

PROBLEMAS DE MÁQUINAS TÉRMICAS, REFRIGERADORES y BOMBAS DE CALOR

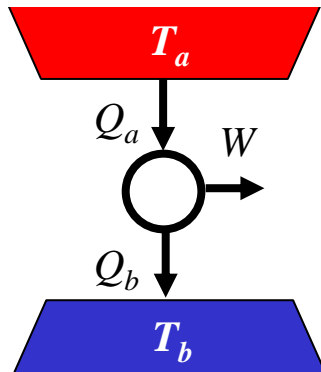
Equipo docente

Antonio J. Barbero / Alfonso Calera / Mariano Hernández
Dpto. Física Aplicada. E.T.S. Agrónomos (Albacete)

Pablo Muñiz / José A. de Toro
Dpto. Física Aplicada. Escuela I.T.A. (Ciudad Real)

PROBLEMA 1

La temperatura del foco frío de una máquina térmica reversible con un rendimiento del 24% es 107 °C, y en cada ciclo la máquina cede 100 kcal a dicho foco frío. ¿Cuál es el calor de cedido por el foco caliente? ¿Cuál es la variación de entropía del foco caliente en cada ciclo de funcionamiento?



$$T_b = 107 + 273 \text{ K} = 380 \text{ K}$$

$$\eta_{rev} = 1 - \frac{T_b}{T_a} = 1 - \frac{380}{T_a} = 0.24$$

$$\frac{380}{T_a} = 1 - 0.24 = 0.76 \quad T_a = \frac{380}{0.76} = 500 \text{ K}$$

$$\eta_{rev} = 1 - \frac{Q_b}{Q_a} = 1 - \frac{100}{Q_a} = 0.24$$

$$\frac{100}{Q_a} = 0.76$$

$$Q_a = \frac{100}{0.76} = \frac{2500}{19} \text{ kcal}$$

↑
Calor cedido por el
foco caliente a la
máquina térmica

Al calor cedido por el foco caliente a la máquina térmica se le debe atribuir signo negativo, ya que es calor que sale del foco caliente considerado como sistema.

Variación de entropía del
foco caliente en cada ciclo:

$$\Delta S_a = \frac{Q_a}{T_a} = \frac{-2500}{19 \cdot 500} = \frac{-5}{19} \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

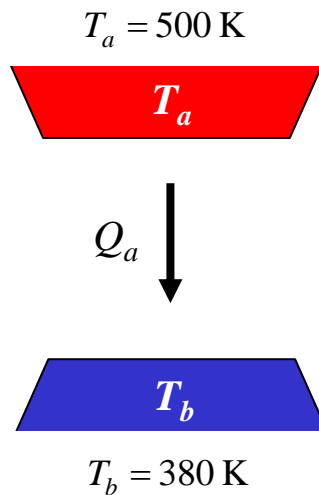
La entropía del foco
caliente disminuye

Al tratarse de máquina reversible, el aumento de la entropía del foco frío tiene el mismo valor que la disminución del foco caliente

$$\Delta S_b = \frac{Q_b}{T_b} = \frac{100}{380} = \frac{+5}{19} \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

PROBLEMA 2

Considere los mismos focos frío y caliente del problema anterior, pero esta vez sin que se interponga ninguna máquina térmica entre ellos. ¿Cuál es la variación de entropía de cada foco y del universo cuando se transfieren $\frac{2500}{19}$ kcal del foco caliente al foco frío?



Variación de entropía
del foco caliente

$$\Delta S_a = \frac{Q_a}{T_a} = \frac{-(2500/19)}{500} = \frac{-5}{19} \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

Ahora no existe máquina térmica alguna entre ambos focos, así que el foco frío recibe directamente $(2500/19)$ kcal y esto incrementa su entropía:

Variación de
entropía del foco frío

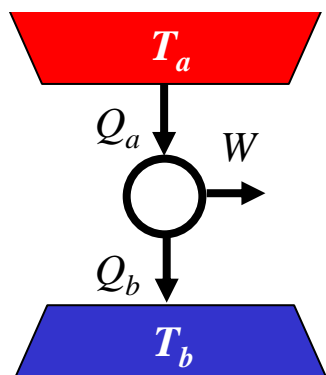
$$\Delta S_b = \frac{Q_b}{T_b} = \frac{+(2500/19)}{380} = \frac{125}{361} \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

Variación de entropía del universo:
$$\Delta S = \Delta S_a + \Delta S_b = \left(\frac{-5}{19} + \frac{125}{361} \right) \frac{\text{kcal}}{\text{K}} = \frac{+30}{361} \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

Véase que ahora el proceso es una transferencia de calor irreversible: no se produce trabajo y la variación de entropía del universo es positiva.

PROBLEMA 3

Una máquina térmica funcionando entre las temperaturas 500 K y 300 K tiene la cuarta parte del rendimiento máximo posible. El ciclo termodinámico de la máquina se repite 5 veces por segundo, y su potencia es de 20 kW. Determinar el trabajo producido en cada ciclo, cuántas kcal/hora vierte al foco frío y la variación de entropía del universo.



$$T_a = 500 \text{ K}$$

$$T_b = 300 \text{ K}$$

$$\eta_{rev} = 1 - \frac{T_b}{T_a} = 1 - \frac{300}{500} = 0.40 \quad \begin{array}{l} \text{(Máximo} \\ \text{posible entre} \\ \text{500 K y 300 K)} \end{array}$$

$$\text{Rendimiento: } \eta = 0.25 \cdot \eta_{rev} = 0.10$$

$$\text{Trabajo en cada ciclo: } \dot{W} = 20 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \frac{W_{ciclo}}{t_{ciclo}} = \frac{W_{ciclo}}{0.20} \quad W_{ciclo} = 4 \text{ kJ}$$

$$\text{Calor extraído del foco caliente en cada ciclo: } \eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_a} \quad Q_a = \frac{W_{ciclo}}{\eta} = \frac{4}{0.10} = 40 \text{ kJ}$$

$$\text{Calor vertido al foco frío en cada ciclo: } Q_a - |Q_b| = W \quad |Q_b| = Q_a - W = 40 - 4 = 36 \text{ kJ}$$

$$\text{Variación de entropía del universo en cada ciclo: } \Delta S = \Delta S_a + \Delta S_b = \frac{Q_a}{T_a} + \frac{Q_b}{T_b} = \frac{-40}{500} + \frac{36}{300} = 0.04 \text{ kJ/K}$$

$$Q_a < 0 \quad (\text{sale del foco caliente}) \quad Q_b > 0 \quad (\text{entra al foco frío})$$

PROBLEMA 4

Un frigorífico doméstico que debe mantener el congelador a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ funciona con un COP igual a la tercera parte del máximo posible. La potencia consumida es de 2 kw. Puede suponerse que el ambiente que lo rodea está a una temperatura fija de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. ¿Qué energía se está extrayendo del congelador?

$$T_a = 273 + 20 = 293\text{ K}$$

$$T_b = 273 - 18 = 255\text{ K}$$

$$COP_{rev} = \frac{T_b}{T_a - T_b} = \frac{255}{38} = 6.71$$

$$COP = \frac{Q_b}{|W|} = \frac{1}{3} COP_{rev} = \frac{6.71}{3} = 2.24$$

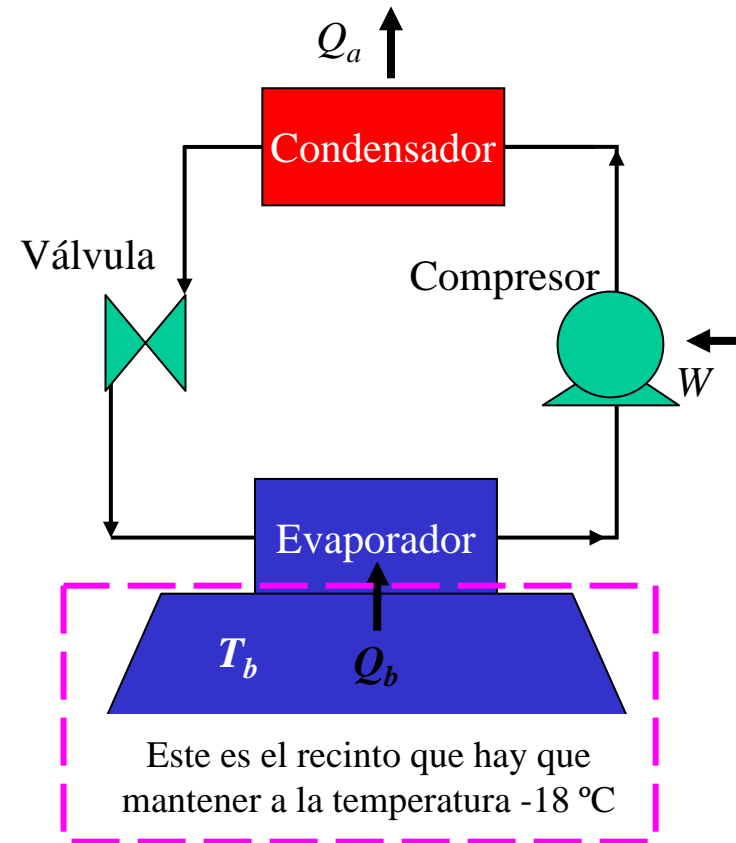
Significado: por cada unidad de energía aportada, se extraen 2.24 unidades de energía del foco frío (el congelador).

$$\frac{Q_b}{|W|} = 2.24 \Rightarrow Q_b = 2.24 \cdot |W|$$

$$\dot{Q}_b = 2.24 \cdot |\dot{W}|$$

Energía extraída por unidad de tiempo:

$$|\dot{W}| = 2\text{ Kw} \Rightarrow \dot{Q}_b = 2.24 \cdot 2 = 4.48\text{ Kw}$$



PROBLEMA 5

Para resolver el problema de la calefacción de un edificio que tiene unas pérdidas de 8 Kw, un inventor asegura que ha diseñado un sistema de bomba de calor capaz de mantener una confortable temperatura de 22 °C en invierno, extrayendo energía de un lago próximo cuyas aguas se encuentran a una temperatura de 2 °C, todo ello gastando sólo 0.5 Kw en el funcionamiento de la bomba de calor. ¿Merece la pena acometer la fabricación del invento?

$$T_a = 273 + 22 = 295 \text{ K}$$

$$T_b = 273 + 2 = 275 \text{ K}$$

$$\varepsilon = COP = \frac{|Q_a|}{|W|}$$

$$|\dot{Q}_a| = 8 \text{ Kw}$$

$$|\dot{W}| = 0.5 \text{ Kw}$$

$$\varepsilon = COP = \frac{8}{0.5} = 16$$

← Energía cada segundo

Máximo valor de la eficiencia para un ciclo frigorífico usado como bomba de calor entre 275 K y 295 K

$$\varepsilon_{rev} = COP_{rev} = \frac{T_a}{T_a - T_b} = \frac{295}{20} = 14.75$$

La eficiencia que el inventor atribuye a su invento es mayor que la máxima permitida por la segunda ley, por lo tanto esta bomba de calor no funcionará con las especificaciones que alega el inventor.

