

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2019

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

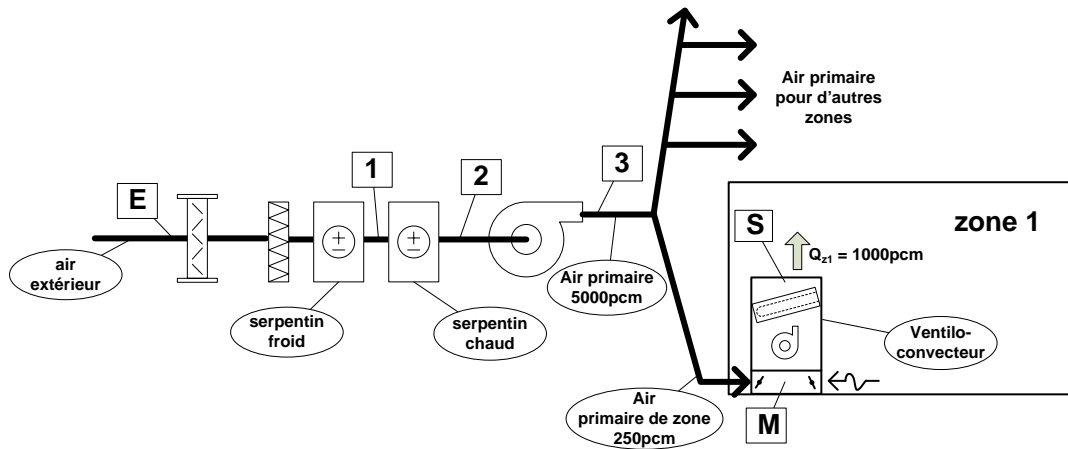
16-MC-B1 Contrôle environnemental des bâtiments

Problème n° 1 (25%)

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**

$t_{z,1} = 75^\circ\text{F}$	$\phi = 50\%$	$\dot{Q}_{z,1} = 1000 \text{ pcm}$
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 $t_{dp} = 52^\circ\text{F}$

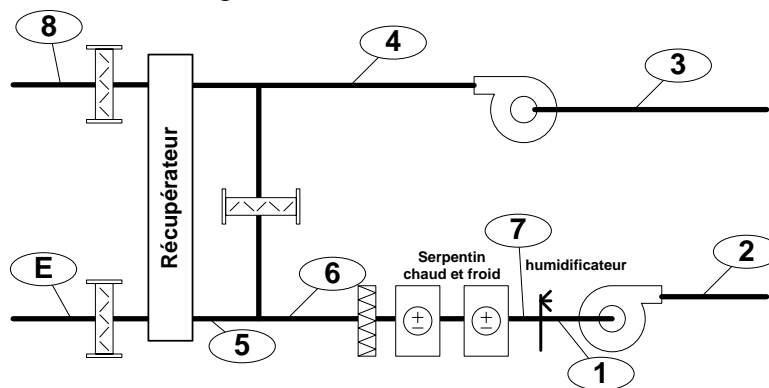
Présentez le traitement d'air et les états clés (E, 1, 2, 3, S, et M) sur le diagramme psychrométrique (10%) et déterminez :

- la puissance frigorifique du serpentin froid du système (5 %);
- la puissance frigorifique du serpentin froid du ventilo-convecteur de la zone 1 (5 %);
- présentez dans un tableau la température et l'humidité absolue de l'air à chaque état (1, 2, 3, S et M) (5 %).

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

Problème n° 2 (20 points)

Le schéma présente un système de climatisation avec la récupération d'énergie. Pour les conditions d'opération hors de design, les données sont les suivantes :



- la température et l'humidité d'air à l'état 3 $t_3 = 23^\circ\text{C}$ $\phi = 40\%$
- la température et l'humidité absolue d'air à l'état 2 (soufflage) $t_2 = 30^\circ\text{C}$ $w_2 = w_3$
- l'air extérieur $t_{db} = t_E = -10^\circ\text{C}$ $w_E = 0.001 \text{ kg/kg d'air sec}$
- le débit d'air du ventilateur $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$
- le débit d'air frais 20% du débit de ventilateur
- le réchauffement de l'air dans le ventilateur d'alimentation $\Delta t_{va} = 2^\circ\text{C}$
- le réchauffement de l'air dans le ventilateur de retour négligeable

Faites l'étude pour deux cas :

- le récupérateur installé est une roue **thermique (sensible)** dont l'efficacité est $\varepsilon = 0.7$
- le récupérateur installé est la roue **enthalpique** dont l'efficacité est $\varepsilon = 0.85$

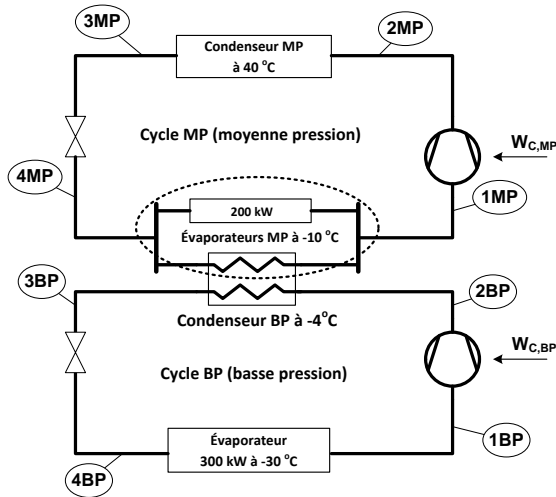
Présentez le traitement d'air **sur le diagramme psychrométrique** (8 points) et présentez **dans un tableau** (2 points) la température, l'humidité absolue et l'enthalpie de chaque état de l'air.

Déterminez pour les cas A et B :

- la puissance du serpentin chaud et, si nécessaire, le serpentin de préchauffage d'air extérieur pour éviter la condensation (5 points);
- le débit de vapeur de l'humidificateur (5 points).

Problème n° 3 (25 %)

Le schéma ci-joint présente une machine frigorifique fonctionnant selon le cycle frigorifique à cascade avec R-507 comme le réfrigérant. Les puissances frigorifiques d'évaporateurs et les températures d'évaporation sont mentionnées sur la figure ci-jointe. Les compresseurs utilisés dans le cycle sont isentropiques. Les températures d'évaporation et de condensation de R-507 sont aussi mentionnées sur la figure. Le réfrigérant sort des évaporateurs à l'état de la vapeur saturée (1BP et 1MP) et du condenseur BP à l'état du liquide saturé (3BP). Il en sort du condenseur MP à l'état du liquide sous-refroidi à 34 °C (3MP).



Présentez les cycles frigorifiques sur le diagramme de R-507 ci-joint (5points) et déterminez :

- la quantité de chaleur rejetée par le condenseur BP (4points);
- les débits de R-507 du cycle MP et BP (7points);
- les COP (coefficients de performance) des cycles BP et MP et le COP du cycle à cascade (9points).

Problème n° 4 (10 %)

La demande de refroidissement ($\dot{Q}_{actuelle}$) d'un bâtiment varie en fonction de la température extérieure de la façon suivante :

- elle est de 875 tonnes (3080 kW) à 95 °F (35 °C)
- elle est de 0 tonne (0 kW) à 55 °F (13 °C)

Deux scénarios suivants sont envisagés pour desservir ce bâtiment :

Scénario A - la puissance frigorifique nominale (\dot{Q}_{nom}) de la machine frigorifique centrifuge est de 925 tonnes (3250 kW);

Scénario B - le bâtiment est desservi par trois (3) machines frigorifiques centrifuges de 300 tonnes (1055 kW) de la puissance frigorifique nominale (\dot{Q}_{nom}) chacune. La stratégie de contrôle priorise l'opération des machines à pleine charge.

La puissance demandée (\dot{W}_{in}) actuelle des machines frigorifiques varie en fonction de la charge partielle (PLR) selon la formule suivante :

$$\dot{W}_{in} = \dot{W}_{in,nom} * \dot{Q}_{nom} * [A + B * (PLR) + C * (PLR)^2]$$

où PLR est considéré comme le facteur de la charge partielle et les coefficients A, B, C, sont définis dans le tableau ci-dessous.

	Puissance demandée nominale ($\dot{W}_{in,nom}$)	A	B	C
Scénario A	0.692 kW/tonne	0.201	0.555	0.221
Scénario B	0.673 kW/tonne	0.201	0.602	0.185

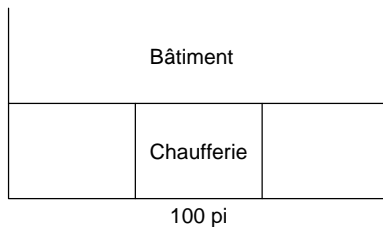
Déterminez, pour les scénarios A et B :

- a) les consommations d'énergie électrique pour les tranches de température extérieure de **75 et 90 °F** si les nombres d'heures (N_{BIN}) pour ces tranches sont respectivement de **500 et 20** (7 points) ;

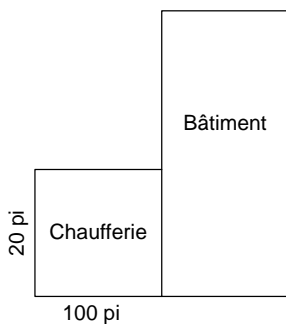
Déterminez, pour le scénario A :

- b) les coefficients COP de la machine pour chaque tranche de température BIN (3 points).

Problème n° 5 (20 points)



Un audit énergétique dans une chaufferie, lorsque la température extérieure était de -3°F , démontre que la température de l'air de combustion d'une chaudière au gaz, pris de la partie inférieure de la chaufferie, est de 45°F . La température de l'air mesurée dans la partie supérieure de la chaufferie est de 90°F . On propose de localiser l'aspiration d'air dans la partie supérieure de la chaufferie pour augmenter l'efficacité de la chaudière.



Puissance de la chaudière à pleine charge (**design**) 200 BHP
 Pouvoir calorifique de gaz $35300 \text{ Btu/m}^3_{\text{gaz}}$ ($37.2 \text{ MJ/m}^3_{\text{gaz}}$)
 Efficacité de la chaudière à pleine charge (**design**) 80%

$$1 \text{ BHP} = 33480 \text{ Btu/hre}$$

On admet que l'air de combustion est de $0.30 \text{ m}^3_{\text{air}} / \text{MJ}$ du pouvoir calorifique de gaz. Pour déterminer la consommation de gaz ($CC_{\text{charge partielle}}$) qui sert à déterminer le débit d'air de combustion pendant l'opération de la chaudière à la charge

partielle, on peut utiliser le modèle suivant :

$$CC_{\text{charge partielle}} = CC_{\text{design}} * F_{\text{HeatPLC}}(Q_{\text{charge partielle}}, Q_{\text{design}})$$

$$F_{\text{HeatPLC}} = \left(a + b * \frac{Q_{\text{charge partielle}}}{Q_{\text{design}}} + c * \left| \frac{Q_{\text{charge partielle}}}{Q_{\text{design}}} \right|^2 \right)$$

$$a = 0.082597$$

$$b = 0.99676$$

$$c = -0.079361$$

CC	la consommation du gaz ($\text{m}^3_{\text{gaz}}/\text{hre}$)
Q_{design}	la capacité de design de la chaudière (à pleine charge) en Btu/hre
$Q_{\text{charge partielle}}$	la charge actuelle (demande) de chauffage à charge partielle (Btu/hre)

On prend en considération la tranche de température (*bin température*) de -3°F avec la demande de chauffage ($Q_{\text{charge partielle}}$) de 120 BHP (4 017 600 Btu/hre)

Pour faire le bilan d'énergie de la chaufferie, on admet que :

- les pertes de chaleur de la chaudière et des équipements (les gains de la chaufferie) sont estimées à 180 000 Btu/hre.
- le débit d'air d'infiltration dans la chaufferie est égal au débit d'air de combustion
- le coefficient de perte de chaleur par conduction de la chaufferie ($K_{\text{cond}} = \sum U_k A_k$) est déterminé comme 1410 Btu/hre $^\circ\text{F}$.

Déterminez :

- la nouvelle température de l'air aspiré pour la combustion (15 points);
- les économies d'énergie (en m^3 de gaz) résultant de cette mesure admettant que le nombre d'heures relatif à -3°F (*bin hours*) est de 180 (5 points).

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

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1

NORMAL TEMPERATURE

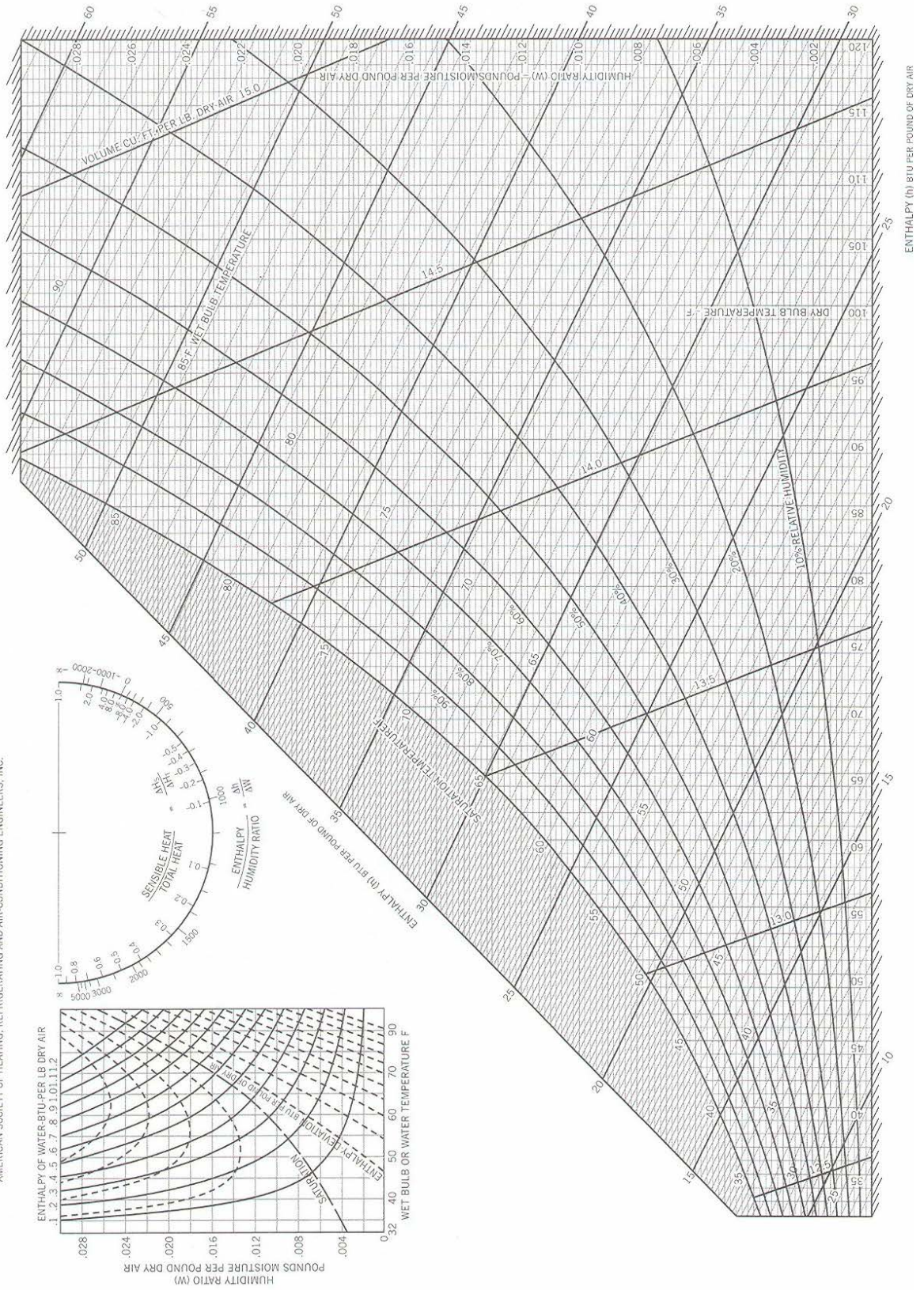
BAROMETRIC PRESSURE 29.921 INCHES OF MERCURY

COPYRIGHT 1963

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



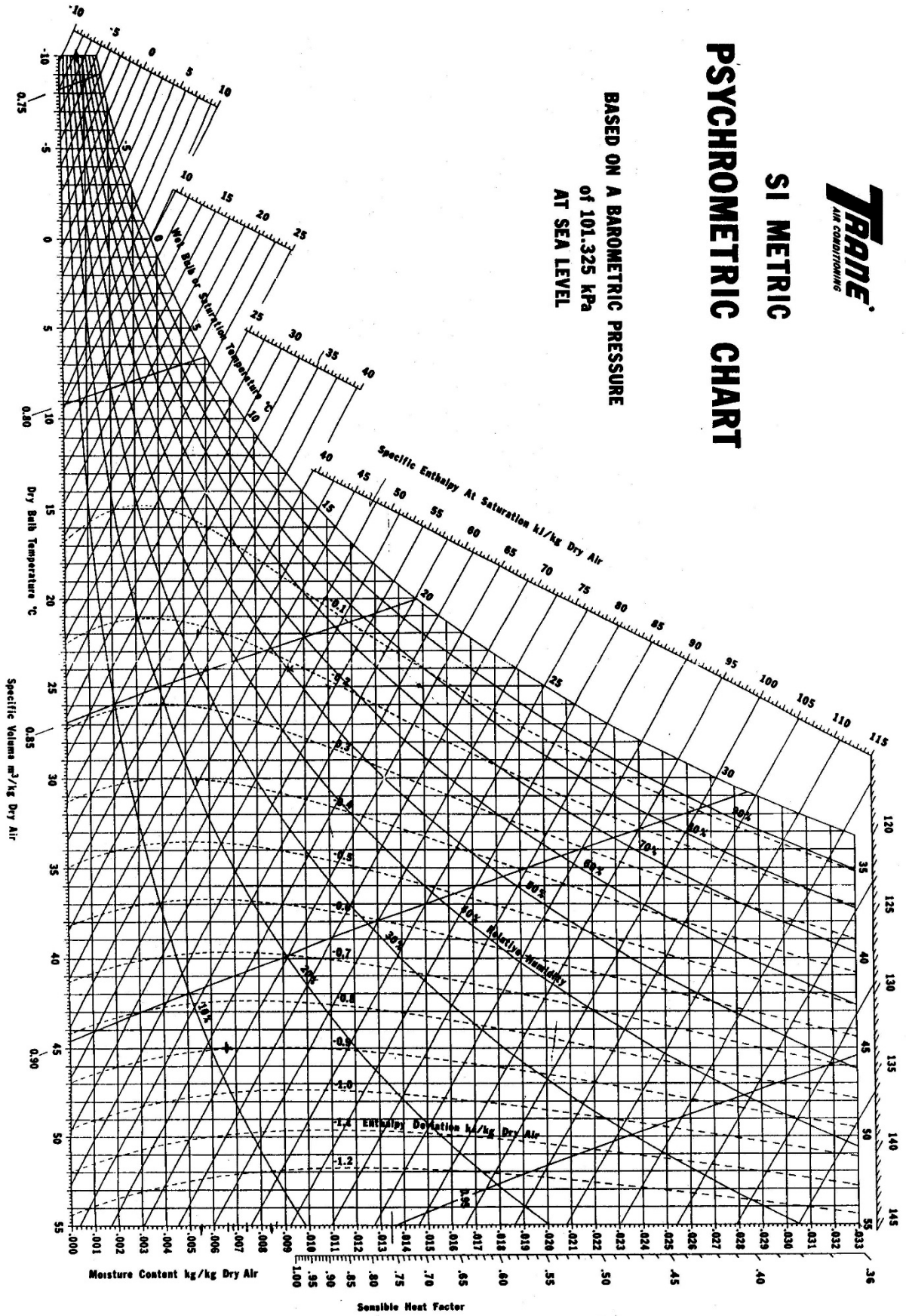
SEA LEVEL





SI METRIC PSYCHROMETRIC CHART

BASED ON A BAROMETRIC PRESSURE
of 101.325 kPa
AT SEA LEVEL



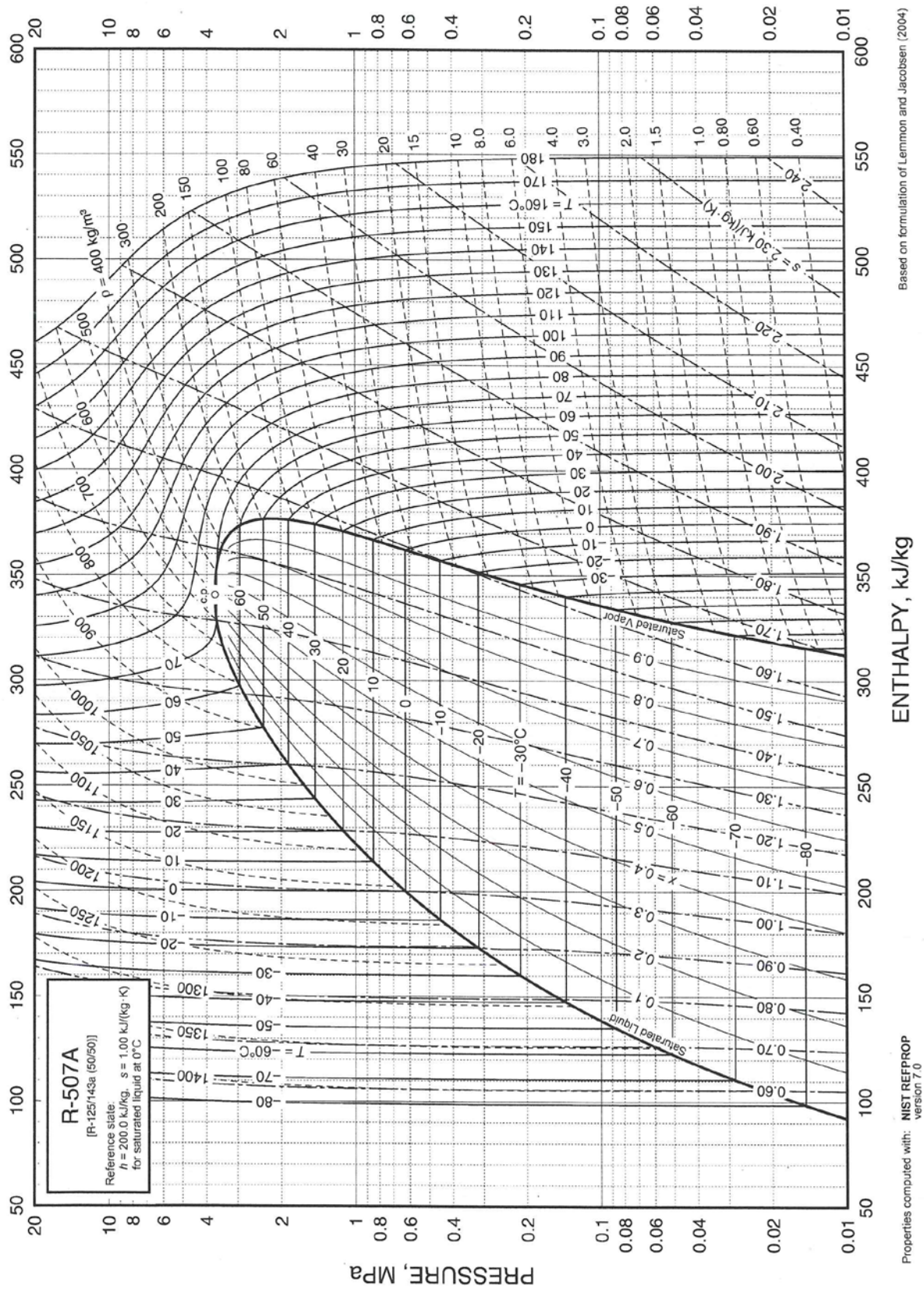


Fig. 15 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 507A

Refrigerant 507A [R-125/143^a (50/50)] Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp.,* °C	Pres- sure,** MPa	Density, kg/m ³ Liquid	Volume, m ³ /kg Vapor	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat <i>c_p</i> , kJ/(kg·K)		<i>c_p</i> / <i>c_v</i>	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	17.28	3.58	32
34	1.61400	1001.0	0.01111															