

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2018

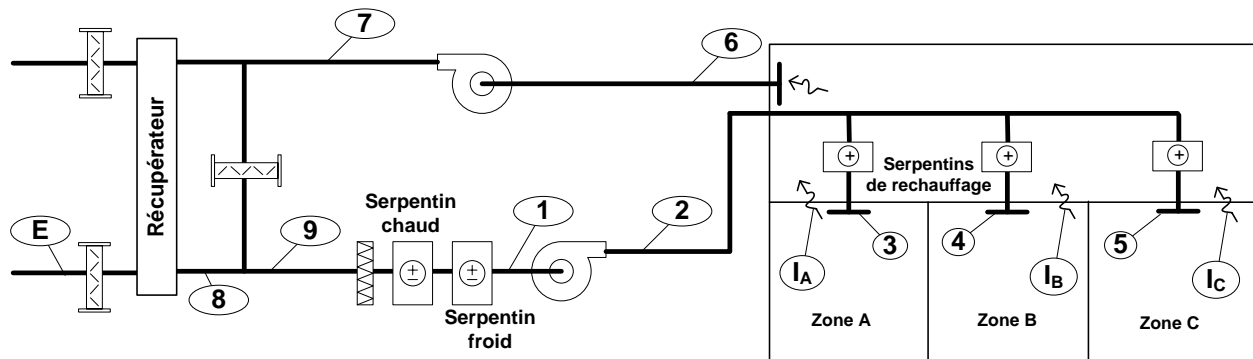
Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

14-BA-A4 Contrôle environnemental des bâtiments

Problème n° 1 (25 points)

La figure ci-jointe illustre un système de climatisation à débit constant avec les serpentins de réchauffage dans les zones. Le système comporte aussi un récupérateur de chaleur tel que mentionné sur le schéma. Les données de design pour le pic du bâtiment sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Zones	A		B		C	
Débit	2.5 m ³ /s		1.7 m ³ /s		1.5 m ³ /s	
Charges (kW)	sensible	latente	sensible	latente	sensible	latente
	34.5	4.4	20.4	7.32	14.4	0.0
Température	24 °C					
Humidité relative	40 à 60 %					



Gains de chaleur dans le faux-plafond
Réchauffement de l'air dans le ventilateur de retour
Réchauffement de l'air dans le ventilateur d'alimentation
L'air frais (extérieur) température sèche
humidité relative
Efficacité du récupérateur
Débit de l'air frais

13.68 kW
 $\Delta t = 1\text{ °C}$
 $\Delta t = 1\text{ °C}$
 $t = 35\text{ °C}$
 $\phi = 50\%$
 $\varepsilon = 0.7$
20% du débit de ventilateur

L'état de l'air à la sortie du serpentin froid (**point 1 sur le schéma**) est le suivant :

Température sèche

11.5 °C

Humidité absolue

$w = 8.0 \text{ g/kg d'air sec}$

Représentez, pour le pic du bâtiment, sur le diagramme psychrométrique ci-joint, les états clés de l'air (les points 1 à 9, I_A , I_B , I_C et E sur le schéma) (6 points) et présentez dans un tableau la température et l'humidité absolue (2 points) de chaque état de l'air.

Déterminez:

- le débit du ventilateur (3 points);
- la puissance frigorifique du serpentin de refroidissement (4 points);
- les puissances des serpentins de réchauffage dans les zones A, B, et C (4 points);

Déterminez aussi:

- la puissance frigorifique du serpentin de refroidissement sans le récupérateur (6 points).

Pour les calculs on admet les conditions de l'air standard c'est-à-dire : $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

$c_p = 1.0 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ et l'enthalpie de vaporisation $i_{fg} = 2500 \text{ kJ/kg}$

Problème n° 2 (15 points)

Dans un bâtiment de cinq (5) zones (quatre zones externes E, N, O, S et une zone interne I), les gains de chaleur sont les suivantes :

les pics des zones

Gains (kW)		Zone E	Zone N	Zone O	Zone S	Zone I
occupants	sensible	5.0	6.0	8.0	6.0	15
	latents	2.5	3.0	4.0	3.0	7.5
éclairage totale ⁽¹⁾		4.0	5.0	7.0	5.0	15.0
équipements		2.0	3.0	1.5	1.4	5.0
extérieurs	sensible	10	7.0	15.0	18.0	0
	latents	4.0	1.5	5.0	6.0	0
		16 juin	9 juillet	6 septembre	23 juin	14 juillet

le pic du bâtiment (21 juin)

Gains (kW)		Zone E	Zone N	Zone O	Zone S	Zone I
occupants	sensible	4.5	6.0	7.0	6.0	13
	latents	2.0	3.0	3.0	3.0	6.0
éclairage totale ⁽¹⁾		4.0	5.0	7.0	5.0	10.0
équipements		2.0	3.0	1.5	1.4	5.0
extérieurs	sensible	9.5	7.0	6.0	15.5	0
	latents	3.5	1.4	3.0	4.0	0

Note (1)

Fractions de ces gains qui contribuent à la charge du local et au réchauffement dans le faux plafond sont estimées respectivement à 30% et 70%

Répondez aux questions pour deux cas ci-dessous :

- 1 Le bâtiment est desservi par un **système VAV** avec le chauffage périphérique dans les zones E, N, O et S. La température dans chaque zone est de 24°C et la température de soufflage est 12°C . Déterminez :
 - a) les débits maximums d'air soufflé dans chaque zone qui servent à dimensionner les gaines de ces zones (5 points);
 - b) le débit maximal du ventilateur (3 points).
- 2 Le bâtiment est desservi par un **système multizones à débit constant avec le réchauffage dans les zones**. La température dans chaque zone est de 24°C . La température de soufflage, pour les conditions de design est de 12°C . Déterminez :
 - c) les débits d'air soufflé dans chaque zone (4 points);
 - d) le débit du ventilateur (3 points).

Problème n° 3 (20 points)

Pour les conditions d'hiver, les données sur un système de climatisation à débit constant avec les serpentins de réchauffage sont les suivantes :

Température des zones	22 °C
Humidité relative des zones	30%
Charge sensible de chauffage	108 kW
Température de soufflage	40 °C
Gains latents	15 kW
Température de l'air extérieur	-25 °C
Débit d'air extérieur	40% du débit d'air de ventilateur
Humidité absolue de l'air extérieur	0.0005 kg/kg d'air sec (5g/ kg d'air sec)

Présentez le processus sur le diagramme psychrométrique (4 points) et déterminez :

- a) le débit d'air de ventilateur (2 points)

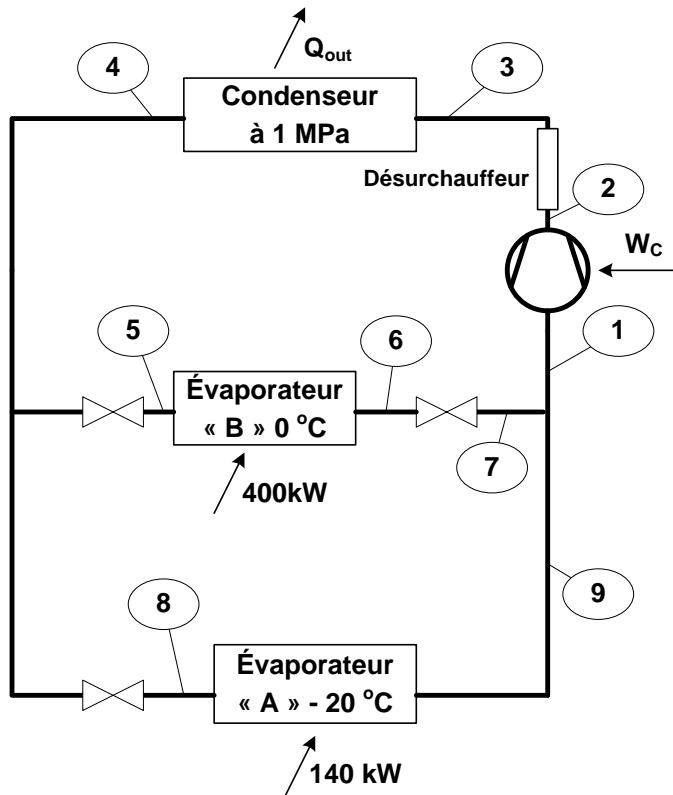
On considère deux scénarios de l'humidification suivants :

- A** application de l'humidificateur par injection directe de vapeur (l'enthalpie de vapeur est de 2675 kJ/kg)
- B** application de l'humidificateur par injection d'eau atomisée (l'enthalpie de l'eau est de 80 kJ/kg)

Déterminez pour chaque scénario :

- b) la température jusqu'à laquelle l'air doit être chauffé avant d'entrer à l'humidificateur (7 points);
- c) le débit de vapeur injectée ($\text{kg}_{\text{vapeur}}/\text{h}$) et de l'eau injectée ($\text{kg}_{\text{eau}}/\text{h}$) (7 points).

Problème n° 4 (25 points)



Le schéma présente un système frigorifique à compression de vapeur comportant deux évaporateurs et fonctionnant avec R-134a comme le réfrigérant. Le design du système permet de réaliser la réfrigération à deux niveaux de températures (-20°C et 0°C) avec un seul compresseur et un seul condenseur.

La capacité frigorifique de l'évaporateur « A » est de 140 kW . Il fonctionne à -20°C , la vapeur à la sortie étant à l'état saturé.

La capacité frigorifique de l'évaporateur « B » est de 400 kW . Il fonctionne à 0°C , la vapeur à la sortie étant à l'état saturé.

Le rendement isentropique du compresseur est de 80% et la compression est jusqu'à la pression de condensation de 1 MPa .

On admet que les chutes de pression dans les évaporateurs et dans le condenseur sont négligeables. On admet aussi que le réfrigérant à la sortie du condenseur est à la pression de 1 MPa et de température de 30°C .

Présentez le cycle frigorifique sur le diagramme $p-h$ ci-joint (5 points) et déterminez :

1. les débits massiques du réfrigérant dans chaque évaporateur et dans le compresseur (\dot{m}_1 , \dot{m}_5 , \dot{m}_8) en kg/s (4 points) ;
2. la puissance du compresseur (W_c) en kW (3 points);
3. la quantité de chaleur qui peut être récupérée par un désurchauffeur présenté sur le schéma (Q_{desur}) en kW (4 points);
4. le coefficient de performance COP (4 points);
5. les débits massiques du réfrigérant dans chaque évaporateur (\dot{m}_5 , \dot{m}_8) si le réfrigérant à la sortie du condenseur était à la pression de 1 MPa et à l'état du liquide saturé (5 points).

Problème n° 5 (15 points)

Le schéma d'un système utilisant deux refroidisseurs de même grandeur (capacité frigorifique), est présenté sur la figure ci-jointe. On admet que dans les conditions de design (à pleine capacité) le système doit fournir 1200 gpm de l'eau à 42°F et que les circuits tertiaires utilisent l'eau à la même température. L'eau à la sortie des circuits tertiaires (point T) est à la température

de 60 °F. À certain moment, lorsque la machine fonctionne à la charge partielle, il n'y a que 750 gpm de l'eau qui est fournie aux circuits tertiaires. Déterminez pour ces conditions :

- Le débit d'eau dans le tube commun « A » (3 points);
- La température de l'eau au point « B » (3 points);
- Le rapport « charge / capacité » pour le refroidisseur « 2 » (3 points);
- La vitesse approximative de la pompe secondaire à la charge partielle si la vitesse de la pompe dans les conditions de design est de 3500 tour/min (rpm) (3 points);
- La diminution de la puissance de pompe à la charge partielle (3 points).

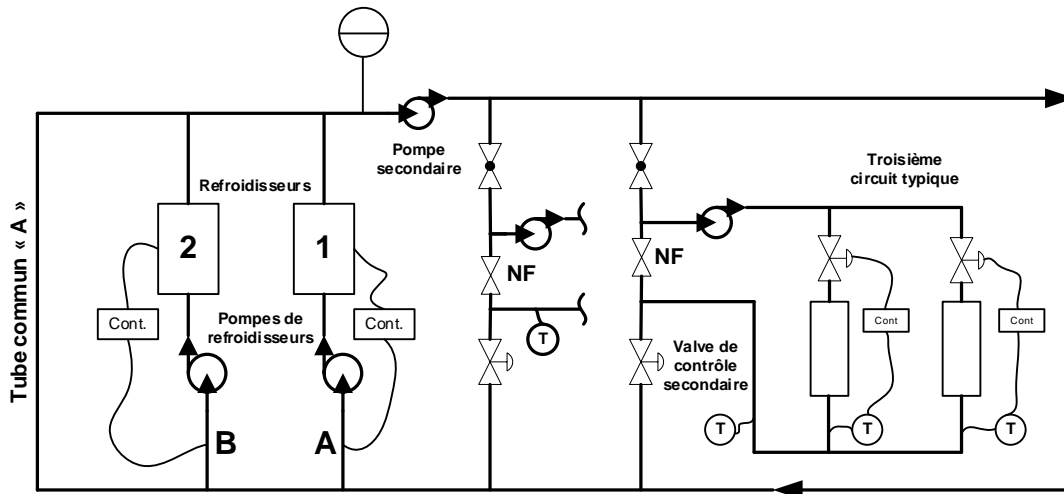


Chart 1b ASHRAE Psychrometric Chart No. 1 (SI) (Reprinted by permission of ASHRAE.)

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1

NORMAL TEMPERATURE-SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa

COPYRIGHT 1981

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.

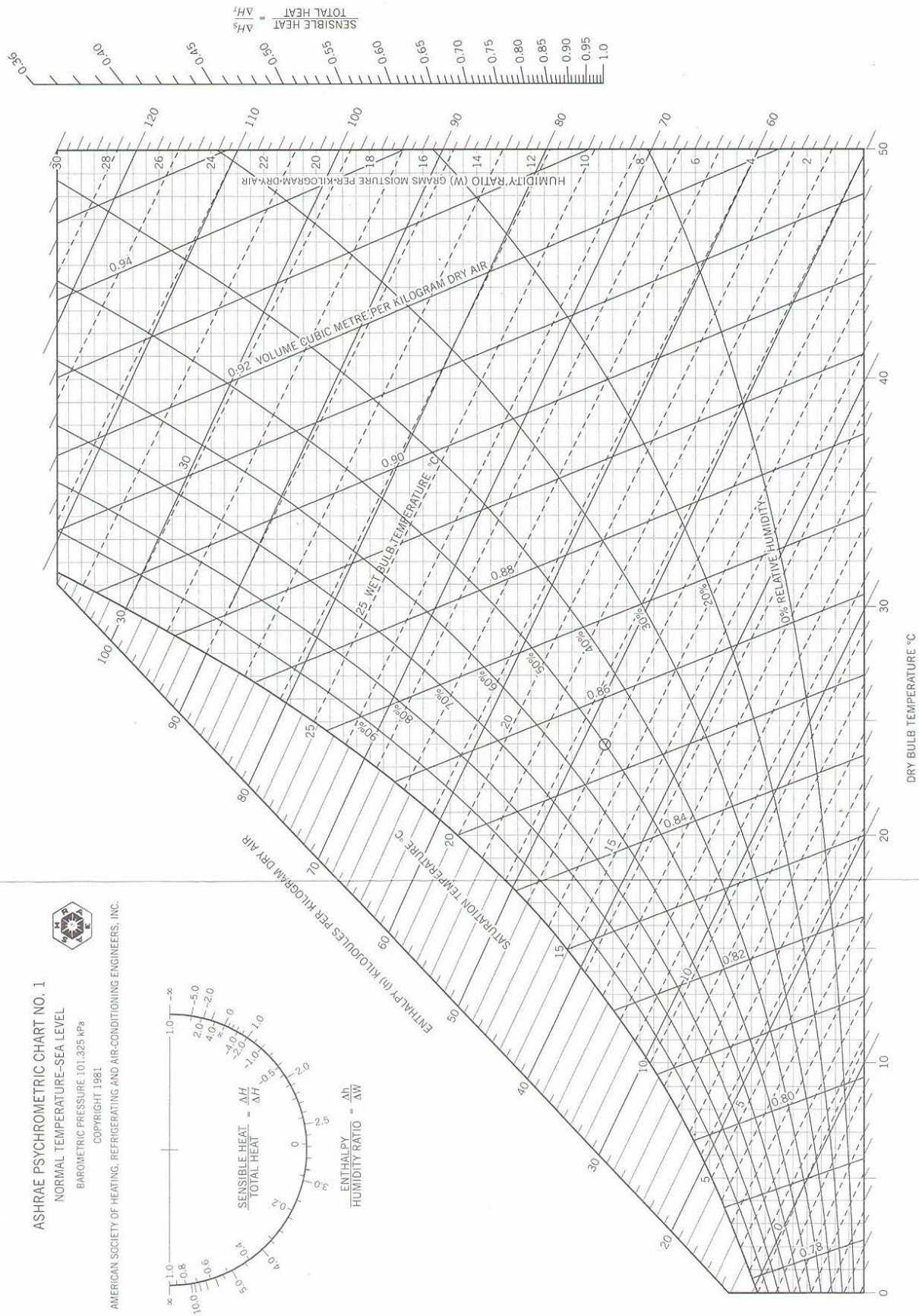


Chart 1b ASHRAE Psychrometric Chart No. 1 (SD) (Reprinted by permission of ASHRAE.)

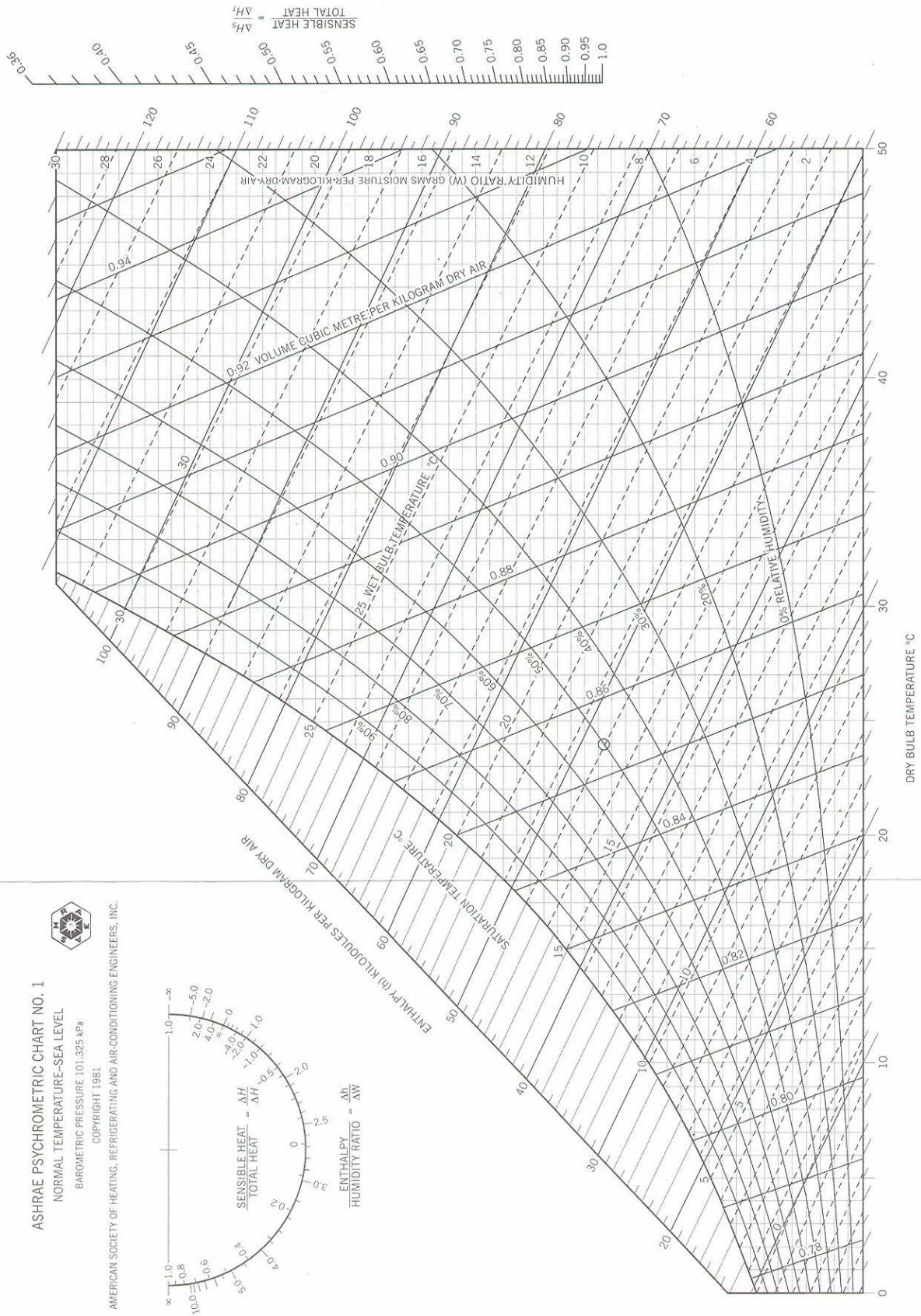
ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1

NORMAL TEMPERATURE-SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa

COPYRIGHT 1981

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



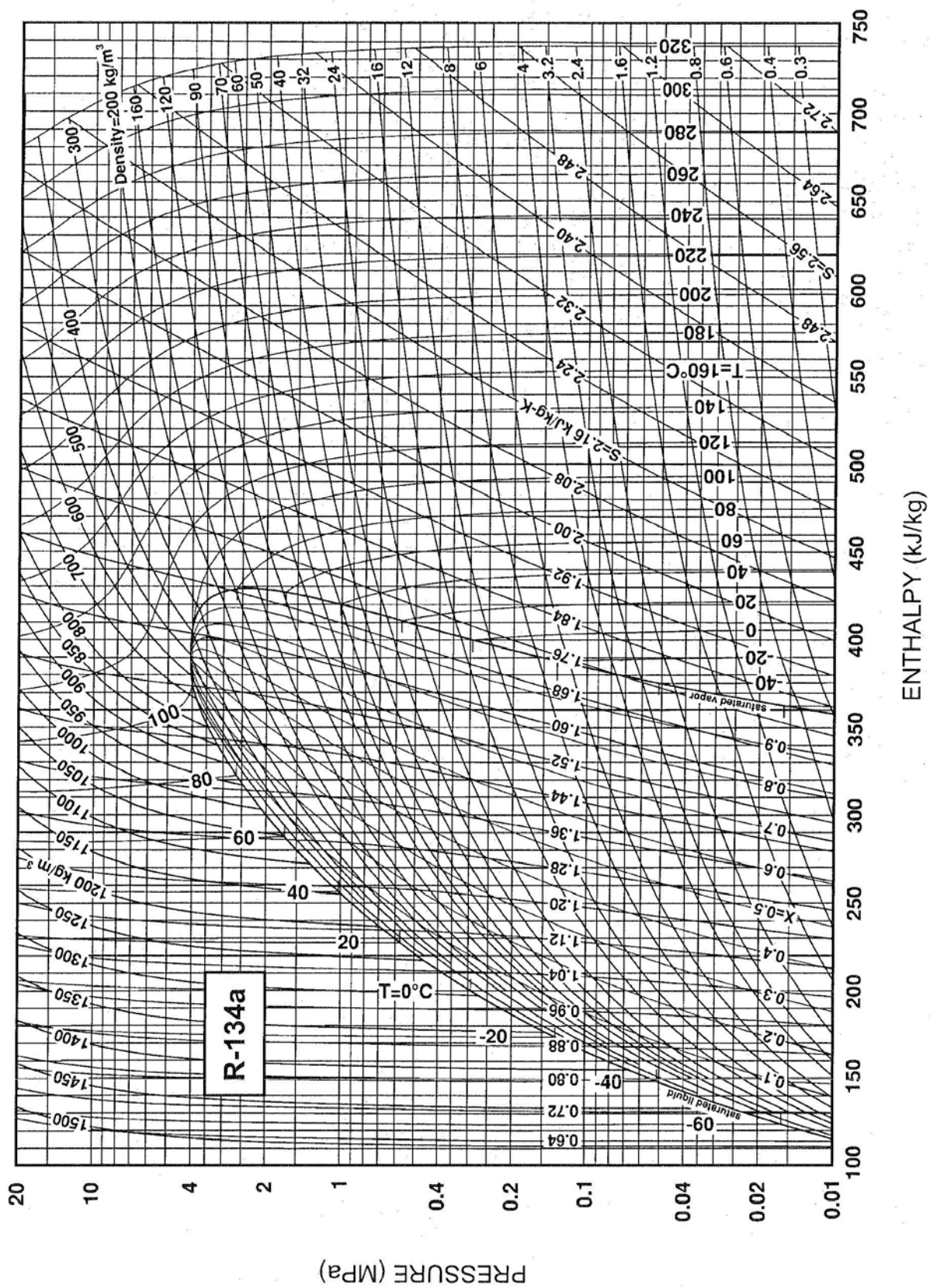


Fig. 8 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 134a

Refrigerant 134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp.,* °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³	Volume, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)		c _p /c _v	Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-103.30a	0.00039	1591.1	35.496	71.46	334.94	0.4126	1.9639	1.184	0.585	1.164	1120.	126.8	2175.	6.46	145.2	3.08	28.07	-103.30
-100.00	0.00056	1582.4	25.193	75.36	336.85	0.4354	1.9456	1.184	0.593	1.162	1103.	127.9	1893.	6.60	143.2	3.34	27.50	-100.00
-90.00	0.00152	1555.8	9.7698	87.23	342.76	0.5020	1.8972	1.189	0.617	1.156	1052.	131.0	1339.	7.03	137.3	4.15	25.79	-90.00
-80.00	0.00367	1529.0	4.2682	99.16	348.83	0.5654	1.8580	1.198	0.642	1.151	1002.	134.0	1018.	7.46	131.5	4.95	24.10	-80.00
-70.00	0.00798	1501.9	2.0590	111.20	355.02	0.6262	1.8264	1.210	0.667	1.148	952.	136.8	809.2	7.89	126.0	5.75	22.44	-70.00
-60.00	0.01591	1474.3	1.0790	123.36	361.31	0.6846	1.8010	1.223	0.692	1.146	903.	139.4	663.1	8.30	120.7	6.56	20.80	-60.00
-50.00	0.02945	1446.3	0.60620	135.67	367.65	0.7410	1.7806	1.238	0.720	1.146	855.	141.7	555.1	8.72	115.6	7.36	19.18	-50.00
-40.00	0.05121	1417.7	0.36108	148.14	374.00	0.7956	1.7643	1.255	0.749	1.148	807.	143.6	472.2	9.12	110.6	8.17	17.60	-40.00
-30.00	0.08438	1388.4	0.22594	160.79	380.32	0.8486	1.7515	1.273	0.781	1.152	760.	145.2	406.4	9.52	105.8	8.99	16.04	-30.00
-28.00	0.09270	1382.4	0.20680	163.34	381.57	0.8591	1.7492	1.277	0.788	1.153	751.	145.4	394.9	9.60	104.8	9.15	15.73	-28.00
-26.07b	0.10133	1376.7	0.19018	165.81	382.78	0.8690	1.7472	1.281	0.794	1.154	742.	145.7	384.2	9.68	103.9	9.31	15.44	-26.07
-26.00	0.10167	1376.5	0.18958	165.90	382.82	0.8694	1.7471	1.281	0.794	1.154	742.	145.7	383.8	9.68	103.9	9.32	15.43	-26.00
-24.00	0.11130	1370.4	0.17407	168.47	384.07	0.8798	1.7451	1.285	0.801	1.155	732.	145.9	373.1	9.77	102.9	9.48	15.12	-24.00
-22.00	0.12165	1364.4	0.16006	171.05	385.32	0.8900	1.7432	1.289	0.809	1.156	723.	146.1	362.9	9.85	102.0	9.65	14.82	-22.00
-20.00	0.13273	1358.3	0.14739	173.64	386.55	0.9002	1.7413	1.293	0.816	1.158	714.	146.3	353.0	9.92	101.1	9.82	14.51	-20.00
-18.00	0.14460	1352.1	0.13592	176.23	387.79	0.9104	1.7396	1.297	0.823	1.159	705.	146.4	343.5	10.01	100.1	9.98	14.21	-18.00
-16.00	0.15728	1345.9	0.12551	178.83	389.02	0.9205	1.7379	1.302	0.831	1.161	695.	146.6	334.3	10.09	99.2	10.15	13.91	-16.00
-14.00	0.17082	1339.7	0.11605	181.44	390.24	0.9306	1.7363	1.306	0.838	1.163	686.	146.7	325.4	10.17	98.3	10.32	13.61	-14.00
-12.00	0.18524	1333.4	0.10744	184.07	391.46	0.9407	1.7348	1.311	0.846	1.165	677.	146.8	316.9	10.25	97.4	10.49	13.32	-12.00
-10.00	0.20060	1327.1	0.09959	186.70	392.66	0.9506	1.7334	1.316	0.854	1.167	668.	146.9	308.6	10.33	96.5	10.66	13.02	-10.00
-8.00	0.21693	1320.8	0.09242	189.34	393.87	0.9606	1.7320	1.320	0.863	1.169	658.	146.9	300.6	10.41	95.6	10.83	12.72	-8.00
-6.00	0.23428	1314.3	0.08587	191.99	395.06	0.9705	1.7307	1.325	0.871	1.171	649.	147.0	292.9	10.49	94.7	11.00	12.43	-6.00
-4.00	0.25268	1307.9	0.07987	194.65	396.25	0.9804	1.7294	1.330	0.880	1.174	640.	147.0	285.4	10.57	93.8	11.17	12.14	-4.00
-2.00	0.27217	1301.4	0.07436	197.32	397.43	0.9902	1.7282	1.336	0.888	1.176	631.	147.0	278.1	10.65	92.9	11.34	11.85	-2.00
0.00	0.29280	1294.8	0.06931	200.00	398.60	1.0000	1.7271	1.341	0.897	1.179	622.	146.9	271.1	10.73	92.0	11.51	11.56	0.00
2.00	0.31462	1288.1	0.06466	202.69	399.77	1.0098	1.7260	1.347	0.906	1.182	612.	146.9	264.3	10.81	91.1	11.69	11.27	2.00
4.00	0.33766	1281.4	0.06039	205.40	400.92	1.0195	1.7250	1.352	0.916	1.185	603.	146.8	257.6	10.90	90.2	11.86	10.99	4.00
6.00	0.36198	1274.7	0.05644	208.11	402.06	1.0292	1.7240	1.358	0.925	1.189	594.	146.7	251.2	10.98	89.4	12.04	10.70	6.00
8.00	0.38761	1267.9	0.05280	210.84	403.20	1.0388	1.7230	1.364	0.935	1.192	585.	146.5	244.9	11.06	88.5	12.22	10.42	8.00
10.00	0.41461	1261.0	0.04944	213.58	404.32	1.0485	1.7221	1.370	0.945	1.196	576.	146.4	238.8	11.15	87.6	12.40	10.14	10.00
12.00	0.44301	1254.0	0.04633	216.33	405.43	1.0581	1.7212	1.377	0.956	1.200	566.	146.2	232.9	11.23	86.7	12.58	9.86	12.00
14.00	0.47288	1246.9	0.04345	219.09	406.53	1.0677	1.7204	1.383	0.967	1.204	557.	146.0	227.1	11.32	85.9	12.77	9.58	14.00
16.00	0.50425	1239.8	0.04078	221.87	407.61	1.0772	1.7196	1.390	0.978	1.209	548.	145.7	221.5	11.40	85.0	12.95	9.30	16.00
18.00	0.53718	1232.6	0.03830	224.66	408.69	1.0867	1.7188	1.397	0.989	1.214	539.	145.5	216.0	11.49	84.1	13.14	9.03	18.00
20.00	0.57171	1225.3	0.03600	227.47	409.75	1.0962	1.7180	1.405	1.001	1.219	530.	145.1	210.7	11.58	83.3	13.33	8.76	20.00
22.00	0.60789	1218.0	0.03385	230.29	410.79	1.1057	1.7173	1.413	1.013	1.224	520.	144.8	205.5	11.67	82.4	13.53	8.48	22.00
24.00	0.64578	1210.5	0.03186	233.12	411.82	1.1152	1.7166	1.421	1.025	1.230	511.	144.5	200.4	11.76	81.6	13.72	8.21	24.00
26.00	0.68543	1202.9	0.03000	235.97	412.84	1.1246	1.7159	1.429	1.038	1.236	502.	144.1	195.4	11.85	80.7	13.92	7.95	26.00
28.00	0.72688	1195.2	0.02826	238.84	413.84	1.1341	1.7152	1.437	1.052	1.243	493.	143.6	190.5	11.95	79.8	14.13	7.68	28.00
30.00	0.77020	1187.5	0.02664	241.72	414.82	1.1435	1.7145	1.446	1.065	1.249	483.	143.2	185.8	12.04	79.0	14.33	7.42	30.00
32.00	0.81543	1179.6	0.02513	244.62	415.78	1.1529	1.7138	1.456	1.080	1.257	474.	142.7	181.1	12.14	78.1	14.54	7.15	32.00
34.00	0.86263	1171.6	0.02371	247.54	416.72	1.1623	1.7131	1.466	1.095	1.265	465.	142.1	176.6	12.24	77.3	14.76	6.89	34.00
36.00	0.91185	1163.4	0.02238	250.48	417.65	1.1717	1.7124	1.476	1.111	1.273	455.	141.6	172.1	12.34	76.4	14.98	6.64	36.00
38.00	0.96315	1155.1	0.02113	253.43	418.55	1.1811	1.7118	1.487	1.127	1.282	446.	141.0	167.7	12.44	75.6	15.21	6.38	38.00
40.00	1.0166	1146.7	0.01997	256.41	419.43	1.1905	1.7111	1.498	1.145	1.292	436.	140.3	163.4	12.55	74.7	15.44	6.13	40.00
42.00	1.0722	1138.2	0.01887	259.41	420.28	1.1999	1.7103	1.510	1.163	1.303	427.	139.7	159.2	12.65	73.9	15.68	5.88	42.00
44.00	1.1301	1129.5	0.01784	262.43	421.11	1.2092	1.7096	1.523	1.182	1.314	418.	138.9	155.1	12.76	73.0	15.93	5.63	44.00
46.00	1.1903	1120.6	0.01687	265.47	421.92	1.2186	1.7089	1.537	1.202	1.326	408.	138.2	151.0	12.88	72.1	16.18	5.38	46.00
48.00	1.2529	1111.5	0.01595	268.53	422.69	1.2280	1.7081	1.551	1.223	1.339	399.	137.4	147.0	13.00	71.3	16.45	5.13	48.00
50.00	1.3179	1102.3	0.01509	271.62	423.44	1.2375	1.7072	1.566	1.246	1.354	389.	136.6	143.1	13.12	70.4	16.72	4.89	50.00
52.00	1.3854	1092.9	0.01428	274.74	424.15	1.2469	1.7064	1.582	1.270	1.369	379.	135.7	139.2	13.24	69.6	17.01	4.65	52.00
54.00	1.4555	1083.2	0.01351	277.89	424.83	1.2563	1.7055	1.600	1.296	1.386	370.	134.7	135.4	13.37	68.7			