	0,001847	0,1292	175,6	518,7	176,2	563,9	0,9122	2,3832
4	-5,476	0,001865	0,1138	185,6	523,1	186,3	568,6	0,9500	2,3779
5	1,721	0,0019	0,09175	203,4	530,7	204,3	576,6	1,0157	2,3698
8	18,31	0,00199	0,05778	245,9	547,9	247,4	594,1	1,1658	2,3554
12	34,38	0,002097	0,03812	289,1	563,8	291,7	609,5	1,3107	2,3443
16	46,88	0,0022	0,02792	324,6	575	328,1	619,7	1,4243	2,3353
20	57,26	0,002305	0,02161	355,6	583,2	360,2	626,4	1,5201	2,3256
24	66,2	0,002419	0,01725	383,8	588,8	389,6	630,2	1,6049	2,3139

Tabla de vapor sobrecalentado

p = 5 bar			
T [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
2	0,09189	577,1	2,3717
4	0,09289	580,7	2,3847
6	0,09388	584,3	2,3976
8	0,09486	587,8	2,4104
10	0,09583	591,4	2,4231
12	0,09679	595	2,4357
14	0,09775	598,6	2,4482
16	0,09869	602,2	2,4606
18	0,09963	605,7	2,4730
20	0,1006	609,3	2,4853
22	0,1015	612,9	2,4975
24	0,1024	616,5	2,5097
26	0,1033	620,2	2,5218
28	0,1042	623,8	2,5339
30	0,1052	627,4	2,5459
32	0,1061	631	2,5578
34	0,107	634,7	2,5697
36	0,1079	638,3	2,5816
38	0,1087	642	2,5935
40	0,1096	645,7	2,6052

p = 20 bar			
T [°C]	v [m³/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
60	0,02221	633,8	2,3481
62	0,02263	639,1	2,3639
64	0,02303	644,3	2,3793
66	0,02342	649,4	2,3943
68	0,0238	654,4	2,4091
70	0,02417	659,4	2,4236
72	0,02453	664,3	2,4379
74	0,02488	669,2	2,4520
76	0,02522	674	2,4659
78	0,02556	678,8	2,4796
80	0,0259	683,6	2,4932
82	0,02622	688,3	2,5066
84	0,02654	693,1	2,5199
86	0,02686	697,8	2,5330
88	0,02717	702,5	2,5461
90	0,02748	707,2	2,5591
92	0,02778	711,9	2,5719
94	0,02808	716,5	2,5847
96	0,02838	721,2	2,5974
98	0,02867	725,9	2,6100

$\boxed{B - F}$



agua: $c = 4,18$ kJ/kg-K

$\rho = 1000$ kg/m^3

$\dot{V}_a = 4200$ dm^3/h

$T_{ea} = 12$°C

$T_{sa} = 7$°C

$\Delta P_a = 0$

a) Operación totalmente reversible

$$\bar{T}_a = \frac{\cancel{c}(T_{sa} - T_{ea})}{\cancel{c}\, L\left(\frac{T_{sa}}{T_{ea}}\right)} = \frac{12 - 7}{L\left(\frac{12+273}{7+273}\right)} = 282,49 \text{ K}$$

$$\boxed{COP_{max}} = \frac{282,49}{308 - 282,49} = \boxed{11,07}$$

Operación real

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_a\, c\,(T_{ea} - T_{sa}) = 1,16667 \times 4,18(12 - 7) = 24,38 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_a = \frac{4200 \times 10^{-3}}{3600} \times 1000 = 1,16667 \text{ kg/s}$$

$h_1 = 576,6$ kJ/kg

$s_1 = 2,3698$ kJ/kg-K $\rightarrow h_{2s} = 641,09$ kJ/kg

$$0,8 = \frac{641,09 - 576,6}{h_2 - 576,6} \rightarrow h_2 = 657,22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$h_4 = h_3 = 360,2$ kJ/kg

$$24,38 = \dot{m}\,(576,6 - 360,2) \rightarrow \dot{m} = 0,11266 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_C = 0,11266\,(657,22 - 576,6) = 9,083 \text{ kW}$$

$$\boxed{COP_{real}} = \frac{24,38}{9,083} = \boxed{2,68}$$

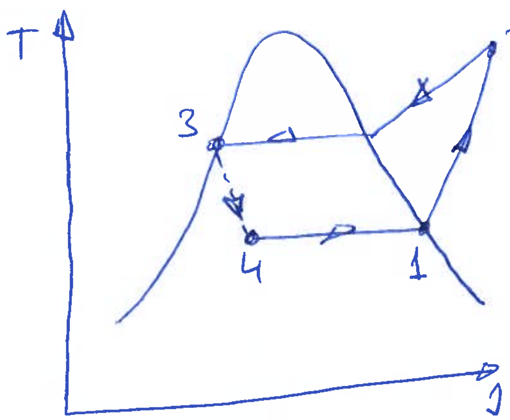
b) $\dot{m}\,s_1 + \dot{S}_{gen}^{comp} = \dot{m}\,s_2$

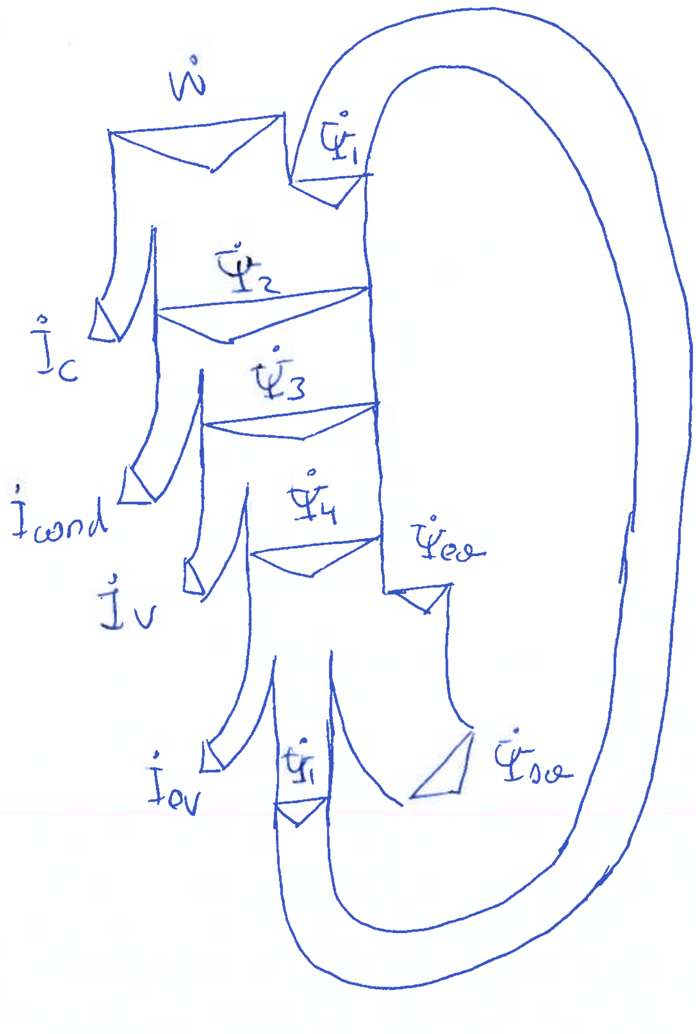
$$\dot{S}_{gen}^{comp} = \dot{m}(s_2 - s_1) = 0,00535 \text{ kW/K}$$

$$s_2 = 2,4173 \text{ kJ/kg-K}$$

$$\boxed{\dot{I}_{comp}} = 308 \times 0.00535 = \boxed{1,6475 \text{ kW}}$$

c) $\boxed{\varphi} = \dfrac{2,68}{11,07} = \boxed{24,2\ \%}$





TERMODINÁMICA

Ejercicio del Tema 5

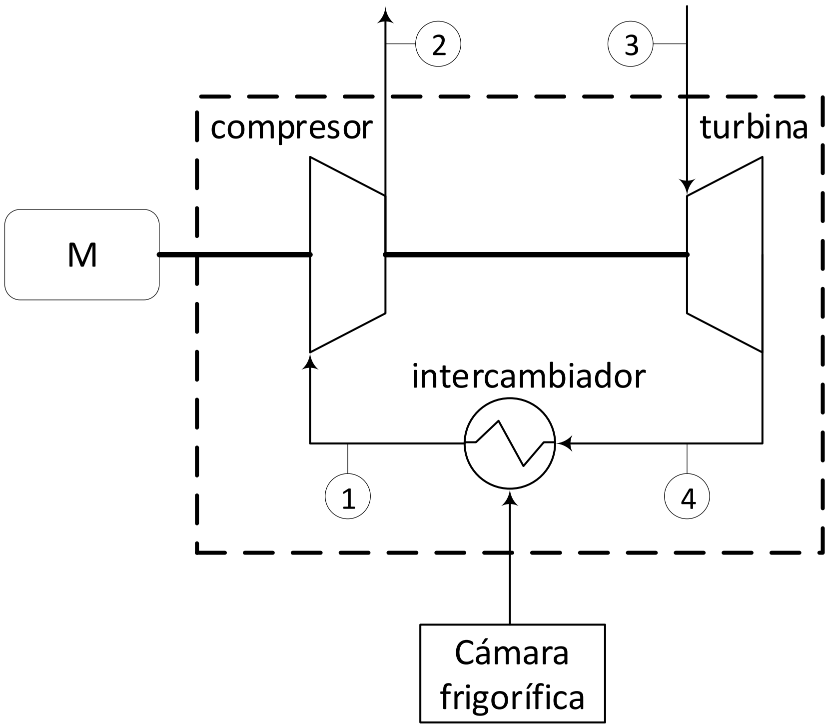
Nombre ____ Grupo A

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.

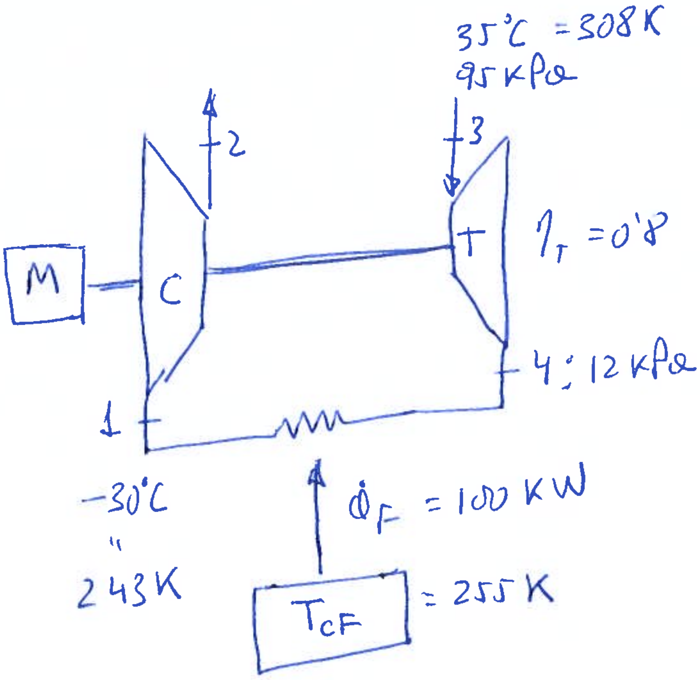
La instalación de la figura representa un sistema abierto de refrigeración que opera con aire (γ = 1,4; R = 287 J/kg-K) y retira 100 kW de una cámara frigorífica (tomada como un foco a -18 °C). Para ello la turbina aspira aire del ambiente (3) a 35 °C y 95 kPa y lo expande con un rendimiento isentrópico del 80% hasta 12 kPa (4), entrando entonces a un intercambiador de calor que retira el calor de la cámara, saliendo del mismo (1) a – 30 °C sin pérdida de presión. En esas condiciones es aspirado por un compresor adiabático que lo impulsa al ambiente. Al eje que une el compresor con la turbina se acopla también un motor eléctrico (M). La exergía destruída en el compresor es de 95 kW.

Determinar:

a) Potencia del motor M.
b) Rendimiento isentrópico del compresor.
c) Eficiencia exergética del sistema de refrigeración.
d) Diagrama T-s del aire.
e) Diagrama de Sankey (sin valores numéricos) de exergías del sistema de refrigeración considerado como conjunto (volumen de control limitado por la línea discontinua).



$\boxed{A}$



aire $\left\{ \begin{array}{l} \gamma = 1,4 \\ R = 0,287 \text{ kJ/kg-K} = \\ = c_p\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \Rightarrow c_p = 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg-K}} \end{array} \right.$

Turbina

$$T_{4s} = 308\left(\frac{12}{95}\right)^{\frac{1,4-1}{1'4}} = 170,54 \text{ K}$$

$$0,8 = \frac{308 - T_4}{308 - 170,54} \rightarrow T_4 = 198,03 \text{K}$$

Compresor

$$95 = \dot{m} \cdot 308 \cdot \left[1,005 \, L\left(\frac{T_2}{243}\right) - 0,287 \, L\left(\frac{95}{12}\right)\right] \rightarrow T_2 = 504,01 \text{ K}$$

Cámara frigorífica

$$100 = \dot{m} \times 1,005 \times (243 - 198.03) \rightarrow \dot{m} = 2,2127 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_C = 2,2127 \times 1,005 \,(504,1 - 243) = 580,43 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_T = 2,2127 \times 1,005 \times (308 - 198.03) = 244,55 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_T + \dot{W}_M = \dot{W}_C \rightarrow \boxed{\dot{W}_M = 580,43 - 244.55 = 335,88 \text{ kW}}$$

$$T_{2s} = 243 \times \left(\frac{95}{12}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 438,87 \text{ K}$$

$$\boxed{\eta_C} = \frac{438.87 - 243}{504,01 - 243} = \boxed{75,04\,\%}$$

Considerando que es un sistema que consume trabajo:

$$\boxed{\varphi} = \frac{\dot{W}_M - \dot{I}}{\dot{W}_M} = \frac{335{,}88 - 216{,}54}{335{,}88} = \boxed{35{,}53\%}$$

$$\frac{dS_u}{dz} = \dot{m}\, s_2 - \dot{m}\, s_3 - \frac{\dot{Q}_F}{T_{cF}} = 2{,}2127 \times 1{,}005 \times L\left(\frac{504{,}01}{308}\right) -$$

$$- \frac{100}{255} = 0{,}70304\ KW/K;\ \dot{I} = 308 \times 0{,}70304 =$$

$$= 216{,}54\ KW$$

El balance exergético del conjunto produce:

$$\cancel{\dot{m}\,\psi_3}^{\,0} + \dot{W}_M = \dot{I} + \dot{m}\,\psi_2 + \underbrace{\dot{Q}_F\left(\frac{T_0}{T_{cF}} - 1\right)}_{\text{calor a temperatura inferior al ambiente: le aporta exergía a la cámara.}}$$

Despejando $\dot{W}_M - \dot{I}$ en la ecuación de la φ:

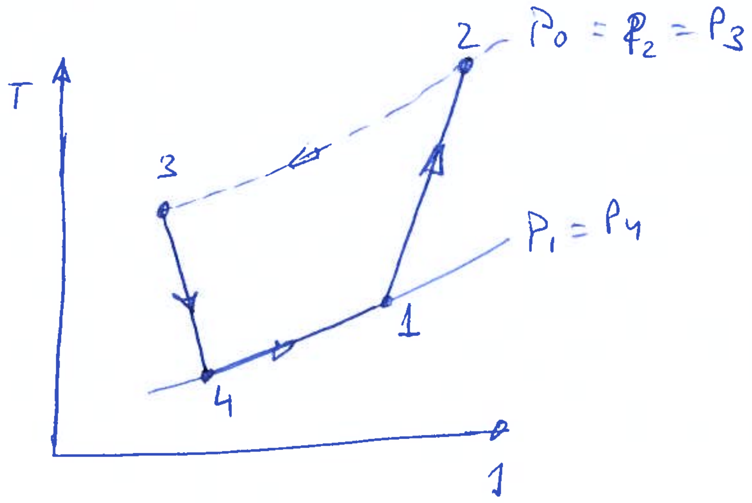
$$\varphi = \frac{\dot{m}\,\psi_2 + \dot{Q}_F\left(\frac{T_0}{T_{cF}} - 1\right)}{\dot{W}_M}$$

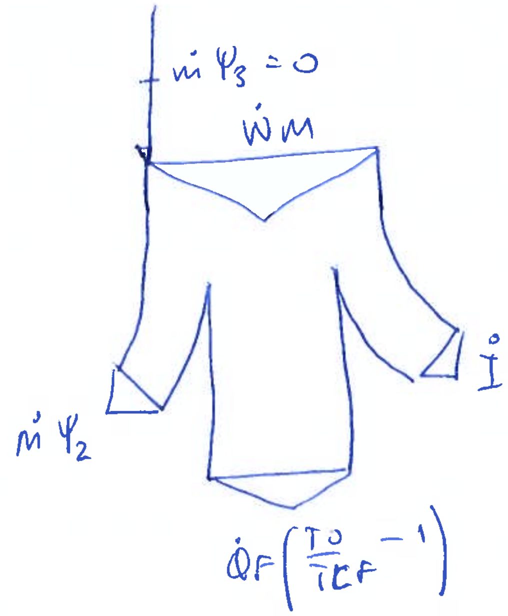
Esta expresión indica que se produce exergía para la cámara y en la corriente "2"

Si se considera que no se puede recuperar la exergía de "2"

$$\boxed{\varphi'} = \frac{\dot{Q}_F\left(\frac{T_0}{T_{cF}} - 1\right)}{\dot{W}_M} = \frac{COP}{COP_{rev}} = \frac{100/335'88}{\frac{255}{308-255}} = \boxed{6{,}12\%}$$

También se da por válido este valor.





Nótese que al estar T_{CF} por debajo del ambiente el signo del factor de Carnot se hace negativo, implicando que la exergía lleva el sentido contrario al calor: un calor retirado de un recinto frío equivale a una exergía aportada a dicho recinto.

TERMODINÁMICA

Ejercicio del Tema 5

Nombre ____ Grupo D - G

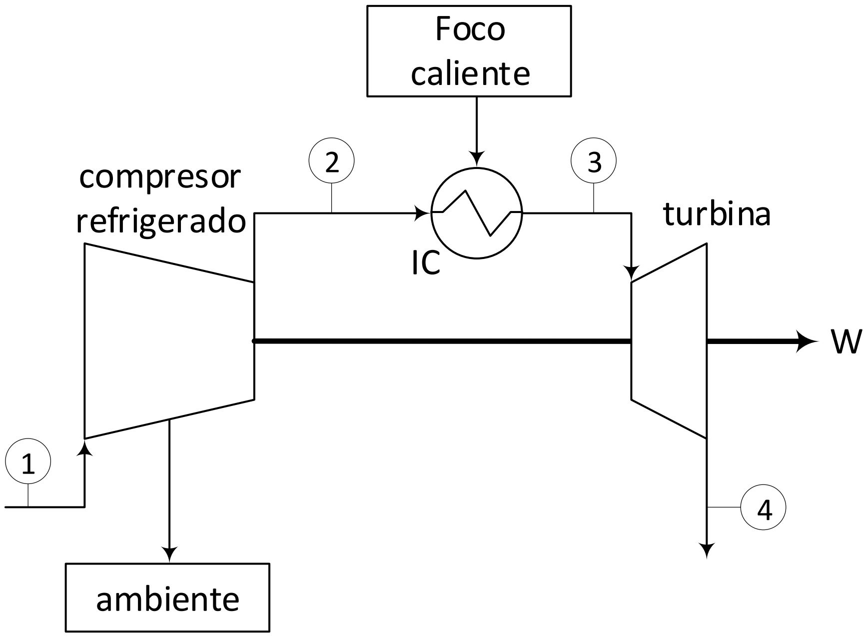
No está permitido el empleo de calculadoras programables ni la consulta de libros, apuntes o formularios. Los teléfonos móviles y relojes "smartwatch" deberán permanecer apagados y fuera del alcance del alumno.

La instalación de la figura representa una planta de potencia que opera con aire (γ = 1,4; R = 287 J/kg-K). El aire entra al compresor procedente del ambiente (15 °C y 95 kPa) y sale del mismo a 45 bar, para dirigirse al intercambiador IC donde recibe calor de un foco a 1600 K. Al salir de dicho intercambiador se dirige a una turbina, entrando en la misma a 1200 °C. El aire abandona la turbina y se dirige al ambiente.

El compresor disipa calor al ambiente, operando con una eficiencia exergética del 83%. El proceso en el mismo se puede modelar por una politrópica de n = 1,187. La turbina presenta un rendimiento isentrópico del 92%. El trabajo neto producido por la planta es de 280 MW. Se desprecian las pérdidas de presión en intercambiadores y conductos.

Determinar:

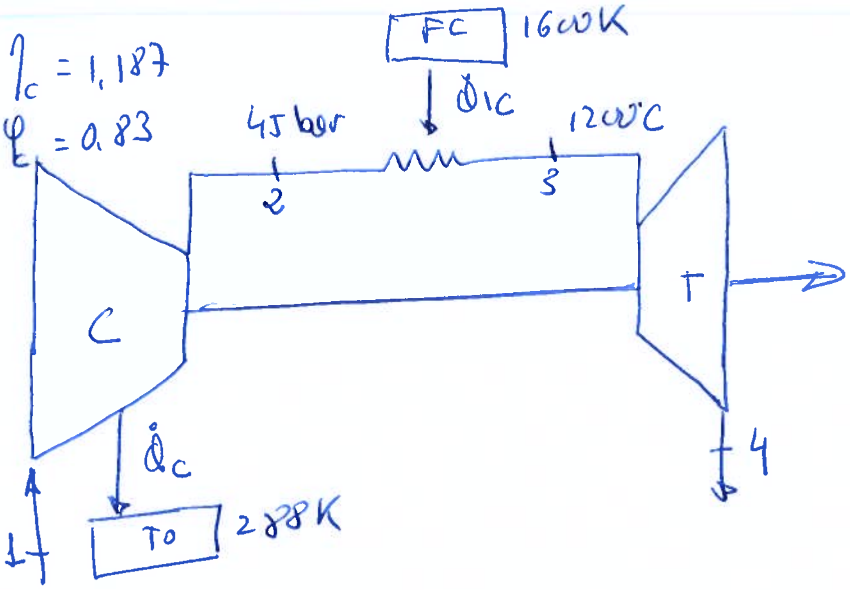
a) Potencia consumida por el compresor.
b) Exergía total destruida en el conjunto de la planta.
c) Eficiencia exergética del conjunto de la planta.
d) Diagrama T-s del aire.
e) Diagrama de Sankey (sin valores numéricos) de exergías de la planta de potencia, mostrando todos los elementos (compresor, intercambiador y turbina).



$\boxed{D-G}$

$\eta_c = 1{,}187$

$\varphi_c = 0{,}83$



15°C
95kPa

$\gamma = 1{,}4$

$R = 0{,}287\ kJ/kg\text{-}K$

$c_p - c_v = R$

$c_p\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) = R$

$c_p = 1{,}005\ kJ/kg\text{-}K$

$\boxed{\text{Compresor}}$

$$\varphi_c = \frac{\dot{W}_c - \dot{I}_c}{\dot{W}_c} = \frac{w_c - i_c}{w_c} = \frac{w_c - T_0(s_2 - s_1) - q_c}{w_c}$$

$$s_1 + s_{gen,c} = s_2 + \frac{q_c}{T_0}\ ; \quad i_c = T_0\left[s_2 - s_1 + \frac{q_c}{T_0}\right]$$

$$h_1 + w_c = h_2 + q_c \Rightarrow w_c - q_c = h_2 - h_1$$

$$\varphi_c = \frac{h_2 - h_1 - T_0(s_2 - s_1)}{w_c} = \frac{\psi_2 - \psi_1}{w_c}$$

$$\psi_2 - \psi_1 = c_p(T_2 - T_1) - T_0\left[c_p L\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\,L\left(\frac{P_2}{P_1}\right)\right] = 385{,}04\ kJ/kg$$

$$T_2 = 288 \times \left(\frac{45}{0{,}95}\right)^{\frac{1{,}187-1}{1{,}187}} = 528{,}87\,K$$

$$w_c = \frac{385{,}04}{0{,}83} = 463{,}9\ kJ/kg$$

$\boxed{\text{Turbina}}$

$$T_{4s} = 1473\left(\frac{0{,}95}{45}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} = 489{,}21\,K\ ; \quad 0{,}92 = \frac{1473 - T_4}{1473 - 489{,}21}$$

$$\Downarrow$$

$$T_4 = 567{,}91\,K$$

$w_T = c_p (T_3 - T_4) = 909{,}62 \text{ kJ/kg}$

$280.000 = \dot{m} \left[909{,}62 - 463{,}9 \right] \rightarrow \dot{m} = 628{,}20 \text{ kg/s}$

$\boxed{\dot{W}_C} = 628{,}20 \times 463{,}9 = 291423{,}83 = \boxed{291{,}42 \text{ MW}}$

$$\frac{dS_u}{dz} = -\dot{m}\,s_1 - \frac{\dot{Q}_{IC}}{T_{FC}} + \frac{\dot{Q}_C}{T_0} + \dot{m}\,s_4$$

$\dot{Q}_{IC} = 628{,}2 \times 1{,}005 \times (1473 - 528{,}87) = 596067{,}98 \text{ kW}$

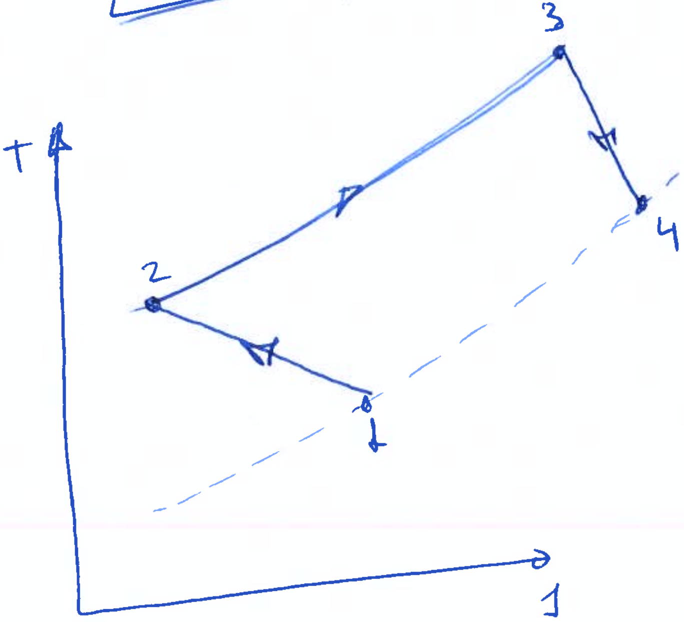
$\dot{Q}_C = \dot{W}_C - \dot{m}\,c_p (T_2 - T_1) = 139352{,}72 \text{ kW}$

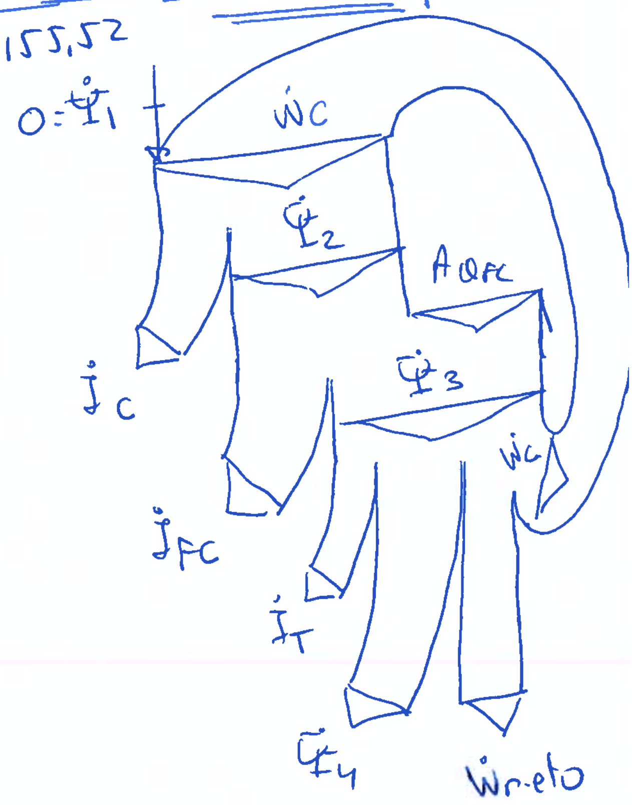
$s_4 - s_1 = 1{,}005 \, L \left(\frac{567{,}91}{288} \right) - \cancel{0{,}287 \, L \left(\frac{0{,}95}{0{,}95} \right)} =$ 0

$= 0{,}6823975 \text{ kJ/kg-K}$

$\frac{dS_u}{dz} = 540{,}0032 \text{ kW/K}$; $\boxed{\dot{I}_{tot}} = T_0 \frac{dS_u}{dz} = \boxed{155{,}52 \text{ MW}}$

$$\boxed{\varphi_{tot}} = \frac{\dot{W}_{neto}}{\dot{W}_{neto} + \dot{I}_{tot}} = \frac{280}{280 + 155{,}52} = \boxed{64{,}29\%}$$





COMILLAS - ETSI (ICAI) Noviembre 2018
Dpto. Ingeniería Mecánica

TERMODINÁMICA

Ejercicio del Tema 5

Nombre ____ Grupo C

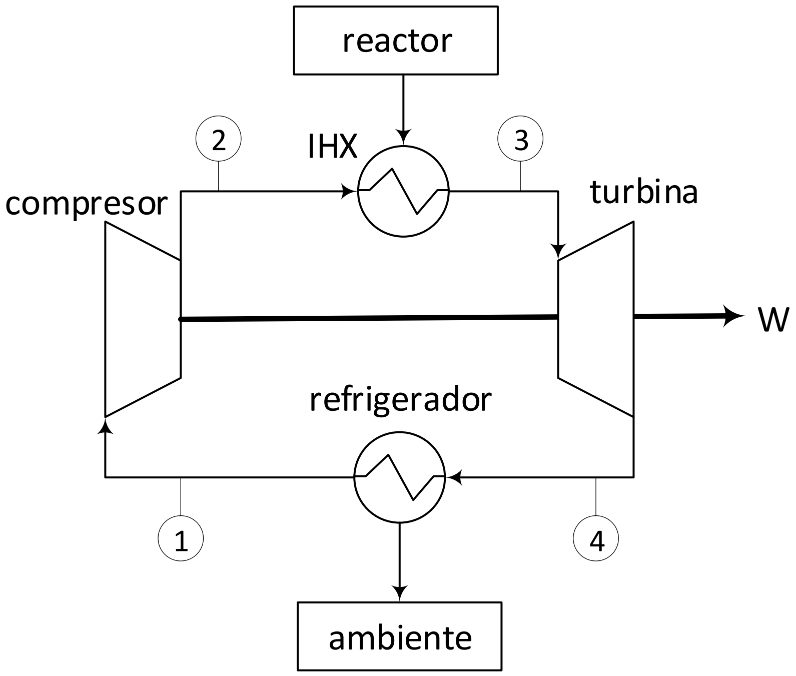
No está permitido el empleo de calculadoras programables ni la consulta de libros, apuntes o formularios. Los teléfonos móviles y relojes "smartwatch" deberán permanecer apagados y fuera del alcance del alumno.

La instalación de la figura representa el ciclo de potencia de una central nuclear de IV generación. El reactor se puede modelar como un foco térmico de 1.100 K que aporta 600 MW al ciclo de potencia mediante el intercambiador IHX.

El ciclo de potencia opera con helio (gas ideal, ver tablas adjuntas; R = 2,08 kJ/kg-K) y presenta unas condiciones de entrada a la turbina (3) de 120 bar y 850 °C. La presión a la salida de la turbina es de 35 bar, operando ésta de forma adiabática y con un rendimiento isentrópcio de 90%. La eficiencia exergética del ciclo es 38,3 %. El ciclo disipa calor al ambiente (15°C y 95 kPa) en el refrigerador, donde el helio circula sin pérdida de presión. El helio entra en el intercambiador IHX (2) a 250 °C, y circula por él sin pérdida de presión.

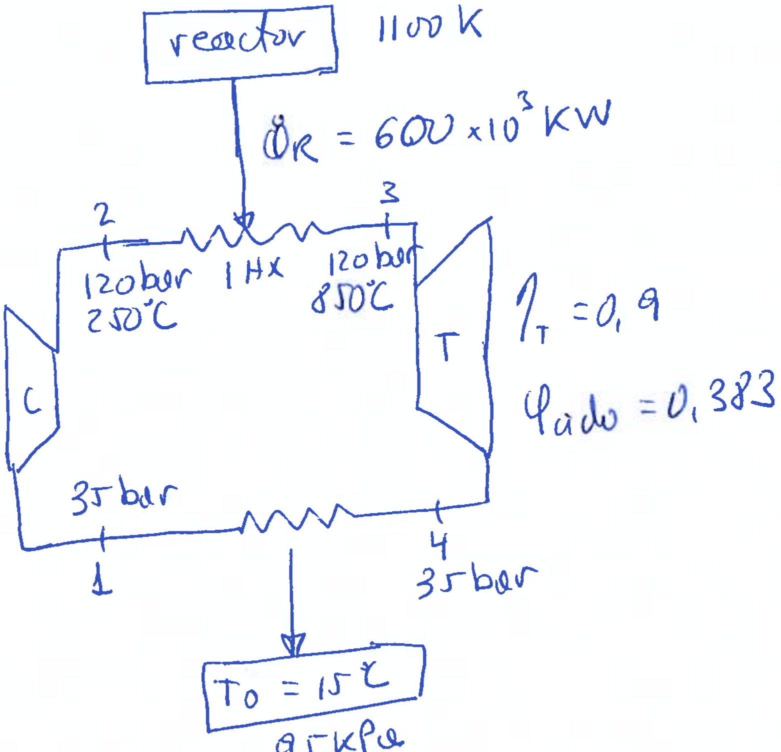
Determinar:

a) Rendimiento máximo teórico y rendimiento real del ciclo de potencia.
b) Exergía destruida en el intercambiador IHX debido al proceso de transferencia de calor.
c) Potencia consumida por el compresor.
d) Diagrama T-s del helio, indicando la situación de los puntos 1 a 4.
e) Diagrama de Sankey (sin valores numéricos) de exergías del ciclo de potencia, mostrando todos los elementos (compresor, intercambiadores y turbina).



T [ºC]	h [kJ/kg]	s^0 [kJ/kg-K]	p_r [-]
0	0,00	0,00000	1,00000
5	25,96	0,09419	1,04639
10	51,93	0,18670	1,09406
15	77,89	0,27760	1,14300
20	103,85	0,36693	1,19323
25	129,82	0,45475	1,24477
30	155,78	0,54110	1,29762
35	181,74	0,62605	1,35179
40	207,70	0,70963	1,40730
45	233,67	0,79188	1,46415
50	259,63	0,87285	1,52236
55	285,59	0,95258	1,58193
60	311,56	1,03111	1,64289
65	337,52	1,10846	1,70523
70	363,48	1,18468	1,76897
75	389,45	1,25979	1,83411
80	415,41	1,33384	1,90068
85	441,37	1,40684	1,96867
90	467,34	1,47883	2,03811
95	493,30	1,54984	2,10899
100	519,26	1,61988	2,18134
105	545,22	1,68900	2,25515
110	571,19	1,75721	2,33044
115	597,15	1,82453	2,40721
120	623,11	1,89099	2,48549
125	649,08	1,95662	2,56528
130	675,04	2,02142	2,64658
135	701,00	2,08542	2,72941
140	726,97	2,14865	2,81377
145	752,93	2,21111	2,89968
150	778,89	2,27284	2,98715
155	804,86	2,33383	3,07618
160	830,82	2,39412	3,16678
165	856,78	2,45372	3,25896
170	882,74	2,51264	3,35274
175	908,71	2,57090	3,44812
180	934,67	2,62851	3,54511
185	960,63	2,68549	3,64371
190	986,60	2,74185	3,74395
195	1012,56	2,79761	3,84582
200	1038,52	2,85278	3,94933
205	1064,49	2,90736	4,05450
210	1090,45	2,96138	4,16133
215	1116,41	3,01484	4,26984
220	1142,37	3,06776	4,38002
225	1168,34	3,12014	4,49190
230	1194,30	3,17200	4,60547
235	1220,26	3,22334	4,72074
240	1246,23	3,27419	4,83773
245	1272,19	3,32454	4,95644
250	1298,15	3,37440	5,07689
255	1324,12	3,42380	5,19907
260	1350,08	3,47272	5,32300
265	1376,04	3,52120	5,44869
270	1402,01	3,56922	5,57614
275	1427,97	3,61680	5,70536
280	1453,93	3,66395	5,83636
285	1479,89	3,71068	5,96915
290	1505,86	3,75698	6,10374
295	1531,82	3,80288	6,24013
300	1557,78	3,84838	6,37834
305	1583,75	3,89348	6,51836
310	1609,71	3,93820	6,66022
315	1635,67	3,98253	6,80391
320	1661,64	4,02649	6,94944
325	1687,60	4,07008	7,09683
330	1713,56	4,11330	7,24608
335	1739,53	4,15617	7,39719
340	1765,49	4,19869	7,55018
345	1791,45	4,24086	7,70505
350	1817,41	4,28269	7,86182
355	1843,38	4,32419	8,02048

T [ºC]	h [kJ/kg]	s^0 [kJ/kg-K]	p_r [-]
360	1869,34	4,36536	8,18104
365	1895,30	4,40620	8,34353
370	1921,27	4,44673	8,50793
375	1947,23	4,48694	8,67426
380	1973,19	4,52685	8,84252
385	1999,16	4,56645	9,01273
390	2025,12	4,60574	9,18489
395	2051,08	4,64475	9,35901
400	2077,05	4,68346	9,53510
405	2103,01	4,72189	9,71316
410	2128,97	4,76003	9,89319
415	2154,93	4,79790	10,07522
420	2180,90	4,83549	10,25924
425	2206,86	4,87281	10,44526
430	2232,82	4,90987	10,63329
435	2258,79	4,94666	10,82334
440	2284,75	4,98320	11,01541
445	2310,71	5,01948	11,20952
450	2336,68	5,05551	11,40566
455	2362,64	5,09128	11,60384
460	2388,60	5,12682	11,80408
465	2414,57	5,16211	12,00638
470	2440,53	5,19717	12,21074
475	2466,49	5,23199	12,41718
480	2492,45	5,26657	12,62569
485	2518,42	5,30093	12,83630
490	2544,38	5,33506	13,04899
495	2570,34	5,36897	13,26379
500	2596,31	5,40266	13,48070
700	3634,83	6,59730	23,96154
705	3660,79	6,62391	24,27053
710	3686,76	6,65039	24,58189
715	3712,72	6,67673	24,89564
720	3738,68	6,70294	25,21178
725	3764,64	6,72902	25,53032
730	3790,61	6,75496	25,85126
735	3816,57	6,78078	26,17460
740	3842,53	6,80647	26,50037
745	3868,50	6,83203	26,82855
750	3894,46	6,85747	27,15916
755	3920,42	6,88278	27,49220
760	3946,39	6,90797	27,82768
765	3972,35	6,93304	28,16561
770	3998,31	6,95799	28,50598
775	4024,28	6,98282	28,84881
780	4050,24	7,00753	29,19411
785	4076,20	7,03213	29,54187
790	4102,16	7,05661	29,89210
795	4128,13	7,08097	30,24482
800	4154,09	7,10522	30,60002
805	4180,05	7,12936	30,95771
810	4206,02	7,15338	31,31790
815	4231,98	7,17730	31,68059
820	4257,94	7,20110	32,04579
825	4283,91	7,22480	32,41351
830	4309,87	7,24839	32,78374
835	4335,83	7,27187	33,15650
840	4361,79	7,29525	33,53180
845	4387,76	7,31852	33,90963
850	4413,72	7,34169	34,29000
855	4439,68	7,36475	34,67292
860	4465,65	7,38772	35,05840
865	4491,61	7,41058	35,44643
870	4517,57	7,43334	35,83703
875	4543,54	7,45600	36,23021
880	4569,50	7,47856	36,62596
885	4595,46	7,50103	37,02429
890	4621,43	7,52340	37,42521
895	4647,39	7,54567	37,82873
900	4673,35	7,56785	38,23484
905	4699,31	7,58994	38,64356
910	4725,28	7,61193	39,05489



a) Operación totalmente reversible

$$\boxed{\eta_{max} = 1 - \frac{288}{1100} = 0,7382}$$

Operación real

$$\varphi = 0,383 = \frac{\eta}{\eta_{max}} \Rightarrow \eta = 0'2827 = \frac{\dot{W}_{neto}}{\dot{Q}_R} = \frac{\dot{W}_{neto}}{600}$$

$$\boxed{169,63\,MW = \dot{W}_{neto}}$$

b) $\dot{m}\, s_2 + \frac{\dot{Q}_R}{T_R} + \dot{S}_{gen}^{1HX} = \dot{m}\, s_3$

$\dot{S}_{gen}^{1HX} = \dot{m}(s_3 - s_2) - \frac{\dot{Q}_R}{T_R}$

$h_3 = 4413,72$ KJ/Kg

$h_2 = 1298,15$ KJ/Kg

$s_3^0 = 7,34169$ KJ/Kg-K

$s_2^0 = 3,3744$ "

$600 \times 10^3 = \dot{m}(4413,72 - 1298,15)$

$\dot{m} = 192,58$ Kg/s

$$\dot{S}_{gen}^{IHX} = 192{,}58\left[7{,}34169 - 3{,}3744 - \cancel{2{,}08\,\ln\left(\frac{120}{120}\right)}^{\,0}\right] - \frac{600\times10^{3}}{1100} = 218{,}5662 \text{ KW/K}$$

$$\boxed{\dot{I}_{IHX} = 62\,947{,}05 \text{ KW}}$$

c) $\dot{W}neto = 169{,}63$ MW

$$\frac{Pr_{4s}}{Pr_3} = \frac{35}{120} = \frac{Pr_{4s}}{34{,}29} \longrightarrow Pr_{4s} = 10{,}00125$$

$$h_{4s} = 2144{,}61 \text{ KJ/Kg}$$

$$0{,}9 = \frac{4413{,}72 - h_4}{4413{,}72 - 2144{,}61} \longrightarrow h_4 = 2371{,}52 \text{ KJ/Kg}$$

$$\dot{W}_T = 192{,}58\,(4413{,}72 - 2371{,}52) = 393{,}287 \text{ MW}$$

$$169{,}63 = 393{,}287 - \dot{W}_c \Rightarrow \boxed{\dot{W}_c = 223{,}66 \text{ MW}}$$