



Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

REFRIGERAÇÃO

TM-182 REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Prof. Dr. Rudmar Serafim Matos



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.5 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

Procedimentos para solução dos problemas de refrigeração

- 1. Ler o problema cuidadosamente e listar os dados de entrada;**
- 2. Desenhar o esboço do sistema e representá-lo no diagrama P-h ou T-s;**
- 3. Obter as propriedades termodinâmicas de todos os pontos característicos do sistema através dos diagramas ou tabelas de propriedades;**
- 4. Obter os parâmetros de saída exigidos pela aplicação das equações de balanço de massa e energia para todos os componentes ou para o sistema;**
- 5. Verificar a coerência dos resultados (unidades).**

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.5 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

EXEMPLO 2.5.2: Uma instalação frigorífica utiliza o refrigerante R22, operando a uma temperatura de evaporação de -10°C e uma temperatura de condensação de 35°C . Para estas condições desenvolve 50 kW de refrigeração. Considerar o ciclo padrão de compressão a vapor e um processo de compressão com uma eficiência isoentrópica de 0,7. Determine:

- a) As propriedades termodinâmicas dos pontos;
- b) O efeito de refrigeração, em kJ/kg;
- c) A vazão mássica de refrigerante, em kg/s;
- d) O deslocamento volumétrico do compressor, em m^3/s ;
- e) O trabalho de compressão ideal e real em kW;
- f) O calor rejeitado pelo condensador em kW;
- g) O COP da máquina frigorífica e da bomba de calor;
- h) A perda de efeito de refrigeração, em kJ/kg;
- i) O título do refrigerante na saída da válvula de expansão;
- j) O volume específico do refrigerante na saída da válvula de expansão.

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

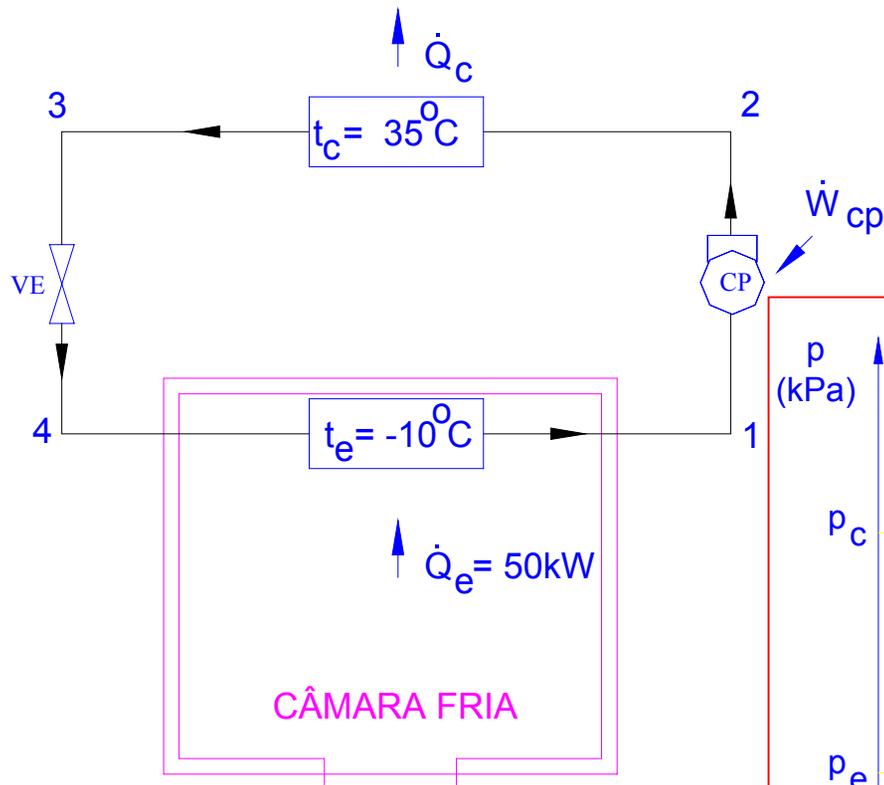
DADOS:

- Refrigerante = R22
- Q_e = 50 kW
- t_e = -10°C
- t_c = 35°C
- η_c = 0,7
- Ciclo padrão de compressão a vapor

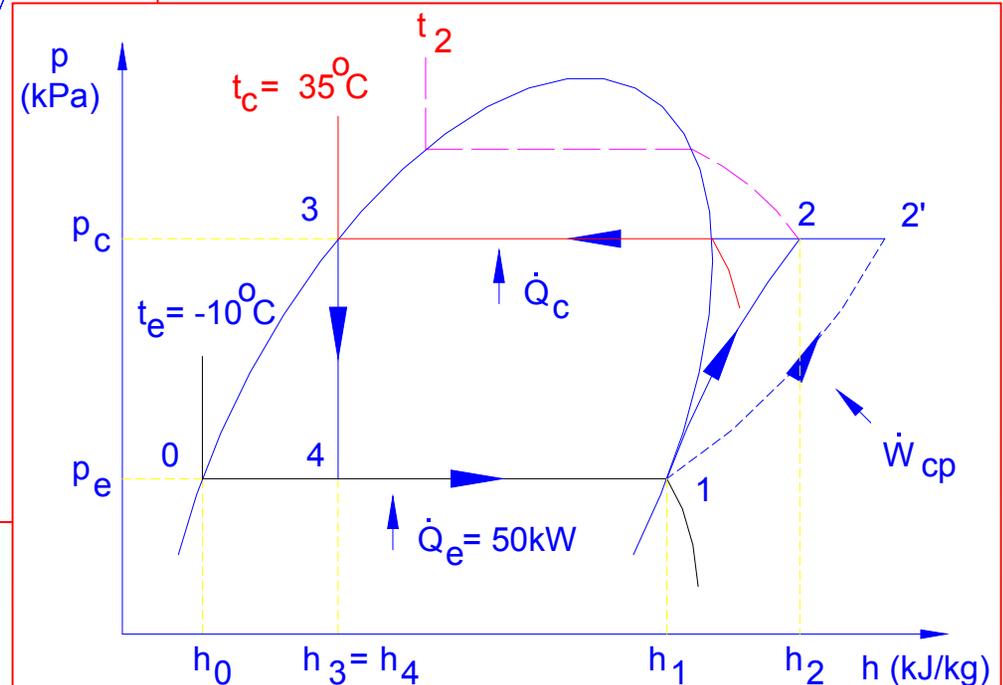
2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

ESBOÇO DO SISTEMA



ESQUEMA DO CICLO NO DIAGRAMA P-h



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

a) As propriedades termodinâmicas dos pontos;

ESTADO 1 ($t_e = -10^\circ\text{C}$):

ESTADO 3 ($t_c = 35^\circ\text{C}$):

DA TABELA DE SATURAÇÃO PARA O R22:

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF SATURATED CHLORODIFLUOROMETHANE (R-22)

Temp °C	Pressure MPa	Volume		Density		Enthalpy			Entropy	
		Liquid m ³ /kg	Vapor m ³ /kg	Liquid kg/m ³	Vapor kg/m ³	Liquid kJ/kg	Latent kJ/kg	Vapor kJ/kg	Liquid kJ/kg K	Vapor kJ/kg K
-25	0.20145	0.00073433	0.11140	1361.8	8.9770	171.78	222.90	394.68	0.89254	1.7908
-24	0.20969	0.00073598	0.10726	1358.7	9.3231	172.89	222.22	395.10	0.89697	1.7889
-23	0.21819	0.00073765	0.10331	1355.7	9.6794	173.99	221.53	395.53	0.90139	1.7870
-22	0.22696	0.00073933	0.099540	1352.6	10.046	175.10	220.85	395.95	0.90579	1.7851
-21	0.23600	0.00074103	0.095935	1349.5	10.424	176.27	220.15	396.37	0.91018	1.7833
-20	0.24521	0.00074274	0.092487	1346.4	10.812	177.33	219.46	396.79	0.91459	1.7815
-19	0.25490	0.00074447	0.089190	1343.2	11.212	178.44	218.76	397.20	0.91892	1.7797
-18	0.26477	0.00074621	0.086034	1340.1	11.623	179.56	218.06	397.62	0.92327	1.7779
-17	0.27494	0.00074796	0.083014	1337.0	12.046	180.68	217.35	398.03	0.92761	1.7761
-16	0.28540	0.00074973	0.080122	1333.8	12.481	181.79	216.64	398.43	0.93194	1.7744
-15	0.29617	0.00075152	0.077352	1330.6	12.928	182.92	215.92	398.84	0.93626	1.7727
-14	0.30724	0.00075332	0.074698	1327.5	13.387	184.04	215.20	399.24	0.94057	1.7710
-13	0.31863	0.00075514	0.072153	1324.3	13.859	185.16	214.48	399.64	0.94487	1.7693
-12	0.33034	0.00075697	0.069714	1321.1	14.344	186.29	213.75	400.04	0.94916	1.7677
-11	0.34237	0.00075882	0.067374	1317.8	14.843	187.42	213.02	400.44	0.95344	1.7660
-10	0.35474	0.00076069	0.065128	1314.6	15.354	188.55	212.28	400.83	0.95771	1.7644
-9	0.36744	0.00076257	0.062973	1311.4	15.880	189.68	211.53	401.22	0.96198	1.7628
-8	0.38049	0.00076447	0.060904	1308.1	16.419	190.82	210.79	401.61	0.96623	1.7612
35	1.3551	0.00086946	0.017193	1150.1	58.162	242.82	171.82	414.64	1.1449	1.7025
36	1.3696	0.00087267	0.016741	1145.9	59.732	244.13	170.71	414.83	1.1480	1.7012
37	1.4247	0.00087594	0.016303	1141.6	61.340	245.44	169.58	415.02	1.1532	1.6999
38	1.4605	0.00087926	0.015876	1137.3	62.986	246.75	168.44	415.19	1.1573	1.6987
39	1.4969	0.00088263	0.015462	1133.0	64.673	248.07	167.29	415.36	1.1614	1.6974

t_e (blue arrow pointing down), p_e (red arrow pointing down), $v_l = v_0$ (red arrow pointing down), $v_v = v_1$ (red arrow pointing down), $h_l = h_0$ (red arrow pointing down), $h_v = h_1$ (red arrow pointing down), $s_l = s_0$ (red arrow pointing down), $s_v = s_1$ (red arrow pointing down).

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

a) As propriedades termodinâmicas dos pontos:

ESTADO 2 ($t_c=35^\circ\text{C}$, $p_c=1355,1 \text{ kPa}$, $s_1 = s_2=1,7644 \text{ kJ/kg K}$):

DA TABELA DE VAPORSUPERAQUECIDO PARA O R22:

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF CHLORODIFLUOROMETHANE (R-22)

t_2 ↓ Temp °C	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K
		Pressure = 0.80 MPa (Sat'n Temp = 15.46°C)			Pressure = 0.90 MPa (Sat'n Temp = 19.60°C)			Pressure = 1.00 MPa (Sat'n Temp = 23.41°C)			Pressure = 1.5 MPa (Sat'n Temp = 39.08°C)	
45	29.069	433.12	1.8048	33.221	431.59	1.7898	37.525	430.01	1.7760	62.029	421.10	1.7154
50	28.432	436.98	1.8168	32.456	435.54	1.8022	36.614	434.06	1.7886	59.970	425.78	1.7300
55	27.833	440.84	1.8287	31.738	439.48	1.8143	35.763	438.08	1.8009	58.123	430.36	1.7441
60	27.266	444.69	1.8403	31.063	443.40	1.8261	34.967	442.07	1.8130	56.450	434.83	1.7576
65	26.728	448.54	1.8518	30.425	447.31	1.8378	34.219	446.05	1.8249	54.921	439.24	1.7707

Primeira interpolação linear para $t_2 = 60^\circ\text{C}$

P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
1000	23,41	442,07	1,8130
1500	39,08	434,83	1,7576

$$h = 442,07 + (434,83 - 442,07) \frac{(35 - 23,41)}{(39,08 - 23,41)}$$

$$h = 436,72 \text{ kJ/kg} \quad s = 1,7720 \text{ kJ/kg K} \quad s > s_2$$

$$s = 1,8130 + (1,7576 - 1,8130) \frac{(35 - 23,41)}{(39,08 - 23,41)}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

a) As propriedades termodinâmicas dos pontos:

ESTADO 2 ($t_c=35^\circ\text{C}$, $p_c=1355,1 \text{ kPa}$, $s_1 = s_2=1,7644 \text{ kJ/kg K}$):

DA TABELA DE VAPORSUPERAQUECIDO PARA O R22:

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF CHLORODIFLUOROMETHANE (R-22)

t_2 ↓ Temp °C	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K
	Pressure = 0.80 MPa (Sat'n Temp = 15.46°C)			Pressure = 0.90 MPa (Sat'n Temp = 19.60°C)			Pressure = 1.00 MPa (Sat'n Temp = 23.41°C)			Pressure = 1.5 MPa (Sat'n Temp = 39.08°C)		
45	29.069	433.12	1.8048	33.221	431.59	1.7898	37.525	430.01	1.7760	62.029	421.10	1.7154
50	28.432	436.98	1.8168	32.456	435.54	1.8022	36.614	434.06	1.7886	59.970	425.78	1.7300
55	27.833	440.84	1.8287	31.738	439.48	1.8143	35.763	438.08	1.8009	58.123	430.35	1.7441
60	27.266	444.69	1.8403	31.063	443.40	1.8261	34.967	442.07	1.8130	56.450	434.83	1.7576
65	26.728	448.54	1.8518	30.425	447.31	1.8378	34.219	446.05	1.8249	54.921	439.24	1.7707

Segunda interpolação linear para $t_2 = 55^\circ\text{C}$

P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
1000	23,41	438,08	1,8009
1500	39,08	430,35	1,7441

$$h = 438,08 + (430,35 - 438,08) \frac{(35 - 23,41)}{(39,08 - 23,41)}$$

$$h = 432,36 \text{ kJ/kg} \quad s = 1,7589 \text{ kJ/kg K} \quad s < s_2$$

$$s = 1,8009 + (1,7441 - 1,8009) \frac{(35 - 23,41)}{(39,08 - 23,41)}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

a) As propriedades termodinâmicas dos pontos:

ESTADO 2 ($t_c=35^\circ\text{C}$, $p_c=1355,1 \text{ kPa}$, $s_1 = s_2 = 1,7644 \text{ kJ/kg K}$):
DA TABELA DE VAPORSUPERAQUECIDO PARA O R22:

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF CHLORODIFLUOROMETHANE (R-22)

t_2 ↓ Temp °C	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K	Density kg/m ³	Enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg K
		Pressure = 0.80 MPa (Sat'n Temp = 15.46°C)			Pressure = 0.90 MPa (Sat'n Temp = 19.60°C)			Pressure = 1.00 MPa (Sat'n Temp = 23.41°C)			Pressure = 1.5 MPa (Sat'n Temp = 39.08°C)	
45	29.069	433.12	1.8048	33.221	431.59	1.7898	37.525	430.01	1.7760	62.029	421.10	1.7154
50	28.432	436.98	1.8168	32.456	435.54	1.8022	36.614	434.06	1.7886	59.970	425.78	1.7300
55	27.833	440.84	1.8287	31.738	439.48	1.8143	35.763	438.08	1.8009	58.123	430.35	1.7441
60	27.266	444.69	1.8403	31.063	443.40	1.8261	34.967	442.07	1.8130	56.450	434.83	1.7576
65	26.728	448.54	1.8518	30.425	447.31	1.8378	34.219	446.05	1.8249	54.921	439.24	1.7707

Terceira interp. linear entre $t_2 = 55^\circ\text{C}$ e 60°C p/ $t_c=35^\circ\text{C}$, $p_c=1355,1 \text{ kPa}$.

T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
55	432,363	1,7589
57,08	434,1725	1,7644
60	436,715	1,7720

$$t_2 = 55 + (60 - 55) \frac{(1,7644 - 1,759)}{(1,7720 - 1,759)}$$

$$t_2 \cong 57,08^\circ\text{C}$$

$$h_2 \cong 434,1725 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 432,3627 + (436,715 - 432,3627) \frac{(1,7644 - 1,759)}{(1,7720 - 1,759)}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

a) As propriedades termodinâmicas dos pontos:

PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DOS PONTOS

ESTADO PUNTO	T (°C)	P (kPa)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)	v (m ³ /kg)	Título
1	-10°C	354,74	400,83	1,7644	0,065128	1,0
2	57,1°C	1355,10	434,173	1,7644	-	VSA
3	35°C	1355,10	242,82	1,1449	0,000869	0,0
4	-10°C	354,74	242,82	-	0,017222	0,256
0	-10°C	354,74	188,55	0,95771	0,0007607	0,0

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

CÁLCULOS

b) O efeito de refrigeração:

$$ER = h_1 - h_4 = 400,83 - 242,82 = 158,01 \text{ kJ/kg} \quad (\text{específico})$$

$$ER = \frac{(h_1 - h_4)}{v_1} = \frac{(400,83 - 242,82)}{0,065128} = 2426,1 \text{ kJ/m}^3 \quad (\text{volúmico})$$

c) A vazão mássica de refrigerante:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_e}{(h_1 - h_4)} = \frac{50}{(400,83 - 242,82)} = 0,3164 \text{ kg/s}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

CÁLCULOS

d) O deslocamento volumétrico do compressor, em m³/s;

$$\dot{V} = \dot{m}v_1 = 0,3164 \times 0,065128 = 0,0206 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) O trabalho de compressão ideal e real em kW;

$$\dot{W}_{\text{cp}} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0,3164(434,1725 - 400,83) = 10,55 \text{ kJ/s}$$

$$\dot{W}_{\text{cp, real}} = \frac{\dot{W}_{\text{cp}}}{\eta_{\text{isen}}} = \frac{10,55}{0,7} = 15,07 \text{ kW}$$

Onde h_2 , é dado por:

$$(h_{2'} - h_1) = \frac{(h_2 - h_1)}{\eta_{\text{isen}}} \quad h_{2'} = \frac{(434,1725 - 400,83)}{0,7} + 400,83 = 448,4621 \text{ kJ/kg}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

CÁLCULOS

f) O calor rejeitado para o ambiente externo pelo condensador em kW;

$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_2 - h_3) = 0,3164 (434,1725 - 242,82) = 60,54 \text{ kJ/s}$$

g) O COP da máquina frigorífica e trabalhando como uma bomba de calor;

$$\text{COP}_{\text{MF}} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{\text{cp}}} = \frac{50}{10,55} = 4,74$$

$$\text{COP}_{\text{BC}} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{\text{cp}}} = \frac{60,54}{10,55} = 5,74$$

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = 5,85$$

h) A perda de efeito de refrigeração, em kJ/kg;

$$\text{ER}_{\text{perda}} = h_4 - h_0 = 242,82 - 188,55 = 54,27 \text{ kJ/kg}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.2

CÁLCULOS

i) O título do refrigerante na saída da válvula de expansão;

$$x_4 = \frac{(h_3 - h_0)}{(h_1 - h_0)} = \frac{(242,82 - 188,55)}{(400,83 - 188,55)} = 0,26$$

Onde $h_4 = h_3$

j) O volume específico do refrigerante na saída da válvula de expansão;

$$v_4 = (1 - x_4)v_0 + x_4v_1$$

$$v_4 = (1 - 0,25565)0,00076069 + 0,25565 \times 0,065128 = 0,017216 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

RESULTADOS DOS EXEMPLOS 2.5.4 e 2.5.5

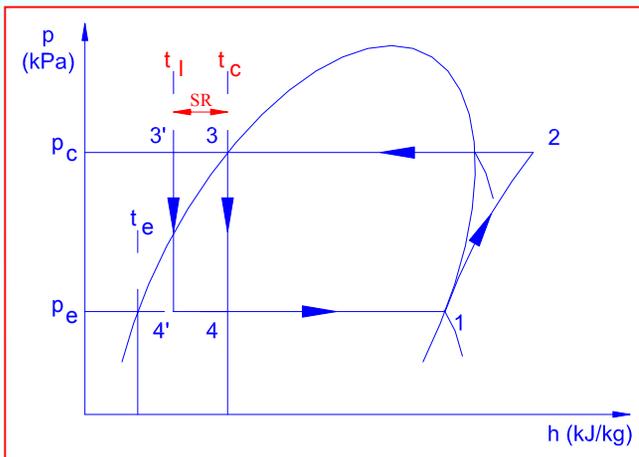
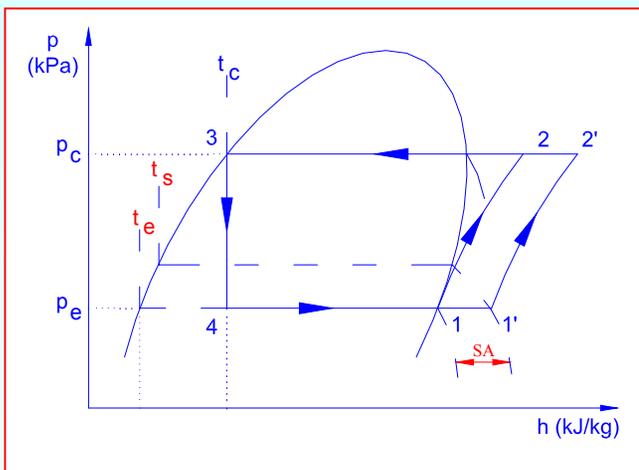
CONCLUSÃO :
 te → operar a mais alta possível.

tc → operar a mais baixa possível.

Exercício: (para R22)		2.5.2	2.5.4	2.5.5
Dados Exercício	Qe [kW]	Carga Térmica	50	50
	tevap [°C]	f(produto)	-10	0
	tcond [°C]	f(m eio)	35	35
	pevap [MPa]	Tab. sat / tevap	0,35474	0,49792
	pcond [MPa]	Tab. sat / tcond	1,35510	1,35510
Propriedades nos pontos	h1 [kJ/kg]	Tab. sat / tevap "Vapor"	400,83	404,59
	s1 [kJ/kgK]	Tab. sat / tevap "Vapor"	1,7644	1,7490
	v1 [m³/kg]	Tab. sat / tevap "Vapor"	0,065128	0,047001
	s2 [kJ/kgK]	= s1	1,7644	1,7490
	h2 [kJ/kg]	Interpol. Tab	434,19	429,15
	t2 [°C]	Interpol. Tab	52,10	51,37
	h3 [kJ/kg]	Tab. sat / tcond "Liq"	242,82	242,82
	h4 [kJ/kg]	= h3	242,82	242,82
	h0 [kJ/kg]	Tab. sat / tevap "Liq"	188,55	200,00
	v0 [m³/kg]	Tab. sat / tevap "Liq"	0,00076069	0,00078035
	a.	ER [KJ/kg]	h1-h4	158,01
b.	m [kg/s]	Qe/(h1-h4)	0,3164	0,3091
c.	Wcp [kW]	m*(h2-h1)	10,56	7,59
d.	V [m³/h]	m*v1	0,0206	0,0145
e.	Qc [kW]	m*(h2-h3)	60,56	57,59
f.	COP	Qe/Wcp	4,74	6,59
g.	COPBC	Qc/Wcp	5,74	7,59
h.	x4	(h3-h0)/(h1-h0)	0,25565	0,20930
i.	v4 [m³/kg]	(1-x4)v0+x4.v1	0,01722	0,01045
k.	Wcp real [kW]	Wcp/ηisen	15,08	10,84
l.	ERperda [kJ/kg]	h4-h0	54,27	42,82

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

RESULTADOS DOS EXEMPLOS 2.5.5, 2.5.6 e 2.5.7



Exercício: (para R22)		2.5.2	2.5.6 a	2.5.6 b	2.5.7	2.5.8		
Dados Exercício	Qe [kW]	Carga Térmica	50	50	50	50		
	tevap [°C]	f(produto)	-10	-10	-10	-10		
	tcond [°C]	f(meio)	35	35	35	35		
	SA [°C]		****	10 c/ SA util	10 s/ SA util	****	10 c/ SA util	
	SR [°C]		****	****	****	10	10	
Propriedades nos pontos	pevap [MPa]	Tab. sat / tevap	0,35474	0,35474	0,35474	0,35474	0,35474	
	pcond [MPa]	Tab. sat / tcond	1,35510	1,35510	1,35510	1,35510	1,35510	
	h1 [kJ/kg]	Tab. sat / tevap "Vapor"	400,83	400,83	400,83	400,83	400,83	
	s1 [kJ/kgK]	Tab. sat / tevap "Vapor"	1,7644	1,7644	1,7644	1,7644	1,7644	
	v1 [m³/kg]	Tab. sat / tevap "Vapor"	0,065128	0,065128	0,065128	0,065128	0,065128	
	h1' [kJ/kg]	Interop.Tab	****	407,86	407,86	****	407,86	
	s1' [kJ/kgK]	Interop.Tab	****	1,7906	1,7906	****	1,7906	
	v1' [m³/kg]	=v1	****	0,065128	0,065128	****	0,065128	
	s2 [kJ/kgK]		1,7644	1,7906	1,7906	1,7644	1,7906	
	h2 [kJ/kg]	Interpol. Tab	434,19	442,98	442,98	434,19	442,98	
	t2 [°C]	Interpol. Tab	52,10	67,32	67,32	52,10	67,32	
	h3 [kJ/kg]	Tab. sat / tcond "Liq"	242,82	242,82	242,82	242,82	242,82	
	h3' [kJ/kg]	Tab. sat / tcond "Liq" a 2X		****	****	230,05	230,05	
	h4 [kJ/kg]		242,82	242,82	242,82	230,05	230,05	
			=h3	=h3	=h3	=h3'	=h3'	
	h0 [kJ/kg]	Tab. sat / tevap "Liq"	188,55	188,55	188,55	188,55	188,55	
	v0 [m³/kg]	Tab. sat / tevap "Liq"	0,00076069	0,00076069	0,00076069	0,00076069	0,00076069	
	a.	ER [KJ/kg]		158,01	165,04	158,01	170,78	177,81
				h1-h4	h1'-h4	h1-h4	h1-h4	h1'-h4
	b.	m [kg/s]		0,3164	0,3030	0,3164	0,2928	0,2812
			Qe/(h1-h4)	Qe/(h1'-h4)	Qe/(h1-h4)	Qe/(h1-h4)	Qe/(h1'-h4)	
c.	Wcp [kW]		10,56	10,64	13,34	9,77	9,88	
			m*(h2-h1)	m*(h2-h1')	m*(h2-h1)	m*(h2-h1)	m*(h2-h1')	
d.	V [m³/h]		0,0206	0,0197	0,0206	0,0191	0,0183	
			m*v1	m*v1'	m*v1'	m*v1	m*v1'	
e.	Qc [kW]		60,56	60,64	63,34	59,77	59,88	
			m*(h2-h3)	m*(h2-h3)	m*(h2-h3)	m*(h2-h3')	m*(h2-h3)	
f.	COP	Qe/Wcp	4,74	4,70	3,75	5,12	5,06	
g.	COPBC	Qc/Wcp	5,74	5,70	4,73	6,12	6,06	
h.	x4		0,25565	0,24746	0,24746	0,19550	0,19550	
			(h3-h0)/(h1-h0)	(h3'-h0)/(h1'-h0)	(h3-h0)/(h1-h0)	(h3-h0)/(h1-h0)	(h3'-h0)/(h1-h0)	
i.	v4 [m³/kg]	(1-x4)v0+x4.v1	0,01722	0,01669	0,01669	0,01334	0,01334	
k.	Wcp real [kW]	Wcp/ηisen	15,08	15,20	19,05	13,95	14,11	
l.	ERperda [kJ/kg]	h4-h0	54,27	54,27	54,27	41,50	41,50	

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.5 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

EXEMPLO 2.5.9: Na instalação frigorífica da (fig. 26) foram coletados os seguintes

Dados:

- leitura no manômetro de baixa, 0,1440 MPa
- leitura no manômetro de alta, 1,2883 MPa
- temperatura do fluido frigorífico na entrada da VE, 30°C

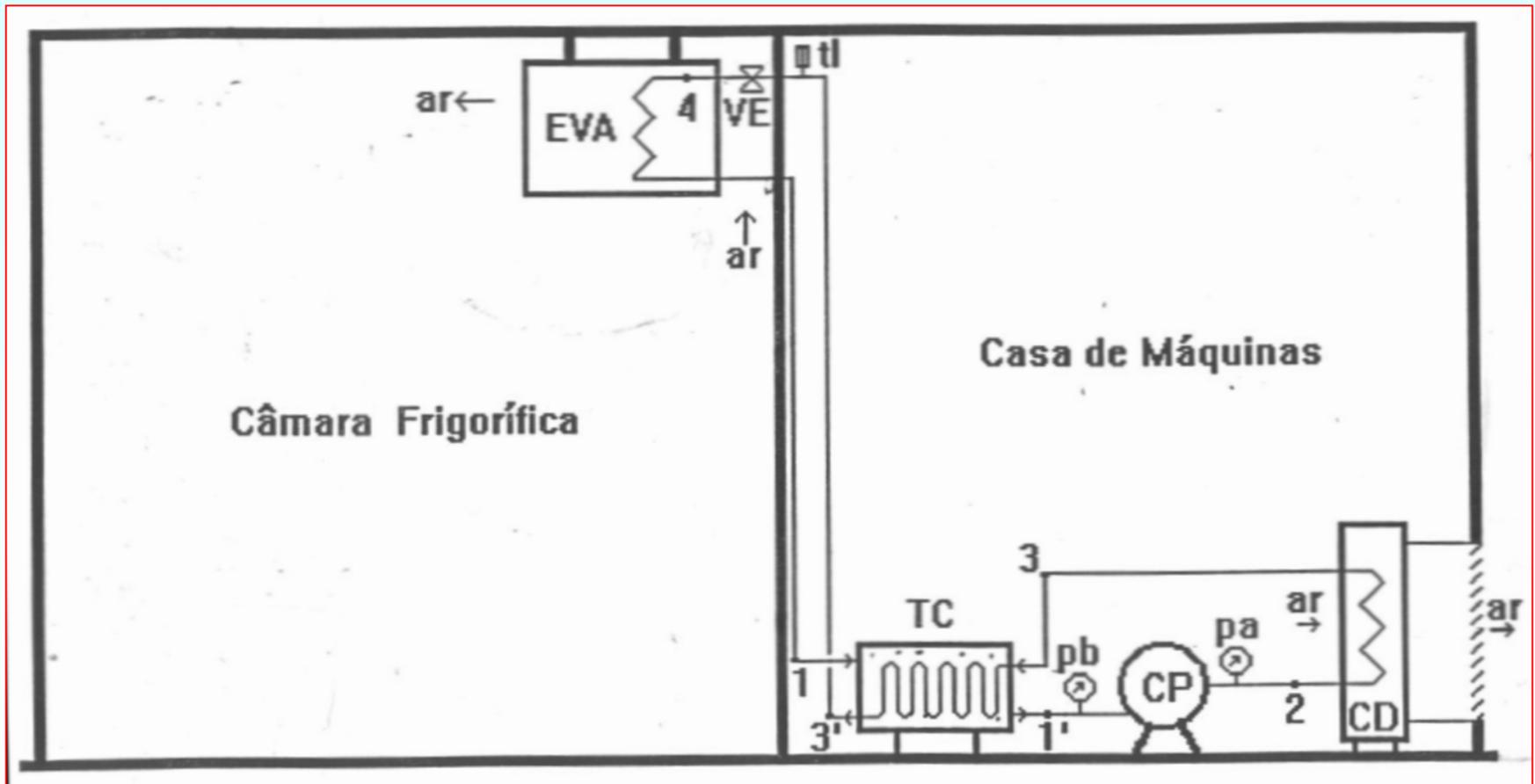
Sabendo-se que o referido sistema utiliza R-22 como fluido frigorífico, determinar:

- a) as temperaturas de condensação e evaporação;
- b) a temperatura do fluido frigorífico na entrada e na saída do compressor;
- c) desenhe o ciclo frigorífico correspondente no diagrama p-h;
- d) sabendo que o evaporador deve retirar 10 kW do interior da câmara frigorífica, calcular a W_{cp} e o COP;

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.9

VISTA EM CORTE DA INSTALAÇÃO FRIGORÍFICA



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.9

CÁLCULOS

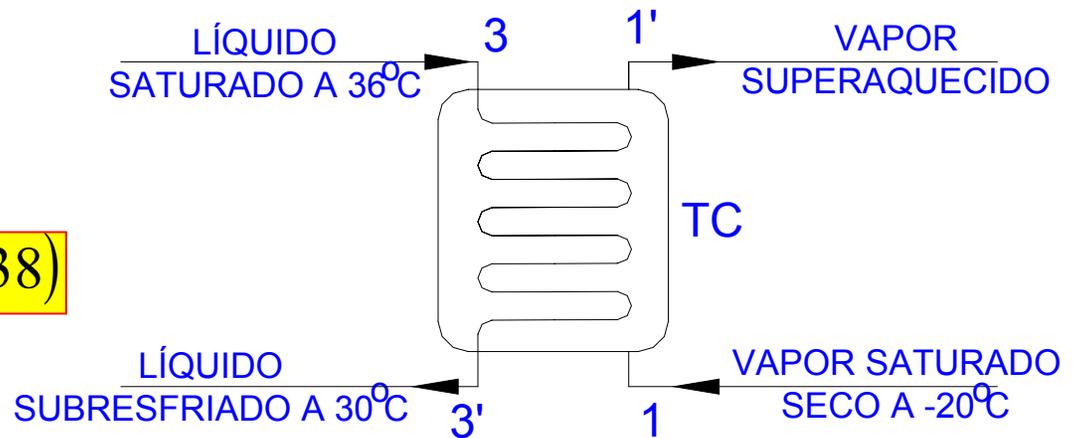
b) A temperatura do refrigerante na entrada e saída do compressor:

$$q_{33'} = q_{11'}$$

$$(h_3 - h_{3'}) = (h_{1'} - h_1)$$

$$h_{1'} = 396,79 + (244,13 - 236,38)$$

$$h_{1'} = 404,54 \text{ kJ/kg}$$



onde da TAB de VSA para o R22, obtém-se o estado 1', conhecendo-se ($t_e = -20^\circ\text{C}$, $p_e = 245,3 \text{ kPa}$, $h_{1'} = 404,54 \text{ kJ/kg}$):

$$t_{1'} = -8,38^\circ\text{C} \text{ e } s_{1'} = 1,8114 \text{ kJ/kg K}$$

também da TAB de VSA para o R22, obtém-se o estado 2' conhecendo-se ($t_c = 36^\circ\text{C}$, $p_c = 1389,6 \text{ kPa}$, $s_{1'} = s_{2'} = 1,8114 \text{ kJ/kg K}$):

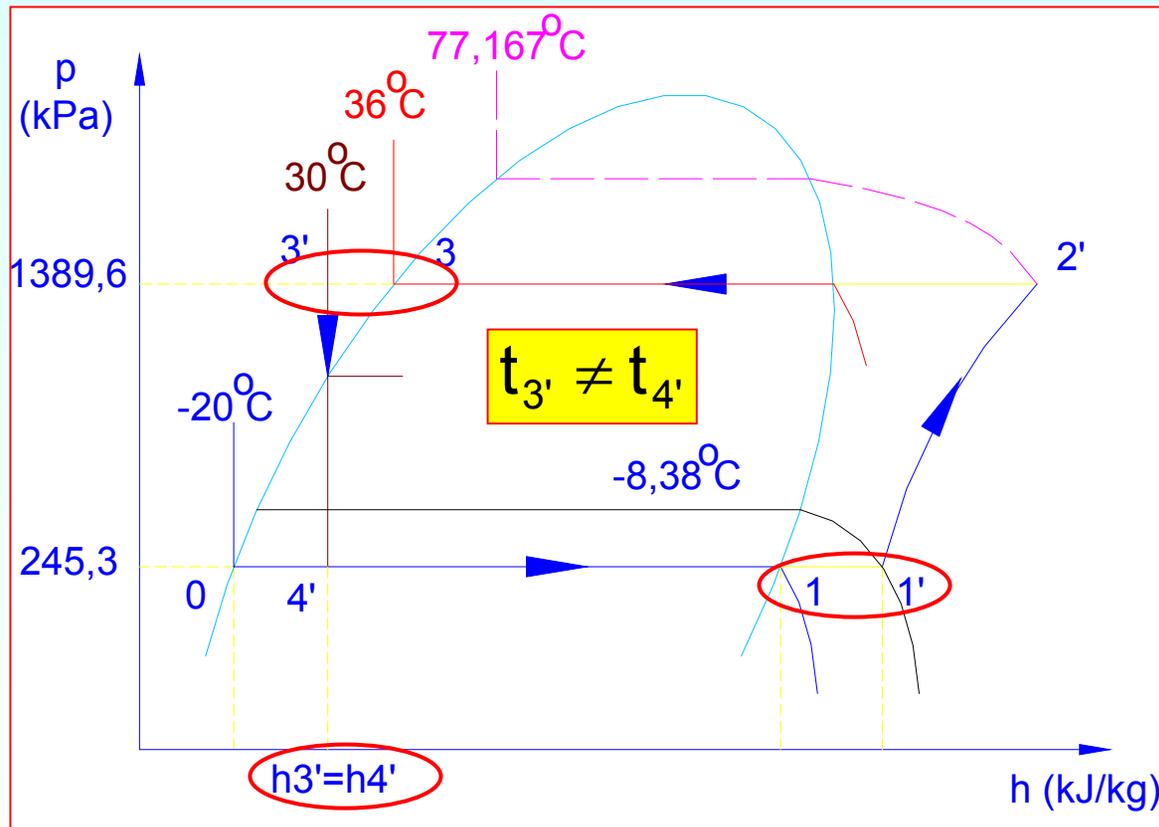
$$t_{2'} = 77,167^\circ\text{C} \text{ e } h_{2'} = 450,91 \text{ kJ/kg}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.9

CÁLCULOS

c) desenhe o ciclo frigorífico correspondente no diagrama p-h;



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.9

CÁLCULOS

d) A potência de compressão e o COP:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_e}{(h_1 - h_4)} = \frac{10}{(396,79 - 236,38)} = 0,06234 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_{cp} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0,06234(450,91 - 404,54) = 2,89 \text{ kJ/s}$$

$$\text{COP}_{MF} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{cp}} = \frac{10}{2,89} = 3,46$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.5 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

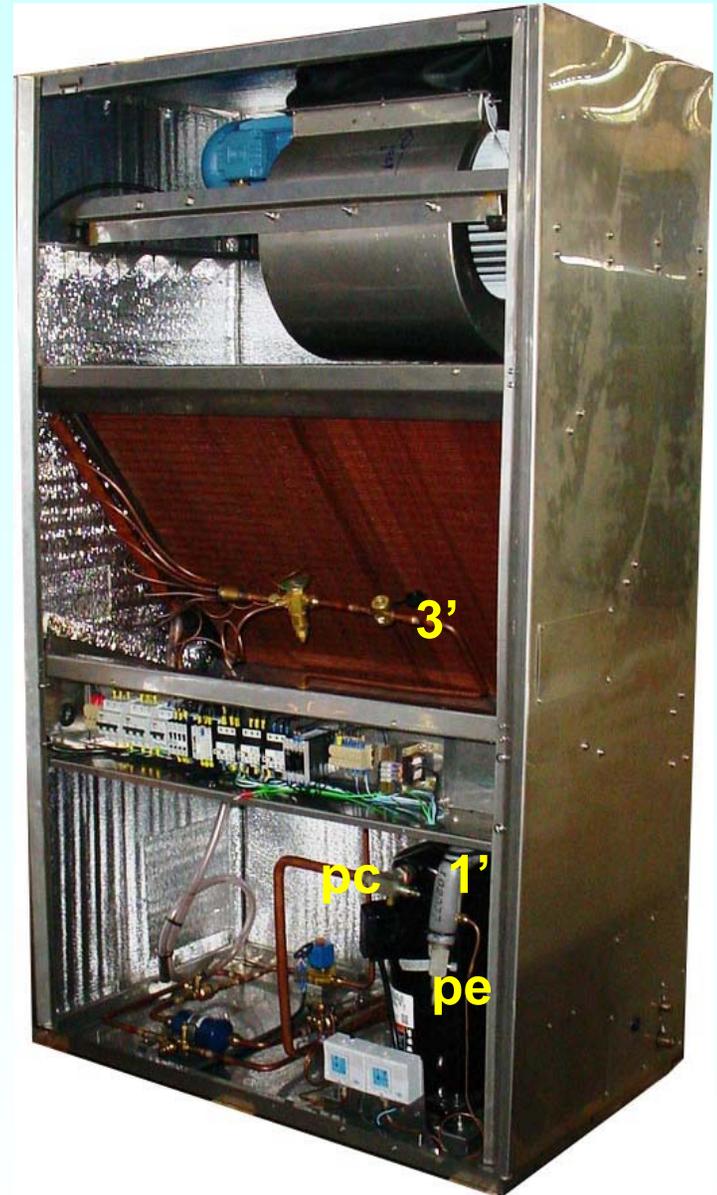
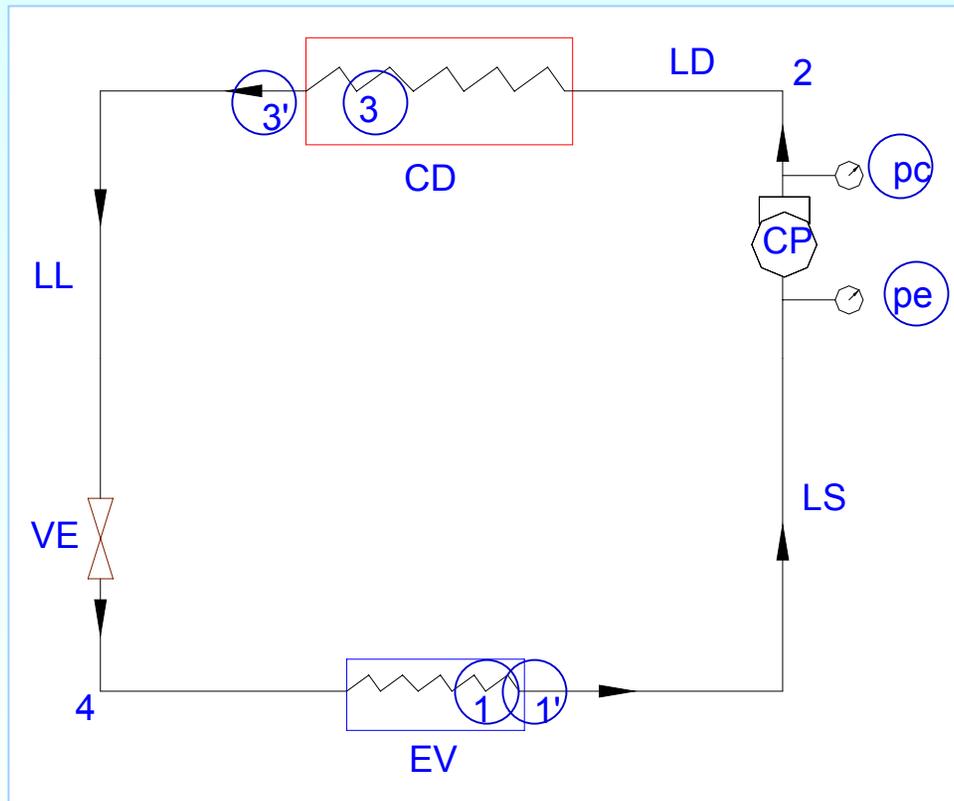
EXEMPLO 2.5.10: Calcular o sub-resfriamento e o superaquecimento de uma máquina de ar condicionado, que opera com R-22, visando o balanceamento frigorífico do equipamento mostrado na (fig. 24), conhecendo-se as leituras abaixo:

- leitura no manômetro de alta: 1754,3 kPa
- leitura da temperatura da linha de líquido: 45°C
- leitura no manômetro de baixa: 482,7 kPa
- leitura da temperatura da linha de sucção: 15°C.

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.10

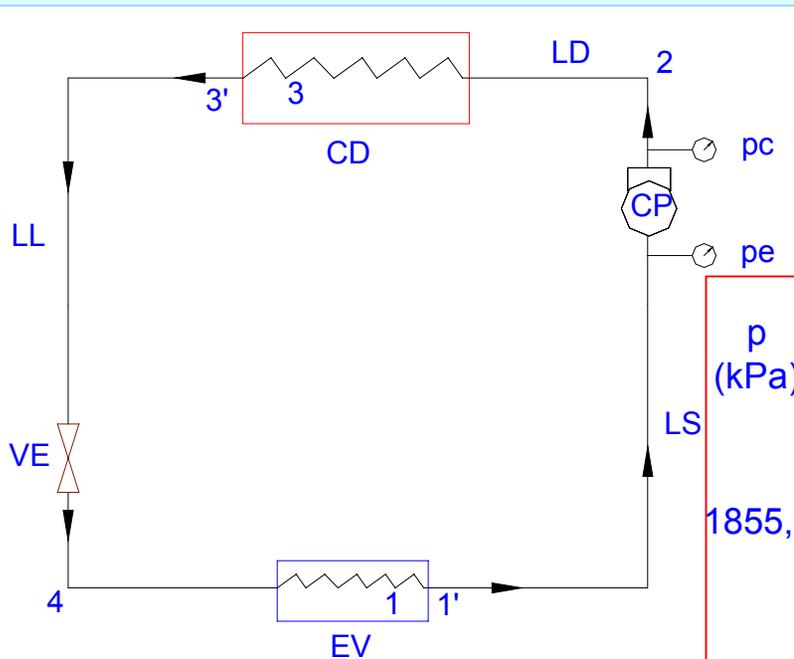
MÁQUINA DE AR CONDICIONADO



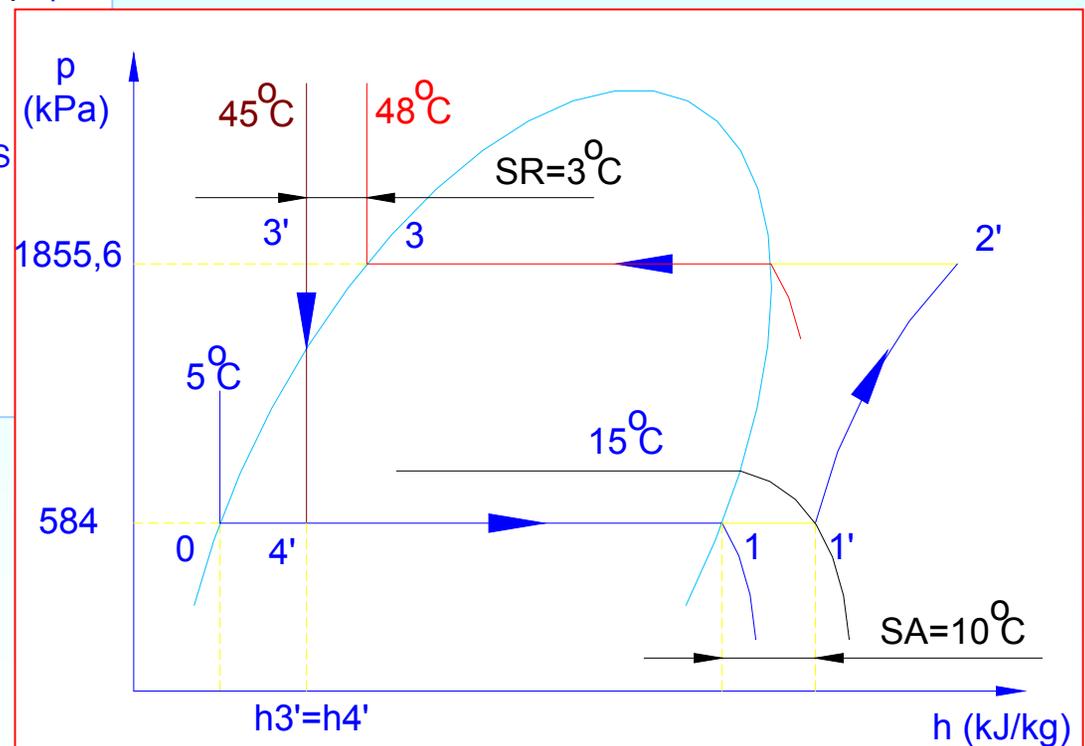
2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.10

ESBOÇO DO SISTEMA



CICLO FRIGORÍFICO



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.9

CÁLCULOS

a) Cálculo do Subresfriamento (8 a 11°C):

CARGA DE GÁS

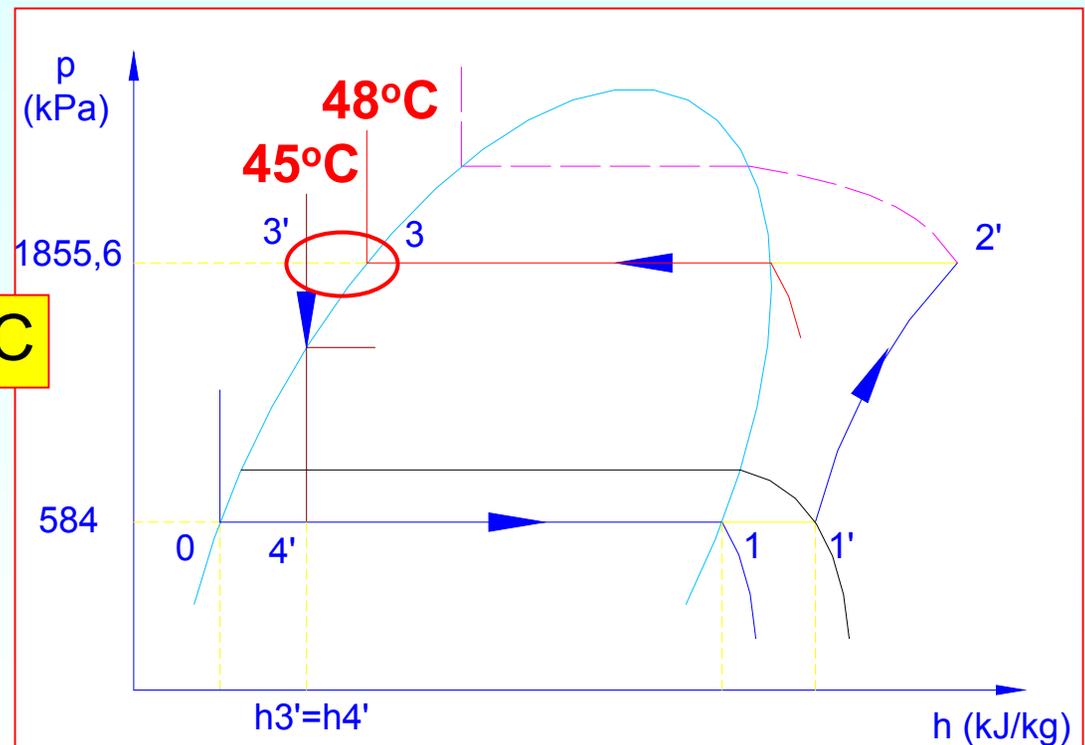
$$p_c = p_{\text{man}} + p_{\text{atm}} = 1754,3 + 101,325 = 1855,6 \text{ kPa}$$

onde da TAB de
VSS $t_c = 48^\circ\text{C}$

$$\text{SR} = t_c - t_l = 48 - 45 = 3^\circ\text{C}$$

onde $t_c = t_3$ e $t_l = t_{3'}$

Adicionar R22 para
aumentar o SR



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

EXEMPLO 2.5.9

CÁLCULOS

b) Cálculo do Superaquecimento (4 a 6°C):

REGULAGEM DA VET

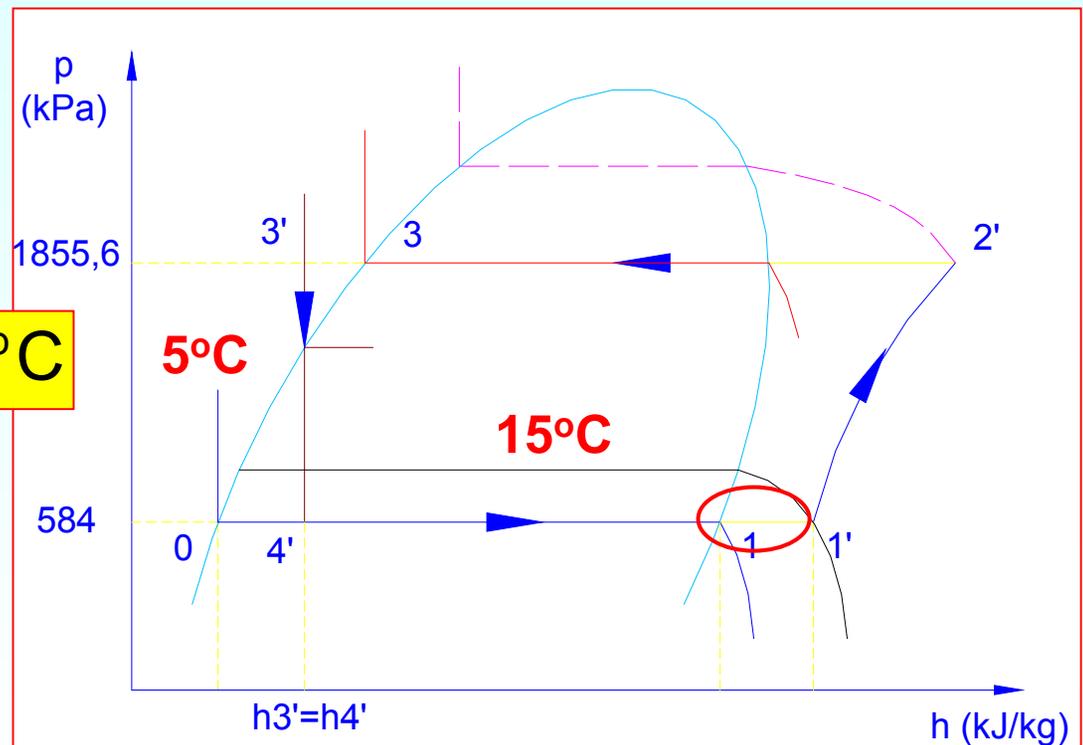
$$p_e = p_{\text{man}} + p_{\text{atm}} = 482,7 + 101,325 = 584 \text{ kPa}$$

onde da TAB de
VSS $t_e = 5^\circ\text{C}$

$$SA = t_s - t_e = 15 - 5 = 10^\circ\text{C}$$

onde $t_e = t_1$ e $t_s = t_1'$,

Abrir a VET para
reduzir o SA



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

CARGA DE FLUIDO REFRIGERANTE

