

Una casa rural dispone de un motor diésel de emergencia, de cuatro tiempos y cuatro cilindros, que suministra energía en caso de fallo eléctrico. Parte del trabajo mecánico generado, acciona el compresor de una cámara frigorífica, y el resto se convierte en energía eléctrica mediante un alternador que alimenta el sistema de alumbrado, los electrodomésticos y una caldera eléctrica para calefacción por radiadores de agua.

Cada cilindro presenta un volumen en el punto muerto superior de **40 cm³**, un diámetro de **12 cm** y una carrera de **42 mm**. La relación de combustión isóbara es **2**.

El motor utiliza gasóleo con una densidad de **0.84 kg/l** y un poder calorífico de **42 MJ/kg**. El combustible se introduce a presión atmosférica y a una temperatura ambiente promedio de **15°C**. Se pide:

- Calcule la cilindrada total del motor y su relación de compresión.
- Determina la temperatura del aire comprimido al inicio de la inyección del combustible y la de la mezcla al finalizarla (suponer gases ideales, con coeficiente adiabático de **1.4** para el aire).

Sabiendo que hay un consumo constante de **6.5 l/h** durante un corte eléctrico:

- ¿Qué potencia desarrollará el motor si su rendimiento es el **60%** del ideal del ciclo Diesel?
- ¿Qué par entrega cada cilindro cuando el cigüeñal gira a **2500 rpm**?

El compresor del sistema frigorífico consume el **10%** del trabajo del motor, con un rendimiento del **85%**. Si el evaporador tiene un rendimiento del **92%** y la cámara se mantiene a **-10°C**.

- ¿Cuál es el coeficiente de operación ideal del sistema en las condiciones de funcionamiento?
- En la situación de corte de suministro eléctrico, ¿cuánto calor por unidad de tiempo extrae el circuito de la cámara?
- Si el condensador tiene un rendimiento del **95%**, ¿cuántas calorías transfiere al ambiente en una hora?

En condiciones de corte eléctrico, el sistema de alumbrado y los electrodomésticos consumen **2kW**. La bomba de agua del sistema de calefacción impulsa un caudal de **5.5 l/min**.

- Si el agua está a temperatura ambiente, ¿hasta qué temperatura puede calentarla la caldera eléctrica? (calor específico del agua: **4.18 kJ/kg°C**)

Si se desea alimentar el circuito con colectores solares con el fin de ahorrar gasóleo y teniendo en cuenta que en la zona la densidad de radiación solar media es de **0.5kW/m²** y el rendimiento de los colectores es del **75%**, calcule:

- ¿Qué superficie de captación sería necesaria para calentar el mismo caudal de agua hasta la misma temperatura que lo hace la calefacción eléctrica?

- Para calcular la cilindrada total del motor tenemos que calcular el volumen unitario de cada cilindro:

$$V_T = n^{\circ} \text{cilindros} \cdot V_u$$

El volumen de cada cilindro lo obtenemos a partir de los datos de su geometría:

$$V_u = S \cdot L = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot (12\text{cm})^2}{4} \cdot 4.2\text{cm} = 475.01\text{cm}^3$$

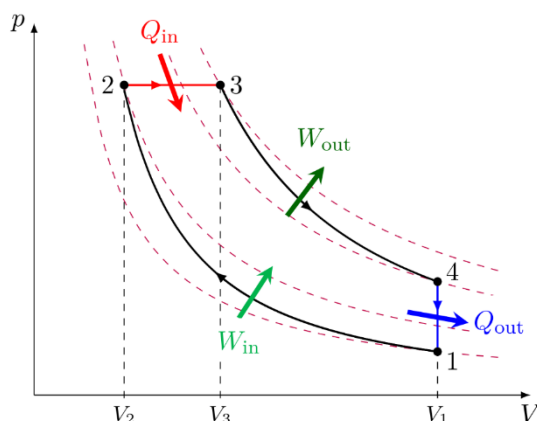
Por tanto:

$$V_T = 4 \cdot 475.01\text{cm}^3 = 1900\text{cm}^3$$

La relación de compresión relaciona el volumen máximo con el mínimo en el cilindro:

$$R_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_u + V_c}{V_c} = \frac{475.01\text{cm}^3 + 40\text{cm}^3}{40\text{cm}^3} = 12.875$$

- En un ciclo, como el representado en la figura, la inyección del combustible se produce en el punto **2**, una vez concluida la compresión adiabática **1-2**.



En un proceso adiabático tenemos que :

$$p \cdot V^\gamma = cte$$

Luego:

$$p_1 \cdot V_1^\gamma = p_2 \cdot V_2^\gamma$$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1^\gamma}{V_2^\gamma} \Rightarrow p_2 = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot R_c^\gamma$$

Como se trata de gases ideales:

$$\frac{PV}{T} = cte$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$\frac{R_c}{T_1} = \frac{R_c^\gamma}{T_2} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{R_c^\gamma}{R_c}$$

Por tanto:

$$T_2 = T_1 \cdot R_c^{\gamma-1} = 288K \cdot 12.875^{1.4-1} = 800.8K = 527.8^\circ C$$

Cuando finaliza la inyección se produce la combustión de la mezcla aire-combustible, que es un proceso isóbaro de expansión, el **2-3** en el gráfico anterior. La temperatura en el punto **3** vendrá dado por:

$$R_{isob} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow T_3 = R_{isob} \cdot T_2$$

$$T_3 = 2 \cdot 800.8K = 1601.6K = 1328.8^\circ C$$

- c. La potencia del motor la calculamos a partir del rendimiento térmico del ciclo Diesel y del poder calorífico del combustible.

$$\eta = \frac{P_U}{P_{comb}}$$

La potencia suministrada por el combustible es:

$$P_C = \frac{P_{comb}}{\dot{m}} \Rightarrow P_{comb} = P_C \cdot \dot{m}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 0.84 \frac{kg}{l} \cdot 6.5 \frac{l}{h} = 5.46 \frac{kg}{h} \cdot 1 \frac{h}{3600s} = 0.001517 \frac{kg}{s}$$

$$P_{comb} = 42 \cdot 10^3 \frac{kJ}{kg} \cdot 0.001517 \frac{kg}{s} = 63.7 kW$$

El rendimiento ideal del ciclo Diesel:

$$\eta_d = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}} \cdot \left[\frac{R_p^\gamma - 1}{\gamma \cdot (R_p - 1)} \right] =$$

$$= 1 - \frac{1}{12.875^{(1.4-1)}} \cdot \left[\frac{2^{1.4} - 1}{1.4 \cdot (2 - 1)} \right] = 0.579$$

El rendimiento del ciclo termodinámico real será entonces:

$$\eta = 0.6 \cdot \eta_d = 0.6 \cdot 0.579 = 0.347$$

Por tanto, la potencia útil en el eje de la máquina será:

$$P_U = \eta \cdot P_{comb} = 0.347 \cdot 63.7 kW = 22.12 kW$$

d. El par útil lo calculamos a partir de la potencia y la velocidad de giro del cigüeñal:

$$P = M \cdot \omega \Rightarrow M = \frac{P}{\omega} = \frac{22120 W}{2500 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60}} = 84.5 Nm$$

El par útil en cada cilindro será la cuarta parte del par total:

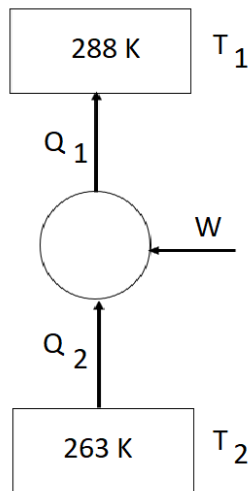
$$M_c = \frac{84.5 Nm}{4} = 21.125 Nm$$

e. El coeficiente de operación de un sistema frigorífico es la relación entre el calor extraído del foco frío y el trabajo desarrollado por el compresor.

$$\epsilon = \frac{Q_2}{W}$$

Como nos pide el ideal:

$$\epsilon_c = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$



$$\varepsilon_c = \frac{263K}{288K - 263K} = 10.52$$

- f. El calor que se extrae de la cámara lo calculamos a partir de coeficiente de operación.

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W} \Rightarrow Q_2 = \varepsilon \cdot W$$

El compresor consume según el enunciado el **10%** del trabajo del motor, luego consume:

$$\dot{W} = 0.1 \cdot 22.12kW = 2.212kW$$

Como el rendimiento del compresor es del **85%**, el trabajo desarrollado por el compresor será:

$$\dot{W} = 0.85 \cdot 2.212kW = 1.88 kW$$

Luego el calor extraído será:

$$\dot{Q}_2 = \varepsilon \cdot \dot{W} = 10.52 \cdot 1.88kW = 19.78kW$$

Pero como el rendimiento del evaporador es del **92%**, el calor real extraído será:

$$\dot{Q}_2 = 0.92 \cdot 19.78kW = 18.20kW$$

$$\dot{Q}_2 = 18.2 \frac{kJ}{s} \cdot \frac{3600s}{h} = 65510.4 \frac{kJ}{h} = 15672.3 \frac{kcal}{h}$$

g. A partir de los resultados obtenidos en el apartado anterior:

$$\dot{W} = \dot{Q}_1 - \dot{Q}_2 \Rightarrow \dot{Q}_1 = \dot{W} + \dot{Q}_2$$

$$\dot{Q}_1 = 1.88kW + 18.2kW = 20.08kW$$

Pero como el rendimiento del condensador es del **95%**:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_1 &= 0.95 \cdot 20.08kW = 19.08kW = 19.08 \frac{kJ}{s} \cdot \frac{3600s}{h} \cdot \frac{kcal}{4.18kJ} \\ &= 16432.5 \frac{kcal}{h}\end{aligned}$$

h. La potencia que tenemos disponible para la caldera es:

$$P_{elec} = P_m - P_{compresor} - P_{alumbrado} = 22.12kW - 2.212kW - 2kW = 17.908kW$$

Luego, a partir de la cantidad de calor transferida al agua entre dos temperaturas:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{m} = 5.5 \frac{l}{min} \cdot \frac{1m^3}{10^3l} \cdot \frac{10^3kg}{1m^3} \cdot \frac{1min}{60s} = 91.67 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \cdot C_p} = \frac{17.908kW}{91.67 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{s} \cdot 4.18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}} = 46.74^\circ C$$

Por tanto:

$$\Delta T = T_f - T_i \Rightarrow T_f = \Delta T + T_i = 46.74^\circ C + 15^\circ C = 61.74^\circ C$$

i. El rendimiento de sistema de placas solares es:

$$\eta = \frac{P}{S \cdot I} \Rightarrow S = \frac{P}{\eta \cdot I} = \frac{17.908kW}{0.75 \cdot 0.5 \frac{kW}{m^2}} = 47.75m^2$$