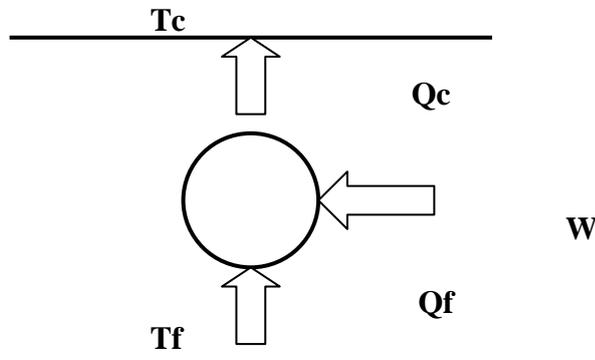


BLOQUE 2(II): MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

1. Imagina que tienes en casa un congelador que funciona según el ciclo frigorífico de Carnot y enfría a una velocidad de 850 KJ/h. La temperatura de tu congelador debe ser la adecuada para conservar los alimentos de su interior, aproximadamente de $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. En tu casa la temperatura ambiente es de unos $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Determinar: a) La potencia que debe tener el motor del congelador para cumplir con su misión.

- b) La potencia que debería tener el motor en el caso de que el rendimiento fuera de sólo el 50 % del rendimiento ideal de Carnot.



$$Q_f = 850 \text{ KJ / h}$$

$$T_f = -12\text{ }^{\circ}\text{C} = 273 + (-12) = 261\text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$T_c = 21\text{ }^{\circ}\text{C} = 273 + 21 = 294\text{ }^{\circ}\text{K}$$

Ciclo de Carnot Frigorífico:

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{261}{294 - 261} = \frac{261}{33} = 7,91$$

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{IDEAL}} = \frac{850 \text{ KJ}}{7,91} = 107,46 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

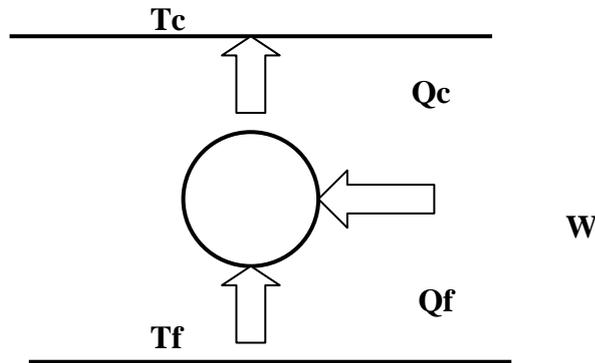
$$107,46 \text{ KJ / h} = 107,46 \text{ KJ / h} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 29,85 \text{ J / s} = 29,85 \text{ W}$$

$$\varepsilon_{MAQUINA} = \varepsilon_{IDEAL} \cdot \eta = 7,91 \cdot \frac{50}{100} = 3,955$$

$$\varepsilon_{MAQUINA} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{MAQUINA}} = \frac{850 \text{ KJ}}{3,955} = 214,92 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$214,92 \text{ KJ / h} = 214,92 \text{ KJ / h} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 59,70 \text{ J / s} = 59,70 \text{ W}$$

2. Una bomba de calor que funciona según el ciclo de Carnot toma calor del exterior que se encuentra a una temperatura de 5 °C y lo introduce en una habitación que se encuentra a 22 °C, a un régimen de 50000 KJ/h.
Determina: a) La potencia que debe tener el motor de la bomba de calor para cumplir con lo indicado.
 b) Si el rendimiento de la bomba de calor fuera del 48 % del rendimiento ideal de Carnot, ¿cuál debería ser entonces la potencia del motor ?.



$$Q_c = 50000 \text{ KJ / h}$$

$$T_f = 5 \text{ °C} = 273 + 5 = 278 \text{ °K}$$

$$T_c = 22 \text{ °C} = 273 + 22 = 295 \text{ °K}$$

Ciclo de Carnot como Bomba de Calor:

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{295}{295 - 278} = \frac{295}{17} = 17,35$$

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{IDEAL}} = \frac{50000 \text{ KJ}}{17,35} = 2881,84 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$2881,84 \text{ KJ / h} = 2881,84 \text{ KJ / h} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 800,51 \text{ J / s} = 800,51 \text{ W}$$

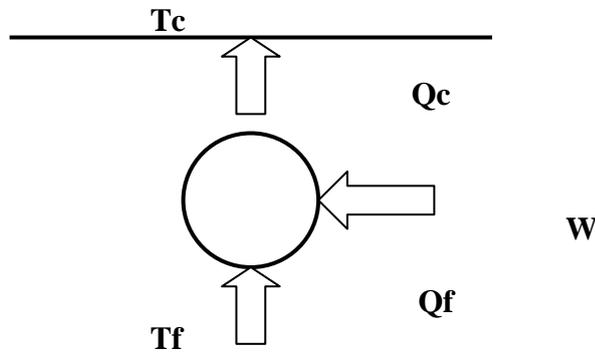
$$\varepsilon_{MAQUINA} = \varepsilon_{IDEAL} \cdot \eta = 17,35 \cdot \frac{48}{100} = 8,328$$

$$\varepsilon_{MAQUINA} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{MAQUINA}} = \frac{50000 \text{ KJ}}{8,328} = 6003,84 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$6003,84 \text{ KJ / h} = 6003,84 \text{ KJ / h} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1667,73 \text{ J / s} = 1667,73 \text{ W}$$

3.- Un automóvil circula a la velocidad de 80 km/h, y se desea que su interior se mantenga a la temperatura de 20 °C, siendo la del ambiente exterior de 32 °C. Para ello, la instalación de aire acondicionado del coche debe absorber 15000 kJ/h por transferencia de calor. ¿ Qué potencia adicional deberá desarrollar el motor para mantener el acondicionador de aire ?.

- a) En el supuesto de un funcionamiento reversible (ideal) de la instalación.
 b) Y de un funcionamiento con una eficiencia igual a la mitad de la ideal.



$$Q_f = 15000 \text{ KJ / h}$$

$$T_f = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 273 + 20 = 293 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_c = 32 \text{ }^\circ\text{C} = 273 + 32 = 305 \text{ }^\circ\text{K}$$

Ciclo de Carnot Frigorífico:

a)

$$\varepsilon_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{293}{305 - 293} = \frac{293}{12} = 24,42$$

$$\varepsilon_f = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_f} = \frac{15000 \text{ KJ}}{24,42} = 614,25 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$614,25 \text{ KJ} = 614,25 \text{ KJ} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} = 614250 \text{ J} = 614250 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{614350 \text{ W} \cdot \text{s}}{3600 \text{ s}} = 170,625 \text{ W} \approx 170 \text{ W}$$

b)

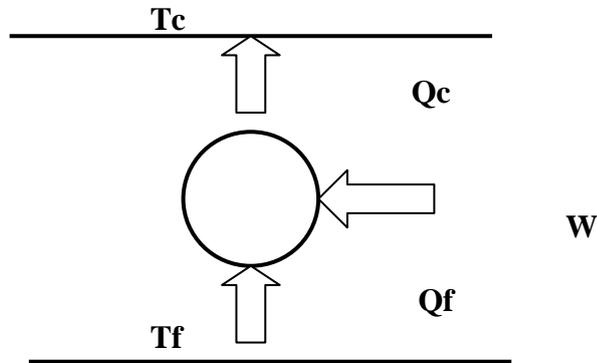
$$\varepsilon_{MAQUINA} = \varepsilon_{IDEAL} \cdot \eta = 24,42 \cdot \frac{0,50}{100} = 12,21$$

$$\varepsilon_{MAQUINA} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{MAQUINA}} = \frac{15.000 \text{ KJ}}{12,21} = 1.228,67 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$1.228,67 \text{ KJ / h} = 1.228,67 \text{ KJ / h} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 341,30 \text{ J / s} = 341,30 \text{ W}$$

4.- Una bomba de calor funciona de manera reversible entre dos focos a temperaturas de 7 °C y 27 °C, y al ciclo se aportan 2 kW·h de energía.

- Determina:** a) Cantidad de calor comunicada al foco caliente.
 b) Cantidad de calor absorbida del foco frío.
 c) Eficiencia de la bomba, según que funcione como máquina frigorífica o calorífica.



$$W = 2 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$T_f = 7 \text{ }^\circ\text{C} = 273 + 7 = 280 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_c = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 273 + 27 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\varepsilon_{bc} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{300}{300 - 280} = \frac{300}{20} = 15$$

$$\varepsilon_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{280}{300 - 280} = \frac{280}{20} = 14$$

$$\varepsilon_c = \frac{Q_c}{W} \rightarrow Q_c = \varepsilon_c \cdot W = 15 \cdot 1,728 \cdot 10^6 \text{ cal} = 25,92 \cdot 10^6 \text{ cal} = 25920 \text{ kcal}$$

$$2 \text{ kW} \cdot \text{h} = 2 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{1000 \text{ W}}{1 \text{ kW}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ J}$$

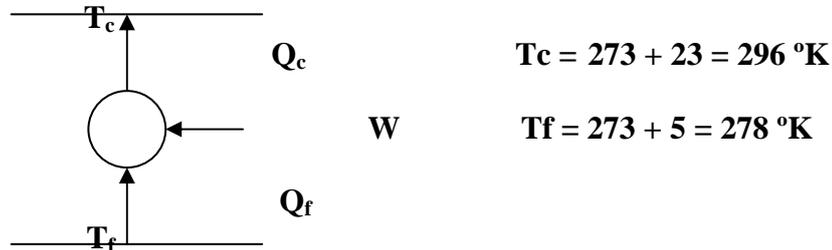
$$7,2 \cdot 10^6 \text{ J} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ J} \frac{0,24 \text{ cal}}{1 \text{ J}} = 1,728 \cdot 10^6 \text{ cal} = 1728 \text{ kcal}$$

$$Q_f = Q_c - W = 25920 \text{ kcal} - 1728 \text{ kcal} = 24192 \text{ kcal}$$

5.- Una **bomba de calor** funciona de manera reversible entre dos focos de calor a temperaturas de 5 °C y 23 °C, y al ciclo se aportan 2,6 Kw·h de energía.

Calcular:

- Cantidad de calor** cedida al foco caliente.
- Cantidad de calor** absorbida del foco frío.
- Eficiencia** de la bomba según que funcione como máquina frigorífica o calorífica.



$$\varepsilon_{bc} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{296^\circ K}{296^\circ K - 278^\circ K} = 16,44$$

$$W = 2,6 \text{ Kw} \cdot h = 2,6 \text{ Kw} \cdot h \cdot \frac{1.000 \text{ w}}{1 \text{ Kw}} \cdot \frac{3.600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ w} \cdot \text{s}} = 9,36 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\varepsilon_{bc} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow Q_c = \varepsilon \cdot W = 16,44 \cdot 9,36 \cdot 10^6 \text{ J} = 153,88 \cdot 10^6 \text{ J}$$

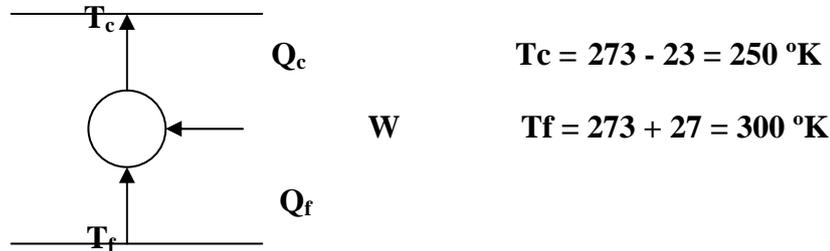
$$Q_f = Q_c - W = 153,66 \cdot 10^6 \text{ J} - 9,36 \cdot 10^6 \text{ J} = 144,52 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\varepsilon_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{278^\circ K}{296^\circ K - 278^\circ K} = 15,44$$

6.- Una **máquina frigorífica** absorbe 15.000 J/min del foco frío que se encuentra a $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Calcular:

- La **cantidad de calor** que cede al foco caliente que está a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, sabiendo que su eficiencia es la mitad de la del correspondiente ciclo frigorífico de Carnot.
- La **potencia** del motor que debería poseer dicha máquina frigorífica para cumplir con su cometido.
- La **eficiencia** en el caso que dicha máquina actuara como bomba de calor.



$$\varepsilon_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{250\text{ }^{\circ}\text{K}}{300\text{ }^{\circ}\text{K} - 250\text{ }^{\circ}\text{K}} = 5; \quad \varepsilon_{máq.} = \frac{\varepsilon_f}{2} = \frac{5}{2} = 2,5$$

$$\varepsilon_{máq.frig.} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} \rightarrow 2,5 = \frac{15.000\text{ J}}{Q_c - 15.000\text{ J}}; \quad 2,5 \cdot Q_c - 37.500\text{ J} = 15.000\text{ J}$$

$$Q_c = \frac{15.000\text{ J} + 37.500\text{ J}}{2,5} = 21.000\text{ J (en 1 min.)}$$

$$\varepsilon_{máq.frig.} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{máq.frig.}} = \frac{15.000\text{ J / min.}}{2,5} = 6.000\text{ J / min.}$$

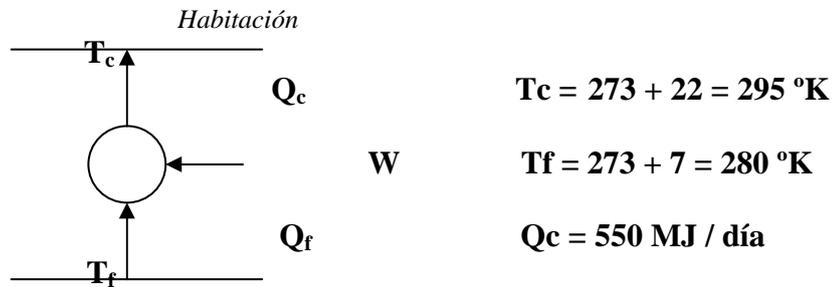
$$P = \frac{W}{t} = \frac{6.000\text{ J}}{\text{min.}} = \frac{6.000\text{ W} \cdot s}{60\text{ s}} = 100\text{ W}$$

$$\varepsilon_{b.calor} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{300\text{ }^{\circ}\text{K}}{300\text{ }^{\circ}\text{K} - 250\text{ }^{\circ}\text{K}} = \frac{300\text{ }^{\circ}\text{K}}{50\text{ }^{\circ}\text{K}} = 6$$

$$\varepsilon_{b.calorREAL.} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f} = \frac{21.000\text{ J}}{21.000\text{ J} - 15.000\text{ J}} = 3,5$$

7.- Cuando la temperatura externa es de 7 °C, una vivienda requiere 550 MJ por día para mantener su temperatura interna a 22 °C. Si se emplea como calefacción una *bomba de calor*, se pide:

- El *mínimo trabajo teórico* para una hora de funcionamiento
- El *COP (eficiencia) de funcionamiento* de la bomba de calor si el rendimiento del ciclo práctico real del fluido de trabajo es del 30 % del de Carnot y la *potencia* necesaria para desarrollarse el proceso en estas condiciones.
- La *cantidad de calor absorbida* del entorno en las condiciones de trabajo reales.



E

$$\varepsilon_{bc} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{295 \text{ }^\circ\text{K}}{295 \text{ }^\circ\text{K} - 280 \text{ }^\circ\text{K}} = 19,67$$

$$\varepsilon_{bc} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{bc}} = \frac{550 \text{ MJ / día}}{19,67} = 27,955 \text{ MJ / día}$$

$$W = 27,955 \frac{\text{MJ}}{\text{día}} = 27,955 \frac{\text{MJ}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 1,165 \text{ MJ / h}$$

$$\varepsilon_{bc(\text{MAQUINA})} = \varepsilon_{bc} \cdot 0,30 = 19,67 \cdot 0,30 = 5,90$$

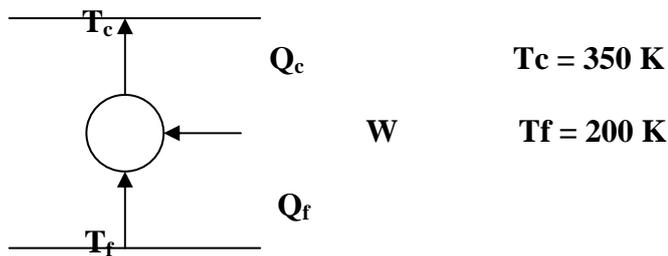
$$\varepsilon_{bc(\text{MAQUINA})} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{bc(\text{MAQ})}} = \frac{550 \cdot 10^6 \text{ J / día}}{5,90} = 93,22 \cdot 10^6 \text{ J / día}$$

$$93,22 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{día}} = 93,22 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1078,9 \text{ J / s}$$

$$\approx 1079 \text{ w}$$

$$Q_f = Q_c - W = 550 \text{ MJ / día} - 93,22 \text{ MJ / día} = 456,78 \text{ MJ / día}$$

8.- Tenemos una máquina frigorífica cuyo rendimiento es la mitad del rendimiento del ciclo de Carnot. Esta máquina frigorífica funciona entre dos fuentes de calor que están a unas temperaturas de 200 y 350 K. Además, sabemos que la máquina absorbe 1200 J/min de la fuente fría. ¿Cuánto calor cede la máquina a la fuente caliente? ¿Qué potencia debería poseer la máquina? ¿Cuál sería su eficiencia en el caso de que dicha máquina actuara como bomba de calor?



a)

$$\varepsilon_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{200 K}{350 K - 200 K} = 1,33; \quad \varepsilon_{máq.} = \frac{\varepsilon_f}{2} = \frac{1,33}{2} = 0,67$$

$$\varepsilon_{máq.frig.} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} \rightarrow 0,67 = \frac{1.200 J}{Q_c - 1.200 J}; 0,67 \cdot Q_c - 800 J = 1.200 J$$

$$Q_c = \frac{1.200 J + 800 J}{0,67} = 3.000 J$$

b)

$$\varepsilon_{maq.frig.} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{maq.frig.}} = \frac{1.200 J / \text{min.}}{0,67} = 1.800 J / \text{min.}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1800 J}{\text{min.}} = \frac{1800 W \cdot s}{60 s} = 30 W$$

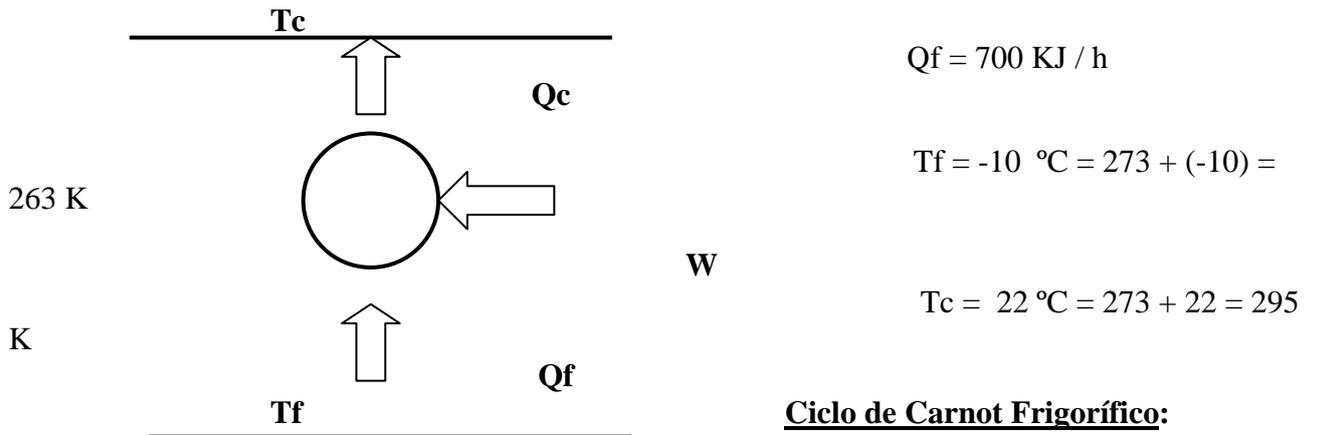
c)

$$\varepsilon_{b.calor} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{350 K}{350 K - 200 K} = \frac{350 K}{150 K} = 2,33$$

$$\varepsilon_{b.calorREAL.} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f} = \frac{3.000 J}{3.000 J - 1.200 J} = 1,67$$

9. Imagina que tienes en casa un frigorífico que funciona según el ciclo frigorífico de Carnot y enfría a una velocidad de 700 kilojulios/hora. La temperatura de tu frigorífico debe ser la apropiada para que no se descongelen los alimentos de su interior, aproximadamente de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. En tu casa la temperatura ambiente es de unos $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determinar:

- La potencia que debe poseer el motor del frigorífico para conseguir dicha temperatura.
- La potencia que debería poseer el motor del frigorífico en el caso de que el rendimiento fuera del 60% del rendimiento ideal de Carnot.



a)

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{263}{295 - 263} = \frac{263}{32} = 8,22$$

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{IDEAL}} = \frac{700\text{ KJ}}{8,22} = 85,17\text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$85,17\text{ KJ} / \text{h} = 85,17\text{ KJ} / \text{h} \cdot \frac{1000\text{ J}}{1\text{ KJ}} \cdot \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} = 23,66\text{ J} / \text{s} = 23,66\text{ W}$$

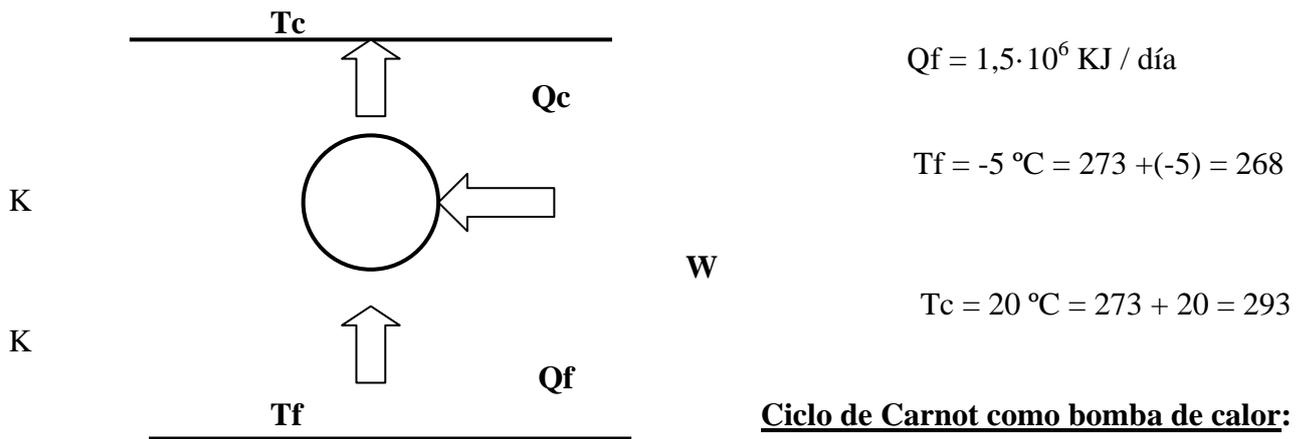
b)

$$\varepsilon_{MAQUINA} = \varepsilon_{IDEAL} \cdot \eta = 8,22 \cdot \frac{0,60}{100} = 4,93$$

$$\varepsilon_{MAQUINA} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{MAQUINA}} = \frac{700\text{ KJ}}{4,93} = 141,95\text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$141,95\text{ KJ} / \text{h} = 141,95\text{ KJ} / \text{h} \cdot \frac{1000\text{ J}}{1\text{ KJ}} \cdot \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} = 39,43\text{ J} / \text{s} = 39,43\text{ W}$$

10. Una bomba de calor de uso doméstico, accionada eléctricamente, debe suministrar $1,5 \cdot 10^6$ KJ diarios a una vivienda para mantener su temperatura en 20°C . Si la temperatura exterior es de -5°C y el precio de la energía eléctrica es de $0,10$ €/el Kwh, determinar el coste mínimo diario de calefacción.



$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{293 \text{ K}}{293 \text{ K} - 268 \text{ K}} = \frac{293 \text{ K}}{25 \text{ K}} = 11,72$$

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{IDEAL}} = \frac{1,5 \cdot 10^6 \text{ KJ}}{11,72} = 127,99 \text{ KJ (en 1 día)}$$

$$P = 127,99 \text{ KJ / día} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{86.400 \text{ s}} = 1481,32 \text{ J / s} = 1481,32 \text{ W}$$

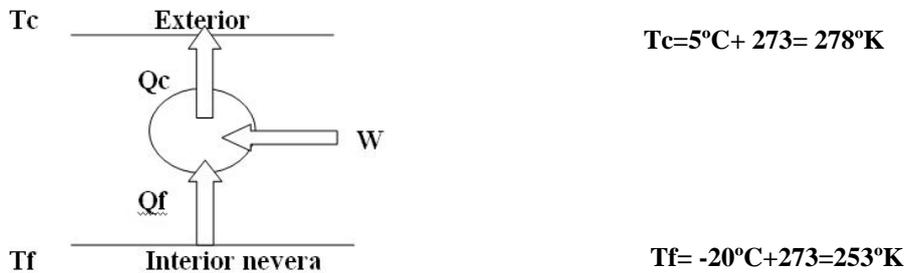
$$1481,32 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ KW}}{10^3 \text{ W}} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{0,10 \text{ €}}{1 \text{ KW} \cdot \text{h}} = 3,56 \text{ €}$$

11. Un congelador funciona según el ciclo de Carnot, enfriando a 400KJ/hora. La temperatura del congelador debe ser de -20°C en el interior, siendo la del ambiente exterior de 5°C . Hallar:

a) Potencia que debe tener el motor del congelador para cumplir con su cometido

b) Potencia que debería tener el motor del congelador si su eficiencia real fuera el 70% de la eficiencia ideal de Carnot.

c) Coste económico que supondría mantener en funcionamiento durante 8 horas el congelador en las condiciones del apartado b) si el precio del Kwh es de 0,14 euros.



a)

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_f}{W} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{253}{278 - 253} = \frac{253}{25} = 10,12$$

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{IDEAL}} = \frac{400 \text{ KJ}}{10,12} = 39,535 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$39,535 \text{ KJ/h} = 2881,84 \text{ KJ/h} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 10,98 \text{ J/s} = 10,98 \text{ W}$$

b)

$$\varepsilon_{mf} = \varepsilon_{IDEAL} \cdot 0,7 = 10,12 \cdot 0,7 = 7,084$$

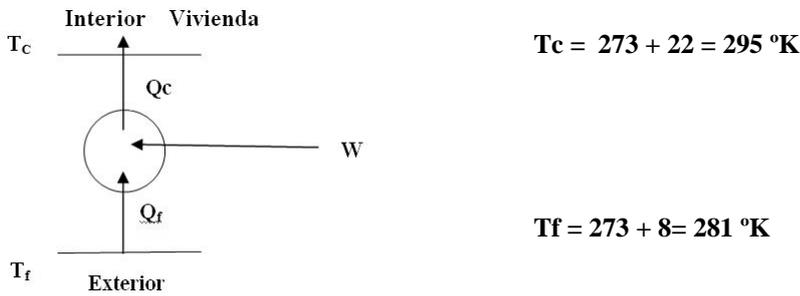
$$\varepsilon_{mf} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{mf}} = \frac{400 \text{ KJ}}{7,084} = 56,46 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$56,46 \text{ KJ/h} = 56,46 \text{ KJ/h} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 15,68 \text{ J/s} = 15,68 \text{ W}$$

$$c) 15,68 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ Kw}}{10^3 \text{ W}} \cdot 8 \text{ h} \cdot \frac{0,14 \text{ euros}}{1 \text{ Kw.h}} = 0,0175 \text{ euros.}$$

12. Cuando la temperatura exterior es de 8°C, una vivienda requiere 600MJ por día para mantener su temperatura interior a 22°C. Si se emplea como calefacción una bomba de calor, determinar:

- El mínimo trabajo teórico para una hora de funcionamiento.
- La eficiencia de la bomba si esta fuera del 25% de la de Carnot y la potencia necesaria para que el proceso se lleve a cabo en estas condiciones.
- La cantidad de calor absorbida del entorno en las condiciones de trabajo reales



a)

$$\varepsilon_{bc(\text{ideal})} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{295 \text{ }^\circ\text{K}}{295 \text{ }^\circ\text{K} - 281 \text{ }^\circ\text{K}} = 21,07$$

$$\varepsilon_{bc(\text{ideal})} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{bc}} = \frac{600 \text{ MJ / día}}{21,07} = 28,476 \text{ MJ / día}$$

$$W = 28,476 \frac{\text{MJ}}{\text{día}} = 28,476 \frac{\text{MJ}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 1,186 \text{ MJ / h}$$

b)

$$\varepsilon_{bc(\text{máquina})} = \varepsilon_{bc} \cdot 0,25 = 21,07 \cdot 0,25 = 5,27$$

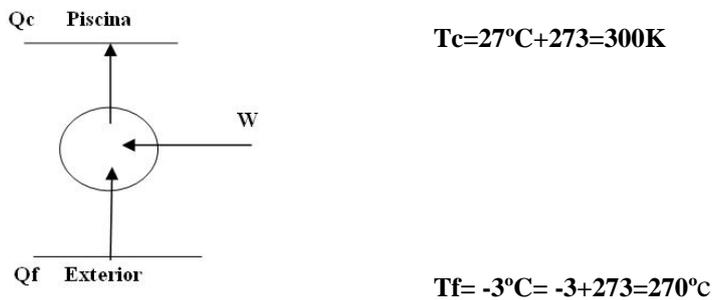
$$\varepsilon_{bc(\text{máquina})} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{bc(\text{máquina})}} = \frac{600 \text{ MJ / día}}{5,27} = \frac{6 \cdot 10^8 \text{ J / día}}{5,27} = 1,14 \cdot 10^8 \text{ J / día}$$

$$1,14 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{día}} = 1,14 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1319,44 \text{ J / s} = 1319,44 \text{ w}$$

$$c) Q_c = Q_f + W \rightarrow Q_f = Q_c - W = 6 \cdot 10^8 \text{ J / día} - 1,14 \cdot 10^8 \text{ J / día} = 4,86 \cdot 10^8 \text{ J / día.}$$

13.- Una bomba de calor se utiliza para mantener el recinto de una piscina climatizada a 27 ° cuando la temperatura exterior es de -3 °C. Para su funcionamiento, hay que suministrarle a la piscina un calor de $216 \cdot 10^6 \text{ J}$ en doce horas de funcionamiento. Calcular:

- Eficiencia real de la bomba, si ésta es el 40 % de la ideal.
- Potencia de la bomba en las condiciones reales de funcionamiento
- El calor absorbido del medio ambiente durante las doce horas de funcionamiento



a)

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_c}{W} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{300}{300 - 270} = \frac{300}{30} = 10.$$

$$\varepsilon_{bc} = \varepsilon_{IDEAL} \cdot 0,40 = 10 \cdot 0,40 = 4.$$

b)

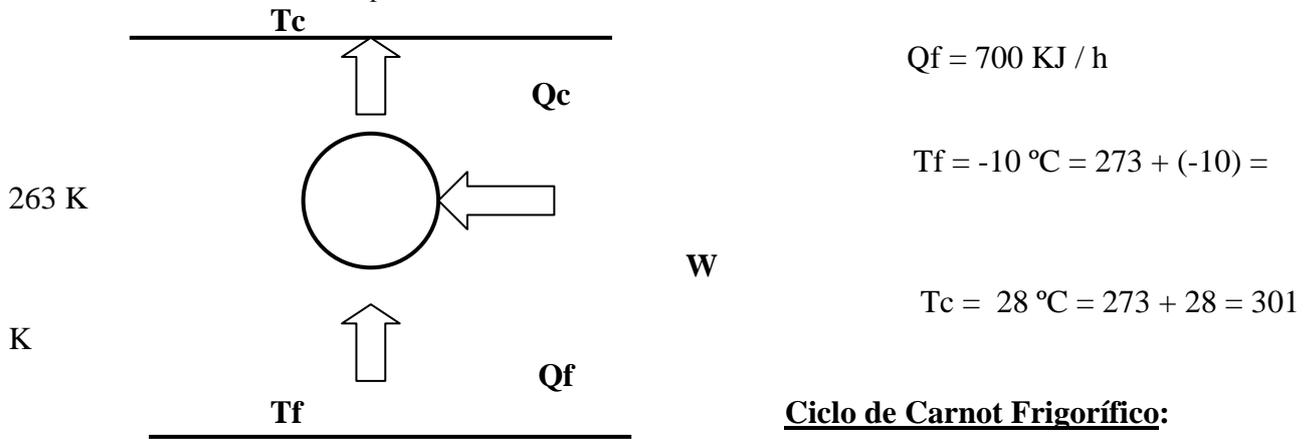
$$\varepsilon_{bc} = \frac{Q_c}{W} \rightarrow W = \frac{Q_c}{\varepsilon_{bc}} = \frac{216 \cdot 10^6 \text{ J}}{4} = 54 \cdot 10^6 \text{ J (en 12 horas)}$$

$$54 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{12 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1250 \text{ J / s} = 1250 \text{ W}$$

$$c) Q_c = Q_f + W \rightarrow Q_f = Q_c - W = 216 \cdot 10^6 \text{ J} - 54 \cdot 10^6 \text{ J} = 162 \cdot 10^6 \text{ J. (en las 12 h de funcionamiento).}$$

14. Imagina que tienes en casa una nevera que funciona según el ciclo frigorífico de Carnot y enfría a una velocidad de 700 kJ/h. La temperatura de tu nevera debe ser la apropiada para que no se descongelen los alimentos que tiene en su interior, aproximadamente de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. En tu casa la temperatura ambiente es de unos $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- a) ¿Qué potencia del motor debe tener tu nevera para conseguir esta temperatura?
 b) Si el rendimiento de tu nevera fuera del 60% del rendimiento ideal de Carnot, ¿cuál debería ser entonces la potencia del motor?



a)

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{263}{301 - 263} = \frac{263}{38} = 6,92$$

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{IDEAL}} = \frac{700 \text{ KJ}}{6,92} = 101,14 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$101,14 \text{ KJ} / h = 101,14 \text{ KJ} / h \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 28,09 \text{ J} / s = 28,09 \text{ W}$$

b)

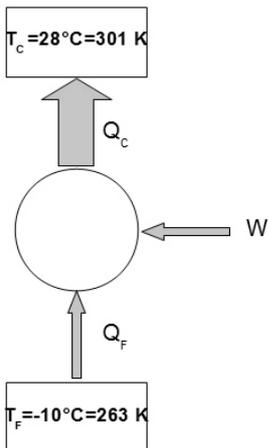
$$\varepsilon_{MAQUINA} = \varepsilon_{IDEAL} \cdot \eta = 6,92 \cdot \frac{0,60}{100} = 4,15$$

$$\varepsilon_{MAQUINA} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{MAQUINA}} = \frac{700 \text{ KJ}}{4,15} = 168,57 \text{ KJ (en 1 hora)}$$

$$168,57 \text{ KJ} / h = 168,57 \text{ KJ} / h \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 46,82 \text{ J} / s = 46,82 \text{ W}$$

15. Un pequeño congelador funciona según un ciclo frigorífico de Carnot y enfría a una velocidad de 700 kJ/h. La temperatura de la nevera debe ser apropiada para que no se descongelen los alimentos en su interior, aproximadamente $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suponiendo que la temperatura ambiente del recinto en el que se encuentra el congelador es de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, determine:

- La eficiencia de la máquina y la potencia que debe tener el motor para mantener esa temperatura.
- El calor cedido a la atmósfera.
- La potencia del motor si la eficiencia real fuese un 60% del rendimiento del ciclo de Carnot.



$$T_c = 273 + 28\text{ }^{\circ}\text{C} = 301\text{ K}$$

$$T_f = 273 - 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 263\text{ K}$$

$$Q_f = 700\text{ kJ/h}$$

a)

La eficiencia de una máquina frigorífica ideal es:

$$\varepsilon = \frac{Q_f}{W} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{263\text{ K}}{301\text{ K} - 263\text{ K}} = 6,92$$

$$W = \frac{Q_f}{\varepsilon} = \frac{700\text{ kJ/h}}{6,92} = 101,14\text{ kJ/h}$$

Este es trabajo realizado por el motor por unidad de tiempo, es decir la potencia, que expresada en vatios vale:

$$P = 101,14 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{10^3\text{ J}}{1\text{ kJ}} \times \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} = 28,09\text{ W}$$

b)

El calor cedido a la atmósfera es:

$$Q_c = Q_f + W$$

Y la eficiencia de la máquina frigorífica:

$$\varepsilon = \frac{Q_f}{W}$$

Entonces:

$$Q_c = Q_f + W \Rightarrow Q_c = Q_f + \frac{Q_f}{\varepsilon} = 700 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \frac{700 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{6,92} = 801,14 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

c)

En ese caso:

$$\varepsilon_{real} = \varepsilon_{ideal} \times 0,60 = 4,15$$

Y por tanto:

$$W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{real}} = \frac{700 \text{kJ} / \text{h}}{4,15} = 168,56 \text{kJ} / \text{h}$$

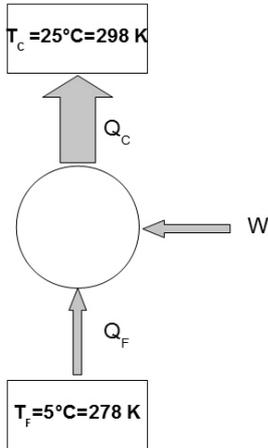
Que expresada en vatios vale:

$$P = 168,56 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{10^3 \text{J}}{1 \text{kJ}} \times \frac{1 \text{h}}{3600 \text{s}} = 46,82 \text{W}$$

Que lógicamente es mayor que en el caso ideal para compensar las pérdidas.

16. Se desea climatizar una nave a 25 °C mediante una bomba de calor de 2,5 kW de potencia. Si la temperatura exterior es de 5 °C y la bomba funciona según un ciclo de Carnot reversible, determine:

- Eficiencia de la bomba de calor.
- Calor cedido al foco caliente durante una hora, expresado en kJ.
- Calor absorbido del foco frío durante una hora, expresado en kJ.



$$T_c = 273 + 25 \text{ °C} = 298 \text{ °C K}$$

$$T_f = 273 + 5 \text{ °C} = 278 \text{ K}$$

$$P = 2,5 \text{ kW} = 2,5 \text{ kJ/s}$$

a)

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{298 \text{ K}}{298 \text{ K} - 278 \text{ K}} = 14,9$$

b)

$$Q_c = \varepsilon W = 14,9 \times 2,5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 37,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$Q_c = 37,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} = 134100 \text{ kJ} = 1,34 \times 10^5 \text{ kJ}$$

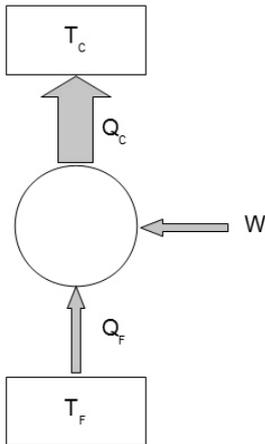
c)

$$Q_f = Q_c - W = 37,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} - 2,5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 34,75 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$Q_f = 34,75 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} = 125100 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 1,25 \times 10^5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

17. Un refrigerante circula a baja temperatura a través de las paredes del compartimento de un congelador a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura del aire circundante es de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. La cesión de calor del congelador al fluido refrigerante es de $27,8\text{ Kw}$ y la potencia para producir el ciclo frigorífico es de $8,35\text{ Kw}$. Se pide:

- El coeficiente de operación del frigorífico real, es decir, su eficiencia real.
- La eficiencia máxima que podría tener un frigorífico que operara entre las mismas temperaturas.
- El calor entregado al aire de la cocina donde se encuentra el frigorífico, durante una hora de funcionamiento, en KJ.



$$T_c = 273 + 18\text{ }^{\circ}\text{C} = 291\text{ K}$$

$$T_f = 273 - 7\text{ }^{\circ}\text{C} = 266\text{ K}$$

$$Q_f = 27,8\text{ Kw} = 27,8\text{ kJ/s}$$

$$W = 8,35\text{ Kw} = 8,35\text{ kJ/s}$$

a)

$$\varepsilon = \frac{Q_f}{W} = \frac{27,8\text{ kW}}{8,35\text{ kW}} = 3,33$$

b)

$$\varepsilon_{\text{Carnot}} = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{266\text{ K}}{291\text{ K} - 266\text{ K}} = 10,64$$

c)

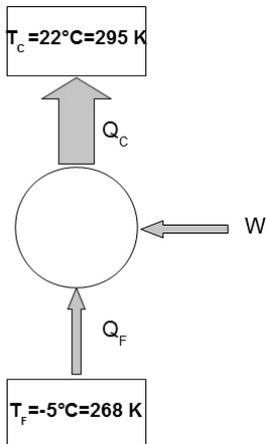
$$Q_c = Q_f + W = 27,8\text{ kW} + 8,35\text{ kW} = 36,15\text{ kW}$$

En una hora de funcionamiento

$$Q_c = 36,15 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 3600\text{ s} = 130140\text{ kJ} = 1,30 \times 10^5\text{ kJ}$$

18. Un refrigerador desarrolla un ciclo que absorbe calor desde un congelador a un ritmo de $1,92 \cdot 10^8$ J diarios, cuando la temperatura interior es de -5°C y la exterior, de 22°C .

- Determinar la eficiencia de la máquina.
- Calcula la potencia mínima necesaria para hacer funcionar el refrigerador.



Datos :

$$Q_f = 1,92 \cdot 10^8 \text{ J}$$

$$t = 1 \text{ día} = 86400 \text{ s}$$

$$T_f = -5^\circ\text{C} + 273 = 268$$

$$T_c = 22^\circ\text{C} + 273 = 295 \text{ K}$$

a)

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{268}{295 - 268} = 9,92$$

Luego la eficiencia de la máquina es 9,92

b)

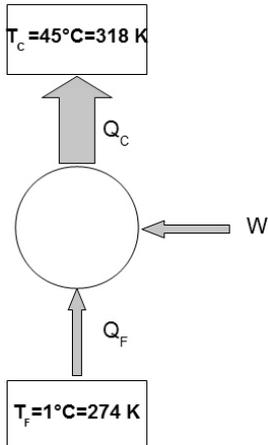
De la expresión de la eficiencia, despejamos el valor de W :

$$\varepsilon_{IDEAL} = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{IDEAL}} = \frac{1,92 \cdot 10^8 \text{ J}}{9,92} = 1,93 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Con este dato calculamos la potencia, sabiendo que es un trabajo diario :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1,93 \cdot 10^7 \text{ J}}{86400 \text{ s}} = 223,4 \text{ W}$$

19. En un centro de tratamiento de aguas residuales se utiliza una máquina frigorífica para enfriar un tanque de líquido. La máquina opera entre 1°C y 45°C. Su rendimiento es la mitad que el de Carnot. Si en una hora extrae 34000 calorías del tanque, determinar el trabajo mecánico consumido por la máquina en ese tiempo (expresa el resultado en julios).



Datos:

$$Q_f = 34000 \text{ cal/h}$$

$$T_f = 1 \text{ }^\circ\text{C} = 273 + 1 = 274 \text{ K}$$

$$T_c = 45^\circ\text{C} = 273 + 45 = 318 \text{ K}$$

$$\varepsilon_{\text{carnot}} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{274}{318 - 274} = 6,22$$

Como el rendimiento de la máquina es la mitad que una de Carnot funcionando entre las mismas temperaturas, entonces :

$$\varepsilon_{\text{sistema}} = \varepsilon_{\text{carnot}} \times 0,50 = 3,11$$

Por tanto :

$$\varepsilon_f = \frac{Q_f}{W} \rightarrow W = \frac{Q_f}{\varepsilon_{\text{sistema}}} = \frac{34.000 \text{ cal/h}}{3,11} = 10.919,71 \frac{\text{cal}}{\text{h}} \cdot \frac{4,18 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 45.644,38 \frac{\text{J}}{\text{h}}$$