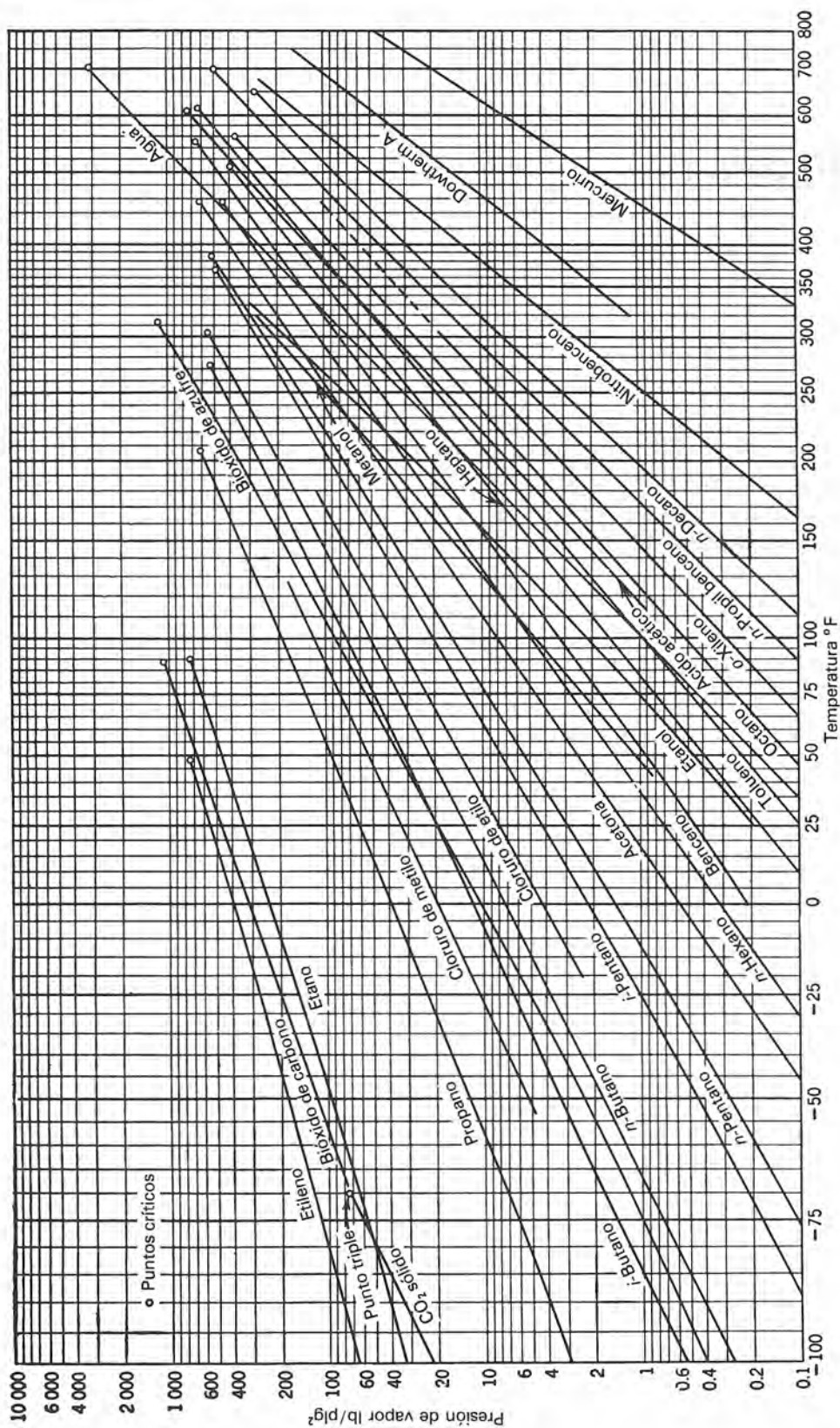


Apéndice D

Datos Físicos

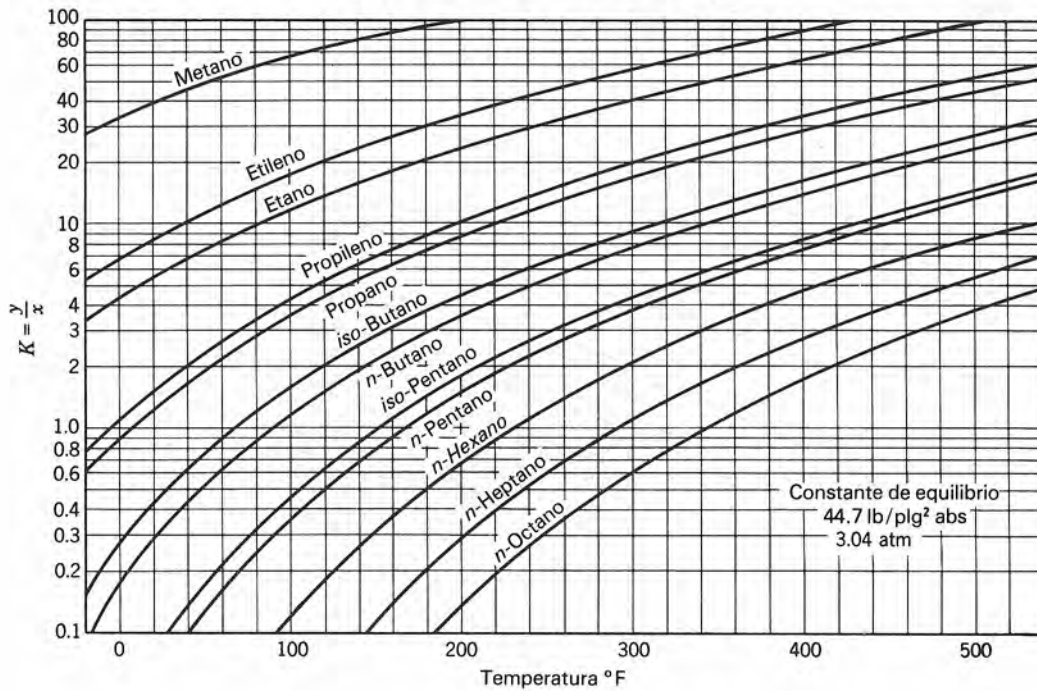
Los datos que aquí se presentan son útiles para resolver los problemas incluidos en este libro. Se pueden consultar tablas más completas de datos físicos en fuentes como las Refs. 1 y 2.

Apéndice D-1 Presiones de vapor de líquidos comunes (1) (Con permiso de McGraw Hill; Copyright 1950.) ($T\text{ }^{\circ}\text{F} = 1.8T\text{ }^{\circ}\text{C} + 32$; $\text{lb}_f/\text{plg}^2 = 6.8948\text{ kN/m}^2$.)

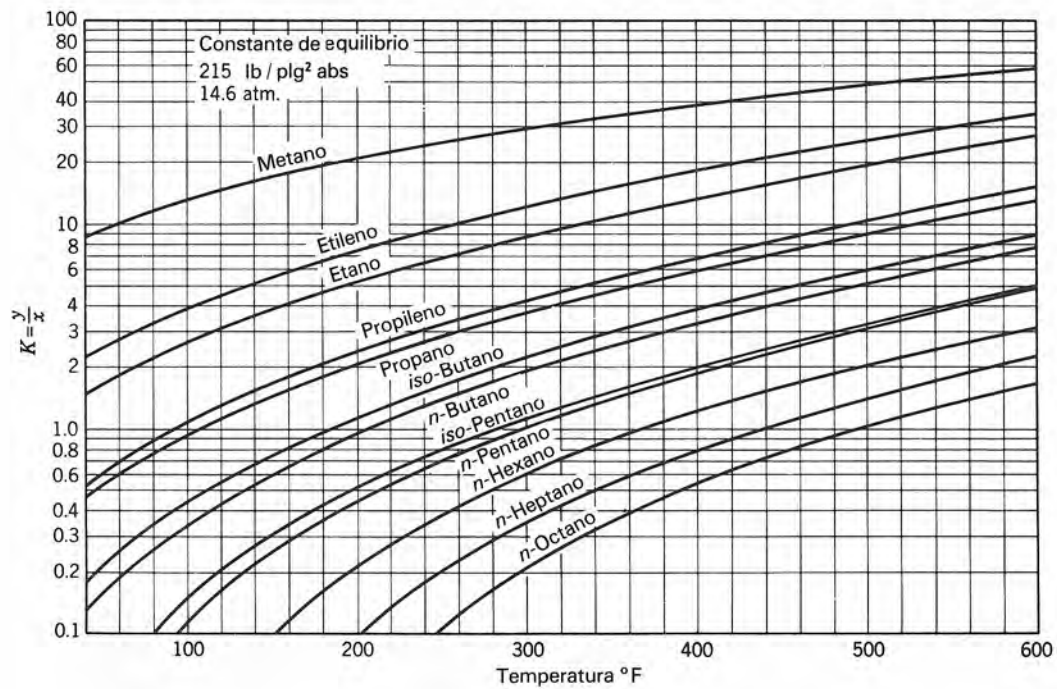


Apéndice D-2 Constantes de equilibrio vapor-líquido para hidrocarburos (1) (Con permiso de McGraw-Hill; Copyright 1950.)

(a) A 44.7 lb/plg² (308.2 kN/m²)



(b) A 215 lb/plg² (1482 kN/m²)



Apéndice D-2 Continuación.

(c) A 465 lb/plg² (3206 kN/m²)

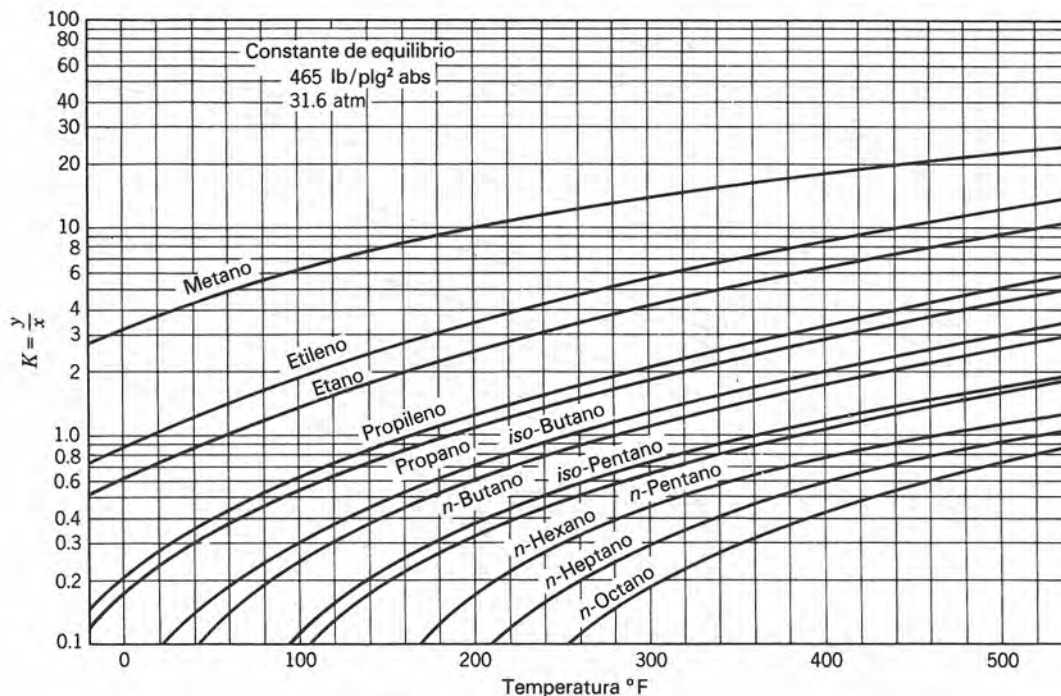


Tabla D-2d Constantes de equilibrio líquido-vapor para hidrocarburos.

$$(K = a + b(t/100) + c(t/100)^2 + d(t/100)^3 \text{ donde } t \text{ está en } ^\circ\text{F})$$

Compuesto	Presión lb/plg ² abs	a	b	c	d
CH ₄	50	32.7500	4.9583	8.0000	-1.8333
	100	17.9500	4.6583	2.4000	-0.6333
	150	9.4500	11.6083	-4.2000	0.7667
	250	6.5500	4.9583	-1.0000	0.1667
C ₂ H ₄	50	5.9250	6.9375	2.5000	-0.5500
	100	3.2000	3.7667	1.4000	-0.2667
	150	1.7250	4.2542	-0.5000	0.1833
	250	1.4000	1.8200	0.3800	-0.0400
C ₂ H ₆	50	2.3250	7.6242	-0.5400	0.2233
	100	2.2500	1.7850	1.2800	-0.1800
	150	0.7450	3.7442	-0.8600	0.2233
	250	0.9300	0.9883	0.6000	-0.1133
C ₃ H ₆	50	-0.9500	7.7083	-3.8000	1.1667
	100	0.2750	1.5442	0.2800	0.0233
	150	0.4300	0.3917	0.7000	-0.0867
	250	1.3950	-3.1775	3.1400	-0.6500
C ₃ H ₈	50	1.6000	-0.9983	3.0600	-0.5267
	100	0.3700	0.9417	0.5800	-0.0467
	150	0.3125	0.4771	0.5700	-0.0683
	250	0.0675	0.7146	0.0700	0.0217

Apéndice D-2 *Continuación.*

Compuesto	Presión lb/plg ² abs	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
iC ₄ H ₁₀	50	-0.1300	1.5750	-0.1200	0.1800
	100	0.2575	-0.0724	0.6540	-0.0623
	150	0.0825	0.2574	0.2460	0.0023
	250	0.1300	-0.0233	0.3000	-0.0267
nC ₄ H ₁₀	50	0.0375	0.6479	0.2900	0.0883
	100	0.0075	0.4346	0.0900	0.0617
	150	0.0100	0.3170	0.0560	0.0440
	250	0.1000	-0.0725	0.2800	-0.0300
iC ₅ H ₁₂	50	-0.0425	0.3846	0.0100	0.1017
	100	0.0450	0.0228	0.1560	0.0207
	150	0.1305	-0.2953	0.3820	-0.0510
	250	0.0588	-0.0957	0.1590	-0.0092
nC ₅ H ₁₂	50	0.0050	0.1815	0.0820	0.0780
	100	-0.0025	0.1099	0.0660	0.0323
	150	0.0135	0.0431	0.0664	0.0206
	250	-0.0140	0.1065	-0.0136	0.0269
nC ₆ H ₁₄	50	-0.0275	0.1458	-0.0620	0.0730
	100	-0.0400	0.1567	-0.0820	0.0493
	150	0.0005	0.0259	0.0084	0.0213
	250	0.0005	0.0176	0.0094	0.0126
nC ₇ H ₁₆	50	0.0108	-0.0090	0.0086	0.0312
	100	-0.0250	0.0898	-0.0640	0.0327
	150	-0.0089	0.0378	-0.0245	0.0189
	250	0.0000	0.0080	-0.0014	0.0094
nC ₈ H ₁₈	50	-0.0038	0.0260	-0.0330	0.0278
	100	-0.0198	0.0704	-0.0614	0.0256
	150	-0.0119	0.0440	-0.0387	0.0175
	250	-0.0055	0.0228	-0.0200	0.0105

Nota: Estos coeficientes se ajustaron a los valores de *K* leídos de las cartas de DePriester; la precisión de los resultados no puede exceder a la de la lectura de una gráfica. Se incluyen dígitos en exceso para minimizar los errores de redondeo en el cálculo computarizado.

Apéndice D-2e Constantes para la ecuación para la presión de vapor^a.

$$\log_{10} PV = A - \frac{B}{C+t}$$

PV es la presión de vapor en mm Hg; t está en °C

	A	B	C
Acido acético	7.18807	1416.7	211
Acetona	7.02447	1161.0	224
Anilina	7.24179	1675.3	200
Benceno	6.90565	1211.033	220.79
i-butano	6.74808	882.8	240.0
n-butano	6.83029	945.9	240.0
Etanol	8.04494	1554.3	222.65
Eter dietílico	6.78574	994.195	220.0
Etilbenceno	6.95719	1424.255	213.206
Etilenglicol	7.8808	1957.0	193.8
n-heptano	6.90240	1268.115	216.9
n-hexano	6.87776	1171.53	222.366
n-octano	6.9237	1355.126	209.517
i-pentano	6.78967	1020.012	233.097
n-pentano	6.85221	1064.63	232.000
Estireno	6.92409	1420.0	206.0
Tolueno	6.95464	1344.800	219.482
Agua	7.96681	1668.21	228.0
o-xileno	6.99891	1474.679	213.686
m-xileno	7.00908	1462.266	215.108
p-xileno	6.99052	1453.430	215.307

^a **Lange's Handbook of Chemistry**, 11a. Edición McGraw-Hill; Nueva York (1973). Con permiso de McGraw Hill; Copyright 1973.

Apéndice D-2f Datos de equilibrio.

Sistema propano-ácido oleico-aceite de semilla de algodón
(98.5 °C, 625 lb/plg² abs).

[Hixson, A. W. y J. B. Bockelmann, *Trans. A.I.Ch.E.*, 38, Pág. 891 (1942). Con permiso de A.I.Ch. E.]

Datos de línea de unión de equilibrio, porcentaje en peso.

Fase superior			Fase inferior		
Acido oleico	Aceite de semilla de algodón	Propano	Acido oleico	Aceite de semilla de algodón	Propano
0	2.3	97.7	0	63.5	36.5
0.25	2.2	97.6	0.25	63.0	36.8
0.5	2.1	97.4	1.0	62.1	36.9
0.75	2.0	97.3	2.5	60.2	37.3
1.0	1.9	97.1	5.0	57.1	37.9
1.5	1.7	96.8	10.0	50.9	39.1
2.5	1.4	96.1	15.0	44.9	40.1
5.0	1.0	94.0	20.0	38.8	41.2
6.0	0.9	93.1	25.0	32.7	42.3
7.2	0.8	92.0	30.0	26.0	44.0
6.5	0.5	93.0	35.0	18.3	46.7
6.0	0.4	93.6	40.0	7.0	53.0
5.5	0.2	94.3	42.5	0.9	56.6

Sistema estireno-etilbenceno-dietilenglicol

[Boobar, M. G. y cols., *Ind. Eng. Chem.*, 43, Pág. 2922 (1951). Con permiso de la Amer. Chem. Soc.]

Composiciones de equilibrio, porcentaje en peso a 25 °C

Capa de etilbenceno		Capa de dietilenglicol	
Estireno	Dietilenglicol	Estireno	Dietilenglicol
8.63	0.81	1.64	88.51
18.67	0.93	3.49	87.20
28.51	1.00	5.48	85.80
37.98	1.09	7.45	84.48
45.84	1.20	9.49	83.20
57.09	1.40	12.54	81.40
76.60	1.80	18.62	77.65

Sistema éter isopropílico-ácido acético-agua

[Othmer, D. F., R. E. White y E. Trueger, *Ind. Eng. Chem.*, 33, Pág. 1240 (1941) Con permiso de la Amer. Chem. Soc.]

Datos de solubilidad, porcentaje en peso a 20 °C

EIP	50.3	31.1	16.7	13.3	41.85	3.5	4.6	5.12	60.2	48.4	11.1
Acido	36.8	45.1	48.4	48.1	47.3	37.6	40.0	41.5	30.7	35.0	48.0
Agua	13.0	23.8	34.9	38.6	10.85	58.8	55.4	53.4	9.1	11.6	40.9

Datos de distribución, porcentaje en peso de ácido acético en:

Capa de EIP	6.1	9.4	16.75	30.2	39.0
Capa acuosa	16.1	21.9	33.5	46.3	42.1

Apéndice D-3 Constantes de la ley de Henry para diversos gases en agua (ICT, V. 3, Pág. 255; Copyright 1928. Con permiso de la Nat. Acad. Sc.).

$$(1 \text{ atm} = 101.33 \text{ kN/m}^2)$$

$$p_a = H_a x_a$$

donde p_a = presión parcial del soluto a en la fase gaseosa, atm

x_a = fracción mol del soluto a en la fase líquida, fracción mol

H_a = constante de la ley de Henry, atm/fracción mol

$$H_a \times 10^{-4}, \text{ atm/fracción mol}$$

$T, ^\circ\text{C}$	Aire	CO ₂	CO	C ₂ H ₆	H ₂	H ₂ S	CH ₄	NO	N ₂	O ₂
0	4.32	0.0728	3.52	1.26	5.79	0.0268	2.24	1.69	5.29	2.55
10	5.49	0.104	4.42	1.89	6.36	0.0367	2.97	2.18	6.68	3.27
20	6.64	0.142	5.36	2.63	6.83	0.0483	3.76	2.64	8.04	4.01
30	7.71	0.186	6.20	3.42	7.29	0.0609	4.49	3.10	9.24	4.75
40	8.70	0.233	6.96	4.23	7.51	0.0745	5.20	3.52	10.4	5.35
50	9.46	0.283	7.61	5.00	7.65	0.0884	5.77	3.90	11.3	5.88
60	10.1	0.341	8.21	5.65	7.65	0.103	6.26	4.18	12.0	6.29
70	10.5		8.45	6.23	7.61	0.119	6.66	4.38	12.5	6.63
80	10.7		8.45	6.61	7.55	0.135	6.82	4.48	12.6	6.87
90	10.8		8.46	6.87	7.51	0.144	6.92	4.52	12.6	6.99
100	10.7		8.46	6.92	7.45	0.148	7.01	4.54	12.6	7.01

Apéndice D-4 Datos de solubilidad para gases que no obedecen la ley de Henry en agua.

[Sherwood, T. K., *Ind. Eng. Chem.*, 17, Pág. 745. Con permiso de la A.C.S.; Copyright (1925)].

(1 mm Hg = 0.1333 kN/m²).

Masa de NH ₃ por 100 masas de H ₂ O	(a) Amoníaco Presión parcial de NH ₃ , mm Hg						
	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
100	947						
90	785						
80	636	987					
70	500	780					
60	380	600	945				
50	275	439	686				
40	190	301	470	719			
30	119	190	298	454	692		
25	89.5	144	227	352	534	825	
20	64	103.5	166	260	395	596	834
15	42.7	70.1	114	179	273	405	583
10	25.1	41.8	69.6	110	167	247	361
7.5	17.7	29.9	50.0	79.7	120	179	261
5	11.2	19.1	31.7	51.0	76.5	115	165
4		16.1	24.9	40.1	60.8	91.1	129.2
3		11.3	18.2	29.6	45.0	67.1	94.3
2			12.0	19.3	30.0	44.5	61.0
1					15.4	22.2	30.2

Masa de SO ₂ por 100 masas de H ₂ O	(b) Bióxido de azufre Presión parcial de SO ₂ , mm Hg							
	0 °C	7 °C	10 °C	15 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
20	646	657						
15	474	637	726					
10	308	417	474	567	698			
7.5	228	307	349	419	517	688		
5.0	148	198	226	270	336	452	665	
2.5	69	92	105	127	161	216	322	458
1.5	38	51	59	71	92	125	186	266
1.0	23.3	31	37	44	59	79	121	172
0.7	15.2	20.6	23.6	28.0	39.0	52	87	116
0.5	9.9	13.5	15.6	19.3	26.0	36	57	82
0.3	5.1	6.9	7.9	10.0	14.1	19.7		
0.1	1.2	1.5	1.75	2.2	3.2	4.7	7.5	12.0
0.05	0.6	0.7	0.75	0.8	1.2	1.7	2.8	4.7
0.02	0.25	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	1.3

Apéndice D-5 Diámetro equivalente de esferas elásticas.

[E. H. Kennard, *Kinetic Theory of Gases*. Con permiso de McGraw-Hill, Nueva York, Copyright (1938), Pág 149].

Gas	$\sigma, 10^{-8}$ cm	Gas	$\sigma, 10^{-8}$ cm
H ₂	2.74	C ₂ H ₆	5.30
He	2.18	O ₂	3.61
CH ₄	4.14	HCl	4.46
NH ₃	4.43	A	3.64
H ₂ O	4.60	CO ₂	4.59
Ne	2.59	Kr	4.16
N ₂	3.75	Xe	4.85
C ₂ H ₄	4.95		

Apéndice D-6 Constantes para el potencial de Lennard Jones (6-12)*.

(Hirschfelder, Curtiss y Bird, *Molecular Theory of Gases and Liquids*. Con permiso de John Wiley & Sons, Nueva York, Copyright © 1954).

Apéndice D-6a Constantes de fuerza evaluadas a partir de datos de viscosidad.

Gas	$\epsilon/k, K$	$\sigma, 10^{-8}$ cm	Gas	$\epsilon/k, K$	$\sigma, 10^{-8}$ cm
Aire	97	3.617	CHCl ₃	327	5.430
Ar	124	3.418	CO	110	3.590
Br ₂	520	4.268	CO ₂	190	3.996
CCl ₄	327	5.881	CS ₂	488	4.438
CH ₄	137	3.882	D ₂	39.3	2.948
C ₂ H ₂	185	4.221	F ₂	112	3.653
C ₂ H ₄	205	4.232	H ₂	38	2.915
C ₂ H ₆	230	4.418	HCl	360	3.305
C ₃ H ₈	254	5.061	HI	324	4.123
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	410	4.997	He	10.22	2.576
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	313	5.341	Hg	851	2.898
<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	345	5.769	I ₂	550	4.982
<i>n</i> -C ₆ H ₁₄	413	5.909	Kr	190	3.61
<i>n</i> -C ₈ H ₁₈	320	7.451	N ₂	79.8	3.749
<i>n</i> -C ₉ H ₂₀	240	8.448	NO	91.0	3.599
Ciclohexano	324	6.093	N ₂ O	237	3.816
C ₆ H ₆	440	5.270	Ne	27.5	2.858
CH ₃ OH	507	3.585	O ₂	88.0	3.541
C ₂ H ₅ OH	391	4.455	SO ₂	252	4.290
CH ₃ Cl	855	3.375	SnCl ₄	1550	4.540
CH ₂ Cl ₂	406	4.759			

* La estimación de las constantes de Lennard-Jones para gases que no se encuentran en esta tabla, se puede llevar a cabo a partir de las siguientes relaciones (2):

$$\epsilon/k = 0.777T_c$$

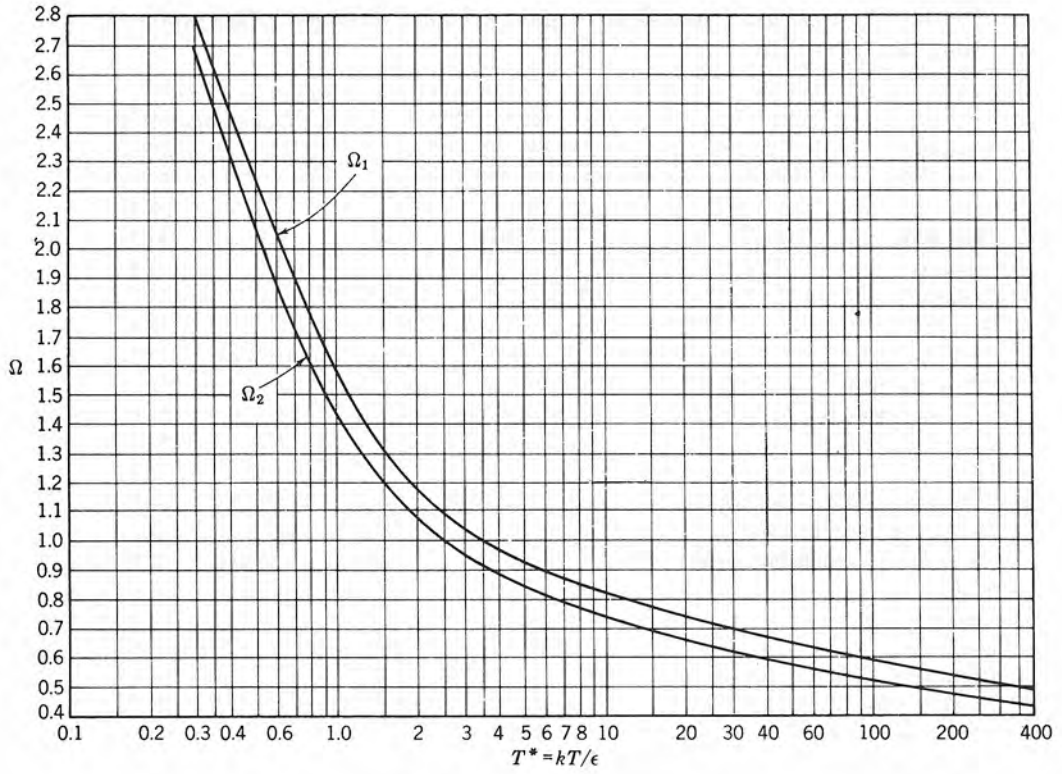
$$\sigma = 0.841(V_c)^{1/3} = 2.44 \left(\frac{T_c}{P_c} \right)^{1/3}$$

o $\epsilon/k = 1.15T_b$

$$\sigma = 1.17(V_b)^{1/3}$$

donde T_c = temperatura crítica, K
 V_c = volumen molar a la temperatura crítica, cm³/mol
 P_c = presión crítica, atm
 T_b = punto de ebullición normal, K
 V_b = volumen molar al punto de ebullición (Apéndice D-7)

Apéndice D-6b Integrales de colisión, Ω_1 , Ω_2 .



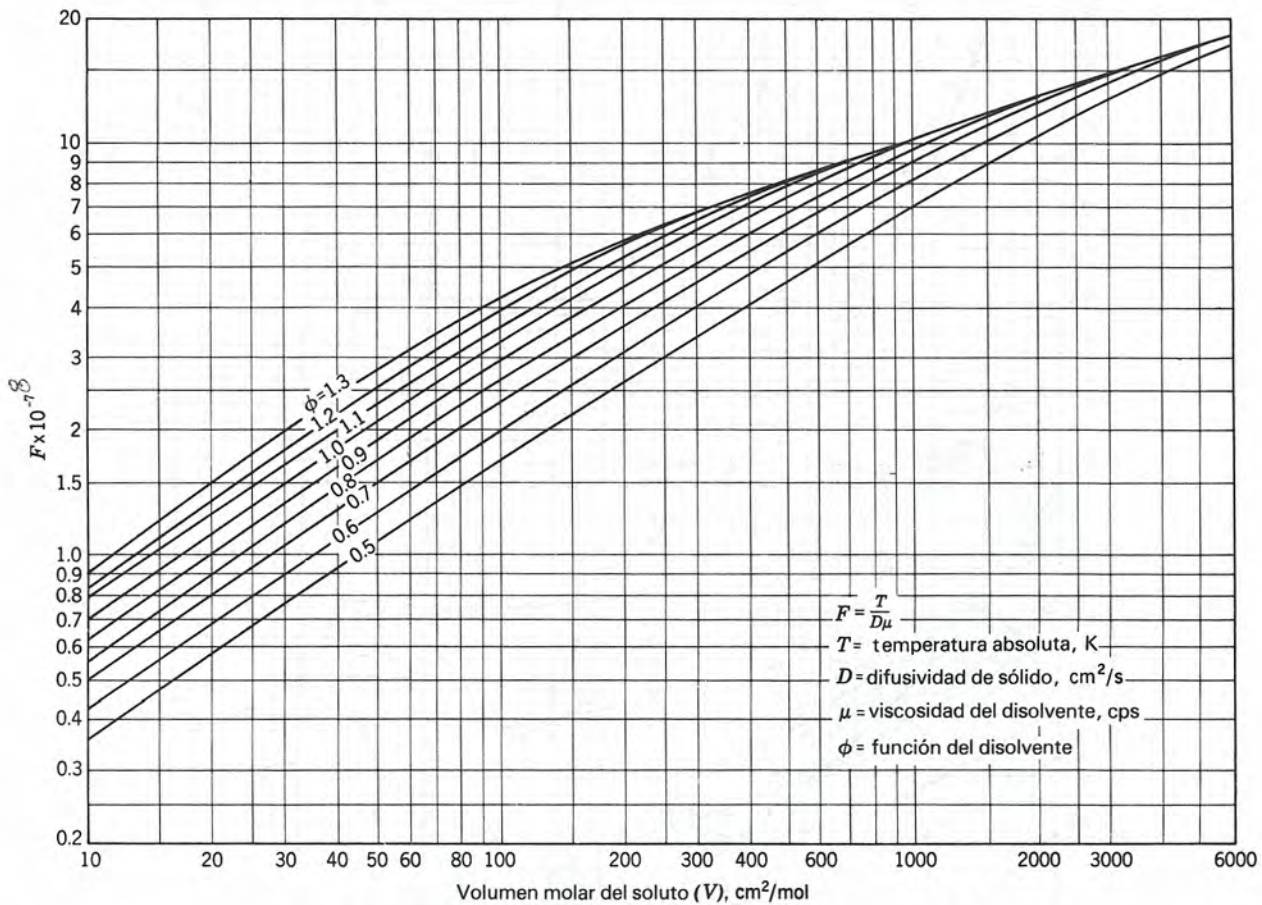
Apéndice D-7 Volúmenes atómicos para cálculos de volumen molar al punto de ebullición normal.

(LeBas, *The Molecular Volumes of Liquid Chemical Compounds*. Con permiso de Longmans, Copyright 1915.)

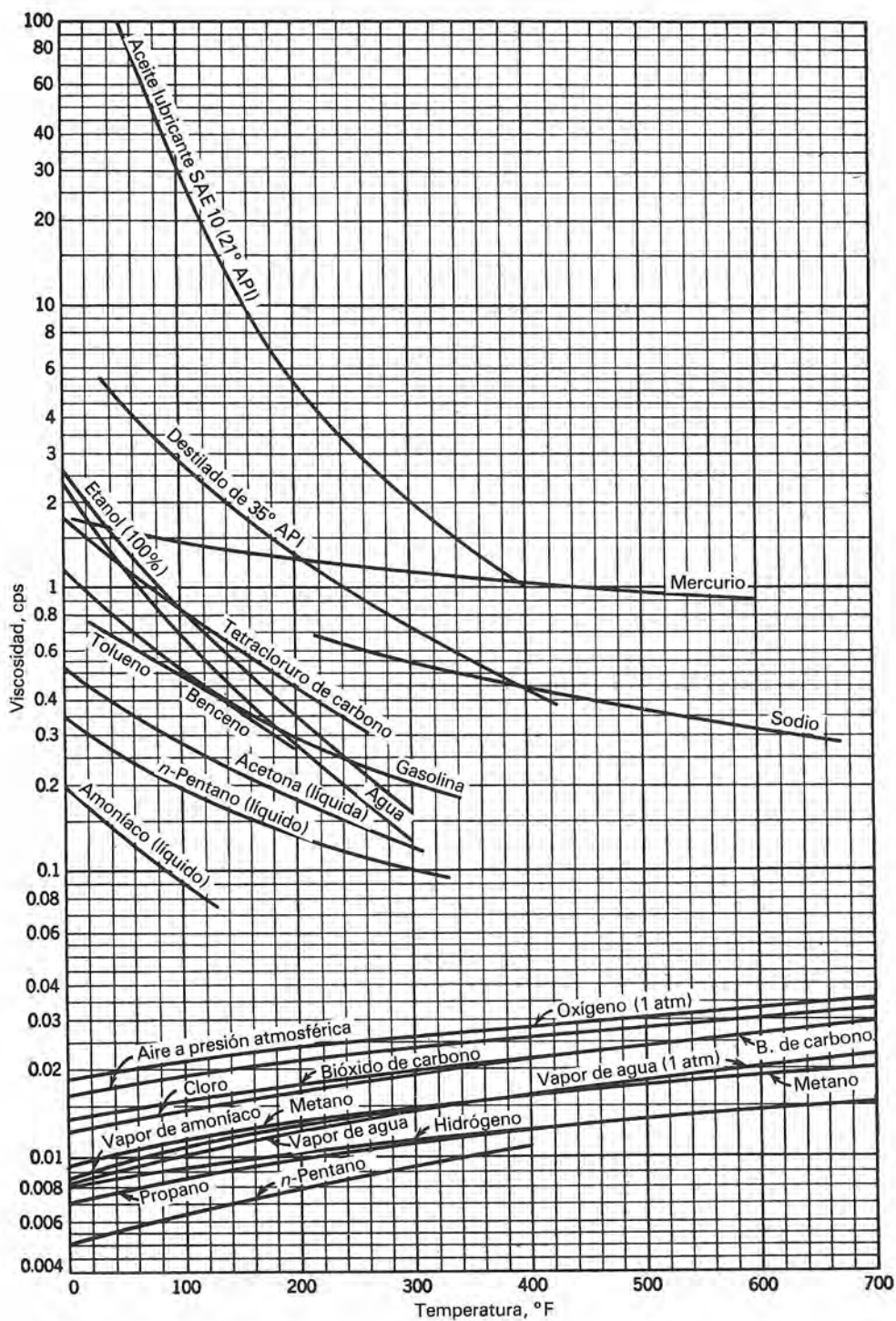
Elemento	Volumen atómico cm ³ /g átomo
Aire	29.9
Antimonio	34.2
Arsénico	30.5
Bismuto	48.0
Bromo	27.0
Carbono	14.8
Cloro, terminal como R-CL	21.6
en cadena como R-CHCI-R	24.6
Cromo	27.4
Flúor	8.7
Germanio	34.5
Hidrógeno, en compuestos	3.7
como molécula de-hidrógeno	7.15
Yodo	37.0
Plomo	46.5–50.1
Mercurio	19.0
Nitrógeno	15.6
En aminas primarias	10.5
En aminas secundarias	12.0
Oxígeno, enlace doble como —C=O	7.4
Unido a otros dos elementos:	
En aldehídos y cetonas	7.4
En éteres metílicos	9.9
En ésteres metílicos	9.1
En éteres y ésteres superiores	11.0
En ácidos	12.0
En unión con S, P, N	8.3
Fósforo	27.0
Silicio	32.0
Azufre	25.6
Estaño	42.3
Titanio	35.7
Vanadio	32.0
Agua	18.8
Zinc	20.4
Para anillos de 3 miembros, como en el óxido de etileno	–6
Para anillos de 4 miembros, como en el ciclobutano	–8.5
Para anillos de 5 miembros como en el furano	–11.5
Para anillos de seis miembros, como en el benceno o ciclohexano	–15
Para anillos de naftaleno	–30
Para anillos de antraceno	–47.5

Apéndice D-8 Correlación para difusividades de masa de líquidos.

[Wilke, C. R., *Chem., Eng. Progr.*, 45, 218. Con permiso de A.I.Ch.E., Copyright (1949)].



Apéndice D-9 Viscosidades de gases y líquidos en función de la temperatura a 1 atm
 (3) (1 cps = 0.1 N·s/m²).



Apéndice D-10 Conductividad térmica de diversos materiales (lb).[1 Btu/h pie² (°F/pie = 1.7296 J/s m²(°C/m)](a) Gases y Vapores.
 $k = \text{Btu/h pie}^2 (\text{°F/pie})$

Sustancia	$T, \text{°F}$	k	Sustancia	$T, \text{°F}$	k
Acetona	32	0.0057	Etileno	-96	0.0064
	115	0.0074		32	0.0101
	212	0.0099		122	0.0131
Acetileno	363	0.0147	212	0.0161	
	-103	0.0068	Heptano (<i>n</i> -)	212	0.0103
	32	0.0108	392	0.0112	
	122	0.0140	Hexano (<i>n</i> -)	32	0.0072
Aire	212	0.0172	68	0.0080	
	-148	0.0095	Hidrógeno	-148	0.065
	32	0.0140	-58	0.083	
	212	0.0183	32	0.100	
	392	0.0226	122	0.115	
Amoniaco	572	0.0265	212	0.129	
	-76	0.0095	572	0.178	
	32	0.0128	Metano	-148	0.0100
	122	0.0157	-58	0.0145	
Benceno	212	0.0185	32	0.0175	
	32	0.0052	122	0.0215	
	115	0.0073	Alcohol metílico	32	0.0083
	212	0.0103	212	0.0128	
	363	0.0152	Cloruro de metilo	32	0.0053
Butano(<i>n</i> -)	413	0.0176	115	0.0072	
	32	0.0078	212	0.0094	
	212	0.0135	363	0.0130	
Bióxido de carbono	-58	0.0068	413	0.0148	
	32	0.0085	Nitrógeno	-148	0.0095
	212	0.0133	32	0.0140	
	392	0.0181	122	0.0160	
	572	0.0228	212	0.0180	
Tetracloruro de carbono	115	0.0041	Oxígeno	-148	0.0095
	212	0.0052	-58	0.0119	
	363	0.0065	32	0.0142	
Cloro	32	0.0043	122	0.0164	
Diclorodifluorometano	32	0.0048	212	0.0185	
	122	0.0064	Pentano (<i>n</i> -)	32	0.0074
	212	0.0080	68	0.0083	
	302	0.0097	Propano	32	0.0087
Etano	-94	0.0066	212	0.0151	
	-29	0.0086	Bióxido de Azufre	32	0.0050
	32	0.0106	212	0.0069	
	212	0.0175	Vapor de agua presión cero*	32	0.0132
Alcohol etílico	68	0.0089	200	0.0159	
	212	0.0124	400	0.0199	
Eter etílico	32	0.0077	600	0.0256	
	115	0.0099	800	0.0306	
	212	0.0131	1000	0.0495	
	363	0.0189			
	413	0.0209			

* Para vapor saturado:

lb/plg ² abs	250	500	1000	1500	2000
$T, \text{°F}$	401	467	545	596	636
k	0.0248	0.0299	0.0395	0.0486	0.0578

Apéndice D-10 Continuación.

(b) Líquidos
 $k = \text{Btu/h pie}^2(^{\circ}\text{F}/\text{pie})$

Líquido	$T, ^{\circ}\text{F}$	k	Líquido	$T, ^{\circ}\text{F}$	k
Acido acético 100%	68	0.099	Queroseno	68	0.086
50%	68	0.20		167	0.081
Acetona	86	0.102	Mercurio	82	4.83
	167	0.095	Alcohol metílico 100%	68	0.124
Amoníaco	5-86	0.29		122	0.114
Benceno	86	0.092	Cloruro de metilo	5	0.111
	140	0.087		86	0.089
Tetracloruro de carbono	32	0.107	Octano (<i>n</i> -)	86	0.083
	154	0.094		140	0.081
Diclorodifluorometano	20	0.057	Pentano (<i>n</i> -)	86	0.078
	60	0.053		167	0.074
	100	0.048	Petróleo SAE 10 (21° API) (3)	0	0.074
	140	0.043		100	0.071
	180	0.038		200	0.068
Alcohol etílico 100%	68	0.105		300	0.066
	122	0.087	Sodio	212	49
Eter etílico	86	0.080		410	46
	167	0.078	Acido sulfúrico 90%	86	0.21
Etilenglicol	32	0.153	Bióxido de azufre	5	0.128
Glicerol, 100%	68	0.164		86	0.111
	212	0.164	Tolueno	86	0.086
Heptano (<i>n</i> -)	86	0.081	Agua	32	0.343
	140	0.079		100	0.363
Hexano (<i>n</i> -)	86	0.080		200	0.393
	140	0.078		300	0.395
				420	0.376
				620	0.275

(c) Sólidos
 $k = \text{Btu/h pie}^2(^{\circ}\text{F}/\text{pie})$

Metales	Densidad lb/pie ³	$T, ^{\circ}\text{C}$	k	Metales	Densidad lb/pie ³	$T, ^{\circ}\text{C}$	k
Aluminio	165	0	117	Níquel	537	0	36
		100	119			100	34
		200	124			200	33
		300	133			300	32
		400	144			400	26
Cobre	556	500	155	Acero dúctil	489	100	26
		0	224			200	26
		100	218			300	25
		200	215			400	23
		300	212			500	22
Hierro fundido	450	400	210	Estaño	459	0	36
		500	207			100	34
		54	27.6			200	33
Plomo	710	102	26.8	Zinc	440	0	65
		0	20			100	64
		100	19			200	62
		200	18			300	59
		300	18			400	54

Apéndice D-10 Continuación.

(c) continuación
Materiales diversos
 $k = \text{Btu}/\text{h pie}^2(^{\circ}\text{F}/\text{pie})$

Materiales diversos	Densidad aparente (ρ), lb/pie ³ a temperatura ambiente	T , °C	k	Materiales diversos	Densidad aparente (ρ), lb/pie ³ a temperatura ambiente	T , °C	k
Asbesto	29.3	-200	0.043	Tierra diatomácea alta calcinación, grandes poros	37	200	0.13
	29.3	0	0.090		37	1000	0.34
	36	0	0.087	Arcilla refractaria (Missouri)	...	200	0.58
	36	100	0.111			600	0.85
	36	200	0.120			1000	0.95
	36	400	0.129	Ladrillo aislante de caolín	27	1400	1.02
	43.5	-200	0.090	Ladrillo refractario aislante de caolín	27	500	0.15
Asfalto	43.5	0	0.135		19	1150	0.26
Ladrillos:	132	20	0.43	Magnesita (86.8% MgO, 6.3% Fe ₂ O ₃ , 3% CAO, 2.6% SiO ₂ en peso)	19	200	0.050
Alúmina (92-99% Al ₂ O ₃ en peso) fundida	...	427	1.8	Carbonato de calcio, natural	94	760	0.113
Alúmina (64-65% Al ₂ O ₃ en peso)	...	1315	2.7	Carbon mineral	...	...	...
	115	800	0.62	Cartón, corrugado	87.3	30	0.037
	115	1100	0.63	Celuloide	...	...	0.12
Ladrillo de construcción	...	20	0.4	Coque, de petróleo	...	100	3.4
Carbono	96.7	...	3.0	Concreto (cenizas) (piedra)	...	500	2.9
Ladrillo de cromo (32% Cr ₂ O ₃ en peso)	200	200	0.67	(1:4 seco)	...	...	0.20
	200	650	0.85	Tablero de corcho	10	30	0.44
	200	1315	1.0	Corcho (regranulado) (desmenuzado)	8.1	30	0.025
Tierra diatomácea, natural, a través de los estratos	27.7	204	0.051	Tierra diatomácea polvo grueso	9.4	30	0.026
	27.7	871	0.077	fino	20	38	0.036
Tierra diatomácea, natural, paralela a los estratos	27.7	204	0.081	recubrimientos moldeados de tubos	20.0	871	0.082
	27.7	871	0.106		17.2	204	0.040
Tierra diatomácea moldeada y calcinada	38	204	0.14		17.2	871	0.074
	38	871	0.18		26.0	204	0.051
Tierra diatomácea y arcilla, moldeada y calcinada	42.3	204	0.14		26.0	871	0.088
	42.3	871	0.19				

Apéndice D-10 Continuación.

(c) (continuación)
Materiales diversos
 $k = \text{Btu}/\text{h pie}^2(^{\circ}\text{F}/\text{pie})$

Materiales diversos	Densidad aparente (ρ), lb/pie ³ a temp ambiente	T, °C	k	Materiales diversos	Densidad aparente (ρ), lb/pie ³ a temp ambiente	T, °C	k
4 Vols. de tierra calcinada y 1 Vol. de cemento, vaciada y quemada	61.8	204	0.16	Hule (duro)	...	0	0.087
Vidrio	61.8	871	0.23	blando	...	21	0.075-0.092
Tipo borosilicato	...	...	0.2-0.73	Arena (seca)	94.6	20	0.19
De ventana	139	30-75	0.63	Arenisca	140	40	1.06
De botella	...	...	0.3-0.61	Aserfin	12	21	0.03
Granito	...	...	0.3-0.44	Escoria, alto horno	...	24-127	0.064
Grafito longitudinal	...	...	1.0-2.3	Escoria, lana	12	30	0.022
pulverizado	...	20	95	Pizarra	...	94	0.86
malla 100	30	40	0.104	Nieve	34.7	0	0.27
Yeso (moldeado y seco)	78	20	0.25	Tablero de pared, tipo aislante	14.8	21	0.028
Hielo	57.5	0	1.3	Tabla de pared, de pasta dura	43	30	0.04
Capoc	0.88	20	0.020	Madera (transversal a la fibra)	7-8	30	0.025-0.03
Piel, suela	62.4	...	0.092	Balsa	51.5	15	0.12
Piedra caliza (15.3% de H ₂ O) en Vol.	103	24	0.54	Roble	44.7	50	0.11
Magnesia (pulverizada)	49.7	47	0.35	Arce	34.0	15	0.087
Magnesia (carbonato ligero)	13	21	0.034	Pino blanco	40.0	15	0.10
Oxido de magnesio (comprimido)	49.9	20	0.32	Abeto	28.1	60	0.062
Mármol	...	...	1.2-1.7	Madera (paralela a la fibra):	34.4	21	0.20
Lana mineral	9.4	30	0.0225	Pino	6.9	30	0.021
Papel	19.7	30	0.024	Lana animal	...	...	...
Porcelana	...	...	0.075				
Cemento Portland, véase concreto	...	200	0.88				
	...	90	0.17				
	...	21-66	0.14				

Apéndice D-11 Difusividad de masa (1) Con permiso de McGraw-Hill (Copyright © 1950.)

(a) Gases a 25 °C, atm en aire

Sustancia	$D, \text{ cm}^2/\text{s}$	$(\mu\rho/D)^a$
Amoníaco	0.229	0.67
Bióxido de carbono	0.164	0.94
Hidrógeno	0.410	0.22
Oxígeno	0.206	0.75
Agua	0.256	0.60
Disulfuro de carbono	0.107	1.45
Eter etílico	0.093	1.66
Metanol	0.159	0.97
Alcohol etílico	0.119	1.30
Alcohol propílico	0.100	1.55
Alcohol butílico	0.090	1.72
Alcohol amílico	0.070	2.21
Alcohol hexílico	0.059	2.60
Acido fórmico	0.159	0.97
Acido acético	0.133	1.16
Acido propiónico	0.099	1.56
Acido <i>i</i> -butírico	0.081	1.91
Acido valérico	0.067	2.31
Acido <i>i</i> -caproico	0.060	2.58
Dietilamina	0.105	1.47
Butilamina	0.101	1.53
Anilina	0.072	2.14
Clorobenceno	0.073	2.12
Clorotolueno	0.065	2.38
Bromuro de propilo	0.105	1.47
Yoduro de propilo	0.096	1.61
Benceno	0.088	1.76
Tolueno	0.084	1.84
Xileno	0.071	2.18
Etilbenceno	0.077	2.01
Propilbenceno	0.059	2.62
Difenilo	0.068	2.28
<i>n</i> -Octano	0.060	2.58
Mesitileno	0.067	2.31

^a El grupo $(\mu/\rho D)$ en esta tabla se evaluó para mezclas compuestas principalmente de aire.

(b) Líquidos a 20 °C, soluciones diluidas

Soluto	Disolvente	$D \times 10^5$ (cm^2/s) $\times 10^5$	$\left(\frac{\mu}{\rho D}\right)^a$
O ₂	Agua	1.80	558
CO ₂	Agua	1.77	670
N ₂ O	Agua	1.51	665
NH ₃	Agua	1.76	570
Cl ₂	Agua	1.22	824
Br ₂	Agua	1.2	840
H ₂	Agua	5.13	196
N ₂	Agua	1.64	613
HCl	Agua	2.64	381
H ₂ S	Agua	1.41	712
H ₂ SO ₄	Agua	1.73	580
HNO ₃	Agua	2.6	390
Acetileno	Agua	1.56	645
Acido acético	Agua	0.88	1140
Metanol	Agua	1.28	785
Etanol	Agua	1.00	1005
Propanol	Agua	0.87	1150
Butanol	Agua	0.77	1310
Alcohol alílico	Agua	0.93	1080
Fenol	Agua	0.84	1200
Glicerol	Agua	0.72	1400
Pirogalol	Agua	0.70	1440
Hidroquinona	Agua	0.77	1300
Urea	Agua	1.06	946
Resorcinol	Agua	0.80	1260
Uretano	Agua	0.92	1090
Lactosa	Agua	0.43	2340
Maltosa	Agua	0.43	2340
Glucosa	Agua	0.60	...
Manitol	Agua	0.58	1730
Rafinosa	Agua	0.37	2720
Sacarosa	Agua	0.45	2230
Cloruro de sodio	Agua	1.35	745
Hidróxido de sodio	Agua	1.51	665
CO ₂	Etanol	3.4	445
Fenol	Etanol	0.8	1900
Cloroformo	Etanol	1.23	1230
Fenol	Benceno	1.54	479
Cloroformo	Benceno	2.11	350
Acido acético	Benceno	1.92	384
Dicloruro de etileno	Benceno	2.45	301

^a Basada en $\mu/\rho = 0.01005 \text{ cm}^2/\text{s}$ para agua, 0.00737 para benceno y 0.01511 para etanol, todos a 20 °C. Aplicable sólo a soluciones diluidas.

Apéndice D-12 Densidades de varios materiales (1b) (Con permiso de McGraw-Hill, Copyright 1950) (1 lb/pie³ = 16.018 kg/m³).

(a) Gases a 1 atm y 0 °C

Gas	Fórmula	Peso Molecular	Densidad, lb/pie ³
Acetileno	C ₂ H ₂	26.02	0.0732
Aire	—	—	0.0808
Amoniaco	NH ₃	17.03	0.0482
Argón	Ar	39.91	0.1114
Butano	C ₄ H ₁₀	58.08	0.1623
Bióxido de carbono	CO ₂	44.00	0.1235
Cloro	Cl ₂	70.91	0.2011
Etano	C ₂ H ₆	30.05	0.0848
Etileno	C ₂ H ₄	28.03	0.0783
Helio	He	4.00	0.0111
Hidrógeno	H ₂	2.016	0.0056
Metano	CH ₄	16.03	0.0448
Cloruro de metilo	CH ₃ Cl	50.48	0.1440
Nitrógeno	N ₂	28.022	0.0782
Oxígeno	O ₂	32.00	0.0892
Bióxido de azufre	SO ₂	64.06	0.1828

(b) Líquidos a 20 °C

Líquido	Densidad, lb/pie ³
Acido acético	65.4 (–79 °C)
Acetona	49.4
Amoniaco	51.0
Benceno	54.8
Tetracloruro de carbono	99.5
Eter etílico	44.2
Alcohol etílico	49.2
Alcohol metílico	49.4
Mercurio	849
Pentano (<i>n</i>)	39.2
SAE 10 Aceite (21° API)	57.8
Sodio	58.0 (100 °C)
	54.7 (600 °F)
Tolueno	54.0
Agua	62.3

(c) Sólidos *

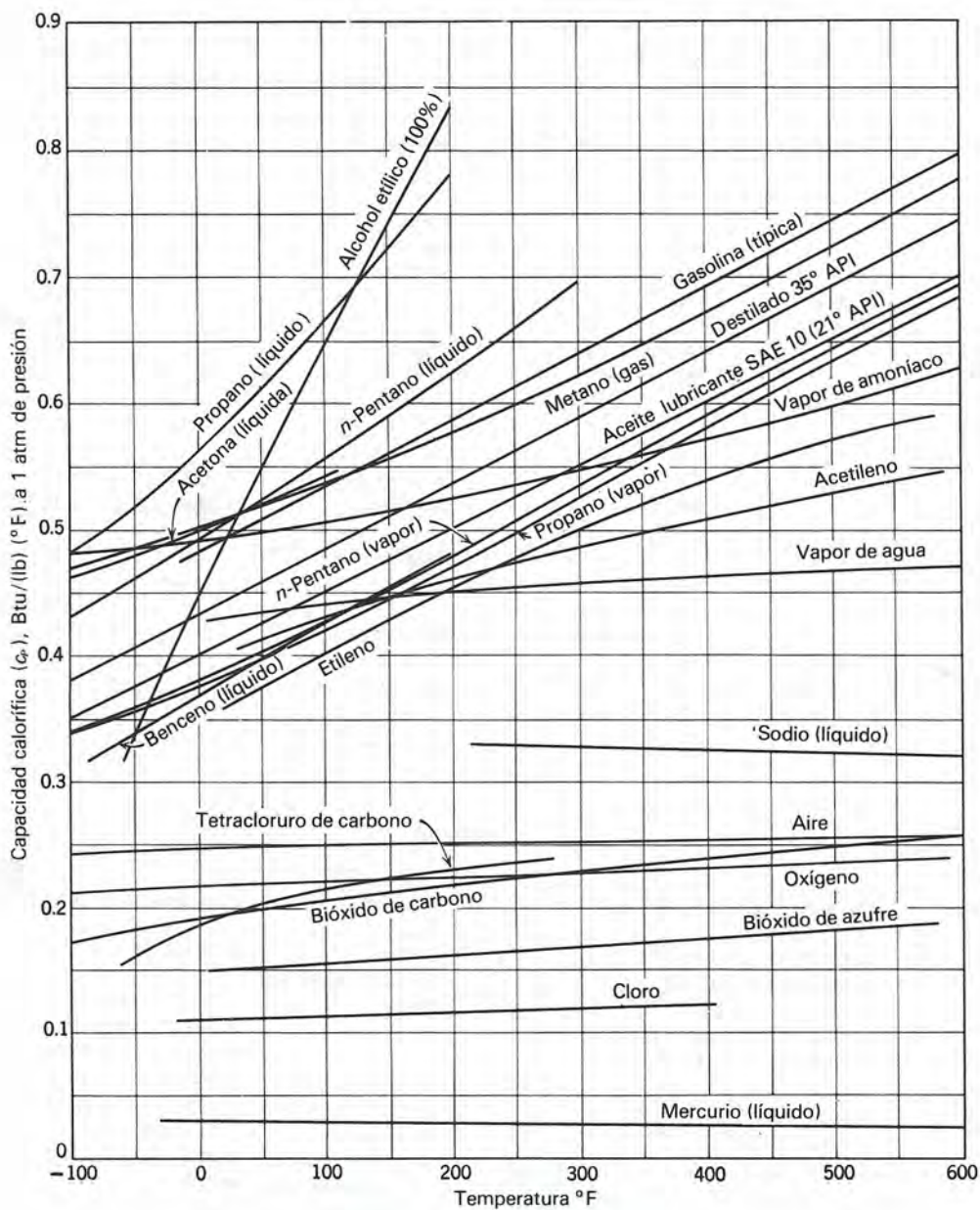
Metales	Densidad, lb/pie ³
Aluminio	165
Cobre	556
Hierro colado	450
Plomo	710
Níquel	537
Acero dúctil	489
Estaño	459
Zinc	440

* Para otros sólidos véase el Apéndice D-10c.

Apéndice D-13 Capacidades caloríficas (3).

(1 Btu/lb °F = 4184.2 J/kg °C)

(a) Gases y líquidos a 1 atm.



Apéndice D-13 Continuación.

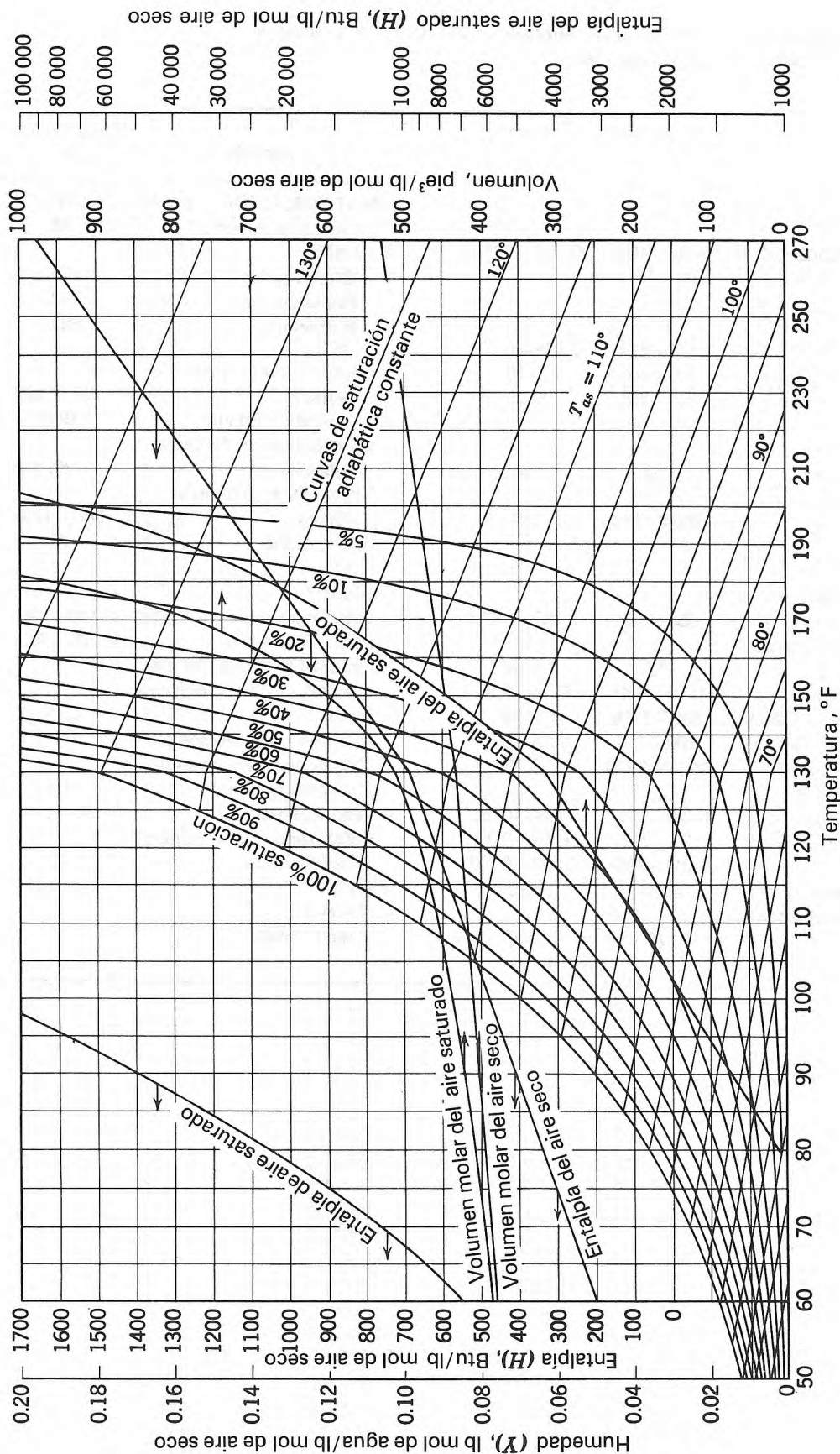
(b) Relación de capacidades caloríficas a 1 atm (C_p/C_v)

Compuesto	Fórmula	Temperatura, °C	Relación de Calores específicos $\gamma = C_p/C_v$	Compuesto	Fórmula	Temperatura, °C	Relación de Calores específicos $\gamma = C_p/C_v$
Acetileno	C_2H_2	15	1.26	Etileno	C_2H_4	100	1.18
Aire	....	-71	1.31	Helio	He	15	1.255
		925	1.36			-91	1.35
		17	1.403			-180	1.660
		-78	1.408			80	1.08
Amoníaco	NH_3	15	1.310	Hexano (n-)	C_6H_{14}	80	1.08
Argón	Ar	15	1.668	Hidrógeno	H_2	15	1.410
		-118	1.415			-76	1.453
		0-100	1.67	Metano	CH_4	600	1.113
Benceno	C_6H_6	90	1.10			300	1.16
						15	1.31
Bióxido de carbono	CO_2	15	1.304			-80	1.34
		-75	1.37	Alcohol metílico	CH_3O	77	1.203
		-180	1.41	Nitrógeno	N_2	15	1.404
Cloro	Cl_2	15	1.355	Oxígeno	O_2	15	1.401
Diclorodifluorometano	CCl_2F_2	25	1.139			-76	1.415
Etano	C_2H_6	100	1.19			-181	1.45
		15	1.22	Pentano (n-)	C_5H_{12}	86	1.086
		-82	1.28	Bióxido de azufre	SO_2	15	1.29
Alcohol etílico	C_2H_6O	90	1.13				
Eter etílico	$C_4H_{10}O$	35	1.08				
		80	1.086				

(c) Sólidos

Metales	Capacidad calorífica, Btu/lb °F	Materiales diversos	Capacidad calorífica, Btu/lb °F
Aluminio	0.374 (0 °C), 0.405 (100 °C)	Carbón	0.26 a 0.37
Cobre	0.164 (0 °C), 0.169 (100 °C)	Coque (valores medios)	0.265 (21—400 °C) 0.359 (21—800 °C) 0.403 (21—1300 °C)
Hierro colado	0.214 (20—100 °C)	Concreto	0.156 (70—312 °F), 0.219 (72—1472 °F)
Plomo	0.0535 (0 °C), 0.0575 (100 °C)	Ladrillo refractario	0.198 (100 °C), 0.298 (1500 °C)
Níquel	0.0186 (0 °C), 0.206 (100 °C)	Espatoflúor	0.21 (30 °C)
Acero	0.12	Vidrio (sin plomo)	0.16 a 0.20
Estaño	0.096 (0 °C), 0.104 (100 °C)	(cristal de plomo)	0.117
Zinc	0.164 (0 °C), 0.172 (100 °C)	(pirex)	0.20
		(silicato)	0.188 a 0.204 (0—100 °C) 0.24 a 0.26 (0—700 °C)
Materiales diversos	Capacidad calorífica, Btu/lb °F	lana	0.157
Alúmina	0.2 (100 °C), 0.274 (1500 °C)	Grafito	0.165 (26—76 °C), 0.390 (56—1450 °C)
Asbesto	0.25	Yeso	0.259 (16—46 °C)
Mampostería	Aprox. 0.2	Piedra caliza	0.217
Carbón (valores medios)	0.168 (26—76 °C)	Magnesia	0.234 (100 °C), 0.188 (1500 °C)
	0.134 (40—892 °C)	Ladrillo de magnesita	0.222 (100 °C), 0.195 (1500 °C)
	0.387 (56—1450 °C)	Mármol	0.21 (18 °C)
Celulosa	0.32	Cuarzo	0.17 (0 °C), 0.28 (350 °C)
Cemento Portland		Arena	0.191
	Clinker	0.186	Piedra	Aprox. 0.2
Carbón vegetal	0.242	Madera (roble)	0.570
Ladrillo de cromo	0.17	La mayor parte de las maderas varían entre	0.45 y 0.65
Arcilla	0.224		

Apéndice D-14 Carta de humedad para el sistema aire-agua.



Apéndice D-15 Emisividades totales de varios materiales sólidos (lb). Con permiso de McGraw-Hill; Copyright 1973.

Superficie	Temperatura °F	Emisividad ϵ	Superficie	Temperatura °F	Emisividad ϵ
I METALES			II MATERIALES DE CONSTRUCCION		
Aluminio			Tableros de asbesto	74	0.96
Placas muy pulidas	440—1070	0.039—0.057	Ladrillo		
Oxidada a 1110 °F	390—1110	0.11—0.19	Rojo, rugoso	70	0.93
Latón			Construcción	1832	0.45
Muy pulido (73—27)	476—674	0.028—0.031	Refractario	1832	0.75
Pulido	100—600	0.10	Negro de humo y otros negros	122—1832	0.96
Placa opaca	120—660	0.22	Bloque de hormigón	1832	0.63
Cobre			Esmalte blanco, fundido sobre hierro	66	0.90
Pulido	242	0.023	Vidrio, Pyrex, plomo y sódico	500—1000	~0.95—0.85
Placa calentada a 1110 °F	390—1110	0.57	Roble, plano	70	0.90
Hierro			Pinturas		
Electrolítico muy pulido	350—440	0.052—0.064	Laca negra o blanca	100—200	0.80—0.95
Hierro colado, recién desmoldeado	72	0.44	Laca negra plana	100—200	0.96—0.98
Lámina lisa de hierro	1650—1900	0.55—0.60	Pinturas de aceite, 16 dife- rentes de todos los colo- res	212	0.92—0.96
Acero oxidado a 1100 °F	390—1110	0.79	Aluminio con diversos gra- dos de envejecimiento y contenido de A1	212	0.27—0.67
Placa de acero, rugosa	100—700	0.94—0.97	Yeso, rugoso	50—190	0.91
Acero dúctil, fundido	2910—3270	0.28	Hule, blando, gris, rugoso (recuperado)	76	0.86
Inoxidable, tipo 304 después de calentarlo	420—914	0.44—0.36	Agua	32—212	0.95—0.963
Mercurio	32—212	0.09—0.12	Nieve		~1.0
Plata, pulida	100—700	0.022—0.031	Hielo, sólido		0.63
Tungsteno, filamento	6000	0.39			
Zinc, lámina galvanizada de hierro gris	75	0.28			

Apéndice D-16 Coeficientes para las temperaturas transitorias que quedan fuera de las Figs. 11-4a, b y c.

$$\log_{10} Y = a \cdot X + b$$

Placa (Ampliación de la Fig. 11-4a)

m	n	a	b
0.0	0.0	-1.064	0.0961
	0.2	-1.082	0.0987
	0.4	-1.084	0.0258
	0.6	-1.085	-0.1531
	0.8	-1.101	-0.0395
	1.0	∞	-
0.5	0.0	-0.503	0.0688
	0.2	-0.503	0.0592
	0.4	-0.503	0.0294
	0.6	-0.504	-0.0246
	0.8	-0.504	-0.1111
	1.0	-0.505	-0.2480
1.0	0.0	-0.321	0.0488
	0.2	-0.321	0.0423
	0.4	-0.321	0.0225
	0.6	-0.321	-0.0119
	0.8	-0.321	-0.0632
	1.0	-0.321	-0.1366
2.0	0.0	-0.185	0.0294
	0.2	-0.185	0.0257
	0.4	-0.185	0.0144
	0.6	-0.185	-0.0048
	0.8	-0.185	-0.0304
	1.0	-0.185	-0.0707
5	todos	-0.081	0.005
∞	todos	0.0	0.0

Cilindro (Ampliación de la Fig. 11-4b)

m	n	a	b
0.0	0.0	-2.505	0.2012
	0.2	-2.507	0.1765
	0.4	-2.511	0.0972
	0.6	-2.516	-0.0580
	0.8	-2.521	-0.3630
	1.0	∞	0.0000
0.5	0.0	-1.111	0.1266
	0.2	-1.111	0.1154
	0.4	-1.111	0.0809
	0.6	-1.111	0.0202
	0.8	-1.111	-0.0736
	1.0	-1.111	-0.2147
1.0	0.0	-0.685	0.0817
	0.2	-0.685	0.0749
	0.4	-0.685	0.0539
	0.6	-0.685	0.0178
	0.8	-0.685	-0.0356
	1.0	-0.685	-0.1101

Cilindro (Ampliación de la Fig. 11-4b)

m	n	a	b
2.0	0.0	-0.185	0.0294
	0.2	-0.185	0.0257
	0.4	-0.185	0.0141
	0.6	-0.185	-0.0048
	0.8	-0.185	-0.0304
	1.0	-0.185	-0.0707
5	todos	-0.0813	0.0000
∞	todos	0.0	0.0

Esfera (Ampliación de la Fig. 11-4c)

m	n	a	b
0.0	0.0	-4.172	0.2666
	0.2	-4.194	0.2443
	0.4	-4.251	0.1694
	0.6	-4.320	0.0142
	0.8	-4.376	-0.3032
	1.0	∞	0.0000
0.5	0.0	-1.753	0.1576
	0.2	-1.745	0.1452
	0.4	-1.783	0.1344
	0.6	-1.788	0.0574
	0.8	-1.773	-0.0598
	1.0	-1.802	-0.1719
1.0	0.0	-1.061	0.0842
	0.2	-1.083	0.1249
	0.4	-1.079	0.0886
	0.6	-1.065	0.0264
	0.8	-1.079	-0.0001
	1.0	-1.054	-0.1253
2.0	0.0	-0.590	0.058
	0.2	-0.590	0.054
	0.4	-0.590	0.042
	0.6	-0.590	0.022
	0.8	-0.590	-0.006
	1.0	-0.590	-0.045
5.0	todos	-0.250	0.015
∞	todos	0.0	0.0

REFERENCIAS

1. *Chemical Engineers' Handbook*, J. H. Perry (ed), 3rd ed., McGraw-Hill, New York (1950).
 - 1a. *ibid* IVth ed. (1963)
 - 1b. *ibid* Vth ed. (1973).
2. *International Critical Tables* McGraw-Hill, New York (1929).
3. Brown, G. G., and Associates, *Unit Operations*, John Wiley & Sons, New York (1950).

Apéndice D-17a.

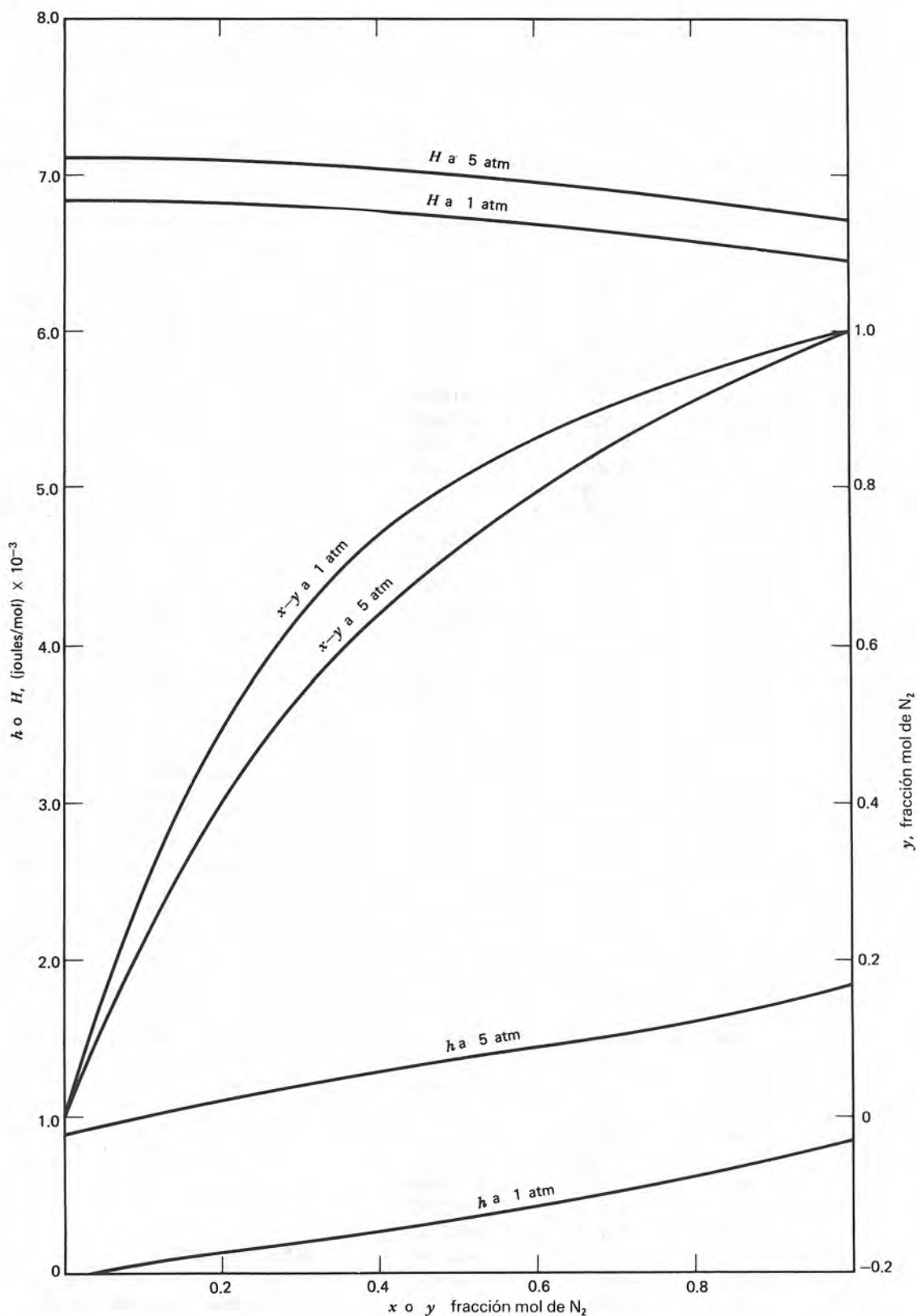


Diagrama entalpía-composición para el sistema O₂-N₂ a 1 atm y a 5 atm de presión total. La entalpía del O₂ líquido saturado a 1 atm se toma como 0 J/mol. La entalpía del N₂ gaseoso en el punto de ebullición del O₂ a 1 atm se toma como igual a la entalpía del vapor saturado de O₂ a la misma temperatura. [Datos de entalpía de Ruhemann, M., *The Separation of Gases*, 2a. Ed., Pág. 94, Oxford University Press, Londres, 1949. Datos de Equilibrio de Dodge, B. F. y Dunbar, *J.A.C.S.* 49, 591 (1927).]

Apéndice D-17b Diagrama entalpía-composición para amoníaco-agua a 100 lb/plg² abs (3). Estado de referencia: agua líquida a 32 °F, amoníaco líquido a -40 °F.

