

Ejercicio 4

Se dispone de una instalación frigorífica de ciclo cascada con CO₂ – R-717 trabajando en las siguientes condiciones:

- Circuito CO₂: T^a evap: -40°C, T^a cond: -5°C, Recal: 10K (5+5), Subenf: 5K. La potencia frigorífica requerida es de 25 kW para el circuito de baja temperatura.

- Circuito R-717: T^a evap: -10°C, T^a cond: 40°C, Recal: 0K, Subenf: 5K. La potencia frigorífica requerida es de 50 kW para el circuito de alta temperatura + la potencia de condensación del circuito de CO₂.

Para cada circuito, calcular:

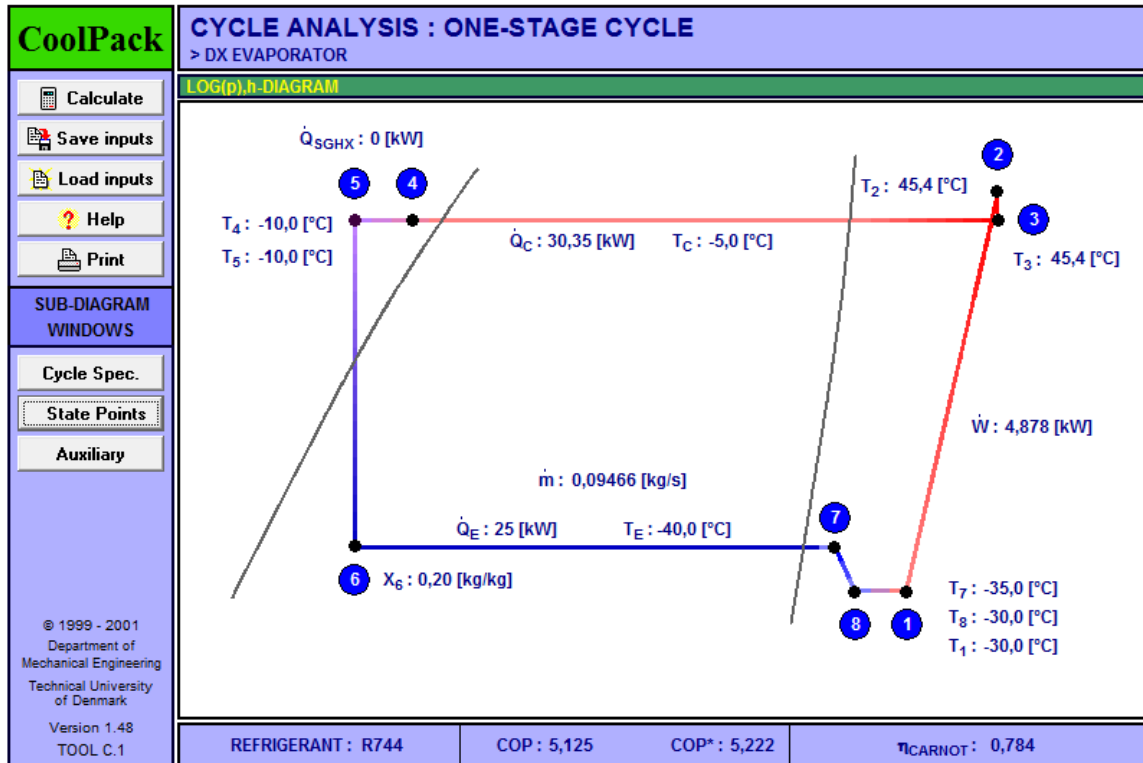
- El caudal másico de refrigerante.
- La potencia de compresión.
- La potencia de condensación.
- El COP de cada ciclo frigorífico y el COP global del sistema en cascada.

Solución

Al tratarse de un sistema en cascada con amoníaco inundado, es necesario analizar los dos ciclos simples en Coolpack:

1) CIRCUITO DE CO₂

CYCLE SPECIFICATION					
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER	REFRIGERANT
T _E [°C]:	-40,0	ΔT _{SH} [K]:	5	Δp _{SL} [K]:	0
T _C [°C]:	-5,0	ΔT _{SC} [K]:	5	Δp _{DL} [K]:	0
				No SGHX	0,30
					R744
CYCLE CAPACITY					
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	25	$\dot{Q}_E$: 25 [kW]	$\dot{Q}_C$: 30,35 [kW]	$\dot{m}$: 0,09466 [kg/s]	$\dot{V}_S$: 13,90 [m ³ /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE					
Isentropic efficiency η_{is} [-]	1	η_{is} : 1,000 [-]	$\dot{W}$: 4,878 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS					
Heat loss factor f_Q [%]	0	f_Q : 0,0 [%]	T ₂ : 45,4 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$: 0 [kW]	
SUCTION LINE					
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	5,0	$\dot{Q}_{SL}$: 472 [W]	T ₈ : -30,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$: 5,0 [K]	



STATE POINTS				
STATE POINT	TEMPERATURE	PRESSURE	ENTHALPY	DENSITY
	[°C]	[kPa]	[kJ/kg]	[kg/m ³]
1	-30,0	1004,5	-61,4	24,5
2	45,4	3045,8	-9,8	58,3
3	45,4	3045,8	-9,8	58,3
4	-10,0	3045,8	-330,5	985,4
5	-10,0	3045,8	-330,5	985,4
6	-40,0	1004,5	-330,5	----
7	-35,0	1004,5	-66,4	25,3
8	-30,0	1004,5	-61,4	24,5

a) El caudal másico de refrigerante.

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_f}{(h_7 - h_6)} = \frac{25}{(-66,40 - (-330,50))} = 0,0947 \text{ kg/s} = 340,78 \text{ kg/h}$$

b) La potencia de compresión.

$$\dot{W}_c = \dot{m}_r \cdot (h_3 - h_1) = 0,0947 \cdot (-9,80 - (-61,40)) = 4,88 kW$$

c) La potencia de condensación.

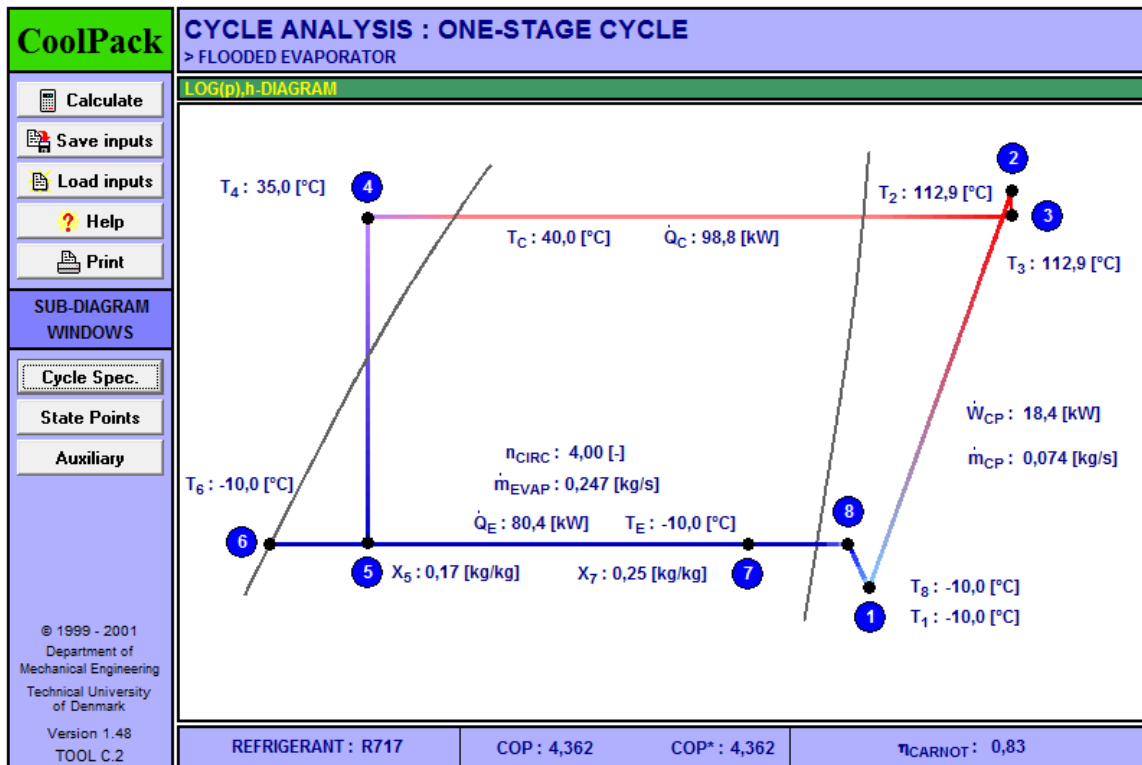
$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r \cdot (h_3 - h_5) = 0,0947 \cdot (-7,20 - (-330,50)) = 30,36 kW$$

d) El COP.

$$COP = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{W}_c} = \frac{25}{4,88} = 5,12$$

2) CIRCUITO DE NH₃

CYCLE SPECIFICATION					
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		QUALITY OUT OF EVAPORATOR	REFRIGERANT
T _E [°C]:	-10,0	Δp _{SL} [K]:	0,0	n _{CLIRC} [-]	4,00
T _C [°C]:	40,0	Δp _{DL} [K]:	0		R717
ΔT _{SC} [K]:					
CYCLE CAPACITY					
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	80,36	$\dot{Q}_E$: 80,4 [kW]	$\dot{Q}_C$: 98,8 [kW]	$\dot{m}$: 0,074 [kg/s]	$\dot{V}_S$: 111,6 [m ³ /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE					
Isentropic efficiency η_{IS} [-]	1	η_{IS} : 1,000 [-]	$\dot{W}_{CP}$: 18,4 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS					
Heat loss factor f _G [%]	0	f _G : 0,0 [%]	T ₂ : 112,9 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$: 0,00 [kW]	
SUCTION LINE					
Unuseful superheat ΔT _{SH,SL} [K]	0,0	$\dot{Q}_{SL}$: 0 [W]	T ₈ : -10,0 [°C]	ΔT _{SH,SL} : 0,0 [K]	



STATE POINTS				
STATE POINT	TEMPERATURE	PRESSURE	ENTHALPY	DENSITY
	[$^{\circ}\text{C}$]	[kPa]	[kJ/kg]	[kg/m ³]
1	-10,0	290,9	1434,1	2,4
2	112,9	1558,6	1682,6	8,8
3	112,9	1558,6	1682,6	8,8
4	35,0	1558,6	350,6	587,3
5	-10,0	290,9	350,6	----
6	-10,0	290,9	133,2	651,9
7	-10,0	290,9	458,4	----
8	-10,0	290,9	1434,1	2,4

a) El caudal másico de refrigerante.

$$\dot{m}_{\text{REV}} = n \cdot \frac{\dot{Q}_f}{(h_1 - h_6)} = 4 \cdot \frac{80,36}{(1434,10 - 133,20)} = 0,2471 \text{ kg/s} = 889,53 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_r = \dot{m}_{rEV} \cdot \frac{(h_6 - h_7)}{(h_5 - h_1)} = 0,2471 \cdot \frac{(133,20 - 458,40)}{(350,60 - 1434,10)} = 0,0741 \text{ kg/s} = 266,99 \text{ kg/h}$$

b) La potencia de compresión.

$$\dot{W}_c = \dot{m}_r \cdot (h_3 - h_1) = 0,0741 \cdot (1682,60 - 1434,10) = 18,43 \text{ kW}$$

c) La potencia de condensación.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r \cdot (h_3 - h_4) = 0,0741 \cdot (1682,60 - 350,60) = 98,79 \text{ kW}$$

d) El COP de cada ciclo frigorífico y el COP global del sistema en cascada.

$$COP_{NH_3} = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{W}_c} = \frac{80,36}{18,43} = 4,36$$

$$COP_{cascada} = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{W}_c} = \frac{25 + 50}{4,88 + 18,43} = 3,22$$