

Bomba de calor

REGISTRO Y EVALUACIÓN DEL DIAGRAMA PRESION-ENTALPÍA DE UNA BOMBA DE CALOR DE COMPRESIÓN

- Demostración del funcionamiento de una bomba de calor de compresión eléctrica
- Estudio cuantitativo del proceso cíclico correspondiente
- Registro y evaluación del diagrama Presión-Entalpía

UE2060300

08/20 UD/ GH

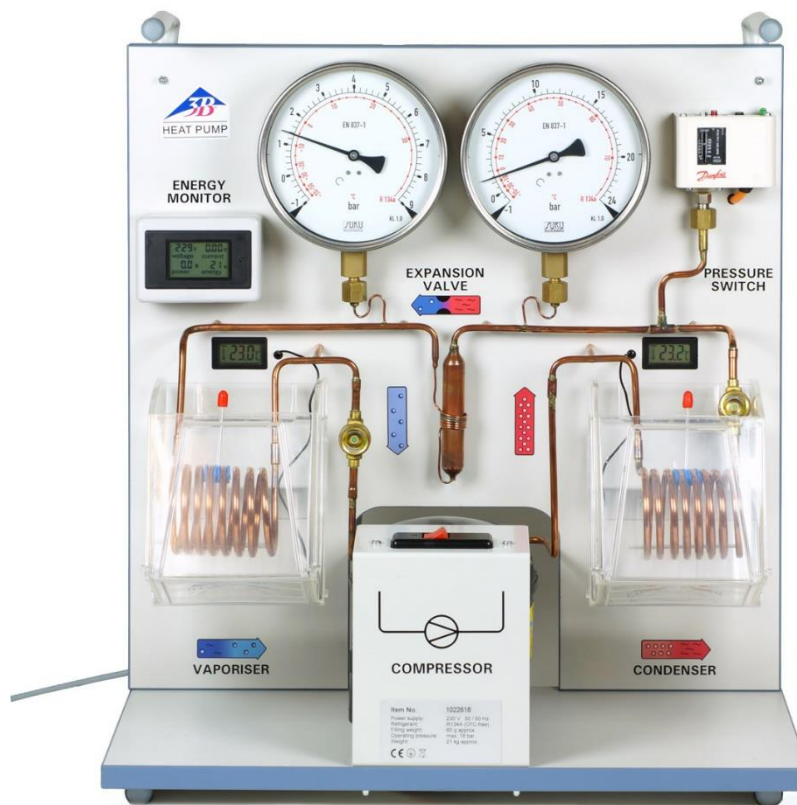


Fig. 1: Disposición de medición

FUNDAMENTOS GENERALES

Una bomba de calor de compresión eléctrica se compone de un compresor con motor de accionamiento, un licuefactor, una válvula de expansión y un evaporador. Su funcionamiento se basa en un proceso cíclico con cambio

de fase, el cual es recorrido por el fluido de trabajo en la bomba, idealizado, se puede dividir en los pasos, compresión, licuefacción, distensión estrangulada y vaporización.

Para la compresión, el fluido de trabajo en fase gaseosa es aspirado por el compresor sin cambio de entropía ($s_1 = s_2$) y comprimido de una presión p_1 a una p_2 , recalentándolo; ver Fig.2 y Fig.3. Por lo tanto la temperatura aumenta de T_1 a T_2 . Se realiza el trabajo de compresión mecánico $\Delta w = h_2 - h_1$ por unidad de masa.

En el licuefactor el fluido de trabajo se enfría fuertemente y se condensa. La cantidad de calor que va siendo liberada por unidad de masa (calor de recalentamiento y calor de condensación) asciende a $\Delta q^{cond} = h_2 - h_3$. Este calor calienta el depósito circundante.

El fluido de trabajo condensado llega a la válvula de distensión para ser estrangulado (es decir, sin trabajo mecánico) y distensionado a una presión menor. Allí también se reduce la temperatura, porque se debe hacer trabajo en contra de las fuerzas de atracción en el fluido de trabajo (efecto Joule-Thomson) La entalpía permanece constante ($h_4 = h_3$).

En el evaporador se evapora totalmente el fluido de trabajo absorbiendo calor. Esto conduce a un enfriamiento del depósito. Por unidad de masa la cantidad de calor absorbido asciende a $\Delta q^{vapo} = h_1 - h_4$.

Para la representación del proceso cíclico de una bomba de calor de compresión se utiliza frecuentemente el digrama de Mollier del fluido de trabajo. En él se grafica la presión p contra la entalpía específica h del fluido de trabajo (la entalpía es una medida de calor del fluido de trabajo; ésta aumenta en general al aumentar la presión y al aumentar la cantidad parcial del gas).

Además se indican las isotermas ($T = const$) y las isoentrópicas ($s = const$) así como la masa parcial relativa de la fase líquida del fluido de trabajo. A la izquierda de la llamada línea de ebullición el fluido de trabajo se encuentra totalmente condensado; a la derecha de la llamada línea de rocío se encuentra el fluido de trabajo en forma de vapor recalentado y entre las dos líneas se encuentra en forma de una mezcla de líquido-gas. Las dos líneas se unen en el punto crítico.

Para la representación en el diagrama de Mollier se puede determinar el proceso cíclico idealizado descrito arriba, midiendo las presiones $p_4 = p_1$ y $p_3 = p_2$ después y antes de la válvula de distensión y la temperatura T_1 antes del compresor y T_3 antes de la válvula de expansión.

En el experimento, las componentes se encuentran enlazadas entre sí por medio de tuberías de cobre creando así un sistema cerrado montado sobre un panel de madera básico. Debido a la ordenación, clara éstas se pueden relacionar directamente con la secuencia de los cambios de estado en el proceso cíclico de la bomba de calor. El evaporador y el licuefactor se han realizado en forma de espirales de tubería de cobre y cada uno de ellos se encuentra sumergido en un recipiente de agua que sirve para la determinación del calor absorbido resp. el calor entregado. Dos manómetros grandes muestran las relaciones de presión del fluido de trabajo en los dos intercambiadores de calor. Dos termómetros digitales hacen posible la medición de la temperatura en los recipientes de agua. Para la medición de las temperaturas en las tuberías de cobre antes del compresor y antes de la válvula de expansión se utilizan sensores de temperatura dotados de una pinza de medición adaptada.

El coeficiente de rendimiento del proceso cíclico idealizado se puede calcular a partir de las entalpías específicas h_1 , h_2 y h_3 leídas en el diagrama de Mollier:

$$(1) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{cond}}{\Delta w} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

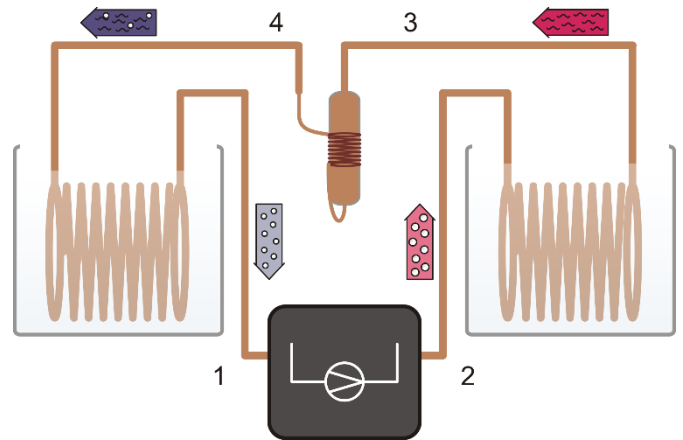


Fig. 2: Representación esquemática de la bomba de calor con, compresor (1, 2), licuefactor (2, 3), válvula de distensión (3, 4) y evporador (4, 1)

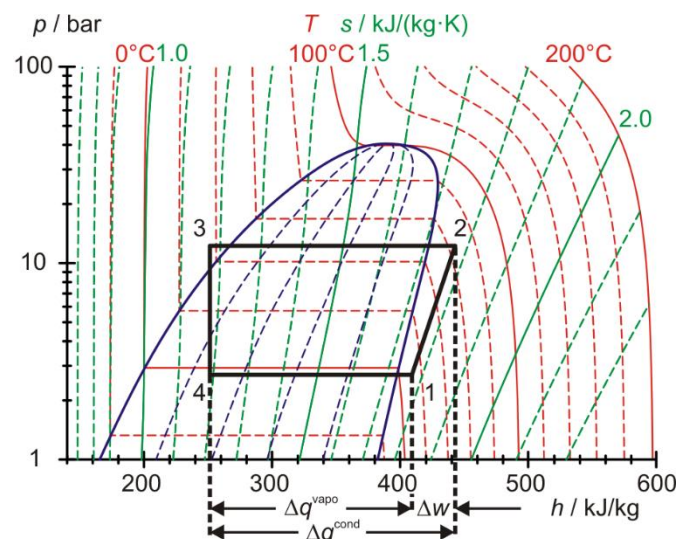


Fig. 3: Representación del proceso cíclico idealizado de la bomba de calor en el diagrama de Mollier

Si se han determinado las entalpías h_2 y h_3 del proceso cíclico idealizado así como la cantidad de calor suministrada ΔQ^{cond} en el intervalo de tiempo Δt , se puede determinar la corriente de masa del fluido de trabajo:

$$(2) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{cond}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)}$$

LISTA DE APARATOS



- 1 Bomba térmica D @230V 1022618
- ó Bomba térmica D @115V 1022619
- 4 Sensor de temperatura NTC

con pinza de medida 1021797
 1 VinciLab 1021477



1 Coach 7, licencia de 5 años para universidad 1021524 (UCMA-185U)

PUESTA EN SERVICIO

VinciLab y los sensores de temperatura

- Instale el programa Coach 7 en el PC de mediciones.
- Conecte la unidad VinciLab al PC por medio del cable USB.
- Fije un sensor de temperatura aguas arriba del compresor (posición de medición 1 en la figura 2), otro aguas abajo del compresor (posición de medición 2), otro aguas arriba de la válvula de expansión (posición de medición 3), otro aguas abajo de la misma válvula (posición de medición 4) en el tubo de cobre y conéctelos a las salidas analógicas A1, A2, A3 y A4 del VinciLab.
- Inicie la unidad VinciLab y el programa Coach 7. En el Coach 7, pulse el botón  tras seleccionar en la ventana de inicio de sesión que se abre el nombre de usuario "Autor" del menú desplegable e introduzca la contraseña y confirme con "OK".
- Pulse el botón . En la ventana que se abre, útil para la configuración de actividades, confirme las preselecciones del tipo de actividad: medición y la interfaz: VinciLab con un clic en "OK".


El programa establece la conexión con VinciLab. Una imagen del VinciLab con pictogramas de los sensores conectados aparece en la ventana inferior izquierda de las cuatro abiertas.

- Seleccione un tiempo de medición de una hora y una frecuencia de 30 segundos. Para esto pulse el botón . Indique un tiempo de medición de 3600 segundos con una frecuencia de 2 mediciones por minuto y confirme con "OK".
- Pulse el botón .

La tabla de datos (todavía vacía) aparece en la ventana superior derecha. La unidad VinciLab y el programa Coach 7 están ahora configurados para la medición.

Bomba térmica

Indicación de seguridad:

	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de poner en marcha la bomba térmica resulta imprescindible leer y seguir la nota de seguridad que se indica en el punto 2 de las instrucciones de servicio.
---	---

- Llene los recipientes con 2000 ml de agua cada uno y colóquelos en la placa de fijación.
- Conecte la bomba térmica a la red.
- Active el compresor y déjelo funcionar durante aproximadamente 10 minutos de manera que alcance su temperatura de servicio.
- Renueve el agua y, en cada ocasión, determine y anote la masa del agua en los dos recipientes.
- Introduzca los sensores de temperatura del termómetro digital en los recipientes de agua.

Nota:


El agua debe presentar la temperatura ambiente (aproximadamente de 20 a 25°C), de lo contrario, el vaporizador se enfriaría durante la medición y el agitador ya no podría moverse.

REALIZACIÓN


Notas:

Se recomienda llevar a cabo el experimento entre dos personas debido a la enorme cantidad de variables de medida a registrar.

El agua de los recipientes se debe agitar bien durante todo el experimento.

- Lea los valores de presión de los manómetros y las temperaturas del agua de la bomba térmica en los termómetros digitales y anótelos en cada caso como valores iniciales.
- No active todavía el compresor de la bomba térmica; en primer lugar, inicie la medición en el programa Coach 7. Para esto pulse el botón . En la tabla de medición aparece la entrada que indica que no se tiene ninguna línea de datos. Tras la selección de una frecuencia de medición de 30 segundos, aparece la entrada que indica que se tiene 1 línea de datos y el botón con el símbolo "+". Active ahora el compresor y, además, pulse el símbolo "+".

Una vez pulsado el símbolo "+" se abre la tabla y se muestran los valores de medición. Esta contiene, en primer lugar, solo la línea $t = 0$ s con los valores iniciales de las temperaturas T_1 , T_2 , T_3 y T_4 .

- Apenas transcurridos otros 30 segundos, aparece la segunda línea de la tabla ($t = 30$ s), lea y anote los valores de las presiones de los manómetros, las temperaturas del agua de los termómetros digitales y la potencia del compresor en el monitor de energía de la bomba térmica.
- Continúe de esta manera con la medición hasta que se dispare el disyuntor de sobrepresión de la bomba térmica y la finalice pulsando el botón .
- En la ventana de la tabla de datos, pulse la llave de destornillador de la barra del título. En el menú de mediciones que se abre ahora seleccione la opción que permite exportar los archivos CSV y confirme con "OK". En la ventana que aparece, introduzca un nombre de archivo, seleccione un directorio y pulse la opción de guardar.

De manera alternativa, marque los valores de medición (sin encabezados) de la tabla y transfíeralos, por ejemplo, a una hoja de cálculos Excel® por medio de las funciones de copiar y pegar.

EJEMPLO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN

Masa del agua en el vaporizador $m_{H_2O}^{vapo}$: 1,98 kg

Masa del agua en el condensador $m_{H_2O}^{cond}$: 1,98 kg

Los datos de medición de temperaturas, presiones y la potencia del compresor se encuentran en la tabla Excel® del apéndice. Las cinco primeras columnas corresponden al archivo CSV de los datos exportados del Coach 7, cuyos valores han sido convenientemente redondeados. Las siguientes cinco columnas han sido llenadas ulteriormente y corresponden a los valores de medición registrados a mano de las temperaturas del agua, las presiones y la potencia del compresor. Las presiones p_3 y p_4 están ya según

$$(3) \quad p_3 = p_{e3} + 1 \text{ bar y } p_4 = p_{e4} + 1 \text{ bar}$$

p_{e3} , p_{e4} : sobrepresiones medidas

convertidas en las correspondientes presiones absolutas. Los valores en **negrita**, **sombreadados en gris** de $t = 900$ s y $t = 1020$ s se emplean para el cálculo del balance de potencia.

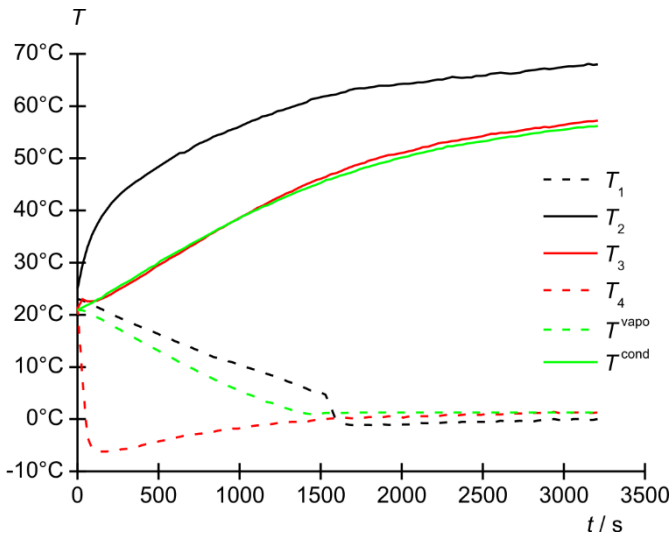


Fig. 4: Curvas en el tiempo de las temperaturas T_1 , T_2 , T_3 y T_4 en las posiciones de medición de 1 a 4 y T^{vapo} además de T^{cond} del recipiente de agua fría y caliente. Negro: compresor, rojo: válvula de expansión, verde: recipientes de agua. Líneas continuas: lado caliente, líneas entrecortadas: lado frío

Curvas de temperatura

- Represente en un diagrama (Fig. 4) las curvas en el tiempo de las temperaturas T_1 , T_2 , T_3 y T_4 de las posiciones de medición 1 a 4 y T^{vapo} además de T^{cond} de los recipientes de agua fría y caliente.

Como era de esperarse, aumenta la temperatura T_2 debido al sobrecalentamiento del medio de trabajo como una consecuencia de la compresión, mientras que la temperatura T_4 desciende en gran medida debido al estrangulamiento. Debido al calor disipado por el enfriamiento del agente de trabajo en el condensador, aumenta la temperatura T^{cond} del recipiente de agua caliente. El calor absorbido durante la vaporización completa del agente de trabajo, hace que descienda la temperatura del recipiente de agua fría, por lo que cae la temperatura T^{vapo} .

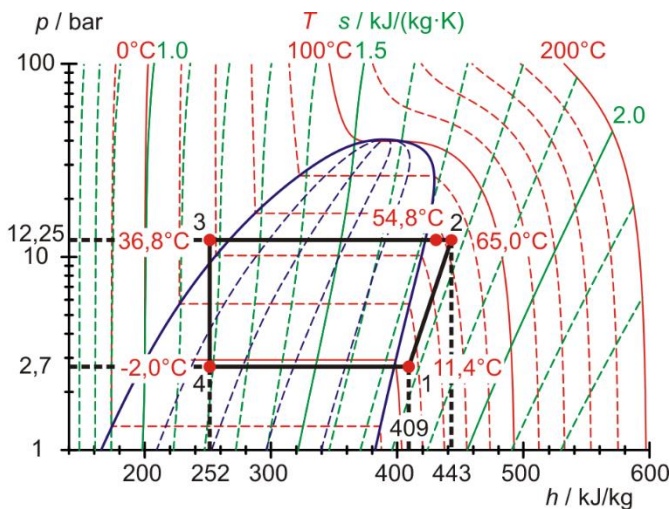


Fig. 5: Representación del proceso del circuito de la bomba térmica en el diagrama de Mollier, 15 minutos después de la activación del compresor

Las temperaturas T_1 y T_3 , tras la vaporización y la absorción de calor por parte del agente de trabajo del recipiente de agua fría, y tras la vaporización y disipación de calor del mismo agente en el recipiente de agua caliente, corresponden, aparte de las pérdidas térmica, ocurridas más que nada en el entorno, a las temperaturas de los recipientes de agua fría y caliente T^{vapo} y T^{cond} . Tras aproximadamente 25 minutos (1500 s), el vaporizador se enfría tanto que las temperaturas T_1 , T_4 y T^{vapo} ya no cambian significativamente como consecuencia del aislamiento térmico de los serpentines del tubo de cobre por la acción de la capa de hielo.

El circuito en el diagrama de Mollier y balance de potencia

- Represente el circuito de la bomba térmica con los valores registrados con $t = 900$ s de T_1 , T_2 , T_3 y de T_4 además de p_3 y p_4 en un diagrama de Mollier (tabla 1, fig. 5) y lea los valores de la entalpía específica h_1 , h_2 y $h_3 = h_4$.

T_1 y $p_4 = p_1$ determinan el punto 1 en el diagrama de Mollier. El punto de corte de la correspondiente isentrópica con la horizontal $p_3 = p_2 = \text{const.}$ fija el punto 2. El punto de corte de la horizontal con las isoterma T_3 conduce al punto 3 y la vertical a la horizontal $p_4 = p_1 = \text{const.}$ conduce al punto 4.

El proceso del circuito corresponde a la curva esperada. Debido a las pérdidas térmicas del compresor la temperatura medida T_2 (54,8°C) no concuerda con la extrapolación isentrópica (65,0°C).

En el diagrama de Mollier se pueden leer los siguientes valores de las entalpías específicas.

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 409 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 (4) \quad h_2 &= 443 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 h_3 &= 252 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_4
 \end{aligned}$$

Nota:

La medición de la temperatura T_3 proporciona una vista más amplia de los procesos que tienen lugar en la bomba de calor: T_3 no concuerda con temperatura que se lee en la escala de temperatura del correspondiente manómetro. Esta escala de temperatura se basa en la curva de presión de vapor del fluido de trabajo. Así que la medición muestra que el fluido de trabajo antes de la válvula de distensión no es una mezcla de líquido y gas sino que es completamente líquido.

Coefficiente de rendimiento calorífico

Según la ecuación (1), en casos ideales, el coeficiente de rendimiento calorífico es igual a:

$$(5) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta w} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} = \frac{(443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{(443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 5,6$$

A partir del calentamiento del recipiente de agua caliente se obtiene un coeficiente de rendimiento calorífico de:

$$(6) \quad \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta w} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta W} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{P \cdot \Delta t} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{P \cdot \Delta t} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{116,5 \text{ W} \cdot 120 \text{ s}} = 1,2 \end{aligned}$$

Se emplean, por lo tanto, $1,2 / 5,6 = 0,21 = 21\%$ de la potencia eléctrica para la compresión.

Flujo másico del agente de trabajo

Según la ecuación (2) es válido lo siguiente:

$$(7) \quad \begin{aligned} \frac{\Delta m}{\Delta t} &= \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s} \cdot (443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Potencia eficaz del compresor

$$(8) \quad \begin{aligned} P_{\text{eff}} &= \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = (h_2 - h_1) \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \\ &= (443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 24,5 \text{ W} \end{aligned}$$

En concordancia con las observaciones realizadas acerca del coeficiente de rendimiento calorífico, se emplean $24,5 \text{ W} / 116,5 \text{ W} = 0,21 = 21\%$ de la potencia eléctrica para la compresión.

Balance de potencia

La potencia efectiva de compresión se obtiene también a partir de la cantidad de calor ΔQ^{cond} introducida por intervalo de tiempo Δt en el recipiente de agua caliente menos la cantidad de calor ΔQ^{vapo} absorbida del recipiente de agua fría durante el intervalo de tiempo Δt :

$$(9) \quad \begin{aligned} \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}} \\ &= 138 \text{ W} \end{aligned}$$

$$(10) \quad \begin{aligned} \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{vapo}}}{\Delta t} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{900 \text{ s}}^{\text{vapo}} - T_{1020 \text{ s}}^{\text{vapo}})}{\Delta t} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (6,8 - 5,2)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}} \\ &= 111 \text{ W} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$(11) \quad \begin{aligned} P_{\text{eff}} &= \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} - \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t} \\ &= 138 \text{ W} - 111 \text{ W} = 27 \text{ W} \end{aligned}$$

Por lo que se tiene una buena concordancia con el valor de $24,5 \text{ W}$ calculado anteriormente.

APÉNDICE

Tabla 1: Temperaturas T_1 , T_2 , T_3 y T_4 en las posiciones de medición 1 a 4, además de T^{vapo} y T^{cond} de los recipientes de agua fría y caliente, presiones absolutas p_3 y p_4 aguas arriba y abajo de la válvula de expansión y potencia del compresor P . Las cinco primeras columnas corresponden al archivo CSV de los datos exportados del Coach 7, cuyos valores han sido convenientemente redondeados. Las siguientes cinco columnas han sido llenadas ulteriormente y corresponden a los valores de medición registrados a mano de las temperaturas del agua, las presiones y la potencia del compresor.

Time	T1	T2	T3	T4	Tvapo	Tcond	p3	p4	P
s	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	W
0	23,0	25,0	21,2	21,5	20,9	20,9	4,75	4,4	0,0
30	22,8	29,5	23,0	7,7	20,9	21,4	8,75	1,9	97,8
60	22,3	32,9	22,6	-3,4	20,5	21,9	8,75	2,0	101,1
90	21,8	35,4	22,6	-5,7	20,1	22,3	9,00	2,1	102,7
120	21,5	37,3	22,7	-6,2	19,5	22,9	9,00	2,2	103,2
150	21,1	38,9	23,1	-6,2	19,1	23,3	9,00	2,2	104,3
180	20,5	40,2	23,5	-6,2	18,5	24,1	9,25	2,2	105,1
210	20,2	41,4	24,0	-6,1	18,0	24,6	9,50	2,3	105,8
240	19,7	42,4	24,6	-6,0	17,5	25,1	9,50	2,3	106,7
270	19,3	43,3	25,1	-5,8	17,0	25,7	9,50	2,3	106,5
300	18,9	44,1	25,6	-5,7	16,4	26,2	9,75	2,3	107,0
330	18,5	44,8	26,2	-5,5	16,0	26,7	9,75	2,4	107,9
360	18,1	45,5	26,7	-5,3	15,4	27,3	10,00	2,4	108,8
390	17,7	46,1	27,3	-5,1	14,9	28,9	10,00	2,4	108,9
420	17,3	46,8	27,8	-4,8	14,4	28,5	10,00	2,4	109,7
450	16,9	47,4	28,5	-4,6	13,9	29,1	10,25	2,5	110,2
480	16,6	48,0	29,2	-4,4	13,4	29,5	10,50	2,5	110,3
510	16,1	48,6	29,7	-4,2	12,9	30,3	10,50	2,5	111,3
540	15,8	49,2	30,2	-4,0	12,5	30,8	10,50	2,5	111,5
570	15,4	49,8	30,8	-3,8	11,9	31,3	10,75	2,5	111,9
600	15,0	50,4	31,3	-3,6	11,5	31,8	11,00	2,6	112,3
630	14,6	51,0	31,8	-3,4	10,9	32,3	11,00	2,6	112,3
660	14,2	51,1	32,4	-3,1	10,6	32,8	11,00	2,6	113,6
690	13,9	51,6	33,0	-3,1	10,0	33,4	11,25	2,6	113,5
720	13,5	52,3	33,5	-2,9	9,5	33,9	11,50	2,6	114,0
750	13,1	52,8	34,1	-2,8	9,0	34,4	11,50	2,6	114,1
780	12,7	53,2	34,6	-2,7	8,5	34,9	11,75	2,6	115,0
810	12,3	53,6	35,3	-2,5	8,1	35,4	12,00	2,6	115,2
840	11,9	54,2	35,8	-2,4	7,7	35,9	12,00	2,7	115,6
870	11,7	54,5	36,4	-2,2	7,2	36,5	12,00	2,7	116,5
900	11,4	54,8	36,8	-2,0	6,8	36,9	12,25	2,7	116,5
930	11,1	55,3	37,4	-2,0	6,4	37,4	12,50	2,7	117,0
960	10,9	55,6	37,9	-1,8	6,0	37,9	12,50	2,7	117,2
990	10,5	55,9	38,4	-1,8	5,6	38,3	12,50	2,7	117,5
1020	10,1	56,4	38,9	-1,6	5,2	38,9	12,75	2,7	118,7
1050	9,9	56,8	39,4	-1,4	4,8	39,3	13,00	2,8	119,2

1080	9,6	57,2	39,9	-1,3	4,5	39,8	13,00	2,8	118,7
1110	9,4	57,5	40,5	-1,2	4,1	40,2	13,00	2,8	119,6
1140	9,1	58,0	40,9	-1,2	3,6	40,7	13,25	2,8	119,6
1170	8,7	58,2	41,4	-1,0	3,3	41,0	13,50	2,8	120,3
1200	8,4	58,5	41,9	-0,9	3,1	41,4	13,50	2,8	120,2
1230	8,1	59,0	42,4	-0,8	2,7	41,9	13,75	2,8	121,1
1260	7,7	59,2	42,8	-0,7	2,3	42,3	13,75	2,8	121,6
1290	7,3	59,5	43,3	-0,6	2,1	42,7	14,00	2,8	121,7
1320	7,0	59,8	43,6	-0,5	1,8	43,1	14,00	2,8	122,1
1350	6,6	60,1	44,1	-0,5	1,5	43,5	14,00	2,8	122,0
1380	6,3	60,4	44,6	-0,3	1,3	43,9	14,25	2,8	122,8
1410	5,9	60,7	45,0	-0,5	1,1	44,2	14,50	2,8	122,6
1440	5,5	61,6	45,4	-0,3	1,0	44,6	14,50	2,8	122,9
1470	5,1	61,5	45,8	-0,1	1,1	44,9	14,50	2,8	123,2
1500	5,1	61,7	46,1	-0,1	1,1	45,3	14,75	2,8	123,6
1530	4,7	61,9	46,4	0,0	1,2	45,8	14,75	2,9	123,7
1560	2,5	62,1	46,9	0,1	1,2	46,0	15,00	2,9	123,8
1590	0,1	62,2	47,1	0,2	1,2	46,3	15,00	2,9	124,5
1620	-0,6	62,5	47,5	0,2	1,2	46,7	15,00	2,9	124,7
1650	-0,9	62,7	47,9	0,3	1,2	46,9	15,25	2,9	124,9
1680	-1,1	63,1	48,3	0,2	1,3	47,2	15,50	2,9	125,0
1710	-1,2	63,3	48,6	0,1	1,3	47,5	15,50	2,9	125,1
1740	-1,1	63,4	48,9	0,2	1,3	47,9	15,50	2,9	125,4
1770	-1,1	63,4	49,1	0,3	1,3	48,2	15,75	2,9	125,9
1800	-1,1	63,6	49,6	0,4	1,3	48,4	15,75	2,9	126,0
1830	-1,2	63,7	49,8	0,4	1,3	48,7	16,00	2,9	126,0
1860	-1,2	63,9	50,1	0,4	1,3	49,0	16,00	2,9	126,4
1890	-1,0	63,9	50,4	0,4	1,3	49,2	16,00	2,9	126,3
1920	-1,1	63,9	50,6	0,6	1,3	49,4	16,00	2,9	126,6
1950	-1,1	64,0	50,7	0,5	1,3	49,8	16,25	2,9	127,0
1980	-1,1	64,2	50,9	0,6	1,3	50,0	16,25	2,9	127,3
2010	-1,0	64,3	51,1	0,3	1,3	50,2	16,50	2,9	127,2
2040	-1,0	64,3	51,3	0,5	1,3	50,4	16,50	2,9	127,3
2070	-0,8	64,4	51,5	0,7	1,3	50,7	16,50	2,9	127,5
2100	-0,7	64,5	51,8	0,6	1,3	50,9	16,50	2,9	127,7
2130	-0,8	64,5	52,1	0,6	1,3	51,1	16,75	2,9	128,0
2160	-0,8	64,7	52,2	0,6	1,3	51,3	16,75	2,9	128,6
2190	-0,8	64,9	52,5	0,6	1,3	51,5	17,00	2,9	128,6
2220	-0,8	65,1	52,8	0,6	1,3	51,8	17,00	3,0	128,8
2250	-0,7	65,1	53,0	0,7	1,3	51,9	17,00	3,0	128,9
2280	-0,6	65,3	53,1	0,8	1,3	52,3	17,00	3,0	128,9
2310	-0,5	65,6	53,3	0,8	1,3	52,3	17,00	3,0	129,0
2340	-0,7	65,5	53,4	0,7	1,3	52,5	17,00	3,0	129,2
2370	-0,5	65,4	53,6	0,8	1,3	52,6	17,50	3,0	129,4
2400	-0,5	65,5	53,7	0,9	1,3	52,8	17,50	3,0	129,8
2430	-0,4	65,5	53,9	0,8	1,3	52,9	17,25	3,0	129,4

2460	-0,5	65,8	54,0	0,8	1,3	53,1	17,50	3,0	129,9
2490	-0,5	65,8	54,2	0,8	1,3	53,2	17,50	3,0	130,0
2520	-0,5	65,9	54,4	1,0	1,3	53,3	17,50	3,0	130,1
2550	-0,5	66,2	54,7	1,0	1,3	53,5	17,50	3,0	130,5
2580	-0,5	66,3	54,7	0,9	1,3	53,7	17,50	3,0	130,1
2610	-0,3	66,4	54,9	0,9	1,3	53,9	17,75	3,0	130,6
2640	-0,4	66,3	54,9	1,0	1,3	54,0	17,75	3,0	130,5
2670	-0,5	66,2	55,0	1,1	1,3	54,2	17,75	3,0	130,8
2700	-0,4	66,3	55,1	1,1	1,3	54,2	18,00	3,0	130,8
2730	-0,3	66,4	55,3	1,1	1,3	54,3	18,00	3,0	130,8
2760	-0,4	66,7	55,5	1,1	1,3	54,5	18,00	3,0	131,5
2790	-0,4	66,8	55,6	1,2	1,3	54,7	18,00	3,0	131,5
2820	-0,4	66,9	55,8	1,2	1,3	54,8	18,00	3,0	130,8
2850	-0,2	67,1	55,8	1,2	1,3	54,9	18,00	3,0	131,7
2880	-0,1	67,2	56,0	1,2	1,3	55,1	18,00	3,0	131,8
2910	-0,1	67,1	55,9	1,2	1,3	55,2	18,25	3,0	131,5
2940	0,0	67,2	56,1	1,4	1,3	55,3	18,25	3,0	131,9
2970	-0,1	67,4	56,3	1,2	1,3	55,4	18,25	3,0	132,1
3000	-0,1	67,5	56,4	1,2	1,3	55,5	18,50	3,0	132,3
3030	-0,1	67,6	56,6	1,1	1,3	55,6	18,50	3,0	132,5
3060	0,0	67,6	56,7	1,3	1,3	55,8	18,50	3,0	132,4
3090	0,0	67,7	56,8	1,3	1,3	55,9	18,50	3,0	132,5
3120	0,1	67,8	57,0	1,2	1,3	55,9	18,50	3,0	132,3
3150	-0,1	68,1	57,1	1,2	1,3	56,1	18,50	3,0	132,4
3180	-0,1	67,9	57,1	1,2	1,3	56,1	18,50	3,0	132,6
3210	0,0	68,0	57,2	1,3	1,3	56,2	18,50	3,0	133,2