

Es válida aún la primera ley de la termodinámica ? ; un problema de refrigeración

Por: Allan Shaw.* Traducido por: Ing. Walter Bolaños Q.**

He aquí un problema de refrigeración por compresión de vapor que gustó a los estudiantes del vapor — algunos de ellos podrían tener una latente inclinación a la violación de la ley.

El problema: Un compresor de amoniaco de dos etapas opera con 69, 414 y 1379 KPa (10, 60 y 200 psia). La descarga de vapor del cilindro de baja presión es enfriado hasta 29.4°C (85°F) con agua en un interenfriador rápido que usa refrigerante de la primera válvula de expansión. Se usan dos válvulas de expansión y se extrae todo el vapor antes de la segunda válvula que conduce a un evaporador.

Asuma que el compresor de la primera etapa maneja una unidad de masa de refrigeración por unidad de tiempo.

Asuma para las dos etapas, compresión isentrópica.

- ¿Cuál es el flujo de masa de refrigerante que no pasa a través del evaporador, al ser determinado por un balance de energía alrededor del interenfriador rápido tomado como un sistema termodinámico aislado?
- ¿Cuál es el flujo de masa de refrigerante que no pasa a través del evaporador, al ser determinado por un balance de energía entre el refrigerante que no pasa a través del evaporador y el refrigerante que sale del enfriador de agua durante el trayecto del proceso que lo lleva a un estado de vapor saturado?
- Encontrará que las respuestas a (a) y (b) difieren en un 300 %. Ya que ambas (a) y (b) debían ser resueltas por medio de balances de energía, ¿no es esta discrepancia una violación

de la primera ley de la termodinámica? Explique.

Nomenclatura para partes (a) y (b)

h = entalpía del refrigerante en KJ/Kg

$\dot{m}$ = flujo de masa del refrigerante en Kg/s.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, se usan como subíndices, indican la localización del ciclo en los diagramas esquemáticos.

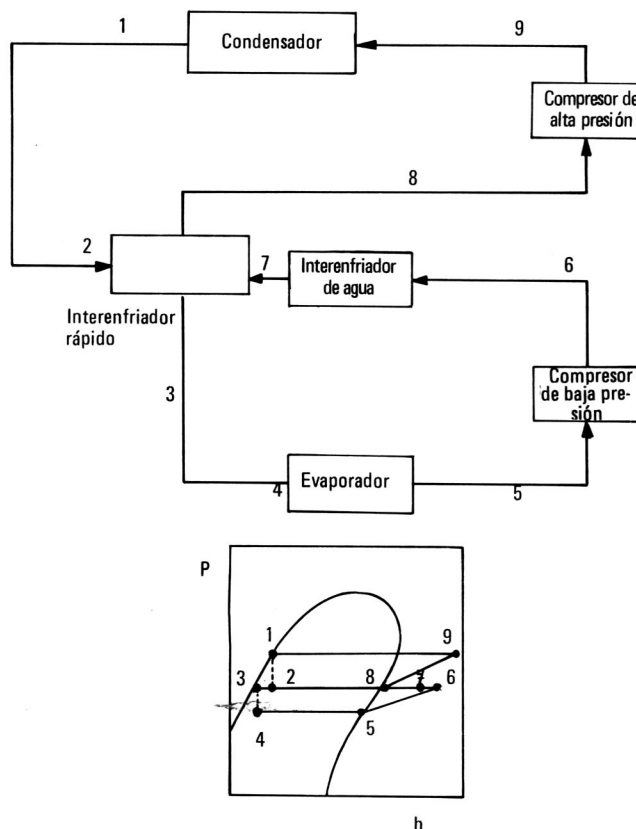


FIGURA 1: Diagramas esquemáticos del ciclo de compresión de dos etapas, del interenfriador de agua al interenfriador rápido.

* Miembro de ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado).

** Director del Departamento de Investigación del I.T.C.R.

Solución a la pregunta (a)

Considere el interenfriador rápido (Fig. 2), como un sistema termodinámico aislado.

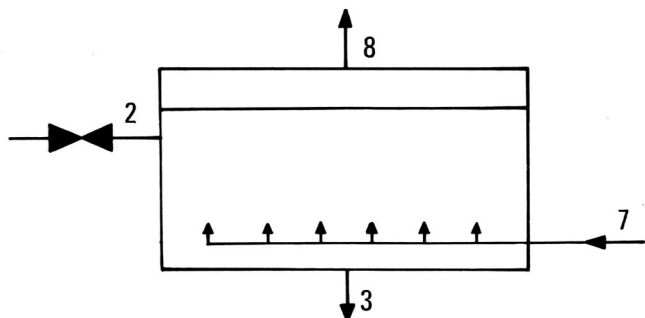


FIGURA 2: Interenfriador rápido como un sistema aislado.

Haciendo un balance de energía alrededor del interenfriador rápido, tenemos que:

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_3 h_3$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_7$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_8$$

$$\dot{m}_2 (h_8 - h_2) = \dot{m}_3 (h_7 - h_3)$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \frac{(h_7 - h_3)}{(h_8 - h_2)}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \frac{(1521 - 177)}{(1442 - 349)} = 1.23 \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_3 = 1$$

$$\dot{m}_2 = 1.23 \text{ Kg/s. Esto es igual al flujo total}$$

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_3 = 1.23 - 1.00 = 0.23 \text{ Kg/s. (Respuesta)}$$

Solución a la pregunta (b)

Haciendo un balance de energía entre el refrigerante que no pasa por el evaporador y el refrigerante que sale del enfriador de agua, tenemos:

$$(\dot{m}_2 - \dot{m}_3) (h_8 - h_2) = \dot{m}_3 (h_7 - h_8)$$

$$(\dot{m}_2 - \dot{m}_3) (1442 - 349) = (1) (1521 - 1442)$$

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_3 = 79/1093 = .07 \text{ Kg (respuesta)}$$

Las respuestas a las partes (a) y (b) difieren en más de 300 °/o.

Solución a la pregunta (c)

El problema ¿Es válida la primera ley de la termodinámica en este caso? ¿Por qué?

Primero, aclaramos a todos los amantes de la ley y el orden, que la primera ley de la termodinámica no se viola en este caso.

La solución a este problema se basa en el hecho de que el refrigerante que no pasa por el evaporador puede ser analizado de dos maneras diferentes, siendo cada una de ellas una función relacionada con un flujo de masa específico.

1. La masa de refrigerante que no pasa a través del evaporador y que sirve para enfriar el refrigerante que sale del enfriador de agua y que luego pasa a la condición de saturación.
2. La masa de refrigerante que no pasa a través del evaporador y que hubiera pasado a través del evaporador, si el interenfriador rápido no hubiera actuado como separador y no hubiera extraído todo el vapor del evaporador, enviando únicamente refrigerante líquido en la condición 3 hacia el evaporador. Así que hay una masa de refrigerante en la condición 8, que simplemente fluye sin tener efecto en el proceso de enfriamiento del refrigerante que sale del interenfriador de agua y pasa a ser vapor saturado en la condición 8, m_{IIB} (ver nomenclatura).

Nomenclatura adicional para la parte (c)

$\dot{m}_I$ = Flujo de masa de refrigerante que pasa a través del evaporador, en Kg/s.

$\dot{m}_{II}$ = Flujo de masa total de refrigerante que no pasa a través del evaporador en Kg/s.

$\dot{m}_{IIA}$ = Flujo de masa de refrigerante que no pasa a través del evaporador, que sirve para enfriar el refrigerante que sale del interenfriador de agua y luego pasa a la condición de vapor saturado, en Kg/s.

$\dot{m}_{IIB}$ = Flujo de masa de refrigerante que hubiera pasado por el evaporador si el interenfriador rápido no hubiera actuado como separador.

X = Porcentaje de vapor seco o calidad del refrigerante.

$\dot{m}_{IIA}$ Fue calculado en la solución a la parte (b)

$$\dot{m}_{IIA} = .07 \text{ Kg/s.}$$

Sin embargo, no es igual a $\dot{m}_3 - \dot{m}_2$ ya que existe un flujo de masa en la condición 8 de vapor saturado, la cual no fue incluida en el balance de energía, $\dot{m}_{IIB}$.

Solución para el valor de $\dot{m}_{IIB}$

$$\dot{m}_{IIB} = \dot{m}_I \cdot \frac{x_2}{1 - x_2}$$

donde $\frac{x_2}{1 - x_2}$ = Fracción total de vapor del refrigerante líquido que entra al evaporador.

$$x_2 = \frac{h_2 - h_3}{h_8 - h_3} \Rightarrow x_2 = \frac{349 - 177}{1442 - 177} = .136$$

$$\therefore \dot{m}_{IIB} = \frac{(1) \times (.136)}{(1 - .136)} = 0.16 \text{ Kg/s.}$$

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_3 = \dot{m}_{II} = \dot{m}_{IIA} + \dot{m}_{IIB} = .07 + .16 = .23 \text{ Kg/s.}$$

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_3 = \dot{m}_{II} = \dot{m}_{IIA} + \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_3 = \dot{m}_{IIA} + \dot{m}_{IIB} = .07 + .16 = .23 \text{ Kg/s.}$$

La misma respuesta de la parte (a)

Ahora que hemos añadido el ingrediente "inerte", $\dot{m}_{IIB}$ al ingrediente activo en el balance de energía de la parte (b), tenemos el flujo de masa completo en la condición $\dot{m}_{II}$.

Este concuerda exactamente con el flujo de masa obtenido del balance de energía en la parte (a) del problema.

Si se deseara incluir todo el flujo de masa en el balance de energía de la parte (b) la ecuación debía haber sido escrita de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{IIA} (h_8 - h_2) + \dot{m}_{IIB} (h_8 - h_8) = \dot{m}_1 (h_7 - h_8)$$

De esto es obvio que $\dot{m}_{IIB}$ no contribuye al enfriamiento y por lo tanto no aparece en el balance de energía en la parte (b).

Ahora podemos descansar tranquilos: la primera ley sigue siendo válida.

ABREVIATURAS UTILIZADAS

K Pa = Kilo pascal

pcia = Libras fuerza sobre pulgada cuadrada.

KJ/Kg = Kilo julio/kilogramo

Kg/s = Kilogramo/segundo

Revista ASHRAE
Marzo 1978