

TERMODINÁMICA

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 (5 puntos)

Se emplea una central térmica de Rankine para satisfacer la demanda térmica y eléctrica de una determinada población. El trabajo neto de la central se convierte en electricidad (rendimiento 100%) y el calor del condensador se cede a una red de distrito para suministrar la demanda térmica de la población.

La central carece de recalentamiento y tiene un único precalentador, de tipo cerrado (superficie). El drenaje de dicho precalentador sale del mismo como líquido saturado y se dirige mediante una bomba al agua de alimentación a la caldera que abandona el precalentador. El agua de alimentación sale del precalentador a la temperatura correspondiente a la de saturación del vapor de extracción que lo alimenta, que es de 20 bar.

El vapor a la entrada de la turbina se encuentra a 80 bar y 450°C. El rendimiento isentrópico de dicha turbina, definido entre su entrada y su salida, es del 85%, pudiendo aproximarse la expansión de la turbina a una recta en el diagrama de Mollier.

El condensador opera a 1 bar, llegando el agua de la red de distrito (modelada como líquido incompresible) a 60°C y saliendo del mismo a 85°C, sin perder presión.

El rendimiento isentrópico de las bombas se toma del 100% y se desprecian las pérdidas de presión en intercambiadores y conductos. La producción térmica del condensador (calor útil para el distrito) es de 10 MW.

El calor aportado en la caldera se supone procedente de un foco térmico a 1500 K. Las coordenadas del estado muerto se asumen como 25°C y 100 kPa.

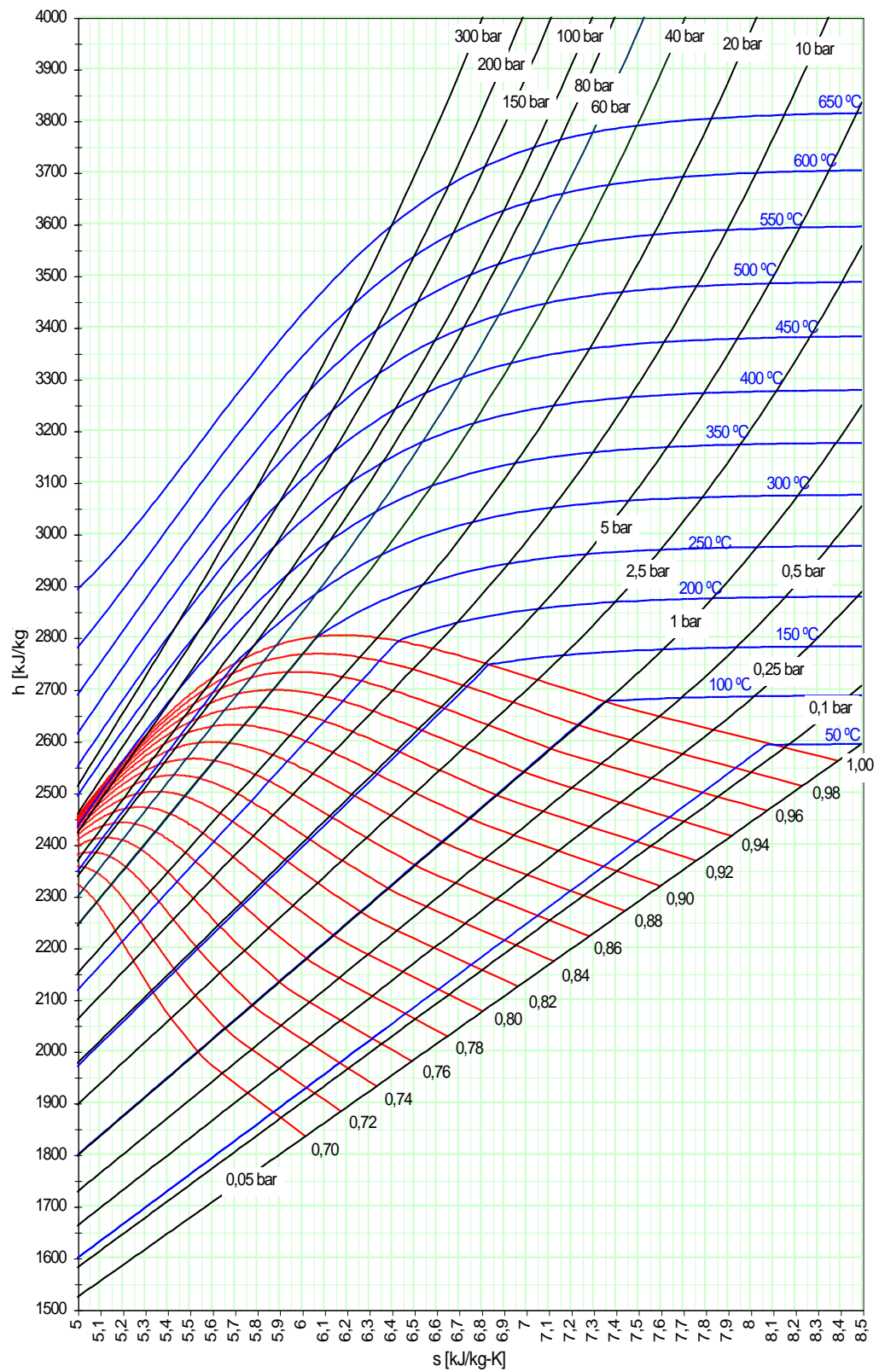
Se pide:

- a) Esquema de la planta. (2 puntos)
- b) Electricidad producida [MW]. (4 puntos)
- c) Eficiencia exergética de la planta, considerando que los productos son la electricidad y el calor entregado en el condensador a la corriente de agua [%]. (2 puntos)
- d) Exergía destruida (irreversibilidad) en el condensador [MW]. (2 puntos)

Tablas del agua saturada (líquido – vapor)

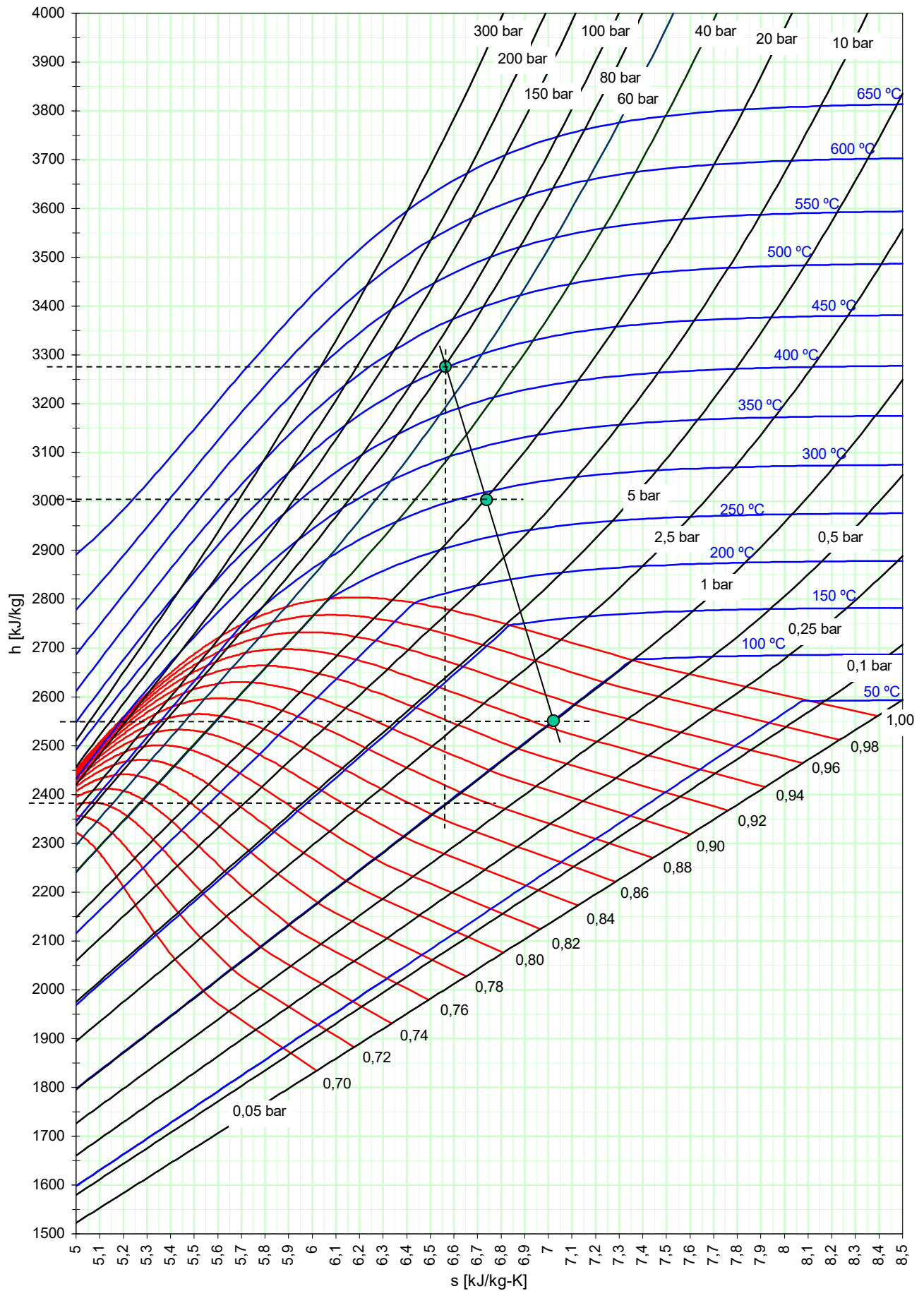
p [bar]	T [°C]	v_f [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	h_f [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg-K]	s_g [kJ/kg-K]
1	99,61	0,00104316	1,694	417,51	2675,0	1,30276	7,35891
20	212,38	0,00117672	0,09959	908,47	2798,3	2,44670	6,33902
80	295,01	0,00138430	0,02352	1317,09	2758,7	3,20769	5,74496

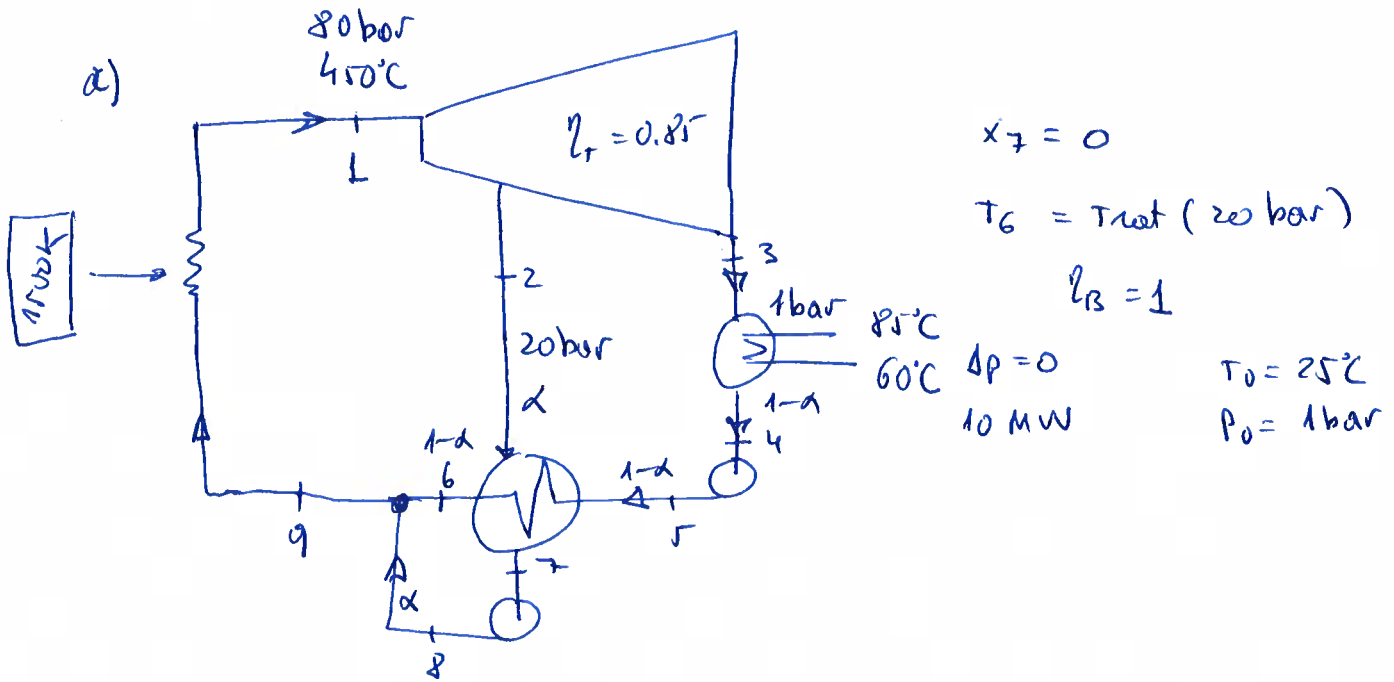
Diagrama de Mollier del agua



Nota: Redondear la entalpía a la cincuenta más próxima.

Diagrama de Mollier del agua





b)

$$h_1 = 3250 \text{ kJ/kg} \quad 0.85 = \frac{h_2 - h_3}{3250 - 2400} \Rightarrow 2527.5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{3s} = 2400 \text{ kJ/kg} \quad \text{"}$$

$$h_3$$

del drogovu: $h_2 = 3000 \text{ kJ/kg}$

$$h_4 = 417.51 \text{ kJ/kg}$$

$$v_4 = 0.00104316 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_5 = 417.51 + 0.00104316 (80 - 1) 100 = 425.75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_6 = h_7 = 908.47 \text{ kJ/kg}$$

$$v_7 = 0.00117672 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_8 = 908.47 + 0.00117672 (80 - 20) 100 = 915.53 \text{ kJ/kg}$$

$$3000\alpha + 425.75(1-\alpha) = 908.47\alpha + 908.47(1-\alpha)$$

$$\rightarrow \alpha = 0.1875$$

$$(1 - 0.1875) 908.47 + 0.1875 \times 915.53 = h_9 = 909.81 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{con} = 10000 = \dot{m}(1-\alpha)(h_3 - h_4) =$$

$$= \dot{m}(1-0,1875)(2527,5 - 417,51) \rightarrow \dot{m} = 5,83 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_{neto} = \dot{W}_e = 5,83 & \left[\underbrace{(3250 - 0,1875 \times 3000 - (1-0,1875)2527,5)}_{633,91} - \right. \\ & \left. - \underbrace{(1-0,1875)(425,75 - 417,51)}_{6,695} - \underbrace{0,1875(915,53 - 908,47)}_{1,3238} \right] = \\ & = \underline{\underline{3648,95 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

$$c) \phi = \frac{\dot{W}_{neto} + A_{con}}{A_{col}}$$

$$\bar{T}_w = \frac{85-60}{L \left(\frac{85+273}{60+273} \right)} = 345,35 \text{ K}$$

$$A_{con} = 10000 \left(1 - \frac{298}{345,35} \right) = 1371,07 \text{ kW}$$

$$A_{col} = 13643,31 \left(1 - \frac{298}{1500} \right) = 10932,84 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{col} = 5,83(3250 - 909,81) = 13643,31 \text{ kW}$$

$$\phi = \frac{3648,95 + 1371,07}{10932,84} = \underline{\underline{45,92\%}}$$

d) Tanto la corriente de agua del lado como la de la red de distribución carecen de pérdidas de carga en el condensador, por lo que no tienen irrev. intens. Por tanto, la única irrev. en el condensador es el paso de calor desde T_{con} hasta T_w .

$$\begin{aligned}\dot{I}_{con} &= T_0 \dot{Q}_{con} \left[\frac{1}{T_w} - \frac{1}{T_{con}} \right] = \\ &= 298 \times 10000 \left[\frac{1}{345,35} - \frac{1}{99,61 + 273} \right] = \underline{\underline{631,29 \text{ KW}}}\end{aligned}$$

Alternativamente:

$$\dot{m} \Delta_3 (1-\alpha) + \dot{m}_w \Delta_{60} + \dot{S}_{gen}^{con} = \dot{m} (1-\alpha) \Delta_u + \dot{m}_w \Delta_{pr}$$

$$\dot{S}_{gen}^{con} = \dot{m} (1-\alpha) (\Delta_u - \Delta_3) + \dot{m}_w (\Delta_{pr} - \Delta_{60}) =$$

$$= \frac{\dot{Q}_{con}}{h_3 - h_4} (\Delta_u - \Delta_3) + \frac{\dot{Q}_{con}}{h_{pr} - h_{60}} (\Delta_{pr} - \Delta_{60}) =$$

$$\dot{Q}_{con} \left[\frac{1}{T_{con}} + \frac{1}{T_w} \right]; \quad \dot{I}_{con} = T_0 \dot{S}_{gen}^{con} \quad \checkmark \checkmark$$

$\dot{p}=0$

TERMODINÁMICA

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 – 2 (5 puntos)

El motor de gasolina de un coche híbrido (Honda Insight) tiene las siguientes características:

Número de cilindros: 3
Diámetro del pistón: 72mm
Carrera: 81,5mm

Cuando circula a 120 km/h, utilizando sólo el motor de gasolina, éste entrega una potencia efectiva de 21 kW a 2.500 rpm. En este punto, el consumo de gasolina que marca el ordenador es de $5,5 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$, siendo el dosado relativo del 100%.

Se pide:

- Cilindrada del motor (1,5 punto)
- Consumo específico efectivo (1,5 puntos)
- Rendimiento efectivo del motor (1,5 puntos)
- Gasto másico de los gases de escape (1,5 puntos)

En ese mismo punto de trabajo, la temperatura de salida de los gases de escape (presión de 1 bar) es de 790°C y el circuito de refrigeración por agua del motor opera con los siguientes valores (se puede suponer que no hay pérdida de carga):

Caudal de agua: 1,2l/s
Temperatura de entrada: $84,4^\circ\text{C}$
Temperatura de salida: $87,7^\circ\text{C}$

Para aumentar el rendimiento global, se plantea emplear una caldera de recuperación que alimente a un ciclo de potencia, constituyendo así un ciclo combinado. Se pretende analizar la viabilidad de aportar a dicha caldera el calor procedente de los gases de escape o del agua de refrigeración del motor. Para ello se pide calcular:

- Potencia calorífica aprovechable en los gases de escape, si la temperatura de salida de los mismos de la caldera de recuperación fuese 180°C (1 punto)
- Potencia calorífica aprovechable en el circuito de refrigeración (1 punto)
- Si pudiéramos aprovechar esos calores en sendos ciclos de Carnot, trabajando con el ambiente como foco frío:
 - o ¿qué rendimiento tendría cada ciclo? (1 punto)
 - o ¿De qué fuente podríamos obtener más potencia mecánica, idealmente, y cuánta sería? (1 punto)

Propiedades de los fluidos de trabajo:

- Gasolina: PCI $43,7 \text{ MJ/kg}$; densidad 750 kg/m^3 ; dosado estequiométrico 1/14,7
- Gases de escape: gas perfecto con $C_p = 1,22 \text{ kJ/kg-K}$
- Agua de refrigeración: líquido incompresible de densidad 969 kg/m^3 y calor específico $4,2 \text{ kJ/kg-K}$
- El ambiente se considera un foco a 25°C y 1bar.

$$Z = 3$$

$$D = 72 \text{ mm}$$

$$L = 81.5 \text{ mm}$$

$$120 \text{ km/h}$$

$$\dot{W}_e = 21 \text{ kW}$$

$$N = 2500 \text{ rpm}$$

$$5.5 \text{ dm}^3 / 100 \text{ km}$$

$$Fr = 1$$

$$a) V_T = 3 \times \frac{\pi 0.072^2}{4} \times 0.0815 \times 10^6 \text{ cm}^3 = \underline{\underline{995,48 \text{ cm}^3}}$$

$$b) q_e = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_e} = \frac{4950 \text{ g}}{21 \text{ kW} \cdot \text{h}} = \underline{\underline{235,71 \text{ g/kWh}}}$$

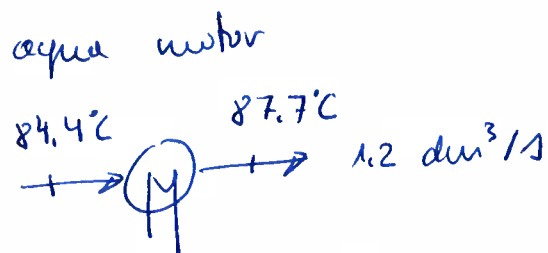
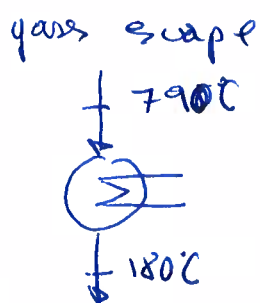
$$\dot{m}_f = \frac{5.5 \times \cancel{\text{dm}^3}}{100 \cancel{\text{km}}} \times \frac{120 \cancel{\text{km}}}{\text{h}} \times \frac{750 \text{ g}}{\cancel{\text{dm}^3}} = 4950 \text{ g/h}$$

$$c) \eta_e = \frac{21 \text{ kW}}{\frac{4,95 \text{ kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times 43700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{34,95 \%}}$$

$$d) F = \frac{1}{14.7} = \frac{4950 \text{ g/h}}{\dot{m}_a} \rightarrow \dot{m}_a = 72,765 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_a + \dot{m}_f = \dot{m}_e = 72,765 + 4,95 = 77,715 \text{ kg/h} =$$

$$= \underline{\underline{21,59 \text{ kg/s}}}$$



e) gases de escape:

$$\dot{Q}_{ge} = 21,59 \times 1,22 \times (790 - 180) = \underline{16,065 \text{ kWt}}$$

f) agua refrigeración:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_w &= 1,2 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \times 0,969 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (87,7 - 84,4) = \\ &= \underline{16,116 \text{ kWt}} \end{aligned}$$

$$\eta_{ge} = 1 - \frac{298}{T_{pe}} = 1 - \frac{298}{715,16} = \underline{58,3\%}$$

$$T_{pe} = \frac{790 - 180}{L\left(\frac{790 + 273}{180 + 273}\right)} = 715,16 \text{ K}$$

$$T_w = \frac{87,7 - 84,4}{L\left(\frac{87,7 + 273}{84,4 + 273}\right)} = 359,05 \text{ K}$$

$$\eta_w = 1 - \frac{298}{359,05} = 17\%$$

h) Se obtendría más potencia de la que se
suele:

$$\underline{\dot{W}_{ge}} = 0,5833 \times 16,065 = \underline{\underline{9,37 \text{ kW}}}$$