

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

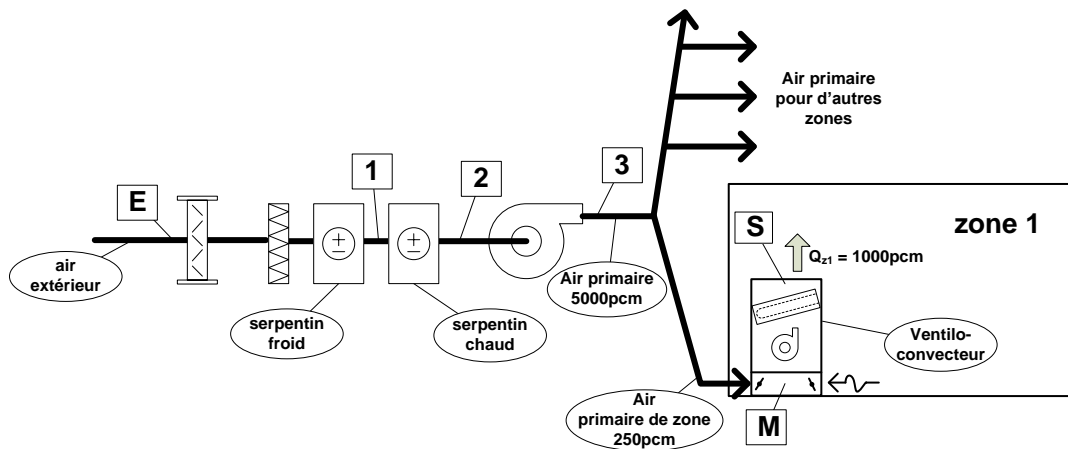
14-BA-A4
Contrôle environnemental des bâtiments

Problème n° 1 (30 points)

Le schéma d'un système de climatisation avec les ventilo-convecteurs, qui dessert 20 zones, est présenté ci-dessous.

Le débit d'air primaire (extérieur) de ventilateur du système est constant $\dot{Q}_{vent.} = 5000 \text{ pcm}$

Le débit d'air primaire dans chaque zone est constant $\dot{Q}_{vent-convecteur, primaire} = 250 \text{ pcm}$



Pour un jour donné lorsque les conditions d'opération du système sont *hors de conditions de design*, les données sont les suivantes:

- Zone 1**

$t_{z,1} = 75^\circ\text{F}$	$\phi = 50\%$	$\dot{Q}_{z1} = 1000 \text{ pcm}$
charge sensibles	$q_{\text{sensible}} = 16200 \text{ Btu/hre}$	
charge latents	$q_{\text{latent}} = 1000 \text{ Btu/hre}$	
- L'air extérieur (état E)

température sèche	$t_E = 90^\circ\text{F}$
température humide	$t_{wb} = 75^\circ\text{F}$
- L'air à la sortie du serpentin froid du système (état 1)

température sèche	$t_1 = 50^\circ\text{F}$
humidité relative	$\phi = 95\%$
- le réchauffement de l'air dans le ventilateur du système $\Delta t_v = 2^\circ\text{F}$
- le réchauffement de l'air dans le ventilateur du ventilo-convecteur négligeable

- la température du point de rosé du serpentin froid du ventilo-convecteur $t_{dp} = 52^\circ\text{F}$

Présentez le traitement d'air et les états clés (E, 1, 2, 3, S, et M) sur le diagramme psychrométrique (10%) et déterminez :

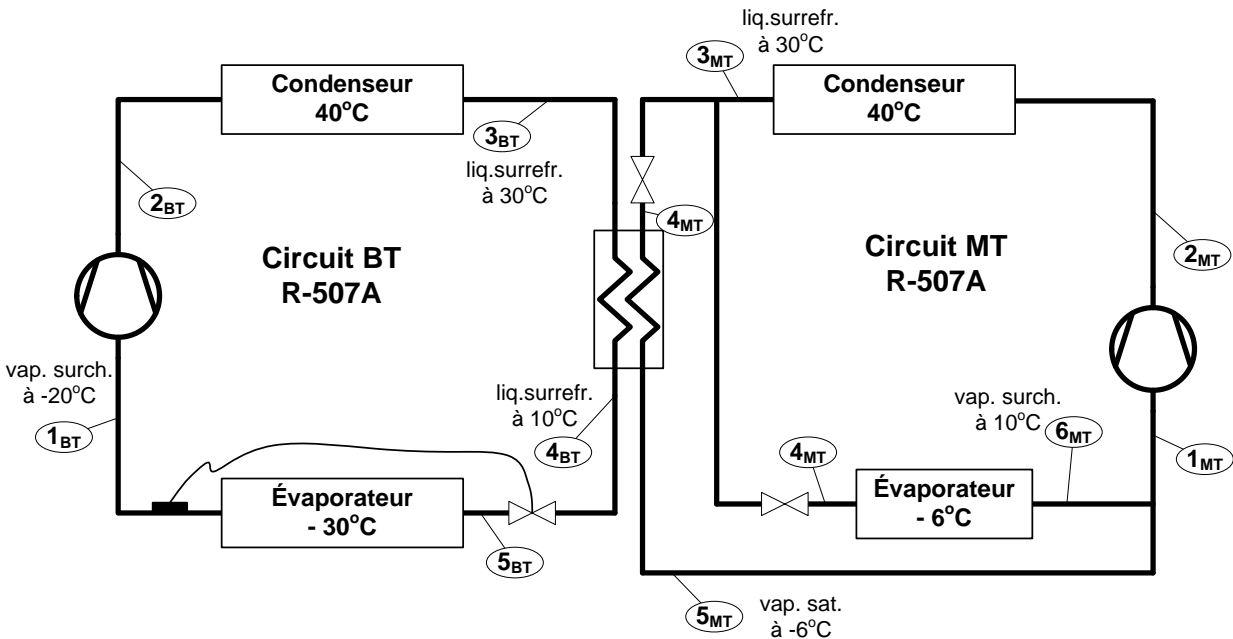
- la puissance frigorifique du serpentin froid du système (6 %);
- la puissance frigorifique du serpentin froid du ventilo-convecteur de la zone 1 (7 %);
- présentez dans un tableau la température et l'humidité absolue de l'air à chaque état (1, 2, 3, S et M) (7 %).

Pour les calculs on admet les conditions de l'air standard.

Problème n° 2 (25 points)

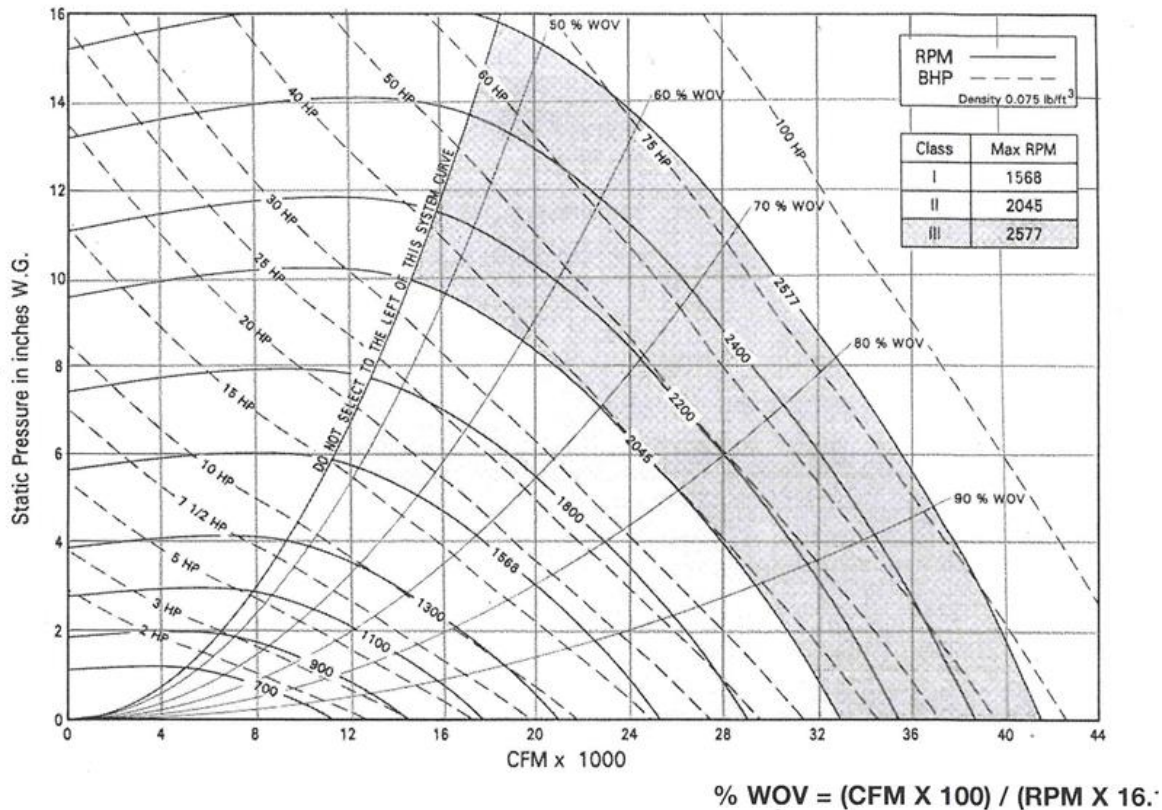
Le schéma présente un système frigorifique à compression de vapeur comportant deux évaporateurs et fonctionnant avec R-507A comme le réfrigérant. Le design du système permet de réaliser la réfrigération à deux niveaux de températures (-30°C et -6°C). La capacité frigorifique de l'évaporateur «BT» est de 200 kW et celle de l'évaporateur «MT» est de 250 kW. Deux condenseurs fonctionnent à 40°C . On admet que les chutes de pression dans les évaporateurs et dans le condenseur sont négligeables. Présentez le cycle frigorifique sur le diagramme $p-h$ ci-joint et le tableau ci-joints, page 7 et 8 (5%) et déterminez :

- les débits massiques du réfrigérant (\dot{m}_{BT} , \dot{m}_{5MT} , \dot{m}_{6MT} , \dot{m}_{1MT}) en kg/s (6%);
- les puissances de compresseurs (4%);
- le coefficient de performance COP (4%);
- les puissances de compresseurs s'il n'y avait pas le sous-refroidisseur dans le circuit BT et le COP total de ces deux systèmes ainsi isolés (6%).



Problème n° 3 (15 points)

Selon l'audit énergétique dans un bâtiment d'habitation, l'air extérieur (débit constant) est fourni aux corridors 24/24 par jour. Les courbes du ventilateur se trouvent sur la figure ci-jointe. Pour le design, le débit d'air soufflé est de 20000 pcm (9.0 m³/s) et la vitesse de rotation du ventilateur est de 1800 rpm. L'air soufflé est chauffé par le serpentin électrique jusqu'à la température de 18 °C (64.4 °F).



On propose au gestionnaire de ce bâtiment, tout en respectant le règlement sanitaire, de réduire le débit jusqu'à 50 % du débit actuel pendant les nuits soit de 23 h 00 à 6 h 00. Deux scénarios sont envisagés :

- utilisation des registres d'étranglement (Discharge Damper) dont le coût d'installation est de 2000 \$;
- utilisation d'un variateur de vitesse dont le coût d'installation est de 3000 \$.

Déterminez, pour les deux scénarios ci-dessus, les économies d'énergie dues :

- au changement de débit de ventilateur (6%);
- à la baisse de chauffage (6%).
- Quelle option proposeriez-vous (3%)?

Les données à appliquer sont les suivantes :

- degrés-jours au-dessous de 18 °C (64.4 °F) pour la période de 23 h 00 à 6 h 00 sont de 2060 (3708 en °F).
- densité d'air 1.2 kg/m³
- chaleur spécifique de l'air 1.0 kJ/kg°C
- prix moyenne de kWh 6.5¢

Les facteurs de conversion

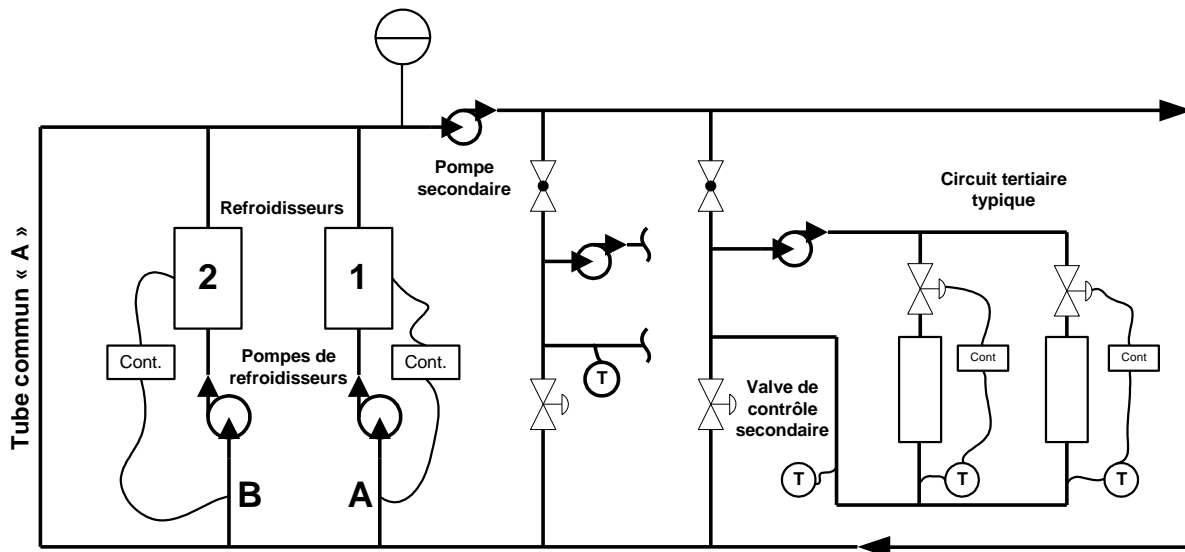
$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 2119 \text{ pcm}$$

$$1 \text{ HP} = 0.746 \text{ kW}$$

Problème n° 4 (15 points)

Le schéma d'un système utilisant deux refroidisseurs de même grandeur (capacité), 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 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 :

- a) Le débit d'eau dans le tube commun « A » (3%);
- b) La température de l'eau au point « B » (3%);
- c) Le rapport « charge / capacité » pour le refroidisseur « 2 » (3%);
- d) 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%);
- e) La diminution de la puissance de pompe à la charge partielle (3%).



Problème n° 5 (15 %)

Le refroidissement d'un bâtiment est assuré par une machine frigorifique centrifuge qui est disponible dans la période « avril – octobre ». Les factures mensuelles d'électricité pour les années 2013 et 2014 sont présentées dans le tableau ci-joint (le chauffage et l'eau chaude domestique sont au gaz). La moyenne des consommations d'électricité des mois janvier - mars et novembre – décembre est considérée donc comme la consommation de base.

On constate que la consommation d'électricité de l'année 2014 est inférieure à celle de l'année 2013. Cette baisse de consommation résulte ***partiellement du changement des fenêtres qui possèdent maintenant une couche réduisant les gains de chaleur par l'ensoleillement.***

On constate aussi que les degrés-jours de refroidissement (au-dessus de 18 °C) des années 2013 et 2014 sont respectivement 250 et 220. Admettant que les autres gains de chaleur dans le bâtiment sont les mêmes en 2013 et 2014;

Déterminez :

- a) les consommations d'énergie annuelles (2013 et 2014) de la machine frigorifique (5%);
- b) la baisse de la consommation d'énergie de la machine frigorifique due :
 - aux conditions climatiques (degrés-jours) (5%);
 - au changement des fenêtres (5%).

Tableau 1

Mois	Electricité - Consommation (kWh)	
	2013	2014
Janvier	237 446	236 480
Février	224 668	235 690
Mars	240 913	238 540
Avril	255 581	248 592
Mai	279 834	272 564
Juin	293 023	283 020
Juillet	323 095	311 560
Août	309 988	289 988
Septembre	281 676	274 776
Octobre	260 238	256 238
Novembre	231 550	232 550
Décembre	234 389	233 389
Total	3 172 401	3 113 387

Chart 1a ASHRAE Psychrometric Chart No. 1 (IP) (Reprinted by permission of ASHRAE.)

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1

NORMAL TEMPERATURE

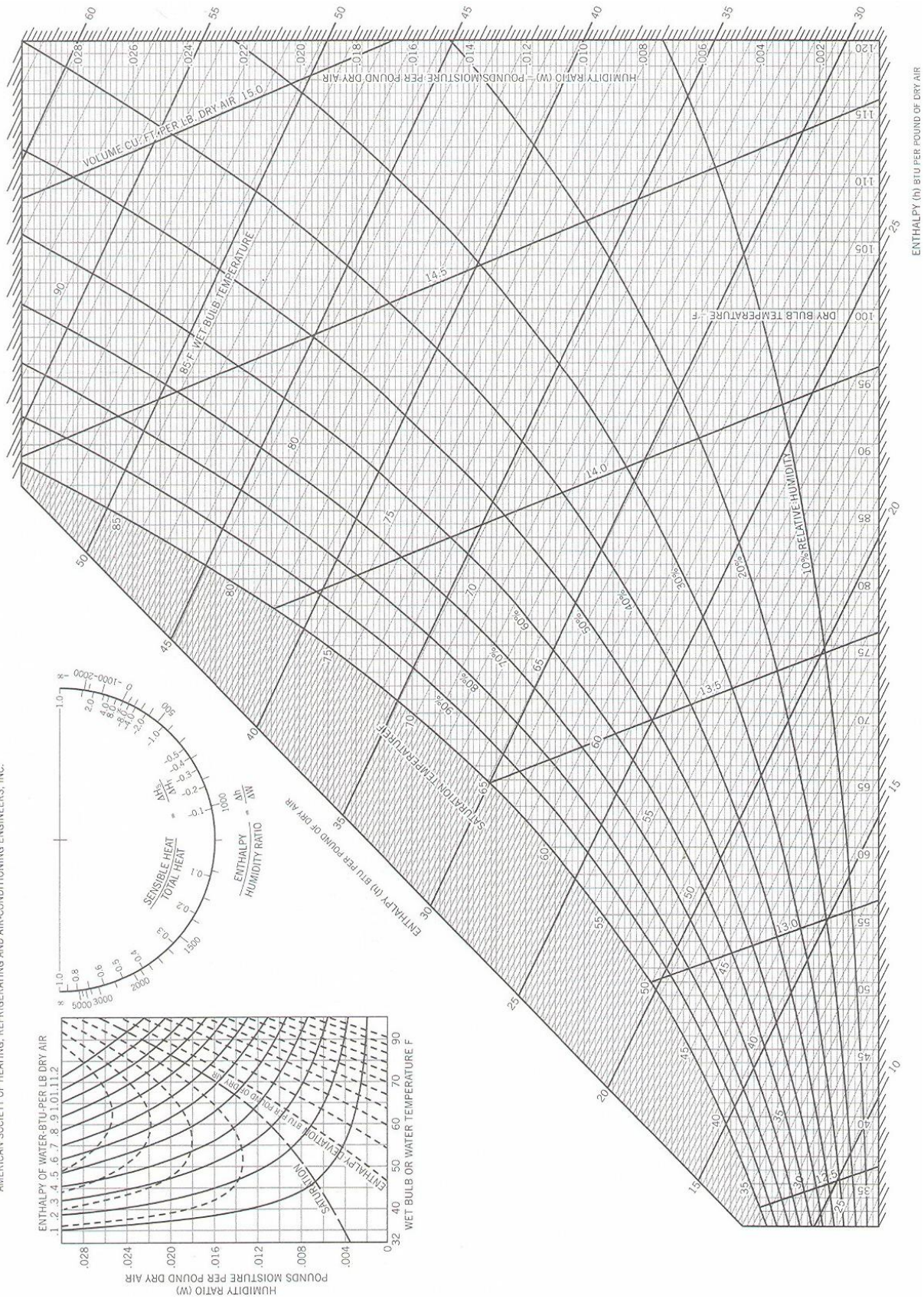
BAROMETRIC PRESSURE 29.921 INCHES OF MERCURY

COPYRIGHT 1963

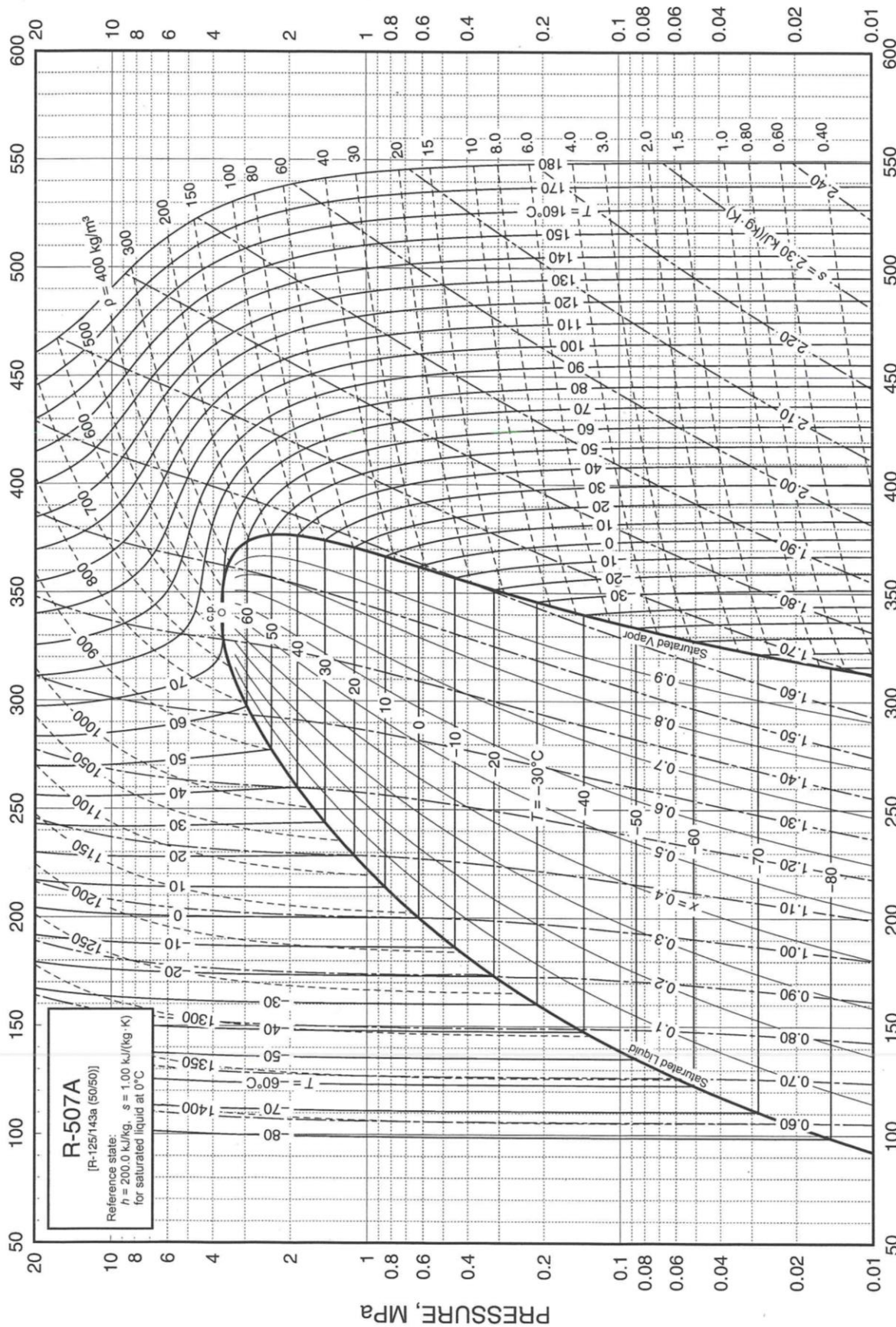
AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



SEA LEVEL



Licensed for single user. © 2009 ASHRAE, Inc.



Based on formulation of Lemmon and Jacobsen (2004)

ENTHALPY, kJ/kg

Fig. 15 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 507A

Properties computed with:
NIST REFPROP
version 7.0

Refrigerant 507A [R-125/143^a (50/50)] 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, Temp.,* mN/m °C	
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100	0.00295	1476.9	4.92920	74.41	303.90	0.4323	1.7579	1.219	0.618	1.164	1046	129.6	—	—	124.6	5.77	18.35	-100
-95	0.00458	1461.7	3.25360	80.48	306.85	0.4669	1.7377	1.210	0.631	1.162	1000	131.2	784.2	7.29	121.7	6.06	17.88	-95
-90	0.00693	1446.8	2.20850	86.51	309.83	0.5003	1.7197	1.205	0.644	1.161	960	132.6	701.5	7.49	118.8	6.36	17.41	-90
-85	0.01019	1431.9	1.53750	92.53	312.83	0.5327	1.7036	1.203	0.658	1.159	925	134.0	631.9	7.68	116.1	6.67	16.92	-85
-80	0.01464	1417.1	1.09510	98.54	315.85	0.5642	1.6893	1.203	0.672	1.159	892	135.4	572.7	7.88	113.4	6.99	16.43	-80
-75	0.02058	1402.3	0.79638	104.57	318.88	0.5950	1.6766	1.205	0.686	1.158	862	136.6	521.7	8.07	110.8	7.31	15.92	-75
-70	0.02836	1387.4	0.59012	110.60	321.92	0.6250	1.6652	1.208	0.701	1.158	833	137.8	477.4	8.27	108.2	7.63	15.40	-70
-65	0.03837	1372.5	0.44482	116.66	324.96	0.6545	1.6552	1.213	0.716	1.159	806	138.9	438.5	8.46	105.7	7.96	14.88	-65
-60	0.05105	1357.4	0.34056	122.74	328.00	0.6833	1.6463	1.220	0.732	1.160	779	139.8	404.3	8.65	103.2	8.30	14.34	-60
-55	0.06688	1342.3	0.26444	128.87	331.03	0.7116	1.6384	1.227	0.749	1.161	754	140.7	373.8	8.84	100.8	8.65	13.80	-55
-50	0.08638	1326.9	0.20801	135.03	334.05	0.7395	1.6314	1.235	0.766	1.164	729	141.4	346.5	9.02	98.4	9.00	13.24	-50
-48	0.09533	1320.7	0.18960	137.51	335.25	0.7505	1.6288	1.239	0.773	1.165	719	141.6	336.4	9.10	97.4	9.14	13.02	-48
-46.74 ^b	0.10132	1316.8	0.17902	139.07	336.01	0.7574	1.6273	1.241	0.777	1.166	713	141.8	330.2	9.15	96.8	9.23	12.88	-46.74
-46	0.10499	1314.5	0.17313	139.99	336.45	0.7615	1.6264	1.243	0.780	1.166	709	141.9	326.7	9.17	96.5	9.28	12.80	-46
-44	0.11541	1308.2	0.15836	142.48	337.65	0.7724	1.6241	1.247	0.787	1.167	699	142.1	317.4	9.25	95.5	9.42	12.57	-44
-42	0.12662	1301.9	0.14510	144.99	338.84	0.7832	1.6219	1.251	0.795	1.169	690	142.3	308.4	9.32	94.6	9.57	12.34	-42
-40	0.13867	1295.6	0.13317	147.49	340.03	0.7940	1.6198	1.255	0.803	1.170	680	142.5	299.8	9.40	93.7	9.71	12.12	-40
-38	0.15159	1289.2	0.12240	150.01	341.21	0.8047	1.6178	1.259	0.810	1.172	670	142.6	291.4	9.47	92.7	9.86	11.89	-38
-36	0.16542	1282.8	0.11268	152.54	342.38	0.8153	1.6159	1.264	0.818	1.174	661	142.7	283.4	9.55	91.8	10.01	11.66	-36
-34	0.18022	1276.3	0.10388	155.08	343.55	0.8260	1.6141	1.269	0.826	1.176	651	142.8	275.7	9.62	90.9	10.16	11.42	-34
-32	0.19602	1269.7	0.09590	157.63	344.72	0.8365	1.6123	1.274	0.835	1.178	642	142.9	268.3	9.70	90.0	10.31	11.19	-32
-30	0.21287	1263.2	0.08865	160.18	345.88	0.8470	1.6107	1.279	0.843	1.180	632	142.9	261.1	9.77	89.1	10.46	10.96	-30
-28	0.23081	1256.5	0.08205	162.75	347.03	0.8575	1.6092	1.284	0.852	1.183	622	143.0	254.1	9.85	88.2	10.61	10.72	-28
-26	0.24989	1249.8	0.07604	165.33	348.17	0.8679	1.6077	1.289	0.861	1.186	613	143.0	247.4	9.93	87.3	10.77	10.49	-26
-24	0.27016	1243.1	0.07055	167.92	349.30	0.8783	1.6063	1.295	0.870	1.188	603	142.9	240.9	10.00	86.5	10.93	10.25	-24
-22	0.29167	1236.3	0.06553	170.52	350.43	0.8886	1.6049	1.301	0.879	1.191	594	142.9	234.5	10.08	85.6	11.08	10.02	-22
-20	0.31446	1229.4	0.06094	173.13	351.54	0.8989	1.6037	1.307	0.888	1.195	584	142.8	228.4	10.15	84.7	11.24	9.78	-20
-18	0.33858	1222.5	0.05673	175.76	352.65	0.9091	1.6024	1.313	0.898	1.198	575	142.7	222.5	10.23	83.8	11.40	9.54	-18
-16	0.36408	1215.4	0.05286	178.39	353.75	0.9193	1.6013	1.319	0.908	1.202	566	142.5	216.8	10.31	83.0	11.56	9.30	-16
-14	0.39102	1208.4	0.04931	181.04	354.83	0.9295	1.6001	1.326	0.918	1.206	556	142.3	211.2	10.39	82.1	11.73	9.06	-14
-12	0.41945	1201.2	0.04603	183.71	355.91	0.9397	1.5991	1.333	0.929	1.210	547	142.1	205.7	10.47	81.2	11.89	8.82	-12
-10	0.44941	1193.9	0.04301	186.39	356.97	0.9498	1.5980	1.340	0.940	1.214	537	141.9	200.5	10.55	80.4	12.06	8.58	-10
-8	0.48096	1186.6	0.04023	189.08	358.02	0.9599	1.5971	1.348	0.951	1.219	528	141.6	195.3	10.63	79.5	12.23	8.34	-8
-6	0.51416	1179.2	0.03765	191.78	359.06	0.9699	1.5961	1.355	0.962	1.224	518	141.3	190.3	10.71	78.7	12.41	8.10	-6
-4	0.54906	1171.7	0.03527	194.51	360.08	0.9800	1.5952	1.363	0.974	1.230	508	141.0	185.5	10.79	77.8	12.58	7.86	-4
-2	0.58571	1164.0	0.03306	197.25	361.08	0.9900	1.5943	1.372	0.987	1.236	499	140.6	180.7	10.88	77.0	12.76	7.62	-2
0	0.62417	1156.3	0.03101	200.00	362.07	1.0000	1.5934	1.381	0.999	1.242	489	140.2	176.1	10.97	76.2	12.96	7.37	0
2	0.66450	1148.5	0.02910	202.77	363.05	1.0100	1.5925	1.390	1.012	1.249	480	139.8	171.6	11.05	75.3	13.16	7.13	2
4	0.70676	1140.5	0.02733	205.56	364.00	1.0199	1.5917	1.399	1.026	1.256	470	139.3	167.2	11.14	74.5	13.36	6.89	4
6	0.75099	1132.4	0.02568	208.37	364.94	1.0299	1.5908	1.410	1.040	1.264	460	138.8	162.9	11.23	73.7	13.57	6.65	6
8	0.79728	1124.2	0.02415	211.20	365.85	1.0398	1.5900	1.420	1.055	1.272	451	138.2	158.7	11.33	72.8	13.79	6.41	8
10	0.84566	1115.9	0.02271	214.04	366.75	1.0498	1.5891	1.431	1.071	1.282	441	137.6	154.5	11.43	72.0	14.01	6.17	10
12	0.89622	1107.4	0.02138	216.91	367.61	1.0597	1.5883	1.443	1.088	1.291	431	137.0	150.5	11.52	71.2	14.24	5.93	12
14	0.94900	1098.7	0.02012	219.80	368.46	1.0696	1.5874	1.455	1.105	1.302	422	136.3	146.6	11.63	70.4	14.49	5.69	14
16	1.00410	1089.9	0.01895	222.71	369.28	1.0796	1.5865	1.468	1.124	1.314	412	135.6	142.7	11.73	69.6	14.75	5.45	16
18	1.06150	1080.9	0.01785	225.65	370.07	1.0895	1.5856	1.482	1.144	1.327	402	134.9	138.9	11.86	68.8	15.01	5.21	18
20	1.12140	1071.7	0.01683	228.61	370.83	1.0995	1.5846	1.497	1.165	1.341	392	134.1	135.1	11.97	67.9	15.29	4.97	20
22	1.18370	1062.4	0.01586	231.60	371.55	1.1094	1.5836	1.513	1.188	1.356	382	133.2	131.5	12.09	67.1	15.58	4.74	22
24	1.24860	1052.8	0.01495	234.61	372.25	1.1194	1.5826	1.530	1.212	1.372	372	132.3	127.9	12.22	66.3	15.89	4.50	24
26	1.31610	1043.0	0.01410	237.66	372.91	1.1294	1.5815	1.548	1.239	1.391	362	131.4	124.3	12.35	65.5	16.21	4.27	26
28	1.38640	1032.9	0.01329	240.73	373.52	1.1394	1.5804	1.568	1.268	1.411	352	130.4	120.8	12.48	64.7	16.54	4.04	28
30	1.45940	1022.6	0.01253	243.84	374.10	1.1495	1.5792	1.589	1.299	1.433	341	129.3	117.4	12.62	63.9	16.90	3.81	30
32	1.53520	1011.9	0.01182	246.98	374.63	1.1595	1.5779	1.612	1.333	1.458	331	128.2	114.0	12.77	63.1			