

## TERMODINÁMICA

### Examen Intersemestral

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_

**No está permitido el empleo de calculadoras programables ni la consulta de libros, apuntes o formularios. Los teléfonos móviles y relojes “smartwatch” deberán permanecer apagados y fuera del alcance del alumno.**

#### Problema -1 (5 puntos)

En un cilindro horizontal aislado de 200 mm de diámetro, cerrado por un pistón situado a 200 mm de su base, se tienen 30 gramos de agua (gas ideal,  $M=18$  kg/kmol), a una presión de 15bar. El pistón, también aislado, está inicialmente sujeto en su posición por unos pasadores, y el conjunto está en equilibrio.

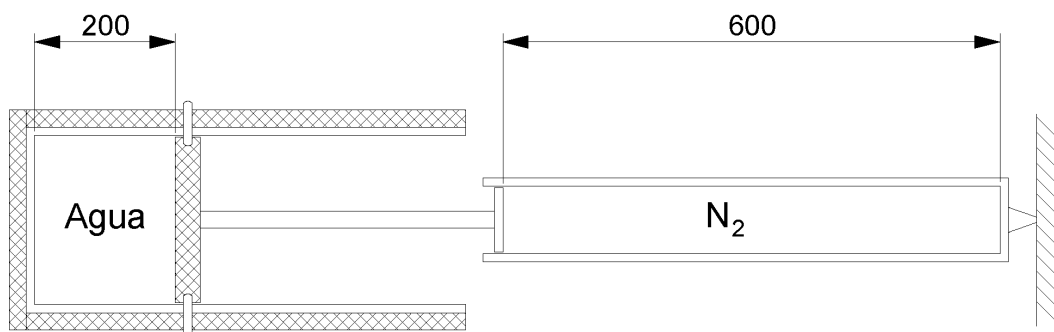
Conectado al pistón por medio de un vástago rígido de diámetro despreciable hay un sistema de amortiguación, compuesto por un cilindro-pistón de 80 mm de diámetro, relleno con 5 gramos de gas nitrógeno ( $M=28$  kg/kmol;  $C_v=0,7434$  kJ/kg-K), inicialmente con el pistón a 600 mm de la base del cilindro (ver figura adjunta). Sus paredes se consideran diatermas, e inicialmente está también en equilibrio.

El ambiente se encuentra a 20°C y 94kPa.

En un momento dado, se liberan los pasadores del cilindro que contiene agua, y simultáneamente se quita el aislamiento de su base. Se deja evolucionar el sistema hasta que alcanza el equilibrio.

Calcular:

- Distancia que se desplaza hacia la derecha el pistón del cilindro que contiene agua
- Calor intercambiado por el conjunto de ambos cilindros



**Tabla del agua como gas ideal**

T [°C]	u [kJ/kmol]	h [kJ/kmol]
10	-244671	-242317
20	-244417	-241980
30	-244163	-241642
40	-243909	-241305
50	-243654	-240967
60	-243399	-240630
70	-243144	-240291
80	-242889	-239953
90	-242633	-239613
100	-242376	-239274
110	-242119	-238933
120	-241861	-238592
130	-241603	-238251
140	-241343	-237908
150	-241083	-237565
160	-240822	-237220
170	-240560	-236875
180	-240297	-236529
190	-240033	-236182
200	-239768	-235834
210	-239502	-235485
220	-239235	-235135
230	-238967	-234784
240	-238698	-234432
250	-238428	-234078
260	-238157	-233724
270	-237884	-233368
280	-237610	-233011
290	-237336	-232653
300	-237060	-232294
310	-236782	-231934
320	-236504	-231572
330	-236224	-231210
340	-235944	-230846
350	-235661	-230480
360	-235378	-230114
370	-235094	-229746
380	-234808	-229377
390	-234521	-229007
400	-234232	-228636
410	-233943	-228263
420	-233652	-227889
430	-233360	-227513
440	-233066	-227137
450	-232771	-226759

Octubre 2022

INTERSEMESTRAL

# Problema 1.



$$P_0 = 0,94 \text{ bar}$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

① Agua (G.I.  $M = 18 \text{ kg/kmol}$ )

$$m_A = 0,03 \text{ kg}$$

$$\phi_A = 0,2 \text{ m}$$

$$l_{A1} = 0,2 \text{ m}$$

$$P_{A1} = 15 \text{ bar}$$

$$V_{A1} = \pi \frac{\phi_A^2}{4} l_{A1} = 6,283 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$v_{A1} = 0,20944 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_{A1} = \frac{P_{A1} \cdot v_{A1}}{R_A} = \frac{1500 \cdot 0,20944}{\frac{8,314}{18}} =$$

$$T_{A1} = 680,16 \text{ K} = 407,16^\circ\text{C}$$

②  $N_2$  (G.P.  $M = 28 \text{ kg/kmol}$ )

$$m_B = 0,005 \text{ kg}$$

$$\phi_B = 0,08 \text{ m}$$

$$l_{B1} = 0,6 \text{ m}$$

$$T_{B1} = T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$V_{B1} = \pi \frac{\phi_B^2}{4} l_{B1} = 3,016 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$v_{B1} = 0,60319 \text{ m}^3/\text{kg}$$

a) Tomando los dos pistones en conjunto, estado final (2)

$$\begin{array}{c} P_{A2} \rightarrow \left[ \leftarrow P_0 \right] \leftarrow P_{B2} \end{array} \quad (P_{A2} - P_0)A_A - (P_{B2} - P_0)A_B = 0 \quad (i)$$

Además, el desplazamiento (x) de ambos es igual, por lo que

$$V_{A2} = V_{A1} + A_A x$$

$$V_{B2} = V_{B1} - A_B x$$

$$v_{A2} = v_{A1} + \frac{A_A x}{m_A} \quad (ii)$$

$$v_{B2} = v_{B1} - \frac{A_B x}{m_B} \quad (iii)$$

En el estado final,  $T_{B_2} = T_{A_2} = 20^\circ\text{C} = 293\text{ K} = T_2$

Utilizando la ecuación de estado, e introduciendo ii) y iii) en i) tenemos:

$$\left( \frac{R_A T_2}{V_{A_2}} - p_0 \right) A_A - \left( \frac{R_B T_2}{V_{B_2}} - p_0 \right) A_B = 0$$

$$\left( \frac{R_A T_2}{V_{A_1} + \frac{A_A x}{m_A}} - p_0 \right) A_A - \left( \frac{R_B T_2}{V_{B_1} - \frac{A_B x}{m_B}} - p_0 \right) A_B = 0$$

Ecuación en la que sólo tenemos como incógnita la  $x$   
Sustituyendo valores:

$$\frac{4,2516}{0,20944 + 1,0472x} - 2,9531 - \frac{0,43731}{0,60319 - 1,0053x} + 0,4725 = 0$$

$$f(x) = \frac{4,2516}{0,20944 + 1,0472x} - \frac{0,43731}{0,60319 - 1,0053x} - 2,4806 = 0$$

y ahora tenemos dos opciones:

**OPCIÓN 1** : Aproximación mediante iteración

$x$	$f(x)$	
0,2	6,58	(+)
0,3	4,19	(+)
0,4	2,11	(+)
0,5	-1,03	(-)

$x$	$f(x)$	
0,45	0,87	(+)
0,475	0,05	(+)
0,48	-0,135	(-)
0,477	-0,02	(-)

E interpolando

$$\boxed{X = 0,475 + \frac{0,477 - 0,475}{-0,02 - 0,05} (0 - 0,05) = 0,4765 \text{ m}}$$

**OPCIÓN 2** Resolviendo la ecuación de 2º grado

$$\frac{4,2516}{0,20944 + 1,0472x} = \frac{0,43731 + 1,4963 - 2,4938x}{0,60319 - 1,0053x}$$

$$\begin{aligned} 4,2516 (0,60319 - 1,0053x) &= (0,20944 + 1,0472x)(1,93357 - 2,4938x) \\ 2,5645 - 4,2742x &= 0,405 - 0,52229x + 2,0248x - 2,6115x^2 \\ 2,6115x^2 - 5,7767x + 2,1596 &= 0 \end{aligned}$$

$$x = \frac{5,7767 \pm \sqrt{5,7767^2 - 4 \cdot 2,6115 \cdot 2,1596}}{2 \cdot 2,6115}$$

$$\boxed{x_1 = 0,4765 \text{ m}}$$

$$x_2 = 1,736 \text{ m} !! \text{ no compatible con cilindro de } 0,6 \text{ m}$$

b) Aplicando el 1º PPio al conjunto de ambos cilindros, esquivando el sistema formado por ambos gases:

$$Q_{12} - W_{12} = U_2 - U_1 - (U_{A2} - U_{A1}) + (U_{B2} - U_{B1})$$

El trabajo lo podemos obtener con la integral de las fuerzas exteriores, en este caso sólo la  $P_0$

$$W_{12} = - \int_1^2 \vec{F}_{ext} \cdot d\vec{r} = \int_1^2 p_{ext} dV = p_0 (A_A \cdot x - A_B \cdot x) =$$

$$= p_0 \times (A_A - A_B) = 1,182 \text{ kJ}$$

Por tablas:

$$\bar{u}_{A_1} = -234232 + \frac{-233943 + 234232}{410 - 400} (407,16 - 400) =$$

$$= -234025 \text{ kJ/kmol}$$

$$u_{A_1} = -13001,39 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{u}_{A_2} = -244417 \text{ kJ/kmol}$$

$$u_{A_2} = -13578,7 \text{ kJ/kg}$$

La variación de U en el subsistema 2 es  $\phi$ , porque acaba a la misma temperatura que empezó, así que:

$$\boxed{Q_{12} = W_{12} + m_A (u_{A_2} - u_{A_1}) =}$$

$$= 1,182 + 0,03 (-13578,7 + 13001,39) =$$

$$= 1,182 - 17,32 = \underline{\underline{-16,14 \text{ kJ}}}$$

## TERMODINÁMICA

### Examen Intersemestral

Nombre \_\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_

**No está permitido el empleo de calculadoras programables ni la consulta de libro, apuntes o formularios. Los teléfonos móviles y relojes “smartwatch” deberán permanecer apagados y fuera del alcance del alumno.**

#### Problema -2 (5 puntos)

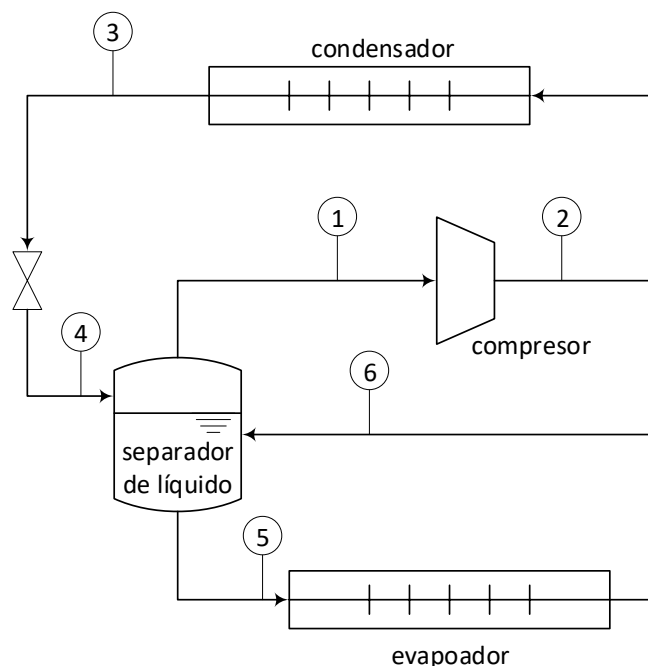
La figura adjunta muestra el esquema de una planta de refrigeración que opera según un ciclo termodinámico recorrido por amoníaco (sustancia pura, ver tablas) con un evaporador inundado. La instalación consta de un compresor adiabático que consume 62 kW, un condensador (intercambiador de calor que cede calor al ambiente), una válvula adiabática, un separador de líquido (intercambiador de calor de mezcla o abierto) y un evaporador (intercambiador de calor que toma calor de la cámara frigorífica).

El amoníaco sale del separador de líquido por el punto (5) como líquido saturado para dirigirse al evaporador, del que retorna al separador con un título del 90% y sin perder presión. La otra salida del separador de líquido se da por el punto (1) como vapor saturado, que conduce al compresor.

La presión en el evaporador y en el separador de líquido es de 1,2 bar. La presión en el condensador de 20 bar, saliendo el amoníaco del mismo (3) como líquido saturado. El calor retirado en el evaporador de la cámara frigorífica es de 100 kW.

Se pide:

- a) Flujo másico que pasa por el evaporador
- b) Flujo másico que pasa por el condensador
- c) Calor cedido al ambiente por el condensador



**Tabla de saturación del amoniaco (líquido - vapor)**

p [bar]	T [°C]	v <sub>f</sub> [m³/kg]	v <sub>g</sub> [m³/kg]	u <sub>f</sub> [kJ/kg]	u <sub>g</sub> [kJ/kg]	h <sub>f</sub> [kJ/kg]	h <sub>g</sub> [kJ/kg]
0,6	-43,26	0,00144112	1,83438	4,9246	1292,4	5,0111	1402,4
0,8	-37,92	0,00145465	1,40204	28,455	1298,9	28,571	1411,1
1	-33,58	0,00146598	1,13809	47,671	1304,0	47,818	1417,8
1,2	-29,90	0,00147585	0,959663	64,045	1308,3	64,222	1423,4
1,4	-26,68	0,00148466	0,830727	78,391	1311,9	78,599	1428,2
1,6	-23,81	0,00149266	0,733054	91,211	1315,0	91,450	1432,3
1,8	-21,22	0,00150004	0,656419	102,83	1317,8	103,10	1436,0
2	-18,85	0,00150689	0,594629	113,49	1320,3	113,80	1439,2
6	9,273	0,00159793	0,210335	242,01	1345,2	242,97	1471,4
8	17,84	0,00162996	0,159537	282,01	1350,9	283,31	1478,5
10	24,89	0,00165821	0,128488	315,29	1354,8	316,95	1483,3
12	30,93	0,00168397	0,107482	344,11	1357,6	346,13	1486,6
14	36,25	0,00170797	0,0922929	369,71	1359,5	372,11	1488,8
16	41,03	0,00173067	0,0807813	392,89	1360,9	395,66	1490,1
18	45,37	0,00175238	0,0717448	414,16	1361,7	417,31	1490,9
20	49,36	0,00177333	0,0644557	433,88	1362,2	437,43	1491,1
22	53,06	0,00179367	0,0584469	452,33	1362,3	456,28	1490,9
24	56,52	0,00181355	0,0534046	469,70	1362,1	474,06	1490,3
26	59,77	0,00183305	0,0491104	486,16	1361,7	490,92	1489,4
28	62,84	0,00185227	0,0454072	501,82	1361,1	507,00	1488,2

**Tabla de vapor sobrecalentado del amoniaco**

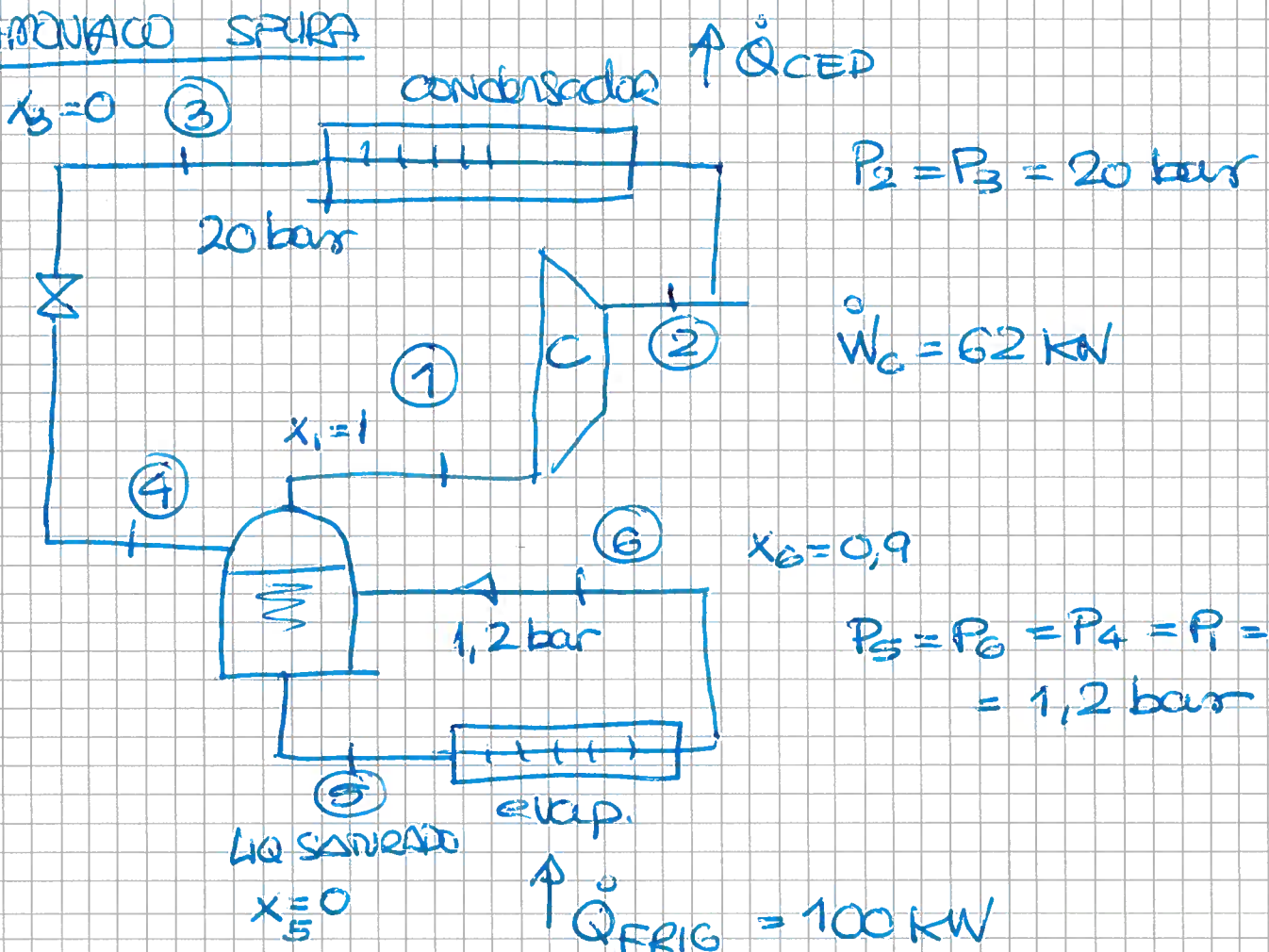
1,2 bar (T <sub>sat</sub> = -29,9 °C)			
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
sat	0,959663	1308,3	1423,4
-25	0,981719	1316,9	1434,7
-20	1,00399	1325,7	1446,2
-15	1,02606	1334,3	1457,4
-10	1,04795	1342,9	1468,6
-5	1,06969	1351,4	1479,7
0	1,09129	1359,8	1490,8
5	1,11277	1368,2	1501,8
10	1,13416	1376,6	1512,7
15	1,15545	1385,0	1523,6

20 bar (T <sub>sat</sub> = 49,36 °C)			
T [°C]	v [m³/kg]	u [kJ/kg]	h [kJ/kg]
sat	0,0644557	1362,2	1491,1
50	0,0647268	1364,0	1493,5
55	0,0667872	1378,2	1511,8
60	0,0687522	1391,7	1529,2
65	0,0706391	1404,6	1545,8
70	0,0724614	1416,9	1561,9
75	0,0742290	1428,9	1577,4
80	0,0759499	1440,6	1592,5
85	0,0776305	1452,0	1607,3
90	0,0792758	1463,2	1621,8





# AMONIACO SPURA



- $\dot{m}_{evap}$
- $\dot{m}_{cond}$
- $\dot{Q}_{CED}$

## COMPRESOR

$$P_1 = 1.2 \text{ bar} \quad x_1 = 1 \quad \rightarrow \quad h_1 = h_g(1.2 \text{ bar}) = 1423.4 \text{ kJ/kg}$$

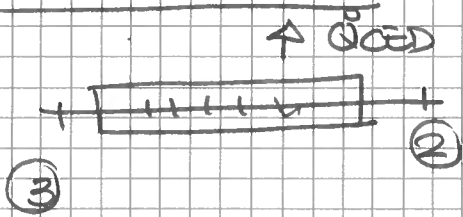
$$P_2 = 20 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_C = \dot{m}_1 h_2$$

$$\dot{W}_C = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

$$\rightarrow h_2 = \frac{\dot{W}_C + \dot{m}_1 h_1}{\dot{m}_1} =$$

### CONDENSADOR



$$x_3 = 0$$

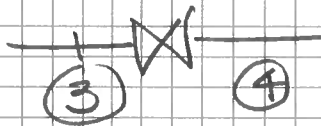
$$P_2 = P_3 = 20 \text{ bar}$$

$$\left. \begin{array}{l} x_3 = 0 \\ P_2 = P_3 = 20 \text{ bar} \end{array} \right\} h_3 = h_f(20 \text{ bar}) = 437,43 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_1 h_2 = \dot{Q}_{CED} + \dot{m}_1 h_3$$

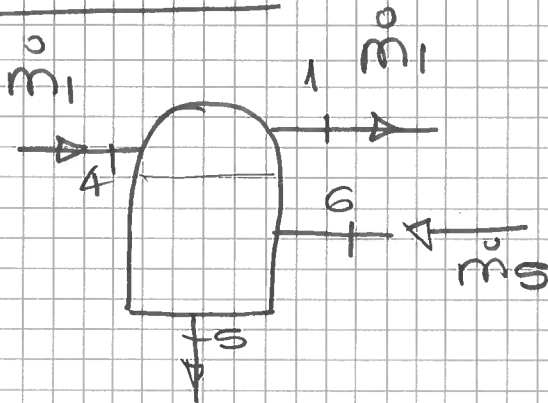
$$\dot{Q}_{CED} = \dot{m}_1 (h_2 - h_3)$$

### VALVULA



$$h_4 = h_3 = 437,43 \text{ kJ/kg}$$

### SEPARADOR



$$P_4 = P_5 = P_6 = P_1 = 1,2 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_5$$

$$x_5 = 0$$

$$1,2 \text{ bar}$$

$$\left. \begin{array}{l} x_5 = 0 \\ 1,2 \text{ bar} \end{array} \right\} h_5 = h_f(1,2 \text{ bar}) = 64,222 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_1 h_4 + \dot{m}_5 h_6 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_5 h_5$$

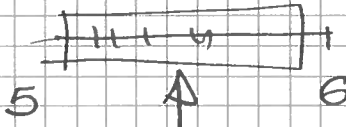
$$\dot{m}_5 (h_6 - h_5) = \dot{m}_1 (h_1 - h_4)$$

$$x_6 = 0,9$$

$$h_6 = h_f + 0,9(h_g - h_f) = 64,222 + 0,9(1423,4 - 64,2) = 1287,48 \text{ kJ/kg}$$



### EVAPORADOR



$$\dot{Q}_{REF} = 100 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_S h_S + \dot{Q}_{REF} = \dot{m}_S h_6$$

$$\dot{Q}_{REF} = \dot{m}_S (h_6 - h_S)$$

$$100 = \dot{m}_S (1287,48 - 64,222)$$

$$\dot{m}_S = \dot{m}_{evap} = 0,08175 \text{ kg/s} //$$

Yendo al separador

$$\dot{m}_S (h_6 - h_S) = \dot{m}_1 (h_1 - h_4)$$

$$100 = \dot{m}_1 (1423,4 - 437,43)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{cond} = 0,1014 \text{ kg/s} //$$

$$\dot{Q}_{CED} = \dot{m}_1 (h_2 - h_3) = 0,1014 (2034,7 - 437,43) = 162,96 \text{ kW} //$$

$$h_2 = \frac{W_c + \dot{m}_1 h_1}{\dot{m}_1} = \frac{62 + 0,1014 \cdot 1423,4}{0,1014} = 2034,7 \text{ kJ/kg}$$

También se puede hacer aplicando PP a todo

$$\dot{Q}_{FRI} + \dot{W}_c = \dot{Q}_{CED} \Rightarrow \dot{Q}_{CED} = 100 + 62 = 162 \text{ kW} //$$