

TABLAS Y DIAGRAMAS DE PROPIEDADES (SISTEMA INTERNACIONAL)

Tabla A-1	Masa molar, gas constante y calores específicos de ciertas sustancias	842
Tabla A-2	Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación	843
Tabla A-3	Propiedades de metales sólidos	844-846
Tabla A-4	Propiedades de no metales sólidos	847
Tabla A-5	Propiedades de materiales de construcción	848-849
Tabla A-6	Propiedades de materiales aislantes	850
Tabla A-7	Propiedades de alimentos comunes	851-852
Tabla A-8	Propiedades de diversos materiales	853
Tabla A-9	Propiedades del agua saturada	854
Tabla A-10	Propiedades del refrigerante 134a saturado	855
Tabla A-11	Propiedades del amoníaco saturado	856
Tabla A-12	Propiedades del propano saturado	857
Tabla A-13	Propiedades de líquidos	858
Tabla A-14	Propiedades de metales líquidos	859
Tabla A-15	Propiedades del aire a la presión de 1 atm	860
Tabla A-16	Propiedades de gases a la presión de 1 atm	861-862
Tabla A-17	Propiedades de la atmósfera a gran altitud	863
Tabla A-18	Emisividades de las superficies	864-865
Tabla A-19	Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales	866
Figura A-20	Diagrama de Moody del factor de fricción para flujos completamente desarrollado en tubos circulares	867

TABLA A-1

Masa molar, gas constante y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar M , kg/kmol	Gas Constante R , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			c_p , kJ/kg · K	c_v , kJ/kg · K	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

*La unidad kJ/kg · K es equivalente a kPa · m³/kg · K. La constante de gas se calcula de $R = R_U/M$, donde $R_U = 8.31447$ kJ/kmol · K como el gas constante universal y M la masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

TABLA A-2

Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación

Sustancia	Datos para la ebullición a 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporiza- ción, h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, h_{if} , kJ/kg	Temp., °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , kJ/kg · K
Amoníaco	-33.3	1 357	-77.7	322.4	-33.3 -20 0 25	682 665 639 603	4.43 4.51 4.62 4.78
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1 394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1 150	3.11
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Bióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etílico, alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1 109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1 261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13 560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5 -100 25	423 301 787	3.49 5.78 2.55
Metanol	64.5	1 100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8 -160 20	809 596 703	2.06 2.97 2.10
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	25	910	1.80
Aceite (ligero)	—	—	—	—	20	640	2.0
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1 141	1.71
Petróleo	—	230-384	—	—	20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1 0 50	581 529 449	2.25 2.51 3.12
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50 -26.1 0 25	1 443 1 374 1 295 1 207	1.23 1.27 1.34 1.43
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0 25 50 75 100	1 000 997 988 975 958	4.22 4.18 4.18 4.19 4.22

*Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la del punto triple de 518 kPa, el bióxido de carbono existe como sólido o gas. Asimismo, la temperatura en el punto de congelación del bióxido de carbono es la temperatura en el punto triple de -56.5°C.)

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302 482	237 798	240 949	231 1 033	218 1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65 473	163 787	186 925	186 1 042		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2			174	185		
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990 203	301 1 114	161 2 191	126 2 604	106 2 823	90.8 3 018
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5 112	9.69 120	7.04 127			
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190 128	55.5 600	16.8 1 463	10.6 1 892	9.60 2 160	9.85 2 338
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	203 198	99.3 222	94.7 242			
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159 192	111 384	90.9 484	80.7 542	71.3 581	65.4 616
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167 236	122 379	85.4 450	67.4 503	58.2 550	52.1 628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482 252	413 356	393 397	379 417	366 433	352 451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42 785	52 160	59 545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41 —	65 —	74 —		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75 360	95 395	137 425	149		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17 237	19 362				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232 190	96.8 290	43.2 337	27.3 348	19.8 357	17.4 375
Oro	1 336	19 300	129	317	127	327 109	323 124	311 131	298 135	284 140	270 145
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	172 90	153 122	144 133	138 138	132 144	126 153
Hierro:											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6 215	80.6 384	65.7 490	53.1 574	42.2 680	32.3 975
Aceros al carbono:											
Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7 487	48.0 559	39.2 685	30.0 1 169
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7 487	48.8 559	39.2 685	31.3 1 168
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (*continuación*)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)		8 131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1 090
Aceros al cromo (bajo): $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{4}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7 822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7 858	442	42.3	12.2			42.0	39.1	34.5	27.4
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7 836	443	48.9	14.1			46.8	42.1	36.3	28.2
Aceros inoxidables:								492	575	688	969
AISI 302		8 055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611
AISI 316		8 238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602
AISI 347		7 978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7 118	36.7 125	34.0 132	31.4 142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169 649	159 934	153 1 074	149 1 170	146 1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179 141	143 224	134 261	126 275	118 285	112 295
Níquel: Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164 232	107 383	80.2 485	65.6 592	67.6 530	71.8 562
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	1 672	8 400	420	12	3.4			14 480	16 525	21 545	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	— 55.2 188	372 52.6 249	473 55.2 274	510 58.2 283	546 61.3 292	626 64.4 301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5 168	71.6 227	73.6 251	79.7 261	86.9 271	94.2 281
Platino: Puro	2 045	21 450	133	71.6	25.1	77.5 100	72.6 125	71.8 136	73.2 141	75.6 146	78.7 152
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1 800	16 630	162	47	17.4			52 —	59 —	65 —	69 —
Renio	3 453	21 100	136	47.9	16.7	58.9 97	51.0 127	46.1 139	44.2 145	44.1 151	44.6 156
Rodio	2 236	12 450	243	150	49.6	186 147	154 220	146 253	136 274	127 293	121 311

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (*conclusión*)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Silicio	1 685	2 330	712	148	89.2	884 259	264 556	98.9 790	61.9 867	42.4 913	31.2 946
Plata	1 235	10 500	235	429	174	444 187	430 225	425 239	412 250	396 262	379 277
Tantalio	3 269	16 600	140	57.5	24.7	59.2 110	57.5 133	57.8 144	58.6 146	59.4 149	60.2 152
Torio	2 023	11 700	118	54.0	39.1	59.8 99	54.6 112	54.5 124	55.8 134	56.9 145	56.9 156
Estaño	505	7 310	227	66.6	40.1	85.2 188	73.3 215	62.2 243			
Titanio	1 953	4 500	522	21.9	9.32	30.5 300	24.5 465	20.4 551	19.4 591	19.7 633	20.7 675
Tungsteno	3 660	19 300	132	174	68.3	208 87	186 122	159 137	137 142	125 146	118 148
Uranio	1 406	19 070	116	27.6	12.5	21.7 94	25.1 108	29.6 125	34.0 146	38.8 176	43.9 180
Vanadio	2 192	6 100	489	30.7	10.3	35.8 258	31.3 430	31.3 515	33.3 540	35.7 563	38.2 597
Zinc	693	7 140	389	116	41.8	117 297	118 367	111 402	103 436		
Zirconio	2 125	6 570	278	22.7	12.4	33.2 205	25.2 264	21.6 300	20.7 332	21.6 342	23.7 362

De Frank P. Incropera y David P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3a. ed., 1990. Este material se utilizó con autorización de John Wiley & Sons, Inc.

TABLA A-4

Propiedades de no metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio, óxido de, zafiro	2 323	3 970	765	46	15.1	450	82	32.4	18.9	13.0	10.5
Aluminio, óxido de, policristalino	2 323	3 970	765	36.0	11.9	133	55	26.4	15.8	10.4	7.85
Berilio, óxido de	2 725	3 000	1 030	272	88.0	—	—	196	111	70	47
								1 350	1 690	1 865	1 975
Boro	2 573	2 500	1 105	27.6	9.99	190	52.5	18.7	11.3	8.1	6.3
						—	—	1 490	1 880	2 135	2 350
Boro, fibra epóxica al compuesto (30% en volumen)	590	2 080									
k , a las fibras				2.29		2.10	2.23	2.28			
k , ⊥ a las fibras				0.59		0.37	0.49	0.60			
c_p			1 122			364	757	1 431			
Carbono											
Amorfo	1 500	1 950	—	1.60	—	0.67	1.18	1.89	21.9	2.37	2.53
Diamante, tipo IIa aislador	—	3 500	509	2 300		10 000	4 000	1 540			
						21	194	853			
Grafito, pirolítico	2 273	2 210									
k , a las capas				1 950		4 970	3 230	1 390	892	667	534
k , ⊥ a las capas				5.70		16.8	9.23	4.09	2.68	2.01	1.60
c_p			709			136	411	992	1 406	1 650	1 793
Grafito, fibra de compuesto epóxico (25% en vol.) composite	450	1 400									
k , flujo de calor a las fibras				11.1		5.7	8.7	13.0			
k , flujo de calor ⊥ a las fibras				0.87		0.46	0.68	1.1			
c_p			935			337	642	1 216			
Pirocerámico, Corning 9606	1 623	2 600	808	3.98	1.89	5.25	4.78	3.64	3.28	3.08	2.96
Silicio, carburo de	3 100	3 160	675	490	230	—	—	908	1 038	1 122	1 197
								—	—	—	87
								880	1 050	1 135	1 195
Silicio, bióxido de, cristalino (cuarzo)	1 883	2 650									
k , al eje c				10.4		39	16.4	7.6	5.0	4.2	
k , ⊥ al eje c				6.21		20.8	9.5	4.70	3.4	3.1	
c_p			745			—	—	885	1 075	1 250	
Silicio, bióxido de, policristalino (vidrio de sílice)	1 883	2 220	745	1.38	0.834	0.69	1.14	1.51	1.75	2.17	2.87
						—	—	905	1 040	1 105	1 155
Silicio, nitruro de	2 173	2 400	691	16.0	9.65	—	—	13.9	11.3	9.88	8.76
						—	578	778	937	1 063	1 155
Azufre	392	2 070	708	0.206	0.141	0.165	0.185				
						403	606				
Torio, bióxido de	3 573	9 110	235	13	6.1			10.2	6.6	4.7	3.68
								255	274	285	295
Titanio, bióxido de, policristalino	2 133	4 157	710	8.4	2.8			7.01	5.02	3.94	3.46
								805	880	910	930

TABLA A-5

Propiedades de materiales de construcción
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Tableros de construcción					
Tablero de asbesto-cemento	6 mm	1 922	—	1.00	0.011
Tablero de yeso de revoque	10 mm	800	—	1.09	0.057
	13 mm	800	—	—	0.078
Madera contrachapada (abeto Douglas)	—	545	0.12	1.21	—
	6 mm	545	—	1.21	0.055
	10 mm	545	—	1.21	0.083
	13 mm	545	—	1.21	0.110
Tablero y entablado aislados (densidad común)	20 mm	545	—	1.21	0.165
	13 mm	288	—	1.30	0.232
	20 mm	288	—	1.30	0.359
Tablero duro (de alta densidad, amasado estándar)	—	1 010	0.14	1.34	—
Tablero aglutinado:					
Densidad media	—	800	0.14	1.30	—
Contrapiso	16 mm	640	—	1.21	0.144
Contrapiso de madera	20 mm	—	—	1.38	0.166
Membrana de construcción					
Filtro permeable al vapor	—	—	—	—	0.011
Sello de vapor (2 capas de fieltro de 0.73 kg/m ² estropajado)	—	—	—	—	0.021
Materiales para piso					
Alfombra y carpeta fibrosa	—	—	—	1.42	0.367
Alfombra y carpeta de caucho	—	—	—	1.38	0.217
Loseta (asfalto, linóleo, vinilo)	—	—	—	1.26	0.009
Materiales para mampostería					
<i>Unidades de mampostería:</i>					
Ladrillo común		1 922	0.72	—	—
Ladrillo para fachada		2 082	1.30	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria		2 400	1.34	—	—
		1 920	0.90	0.79	—
		1 120	0.41	—	—
Bloques de concreto (3 núcleos ovales, agregado de arena y grava)	100 mm	—	0.77	—	0.13
	200 mm	—	1.0	—	0.20
	300 mm	—	1.30	—	0.23
<i>Concretos:</i>					
Agregados ligeros (incluyendo esquisto, arcilla o pizarra expandidos; escorias de alto horno expandidas; cenizas de alto horno; piedra pómez y escoria)		1 920	1.1	—	—
		1 600	0.79	0.84	—
		1 280	0.54	0.84	—
		960	0.33	—	—
		940	0.18	—	—
Cemento/cal, mortero y estuco		1 920	1.40	—	—
		1 280	0.65	—	—
Estuco		1 857	0.72	—	—

TABLA A-5

Propiedades de materiales de construcción (*conclusión*)
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada, traslapada)	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
Metales					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

TABLA A-6

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca,	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
escoria o vidrio)	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (<i>R</i> -11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
Relleno flojo					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
	~165 a 222 mm	9.6-32	—	0.71	3.35
	~191 a 254 mm	—	—	0.71	3.87
	~185 mm	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm	—	—	1.0	0.24
	25 mm	—	—	2.1	0.49
	50 mm	—	—	3.9	0.93
Aislamiento reflector					
Polvo sílice (al vacío)		160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)		40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)		120	0.000017	—	—

TABLA A-7

Propiedades de alimentos comunes

a) Calores específicos y propiedades en el punto de congelación

Alimento	Contenido de agua, ^a % (masa)	Punto de congelación ^a °C	Calor específico, ^b kJ/kg · K			Calor latente de fusión, ^c kJ/kg
			Arriba del punto de congelación	Debajo del punto de congelación	Debajo del punto de congelación	
Vegetales						
Alcachorras	84	-1.2	3.65	1.90	1.96	281
Espárragos	93	-0.6	3.96	2.01	1.89	311
Frijoles	89	-0.7	3.82	1.96	1.91	297
Brócoli	90	-0.6	3.86	1.97	1.92	301
Col	92	-0.9	3.92	2.00	1.91	307
Zanahorias	88	-1.4	3.79	1.95	1.97	294
Coliflor	92	-0.8	3.92	2.00	1.94	307
Apio	94	-0.5	3.99	2.02	1.94	314
Maíz tierno	74	-0.6	3.32	1.77	2.01	247
Pepinos	96	-0.5	4.06	2.05	1.82	321
Berenjena	93	-0.8	3.96	2.01	1.78	311
Rábano	75	-1.8	3.35	1.91	1.84	251
Poro	85	-0.7	3.69	1.91	1.84	284
Lechuga	95	-0.2	4.02	2.04	1.65	317
Hongos	91	-0.9	3.89	1.99	1.65	304
Quimbombó	90	-1.8	3.86	1.97	1.65	301
Cebollas frescas	89	-0.9	3.82	1.96	1.89	297
Cebollas secas	88	-0.8	3.79	1.95	1.89	294
Perejil	85	-1.1	3.69	1.91	1.46	284
Chicharos frescos	74	-0.6	3.32	1.77	1.72	247
Pimientos	92	-0.7	3.92	2.00	1.68	307
Papas	78	-0.6	3.45	1.82	1.55	261
Calabazas	91	-0.8	3.89	1.99	1.77	304
Espinaca	93	-0.3	3.96	2.01	1.66	311
Tomate rojo	94	-0.5	3.99	2.02	1.31	314
Nabos	92	-1.1	3.92	2.00	1.55	307
Frutas						
Manzanas	84	-1.1	3.65	1.90	1.65	281
Chabacanos	85	-1.1	3.69	1.91	1.65	284
Aguaates	65	-0.3	3.02	1.66	0.89	217
Plátanos	75	-0.8	3.35	1.78	1.04	251
Moras azules	82	-1.6	3.59	1.87	1.31	274
Melones	92	-1.2	3.92	2.00	1.33	307
Cerezas ácidas	84	-1.7	3.65	1.90	0.85	281
Cerezas dulces	80	-1.7	3.52	1.85	1.77	267
Higos secos	23	-1.8	3.52	1.13	1.05	77
Higos frescos	78	-2.4	3.45	1.82	1.63	261
Toronja	89	-1.1	3.82	1.96	1.95	297
Uvas	82	-1.1	3.59	1.87	0.92	274
Limonas	89	-1.4	3.82	1.96	0.87	297
Aceitunas	75	-1.4	3.35	1.78	0.87	251
Naranjas	87	-0.8	3.75	1.94	0.88	291
Otros						
Almendras	5	—	—	—	—	17
Mantequilla	16	—	—	—	—	53
Queso americano	37	-12.9	2.08	2.08	1.04	124
Queso suizo	39	-10.0	2.15	2.15	1.31	130
Chocolate con leche	1	—	—	—	0.85	3
Huevos enteros	74	-0.6	3.32	3.32	1.77	247
Miel de abeja	17	—	—	—	1.05	57
Mantecado	63	-5.6	2.95	2.95	1.63	210
Leche entera	88	-0.6	3.79	3.79	1.95	294
Cacahuates	6	—	—	—	0.92	20
Cacahuates tostados	2	—	—	—	0.87	7
Nueces encarameladas	3	—	—	—	0.87	10
Nueces	4	—	—	—	0.88	13
Carnes						
Res, canal de	49	-1.7	2.48	2.48	1.46	164
Higado	70	-1.7	3.18	3.18	1.72	234
Bistec	67	—	3.08	3.08	1.68	224
Lomo	56	—	2.72	2.72	1.55	187
Pollo	74	-2.8	3.32	3.32	1.77	247
Cordero, pierna de	65	—	3.02	3.02	1.66	217
Cerdo, canal de	37	—	2.08	2.08	1.31	124
Jamón	56	-1.7	2.72	2.72	1.55	187
Salchicha de puerco	38	—	2.11	2.11	1.32	127
Pavo	64	—	2.98	2.98	1.65	214
Pescado/mariscos						
Bacalao entero	78	-2.2	3.45	3.45	1.82	261
Hipoploso entero	75	-2.2	3.35	3.35	1.78	251
Langosta	79	-2.2	3.49	3.49	1.84	264
Macarela	57	-2.2	2.75	2.75	1.56	190
Salmon entero	64	-2.2	2.98	2.98	1.65	214
Camarón	83	-2.2	3.62	3.62	1.89	277

Fuentes: ^aLos datos sobre los contenidos de agua y los puntos de congelación se tomaron del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión en el SI (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tabla 1. Usado con autorización. El punto de congelación es la temperatura a la cual esa congelación se inicia para las frutas y los vegetales, y la temperatura promedio de congelación para los otros alimentos.

^bLos datos del calor específico están basados en los valores del calor específico del agua y el hielo a 0°C y se determinan con base en las fórmulas de Siebel: $c_{p, \text{fresco}} = 3.35 \times (\text{contenido de agua}) + 0.84$, arriba del punto de congelación, y $c_{p, \text{congelado}} = 1.26 \times (\text{contenido de agua}) + 0.84$, debajo del punto de congelación.

^cEl calor latente de fusión se determina al multiplicar el calor de fusión del agua (334 kJ/kg) por el contenido de agua del alimento.

TABLA A-7

Propiedades de alimentos comunes (*conclusión*)

b) Otras propiedades

Alimento	Contenido de agua, % (masa)	Temperatura, $T^{\circ}\text{C}$	Densidad, $\rho\text{kg/m}^3$	Conductividad térmica, $k\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$	Difusividad térmica, $\alpha\text{m}^2/\text{s}$	Calor específico, $c_p\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
Frutas/Vegetales						
Manzana, jugo de	87	20	1 000	0.559	0.14×10^{-6}	3.86
Manzanas	85	8	840	0.418	0.13×10^{-6}	3.81
Manzanas secas	41.6	23	856	0.219	0.096×10^{-6}	2.72
Chabacanos secos	43.6	23	1 320	0.375	0.11×10^{-6}	2.77
Plátanos frescos	76	27	980	0.481	0.14×10^{-6}	3.59
Brócoli	—	-6	560	0.385	—	—
Moras frescas	92	0-30	1 050	0.545	0.13×10^{-6}	3.99
Higos	40.4	23	1 241	0.310	0.096×10^{-6}	2.69
Toronja, jugo de	89	20	1 000	0.567	0.14×10^{-6}	3.91
Duraznos	89	2-32	960	0.526	0.14×10^{-6}	3.91
Ciruelas	—	-16	610	0.247	—	—
Membrillos	—	—	—	—	—	—
Papas	78	0-70	1 055	0.498	0.13×10^{-6}	3.64
Pasas	32	23	1 380	0.376	0.11×10^{-6}	2.48
Carnes						
Res, bistec de	67	6	950	0.406	0.13×10^{-6}	3.36
Res, carne magra de	74	3	1 090	0.471	0.13×10^{-6}	3.54
Res, carne grasosa de	0	35	810	0.190	—	—
Res, hígado de	72	35	—	0.448	—	3.49
Gatos, alimento para	39.7	23	1 140	0.326	0.11×10^{-6}	2.68
Pollo, pechuga de	75	0	1 050	0.476	0.13×10^{-6}	3.56
Perros, alimento para	30.6	23	1 240	0.319	0.11×10^{-6}	2.45
Bacalao	81	3	1 180	0.534	0.12×10^{-6}	3.71
Salmón	67	3	—	0.531	—	3.36
Jamón	71.8	20	1 030	0.480	0.14×10^{-6}	3.48
Cordero	72	20	1 030	0.456	0.13×10^{-6}	3.49
Puerco, carne magra	72	4	1 030	0.456	0.13×10^{-6}	3.49
Pavo, pechuga de	74	3	1 050	0.496	0.13×10^{-6}	3.54
Ternera	75	20	1 060	0.470	0.13×10^{-6}	3.56
Otros						
Mantequilla	16	4	—	0.197	—	2.08
Chocolate, pastel de	31.9	23	340	0.106	0.12×10^{-6}	2.48
Margarina	16	5	1 000	0.233	0.11×10^{-6}	2.08
Leche descremada	91	20	—	0.566	—	3.96
Leche entera	88	28	—	0.580	—	3.89
Olivo, aceite de	0	32	910	0.168	—	—
Cacahuete, aceite de	0	4	920	0.168	—	—
Agua	100	0	1 000	0.569	0.14×10^{-6}	4.217
	100	30	995	0.618	0.15×10^{-6}	4.178
Pastel blanco	32.3	23	450	0.082	0.10×10^{-6}	2.49

Fuente: Los datos se obtuvieron principalmente del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión en el SI (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tablas 7 y 9. Usado con autorización.

La mayor parte de los calores específicos se calculan a partir de $c_p = 1.68 + 2.51 \times (\text{contenido de agua})$, lo cual es una buena aproximación en el rango de temperatura de 3 hasta 32°C. La mayor parte de las difusividades térmicas se calculan a partir de $\alpha = k/\rho c_p$. Los valores patentados dados son válidos para el contenido específico de agua.

TABLA A-8

Propiedades de diversos materiales
(A menos que se indique lo contrario, los valores se dan a 300 K)

Material	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k , W/m · K	Calor espe- cífico, c_p J/kg · K	Material	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k , W/m · K	Calor espe- cífico, c_p J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920	Hielo			
Baquelita	1 300	1.4	1 465	273 K	920	1.88	2 040
Ladrillo refractario				253 K	922	2.03	1 945
Ladrillo de cromita				173 K	928	3.49	1 460
473 K	3 010	2.3	835	Cuero para suela	998	0.159	—
823 K	—	2.5	—	Linóleo	535	0.081	—
1173 K	—	2.0	—		1 180	0.186	—
Arcilla refractaria				Mica	2 900	0.523	—
cocida				Papel	930	0.180	1 340
1600 K				Plásticos			
773 K	2 050	1.0	960	Plexiglas	1 190	0.19	1 465
1073 K	—	1.1	—	Teflón			
1373 K	—	1.1	—	300 K	2 200	0.35	1 050
Arcilla refractaria				400 K	—	0.45	—
cocida				Lexan	1 200	0.19	1 260
1725 K				Nylon	1 145	0.29	—
773 K	2 325	1.3	960	Polipropileno	910	0.12	1 925
1073 K	—	1.4	—	Poliéster	1 395	0.15	1 170
1373 K	—	1.4	—	PVC, vinilo	1 470	0.1	840
Ladrillo de arcilla				Porcelana	2 300	1.5	—
refractaria				Caucho natural	1 150	0.28	—
478 K	2 645	1.0	960	Caucho vulcanizado			
922 K	—	1.5	—	Blando	1 100	0.13	2 010
1478 K	—	1.8	—	Duro	1 190	0.16	—
Magnesita				Arena	1 515	0.2-1.0	800
478 K	—	3.8	1 130	Nieve reciente	100	0.60	—
922 K	—	2.8	—	Nieve, 273 K	500	2.2	—
1478 K	—	1.9	—	Suelo seco	1 500	1.0	1 900
Carne de pollo blanca				Suelo mojado	1 900	2.0	2 200
(74.4% de contenido				Azúcar	1 600	0.58	—
de agua)				Tejido humano			
198 K	—	1.60	—	Piel	—	0.37	—
233 K	—	1.49	—	Capa de grasa	—	0.2	—
253 K	—	1.35	—	Músculo	—	0.41	—
273 K	—	0.48	—	Vaselina	—	0.17	—
293 K	—	0.49	—	Madera, perpendicular			
Arcilla seca	1 550	0.930	—	a la fibra			
Arcilla mojada	1 495	1.675	—	De balsa	140	0.055	—
Carbón mineral,				Abeto	415	0.11	2 720
antracita	1 350	0.26	1 260	Roble	545	0.17	2 385
Concreto (mezcla				Pino blanco	435	0.11	—
con piedra)	2 300	1.4	880	Pino amarillo	640	0.15	2 805
Corcho	86	0.048	2 030	Madera, radial			
Algodón	80	0.06	1 300	Roble	545	0.19	2 385
Grasa	—	0.17	—	Abeto	420	0.14	2 720
Vidrio				Madera para barcos	145	0.05	—
De ventana	2 800	0.7	750				
Pyrex	2 225	1-1.4	835				
Crown	2 500	1.05	—				
Al plomo	3 400	0.85	—				

Fuente: Los datos se recopilaron de diversas fuentes.

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

TABLA A-10

Propiedades del refrigerante 134a saturado

Temp., <i>T</i> , °C	Presión de satu- ración, <i>P</i> , kPa	Densidad, ρ , kg/m ³		Entalpía de vapori- zación, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k , W/m · K		Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, Tensión β , 1/K, superficial, N/m	
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	N/m
-40	51.2	1 418	2.773	225.9	1 254	748.6	0.1101	0.00811	4.878×10^{-4}	2.550×10^{-6}	5.558	0.235	0.00205	0.01760
-35	66.2	1 403	3.524	222.7	1 264	764.1	0.1084	0.00862	4.509×10^{-4}	3.003×10^{-6}	5.257	0.266	0.00209	0.01682
-30	84.4	1 389	4.429	219.5	1 273	780.2	0.1066	0.00913	4.178×10^{-4}	3.504×10^{-6}	4.992	0.299	0.00215	0.01604
-25	106.5	1 374	5.509	216.3	1 283	797.2	0.1047	0.00963	3.882×10^{-4}	4.054×10^{-6}	4.757	0.335	0.00220	0.01527
-20	132.8	1 359	6.787	213.0	1 294	814.9	0.1028	0.01013	3.614×10^{-4}	4.651×10^{-6}	4.548	0.374	0.00227	0.01451
-15	164.0	1 343	8.288	209.5	1 306	833.5	0.1009	0.01063	3.371×10^{-4}	5.295×10^{-6}	4.363	0.415	0.00233	0.01376
-10	200.7	1 327	10.04	206.0	1 318	853.1	0.0989	0.01112	3.150×10^{-4}	5.982×10^{-6}	4.198	0.459	0.00241	0.01302
-5	243.5	1 311	12.07	202.4	1 330	873.8	0.0968	0.01161	2.947×10^{-4}	6.709×10^{-6}	4.051	0.505	0.00249	0.01229
0	293.0	1 295	14.42	198.7	1 344	895.6	0.0947	0.01210	2.761×10^{-4}	7.471×10^{-6}	3.919	0.553	0.00258	0.01156
5	349.9	1 278	17.12	194.8	1 358	918.7	0.0925	0.01259	2.589×10^{-4}	8.264×10^{-6}	3.802	0.603	0.00269	0.01084
10	414.9	1 261	20.22	190.8	1 374	943.2	0.0903	0.01308	2.430×10^{-4}	9.081×10^{-6}	3.697	0.655	0.00280	0.01014
15	488.7	1 244	23.75	186.6	1 390	969.4	0.0880	0.01357	2.281×10^{-4}	9.915×10^{-6}	3.604	0.708	0.00293	0.00944
20	572.1	1 226	27.77	182.3	1 408	997.6	0.0856	0.01406	2.142×10^{-4}	1.075×10^{-5}	3.521	0.763	0.00307	0.00876
25	665.8	1 207	32.34	177.8	1 427	1 028	0.0833	0.01456	2.012×10^{-4}	1.160×10^{-5}	3.448	0.819	0.00324	0.00808
30	770.6	1 188	37.53	173.1	1 448	1 061	0.0808	0.01507	1.888×10^{-4}	1.244×10^{-5}	3.383	0.877	0.00342	0.00742
35	887.5	1 168	43.41	168.2	1 471	1 098	0.0783	0.01558	1.772×10^{-4}	1.327×10^{-5}	3.328	0.935	0.00364	0.00677
40	1 017.1	1 147	50.08	163.0	1 498	1 138	0.0757	0.01610	1.660×10^{-4}	1.408×10^{-5}	3.285	0.995	0.00390	0.00613
45	1 160.5	1 125	57.66	157.6	1 529	1 184	0.0731	0.01664	1.554×10^{-4}	1.486×10^{-5}	3.253	1.058	0.00420	0.00550
50	1 318.6	1 102	66.27	151.8	1 566	1 237	0.0704	0.01720	1.453×10^{-4}	1.562×10^{-5}	3.231	1.123	0.00456	0.00489
55	1 492.3	1 078	76.11	145.7	1 608	1 298	0.0676	0.01777	1.355×10^{-4}	1.634×10^{-5}	3.223	1.193	0.00500	0.00429
60	1 682.8	1 053	87.38	139.1	1 659	1 372	0.0647	0.01838	1.260×10^{-4}	1.704×10^{-5}	3.229	1.272	0.00554	0.00372
65	1 891.0	1 026	100.4	132.1	1 722	1 462	0.0618	0.01902	1.167×10^{-4}	1.771×10^{-5}	3.255	1.362	0.00624	0.00315
70	2 118.2	996.2	115.6	124.4	1 801	1 577	0.0587	0.01972	1.077×10^{-4}	1.839×10^{-5}	3.307	1.471	0.00716	0.00261
75	2 365.8	964	133.6	115.9	1 907	1 731	0.0555	0.02048	9.891×10^{-5}	1.908×10^{-5}	3.400	1.612	0.00843	0.00209
80	2 635.2	928.2	155.3	106.4	2 056	1 948	0.0521	0.02133	9.011×10^{-5}	1.982×10^{-5}	3.558	1.810	0.01031	0.00160
85	2 928.2	887.1	182.3	95.4	2 287	2 281	0.0484	0.02233	8.124×10^{-5}	2.071×10^{-5}	3.837	2.116	0.01336	0.00114
90	3 246.9	837.7	217.8	82.2	2 701	2 865	0.0444	0.02357	7.203×10^{-5}	2.187×10^{-5}	4.385	2.658	0.01911	0.00071
95	3 594.1	772.5	269.3	64.9	3 675	4 144	0.0396	0.02544	6.190×10^{-5}	2.370×10^{-5}	5.746	3.862	0.03343	0.00033
100	3 975.1	651.7	376.3	33.9	7 959	8 785	0.0322	0.02989	4.765×10^{-5}	2.833×10^{-5}	11.77	8.326	0.10047	0.00004

Nota: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las propiedades cuya lista se da aquí (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualesquiera presiones con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: R. Tillner-Roth y H. D. Baehr, "An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1, 1, 1, 2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) for Temperatures from 170 K to 455 K and Pressures up to 70 MPa", *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 23, No. 5, 1994; M. J. Assael, N. K. Dalaouti, A. A. Griva y J. H. Dymond, "Viscosity and Thermal Conductivity of Halogenated Methane and Ethane Refrigerants", *IJR*, Vol. 22, págs. 525-535, 1999; programa NIST REFPROP 6 (M. O. McLinden, S. A. Klein, E. W. Lemmon y A. P. Peskin, Physical and Chemical Properties Division, National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO 80303, 1995).

TABLA A-11

Propiedades del amoniaco saturado

Temp., <i>T</i> , °C	Presión de satu- ración, <i>P</i> , kPa	Densidad, <i>ρ</i> , kg/m ³		Entalpía de vapori- zación, <i>h_{fg}</i> , kJ/kg	Calor específico, <i>c_p</i> , J/kg · K		Conductividad térmica, <i>k</i> , W/m · K		Viscosidad dinámica, <i>μ</i> , kg/m · s		Número de Prandtl, <i>Pr</i>		Coeficiente de expansión volumétrica, Tensión superficial, <i>β</i> , 1/K, N/m	
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	N/m
-40	71.66	690.2	0.6435	1 389	4 414	2 242	—	0.01792	2.926 × 10 ⁻⁴	7.957 × 10 ⁻⁶	—	0.9955	0.00176	0.03565
-30	119.4	677.8	1.037	1 360	4 465	2 322	—	0.01898	2.630 × 10 ⁻⁴	8.311 × 10 ⁻⁶	—	1.017	0.00185	0.03341
-25	151.5	671.5	1.296	1 345	4 489	2 369	0.5968	0.01957	2.492 × 10 ⁻⁴	8.490 × 10 ⁻⁶	1.875	1.028	0.00190	0.03229
-20	190.1	665.1	1.603	1 329	4 514	2 420	0.5853	0.02015	2.361 × 10 ⁻⁴	8.669 × 10 ⁻⁶	1.821	1.041	0.00194	0.03118
-15	236.2	658.6	1.966	1 313	4 538	2 476	0.5737	0.02075	2.236 × 10 ⁻⁴	8.851 × 10 ⁻⁶	1.769	1.056	0.00199	0.03007
-10	290.8	652.1	2.391	1 297	4 564	2 536	0.5621	0.02138	2.117 × 10 ⁻⁴	9.034 × 10 ⁻⁶	1.718	1.072	0.00205	0.02896
-5	354.9	645.4	2.886	1 280	4 589	2 601	0.5505	0.02203	2.003 × 10 ⁻⁴	9.218 × 10 ⁻⁶	1.670	1.089	0.00210	0.02786
0	429.6	638.6	3.458	1 262	4 617	2 672	0.5390	0.02270	1.896 × 10 ⁻⁴	9.405 × 10 ⁻⁶	1.624	1.107	0.00216	0.02676
5	516	631.7	4.116	1 244	4 645	2 749	0.5274	0.02341	1.794 × 10 ⁻⁴	9.593 × 10 ⁻⁶	1.580	1.126	0.00223	0.02566
10	615.3	624.6	4.870	1 226	4 676	2 831	0.5158	0.02415	1.697 × 10 ⁻⁴	9.784 × 10 ⁻⁶	1.539	1.147	0.00230	0.02457
15	728.8	617.5	5.729	1 206	4 709	2 920	0.5042	0.02492	1.606 × 10 ⁻⁴	9.978 × 10 ⁻⁶	1.500	1.169	0.00237	0.02348
20	857.8	610.2	6.705	1 186	4 745	3 016	0.4927	0.02573	1.519 × 10 ⁻⁴	1.017 × 10 ⁻⁵	1.463	1.193	0.00245	0.02240
25	1 003	602.8	7.809	1 166	4 784	3 120	0.4811	0.02658	1.438 × 10 ⁻⁴	1.037 × 10 ⁻⁵	1.430	1.218	0.00254	0.02132
30	1 167	595.2	9.055	1 144	4 828	3 232	0.4695	0.02748	1.361 × 10 ⁻⁴	1.057 × 10 ⁻⁵	1.399	1.244	0.00264	0.02024
35	1 351	587.4	10.46	1 122	4 877	3 354	0.4579	0.02843	1.288 × 10 ⁻⁴	1.078 × 10 ⁻⁵	1.372	1.272	0.00275	0.01917
40	1 555	579.4	12.03	1 099	4 932	3 486	0.4464	0.02943	1.219 × 10 ⁻⁴	1.099 × 10 ⁻⁵	1.347	1.303	0.00287	0.01810
45	1 782	571.3	13.8	1 075	4 993	3 631	0.4348	0.03049	1.155 × 10 ⁻⁴	1.121 × 10 ⁻⁵	1.327	1.335	0.00301	0.01704
50	2 033	562.9	15.78	1 051	5 063	3 790	0.4232	0.03162	1.094 × 10 ⁻⁴	1.143 × 10 ⁻⁵	1.310	1.371	0.00316	0.01598
55	2 310	554.2	18.00	1 025	5 143	3 967	0.4116	0.03283	1.037 × 10 ⁻⁴	1.166 × 10 ⁻⁵	1.297	1.409	0.00334	0.01493
60	2 614	545.2	20.48	997.4	5 234	4 163	0.4001	0.03412	9.846 × 10 ⁻⁵	1.189 × 10 ⁻⁵	1.288	1.452	0.00354	0.01389
65	2 948	536.0	23.26	968.9	5 340	4 384	0.3885	0.03550	9.347 × 10 ⁻⁵	1.213 × 10 ⁻⁵	1.285	1.499	0.00377	0.01285
70	3 312	526.3	26.39	939.0	5 463	4 634	0.3769	0.03700	8.879 × 10 ⁻⁵	1.238 × 10 ⁻⁵	1.287	1.551	0.00404	0.01181
75	3 709	516.2	29.90	907.5	5 608	4 923	0.3653	0.03862	8.440 × 10 ⁻⁵	1.264 × 10 ⁻⁵	1.296	1.612	0.00436	0.01079
80	4 141	505.7	33.87	874.1	5 780	5 260	0.3538	0.04038	8.030 × 10 ⁻⁵	1.292 × 10 ⁻⁵	1.312	1.683	0.00474	0.00977
85	4 609	494.5	38.36	838.6	5 988	5 659	0.3422	0.04232	7.645 × 10 ⁻⁵	1.322 × 10 ⁻⁵	1.338	1.768	0.00521	0.00876
90	5 116	482.8	43.48	800.6	6 242	6 142	0.3306	0.04447	7.284 × 10 ⁻⁵	1.354 × 10 ⁻⁵	1.375	1.871	0.00579	0.00776
95	5 665	470.2	49.35	759.8	6 561	6 740	0.3190	0.04687	6.946 × 10 ⁻⁵	1.389 × 10 ⁻⁵	1.429	1.999	0.00652	0.00677
100	6 257	456.6	56.15	715.5	6 972	7 503	0.3075	0.04958	6.628 × 10 ⁻⁵	1.429 × 10 ⁻⁵	1.503	2.163	0.00749	0.00579

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las propiedades cuya lista se da aquí (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualesquiera presiones con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C para calores específicos es equivalente a kJ/kg · K, y la unidad W/m · °C para conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Tillner-Roth, Harms-Watzenberg y Baehr, "Eine neue Fundamentalgleichung für Ammoniak", DKV-Tagungsbericht 20:167-181, 1993; Liley y Desai, "Thermophysical Properties of Refrigerants", ASHRAE, 1993, ISBN 1-1883413-10-9.

TABLA A-12

Propiedades del propano saturado

Temp., <i>T</i> , °C	Presión de satu- ración, <i>P</i> , kPa	Densidad, <i>ρ</i> , kg/m ³		Entalpía de vaporización, <i>h_{fg}</i> , kJ/kg	Calor específico, <i>c_p</i> , J/kg · K		Conductividad térmica, <i>k</i> , W/m · K		Viscosidad dinámica, <i>μ</i> , kg/m · s		Número de Prandtl, <i>Pr</i>		Coeficiente de expansión volumétrica, Tensión superficial, <i>β</i> , 1/K, <i>N/m</i>	
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	N/m
-120	0.4053	664.7	0.01408	498.3	2 003	1 115	0.1802	0.00589	6.136×10^{-4}	4.372×10^{-6}	6.820	0.827	0.00153	0.02630
-110	1.157	654.5	0.03776	489.3	2 021	1 148	0.1738	0.00645	5.054×10^{-4}	4.625×10^{-6}	5.878	0.822	0.00157	0.02486
-100	2.881	644.2	0.08872	480.4	2 044	1 183	0.1672	0.00705	4.252×10^{-4}	4.881×10^{-6}	5.195	0.819	0.00161	0.02344
-90	6.406	633.8	0.1870	471.5	2 070	1 221	0.1606	0.00769	3.635×10^{-4}	5.143×10^{-6}	4.686	0.817	0.00166	0.02202
-80	12.97	623.2	0.3602	462.4	2 100	1 263	0.1539	0.00836	3.149×10^{-4}	5.409×10^{-6}	4.297	0.817	0.00171	0.02062
-70	24.26	612.5	0.6439	453.1	2 134	1 308	0.1472	0.00908	2.755×10^{-4}	5.680×10^{-6}	3.994	0.818	0.00177	0.01923
-60	42.46	601.5	1.081	443.5	2 173	1 358	0.1407	0.00985	2.430×10^{-4}	5.956×10^{-6}	3.755	0.821	0.00184	0.01785
-50	70.24	590.3	1.724	433.6	2 217	1 412	0.1343	0.01067	2.158×10^{-4}	6.239×10^{-6}	3.563	0.825	0.00192	0.01649
-40	110.7	578.8	2.629	423.1	2 258	1 471	0.1281	0.01155	1.926×10^{-4}	6.529×10^{-6}	3.395	0.831	0.00201	0.01515
-30	167.3	567.0	3.864	412.1	2 310	1 535	0.1221	0.01250	1.726×10^{-4}	6.827×10^{-6}	3.266	0.839	0.00213	0.01382
-20	243.8	554.7	5.503	400.3	2 368	1 605	0.1163	0.01351	1.551×10^{-4}	7.136×10^{-6}	3.158	0.848	0.00226	0.01251
-10	344.4	542.0	7.635	387.8	2 433	1 682	0.1107	0.01459	1.397×10^{-4}	7.457×10^{-6}	3.069	0.860	0.00242	0.01122
0	473.3	528.7	10.36	374.2	2 507	1 768	0.1054	0.01576	1.259×10^{-4}	7.794×10^{-6}	2.996	0.875	0.00262	0.00996
5	549.8	521.8	11.99	367.0	2 547	1 814	0.1028	0.01637	1.195×10^{-4}	7.970×10^{-6}	2.964	0.883	0.00273	0.00934
10	635.1	514.7	13.81	359.5	2 590	1 864	0.1002	0.01701	1.135×10^{-4}	8.151×10^{-6}	2.935	0.893	0.00286	0.00872
15	729.8	507.5	15.85	351.7	2 637	1 917	0.0977	0.01767	1.077×10^{-4}	8.339×10^{-6}	2.909	0.905	0.00301	0.00811
20	834.4	500.0	18.13	343.4	2 688	1 974	0.0952	0.01836	1.022×10^{-4}	8.534×10^{-6}	2.886	0.918	0.00318	0.00751
25	949.7	492.2	20.68	334.8	2 742	2 036	0.0928	0.01908	9.702×10^{-5}	8.738×10^{-6}	2.866	0.933	0.00337	0.00691
30	1 076	484.2	23.53	325.8	2 802	2 104	0.0904	0.01982	9.197×10^{-5}	8.952×10^{-6}	2.850	0.950	0.00358	0.00633
35	1 215	475.8	26.72	316.2	2 869	2 179	0.0881	0.02061	8.710×10^{-5}	9.178×10^{-6}	2.837	0.971	0.00384	0.00575
40	1 366	467.1	30.29	306.1	2 943	2 264	0.0857	0.02142	8.240×10^{-5}	9.417×10^{-6}	2.828	0.995	0.00413	0.00518
45	1 530	458.0	34.29	295.3	3 026	2 361	0.0834	0.02228	7.785×10^{-5}	9.674×10^{-6}	2.824	1.025	0.00448	0.00463
50	1 708	448.5	38.79	283.9	3 122	2 473	0.0811	0.02319	7.343×10^{-5}	9.950×10^{-6}	2.826	1.061	0.00491	0.00408
60	2 110	427.5	49.66	258.4	3 283	2 769	0.0765	0.02517	6.487×10^{-5}	1.058×10^{-5}	2.784	1.164	0.00609	0.00303
70	2 580	403.2	64.02	228.0	3 595	3 241	0.0717	0.02746	5.649×10^{-5}	1.138×10^{-5}	2.834	1.343	0.00811	0.00204
80	3 127	373.0	84.28	189.7	4 501	4 173	0.0663	0.03029	4.790×10^{-5}	1.249×10^{-5}	3.251	1.722	0.01248	0.00114
90	3 769	329.1	118.6	133.2	6 977	7 239	0.0595	0.03441	3.807×10^{-5}	1.448×10^{-5}	4.465	3.047	0.02847	0.00037

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las propiedades cuya lista se da aquí (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualesquiera presiones con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C para calores específicos es equivalente a kJ/kg · K, y la unidad W/m · °C para conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Reiner Tillner-Roth, "Fundamental Equations of State", Shaker, Verlag, Aachen, 1998; B. A. Younglove y J. F. Ely, "Thermophysical Properties of Fluids II Methane, Ethane, Propane, Isobutane and Normal Butane", *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 16, No. 4, 1987; G. R. Somayajulu, "A Generalized Equation for Surface Tension from the Triple Point to the Critical Point", *International Journal of Thermophysics*, Vol. 9, No. 4, 1988.

TABLA A-13

Propiedades de líquidos

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densi- dad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor espe- cífico, $c_p,$ $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conducti- vidad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr	Coefficiente de expan- sión volu- métrica, $\beta,$ $1/\text{K}$
<i>Metano (CH_4)</i>								
-160	420.2	3 492	0.1863	1.270×10^{-7}	1.133×10^{-4}	2.699×10^{-7}	2.126	0.00352
-150	405.0	3 580	0.1703	1.174×10^{-7}	9.169×10^{-5}	2.264×10^{-7}	1.927	0.00391
-140	388.8	3 700	0.1550	1.077×10^{-7}	7.551×10^{-5}	1.942×10^{-7}	1.803	0.00444
-130	371.1	3 875	0.1402	9.749×10^{-8}	6.288×10^{-5}	1.694×10^{-7}	1.738	0.00520
-120	351.4	4 146	0.1258	8.634×10^{-8}	5.257×10^{-5}	1.496×10^{-7}	1.732	0.00637
-110	328.8	4 611	0.1115	7.356×10^{-8}	4.377×10^{-5}	1.331×10^{-7}	1.810	0.00841
-100	301.0	5 578	0.0967	5.761×10^{-8}	3.577×10^{-5}	1.188×10^{-7}	2.063	0.01282
-90	261.7	8 902	0.0797	3.423×10^{-8}	2.761×10^{-5}	1.055×10^{-7}	3.082	0.02922
<i>Metanol [$\text{C}_3\text{H}_3(\text{OH})$]</i>								
20	788.4	2 515	0.1987	1.002×10^{-7}	5.857×10^{-4}	7.429×10^{-7}	7.414	0.00118
30	779.1	2 577	0.1980	9.862×10^{-8}	5.088×10^{-4}	6.531×10^{-7}	6.622	0.00120
40	769.6	2 644	0.1972	9.690×10^{-8}	4.460×10^{-4}	5.795×10^{-7}	5.980	0.00123
50	760.1	2 718	0.1965	9.509×10^{-8}	3.942×10^{-4}	5.185×10^{-7}	5.453	0.00127
60	750.4	2 798	0.1957	9.320×10^{-8}	3.510×10^{-4}	4.677×10^{-7}	5.018	0.00132
70	740.4	2 885	0.1950	9.128×10^{-8}	3.146×10^{-4}	4.250×10^{-7}	4.655	0.00137
<i>Isobutano (R600a)</i>								
-100	683.8	1 881	0.1383	1.075×10^{-7}	9.305×10^{-4}	1.360×10^{-6}	12.65	0.00142
-75	659.3	1 970	0.1357	1.044×10^{-7}	5.624×10^{-4}	8.531×10^{-7}	8.167	0.00150
-50	634.3	2 069	0.1283	9.773×10^{-8}	3.769×10^{-4}	5.942×10^{-7}	6.079	0.00161
-25	608.2	2 180	0.1181	8.906×10^{-8}	2.688×10^{-4}	4.420×10^{-7}	4.963	0.00177
0	580.6	2 306	0.1068	7.974×10^{-8}	1.993×10^{-4}	3.432×10^{-7}	4.304	0.00199
25	550.7	2 455	0.0956	7.069×10^{-8}	1.510×10^{-4}	2.743×10^{-7}	3.880	0.00232
50	517.3	2 640	0.0851	6.233×10^{-8}	1.155×10^{-4}	2.233×10^{-7}	3.582	0.00286
75	478.5	2 896	0.0757	5.460×10^{-8}	8.785×10^{-5}	1.836×10^{-7}	3.363	0.00385
100	429.6	3 361	0.0669	4.634×10^{-8}	6.483×10^{-5}	1.509×10^{-7}	3.256	0.00628
<i>Glicerina</i>								
0	1 276	2 262	0.2820	9.773×10^{-8}	10.49	8.219×10^{-3}	84 101	
5	1 273	2 288	0.2835	9.732×10^{-8}	6.730	5.287×10^{-3}	54 327	
10	1 270	2 320	0.2846	9.662×10^{-8}	4.241	3.339×10^{-3}	34 561	
15	1 267	2 354	0.2856	9.576×10^{-8}	2.496	1.970×10^{-3}	20 570	
20	1 264	2 386	0.2860	9.484×10^{-8}	1.519	1.201×10^{-3}	12 671	
25	1 261	2 416	0.2860	9.388×10^{-8}	0.9934	7.878×10^{-4}	8 392	
30	1 258	2 447	0.2860	9.291×10^{-8}	0.6582	5.232×10^{-4}	5 631	
35	1 255	2 478	0.2860	9.195×10^{-8}	0.4347	3.464×10^{-4}	3 767	
40	1 252	2 513	0.2863	9.101×10^{-8}	0.3073	2.455×10^{-4}	2 697	
<i>Aceite para motor (no usado)</i>								
0	899.0	1 797	0.1469	9.097×10^{-8}	3.814	4.242×10^{-3}	46 636	0.00070
20	888.1	1 881	0.1450	8.680×10^{-8}	0.8374	9.429×10^{-4}	10 863	0.00070
40	876.0	1 964	0.1444	8.391×10^{-8}	0.2177	2.485×10^{-4}	2 962	0.00070
60	863.9	2 048	0.1404	7.934×10^{-8}	0.07399	8.565×10^{-5}	1 080	0.00070
80	852.0	2 132	0.1380	7.599×10^{-8}	0.03232	3.794×10^{-5}	499.3	0.00070
100	840.0	2 220	0.1367	7.330×10^{-8}	0.01718	2.046×10^{-5}	279.1	0.00070
120	828.9	2 308	0.1347	7.042×10^{-8}	0.01029	1.241×10^{-5}	176.3	0.00070
140	816.8	2 395	0.1330	6.798×10^{-8}	0.006558	8.029×10^{-6}	118.1	0.00070
150	810.3	2 441	0.1327	6.708×10^{-8}	0.005344	6.595×10^{-6}	98.31	0.00070

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

TABLA A-14

Propiedades de metales líquidos

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor espe- cífico, c_p , J/kg · K	Conducti- vidad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr	Coeficiente de expan- sión volu- métrica, β , 1/K
<i>Mercurio (Hg) punto de fusión: -39°C</i>								
0	13 595	140.4	8.18200	4.287×10^{-6}	1.687×10^{-3}	1.241×10^{-7}	0.0289	1.810×10^{-4}
25	13 534	139.4	8.51533	4.514×10^{-6}	1.534×10^{-3}	1.133×10^{-7}	0.0251	1.810×10^{-4}
50	13 473	138.6	8.83632	4.734×10^{-6}	1.423×10^{-3}	1.056×10^{-7}	0.0223	1.810×10^{-4}
75	13 412	137.8	9.15632	4.956×10^{-6}	1.316×10^{-3}	9.819×10^{-8}	0.0198	1.810×10^{-4}
100	13 351	137.1	9.46706	5.170×10^{-6}	1.245×10^{-3}	9.326×10^{-8}	0.0180	1.810×10^{-4}
150	13 231	136.1	10.07780	5.595×10^{-6}	1.126×10^{-3}	8.514×10^{-8}	0.0152	1.810×10^{-4}
200	13 112	135.5	10.65465	5.996×10^{-6}	1.043×10^{-3}	7.959×10^{-8}	0.0133	1.815×10^{-4}
250	12 993	135.3	11.18150	6.363×10^{-6}	9.820×10^{-4}	7.558×10^{-8}	0.0119	1.829×10^{-4}
300	12 873	135.3	11.68150	6.705×10^{-6}	9.336×10^{-4}	7.252×10^{-8}	0.0108	1.854×10^{-4}
<i>Bismuto (Bi) punto de fusión: 271°C</i>								
350	9 969	146.0	16.28	1.118×10^{-5}	1.540×10^{-3}	1.545×10^{-7}	0.01381	
400	9 908	148.2	16.10	1.096×10^{-5}	1.422×10^{-3}	1.436×10^{-7}	0.01310	
500	9 785	152.8	15.74	1.052×10^{-5}	1.188×10^{-3}	1.215×10^{-7}	0.01154	
600	9 663	157.3	15.60	1.026×10^{-5}	1.013×10^{-3}	1.048×10^{-7}	0.01022	
700	9 540	161.8	15.60	1.010×10^{-5}	8.736×10^{-4}	9.157×10^{-8}	0.00906	
<i>Plomo (Pb) punto de fusión: 327°C</i>								
400	10 506	158	15.97	9.623×10^{-6}	2.277×10^{-3}	2.167×10^{-7}	0.02252	
450	10 449	156	15.74	9.649×10^{-6}	2.065×10^{-3}	1.976×10^{-7}	0.02048	
500	10 390	155	15.54	9.651×10^{-6}	1.884×10^{-3}	1.814×10^{-7}	0.01879	
550	10 329	155	15.39	9.610×10^{-6}	1.758×10^{-3}	1.702×10^{-7}	0.01771	
600	10 267	155	15.23	9.568×10^{-6}	1.632×10^{-3}	1.589×10^{-7}	0.01661	
650	10 206	155	15.07	9.526×10^{-6}	1.505×10^{-3}	1.475×10^{-7}	0.01549	
700	10 145	155	14.91	9.483×10^{-6}	1.379×10^{-3}	1.360×10^{-7}	0.01434	
<i>Sodio (Na) punto de fusión: 98°C</i>								
100	927.3	1 378	85.84	6.718×10^{-5}	6.892×10^{-4}	7.432×10^{-7}	0.01106	
200	902.5	1 349	80.84	6.639×10^{-5}	5.385×10^{-4}	5.967×10^{-7}	0.008987	
300	877.8	1 320	75.84	6.544×10^{-5}	3.878×10^{-4}	4.418×10^{-7}	0.006751	
400	853.0	1 296	71.20	6.437×10^{-5}	2.720×10^{-4}	3.188×10^{-7}	0.004953	
500	828.5	1 284	67.41	6.335×10^{-5}	2.411×10^{-4}	2.909×10^{-7}	0.004593	
600	804.0	1 272	63.63	6.220×10^{-5}	2.101×10^{-4}	2.614×10^{-7}	0.004202	
<i>Potasio (K) punto de fusión: 64°C</i>								
200	795.2	790.8	43.99	6.995×10^{-5}	3.350×10^{-4}	4.213×10^{-7}	0.006023	
300	771.6	772.8	42.01	7.045×10^{-5}	2.667×10^{-4}	3.456×10^{-7}	0.004906	
400	748.0	754.8	40.03	7.090×10^{-5}	1.984×10^{-4}	2.652×10^{-7}	0.00374	
500	723.9	750.0	37.81	6.964×10^{-5}	1.668×10^{-4}	2.304×10^{-7}	0.003309	
600	699.6	750.0	35.50	6.765×10^{-5}	1.487×10^{-4}	2.126×10^{-7}	0.003143	
<i>Sodio-potasio (%22Na-%78K) punto de fusión: -11°C</i>								
100	847.3	944.4	25.64	3.205×10^{-5}	5.707×10^{-4}	6.736×10^{-7}	0.02102	
200	823.2	922.5	26.27	3.459×10^{-5}	4.587×10^{-4}	5.572×10^{-7}	0.01611	
300	799.1	900.6	26.89	3.736×10^{-5}	3.467×10^{-4}	4.339×10^{-7}	0.01161	
400	775.0	879.0	27.50	4.037×10^{-5}	2.357×10^{-4}	3.041×10^{-7}	0.00753	
500	751.5	880.1	27.89	4.217×10^{-5}	2.108×10^{-4}	2.805×10^{-7}	0.00665	
600	728.0	881.2	28.28	4.408×10^{-5}	1.859×10^{-4}	2.553×10^{-7}	0.00579	

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

TABLA A-16

Propiedades de gases a la presión de 1 atm

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
<i>Bióxido de carbono, CO₂</i>							
-50	2.4035	746	0.01051	5.860×10^{-6}	1.129×10^{-5}	4.699×10^{-6}	0.8019
0	1.9635	811	0.01456	9.141×10^{-6}	1.375×10^{-5}	7.003×10^{-6}	0.7661
50	1.6597	866.6	0.01858	1.291×10^{-5}	1.612×10^{-5}	9.714×10^{-6}	0.7520
100	1.4373	914.8	0.02257	1.716×10^{-5}	1.841×10^{-5}	1.281×10^{-5}	0.7464
150	1.2675	957.4	0.02652	2.186×10^{-5}	2.063×10^{-5}	1.627×10^{-5}	0.7445
200	1.1336	995.2	0.03044	2.698×10^{-5}	2.276×10^{-5}	2.008×10^{-5}	0.7442
300	0.9358	1 060	0.03814	3.847×10^{-5}	2.682×10^{-5}	2.866×10^{-5}	0.7450
400	0.7968	1 112	0.04565	5.151×10^{-5}	3.061×10^{-5}	3.842×10^{-5}	0.7458
500	0.6937	1 156	0.05293	6.600×10^{-5}	3.416×10^{-5}	4.924×10^{-5}	0.7460
1 000	0.4213	1 292	0.08491	1.560×10^{-4}	4.898×10^{-5}	1.162×10^{-4}	0.7455
1 500	0.3025	1 356	0.10688	2.606×10^{-4}	6.106×10^{-5}	2.019×10^{-4}	0.7745
2 000	0.2359	1 387	0.11522	3.521×10^{-4}	7.322×10^{-5}	3.103×10^{-4}	0.8815
<i>Monóxido de carbono, CO</i>							
-50	1.5297	1 081	0.01901	1.149×10^{-5}	1.378×10^{-5}	9.012×10^{-6}	0.7840
0	1.2497	1 048	0.02278	1.739×10^{-5}	1.629×10^{-5}	1.303×10^{-5}	0.7499
50	1.0563	1 039	0.02641	2.407×10^{-5}	1.863×10^{-5}	1.764×10^{-5}	0.7328
100	0.9148	1 041	0.02992	3.142×10^{-5}	2.080×10^{-5}	2.274×10^{-5}	0.7239
150	0.8067	1 049	0.03330	3.936×10^{-5}	2.283×10^{-5}	2.830×10^{-5}	0.7191
200	0.7214	1 060	0.03656	4.782×10^{-5}	2.472×10^{-5}	3.426×10^{-5}	0.7164
300	0.5956	1 085	0.04277	6.619×10^{-5}	2.812×10^{-5}	4.722×10^{-5}	0.7134
400	0.5071	1 111	0.04860	8.628×10^{-5}	3.111×10^{-5}	6.136×10^{-5}	0.7111
500	0.4415	1 135	0.05412	1.079×10^{-4}	3.379×10^{-5}	7.653×10^{-5}	0.7087
1 000	0.2681	1 226	0.07894	2.401×10^{-4}	4.557×10^{-5}	1.700×10^{-4}	0.7080
1 500	0.1925	1 279	0.10458	4.246×10^{-4}	6.321×10^{-5}	3.284×10^{-4}	0.7733
2 000	0.1502	1 309	0.13833	7.034×10^{-4}	9.826×10^{-5}	6.543×10^{-4}	0.9302
<i>Metano, CH₄</i>							
-50	0.8761	2 243	0.02367	1.204×10^{-5}	8.564×10^{-6}	9.774×10^{-6}	0.8116
0	0.7158	2 217	0.03042	1.917×10^{-5}	1.028×10^{-5}	1.436×10^{-5}	0.7494
50	0.6050	2 302	0.03766	2.704×10^{-5}	1.191×10^{-5}	1.969×10^{-5}	0.7282
100	0.5240	2 443	0.04534	3.543×10^{-5}	1.345×10^{-5}	2.567×10^{-5}	0.7247
150	0.4620	2 611	0.05344	4.431×10^{-5}	1.491×10^{-5}	3.227×10^{-5}	0.7284
200	0.4132	2 791	0.06194	5.370×10^{-5}	1.630×10^{-5}	3.944×10^{-5}	0.7344
300	0.3411	3 158	0.07996	7.422×10^{-5}	1.886×10^{-5}	5.529×10^{-5}	0.7450
400	0.2904	3 510	0.09918	9.727×10^{-5}	2.119×10^{-5}	7.297×10^{-5}	0.7501
500	0.2529	3 836	0.11933	1.230×10^{-4}	2.334×10^{-5}	9.228×10^{-5}	0.7502
1 000	0.1536	5 042	0.22562	2.914×10^{-4}	3.281×10^{-5}	2.136×10^{-4}	0.7331
1 500	0.1103	5 701	0.31857	5.068×10^{-4}	4.434×10^{-5}	4.022×10^{-4}	0.7936
2 000	0.0860	6 001	0.36750	7.120×10^{-4}	6.360×10^{-5}	7.395×10^{-4}	1.0386
<i>Hidrógeno, H₂</i>							
-50	0.11010	12 635	0.1404	1.009×10^{-4}	7.293×10^{-6}	6.624×10^{-5}	0.6562
0	0.08995	13 920	0.1652	1.319×10^{-4}	8.391×10^{-6}	9.329×10^{-5}	0.7071
50	0.07603	14 349	0.1881	1.724×10^{-4}	9.427×10^{-6}	1.240×10^{-4}	0.7191
100	0.06584	14 473	0.2095	2.199×10^{-4}	1.041×10^{-5}	1.582×10^{-4}	0.7196
150	0.05806	14 492	0.2296	2.729×10^{-4}	1.136×10^{-5}	1.957×10^{-4}	0.7174
200	0.05193	14 482	0.2486	3.306×10^{-4}	1.228×10^{-5}	2.365×10^{-4}	0.7155
300	0.04287	14 481	0.2843	4.580×10^{-4}	1.403×10^{-5}	3.274×10^{-4}	0.7149
400	0.03650	14 540	0.3180	5.992×10^{-4}	1.570×10^{-5}	4.302×10^{-4}	0.7179
500	0.03178	14 653	0.3509	7.535×10^{-4}	1.730×10^{-5}	5.443×10^{-4}	0.7224
1 000	0.01930	15 577	0.5206	1.732×10^{-3}	2.455×10^{-5}	1.272×10^{-3}	0.7345
1 500	0.01386	16 553	0.6581	2.869×10^{-3}	3.099×10^{-5}	2.237×10^{-3}	0.7795
2 000	0.01081	17 400	0.5480	2.914×10^{-3}	3.690×10^{-5}	3.414×10^{-3}	1.1717

(continúa)

TABLA A-16

Propiedades de gases a la presión de 1 atm (conclusión)

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
<i>Nitrógeno, N_2</i>							
-50	1.5299	957.3	0.02001	1.366×10^{-5}	1.390×10^{-5}	9.091×10^{-6}	0.6655
0	1.2498	1 035	0.02384	1.843×10^{-5}	1.640×10^{-5}	1.312×10^{-5}	0.7121
50	1.0564	1 042	0.02746	2.494×10^{-5}	1.874×10^{-5}	1.774×10^{-5}	0.7114
100	0.9149	1 041	0.03090	3.244×10^{-5}	2.094×10^{-5}	2.289×10^{-5}	0.7056
150	0.8068	1 043	0.03416	4.058×10^{-5}	2.300×10^{-5}	2.851×10^{-5}	0.7025
200	0.7215	1 050	0.03727	4.921×10^{-5}	2.494×10^{-5}	3.457×10^{-5}	0.7025
300	0.5956	1 070	0.04309	6.758×10^{-5}	2.849×10^{-5}	4.783×10^{-5}	0.7078
400	0.5072	1 095	0.04848	8.727×10^{-5}	3.166×10^{-5}	6.242×10^{-5}	0.7153
500	0.4416	1 120	0.05358	1.083×10^{-4}	3.451×10^{-5}	7.816×10^{-5}	0.7215
1 000	0.2681	1 213	0.07938	2.440×10^{-4}	4.594×10^{-5}	1.713×10^{-4}	0.7022
1 500	0.1925	1 266	0.11793	4.839×10^{-4}	5.562×10^{-5}	2.889×10^{-4}	0.5969
2 000	0.1502	1 297	0.18590	9.543×10^{-4}	6.426×10^{-5}	4.278×10^{-4}	0.4483
<i>Oxígeno, O_2</i>							
-50	1.7475	984.4	0.02067	1.201×10^{-5}	1.616×10^{-5}	9.246×10^{-6}	0.7694
0	1.4277	928.7	0.02472	1.865×10^{-5}	1.916×10^{-5}	1.342×10^{-5}	0.7198
50	1.2068	921.7	0.02867	2.577×10^{-5}	2.194×10^{-5}	1.818×10^{-5}	0.7053
100	1.0451	931.8	0.03254	3.342×10^{-5}	2.451×10^{-5}	2.346×10^{-5}	0.7019
150	0.9216	947.6	0.03637	4.164×10^{-5}	2.694×10^{-5}	2.923×10^{-5}	0.7019
200	0.8242	964.7	0.04014	5.048×10^{-5}	2.923×10^{-5}	3.546×10^{-5}	0.7025
300	0.6804	997.1	0.04751	7.003×10^{-5}	3.350×10^{-5}	4.923×10^{-5}	0.7030
400	0.5793	1 025	0.05463	9.204×10^{-5}	3.744×10^{-5}	6.463×10^{-5}	0.7023
500	0.5044	1 048	0.06148	1.163×10^{-4}	4.114×10^{-5}	8.156×10^{-5}	0.7010
1 000	0.3063	1 121	0.09198	2.678×10^{-4}	5.732×10^{-5}	1.871×10^{-4}	0.6986
1 500	0.2199	1 165	0.11901	4.643×10^{-4}	7.133×10^{-5}	3.243×10^{-4}	0.6985
2 000	0.1716	1 201	0.14705	7.139×10^{-4}	8.417×10^{-5}	4.907×10^{-4}	0.6873
<i>Vapor de agua, H_2O</i>							
-50	0.9839	1 892	0.01353	7.271×10^{-6}	7.187×10^{-6}	7.305×10^{-6}	1.0047
0	0.8038	1 874	0.01673	1.110×10^{-5}	8.956×10^{-6}	1.114×10^{-5}	1.0033
50	0.6794	1 874	0.02032	1.596×10^{-5}	1.078×10^{-5}	1.587×10^{-5}	0.9944
100	0.5884	1 887	0.02429	2.187×10^{-5}	1.265×10^{-5}	2.150×10^{-5}	0.9830
150	0.5189	1 908	0.02861	2.890×10^{-5}	1.456×10^{-5}	2.806×10^{-5}	0.9712
200	0.4640	1 935	0.03326	3.705×10^{-5}	1.650×10^{-5}	3.556×10^{-5}	0.9599
300	0.3831	1 997	0.04345	5.680×10^{-5}	2.045×10^{-5}	5.340×10^{-5}	0.9401
400	0.3262	2 066	0.05467	8.114×10^{-5}	2.446×10^{-5}	7.498×10^{-5}	0.9240
500	0.2840	2 137	0.06677	1.100×10^{-4}	2.847×10^{-5}	1.002×10^{-4}	0.9108
1 000	0.1725	2 471	0.13623	3.196×10^{-4}	4.762×10^{-5}	2.761×10^{-4}	0.8639
1 500	0.1238	2 736	0.21301	6.288×10^{-4}	6.411×10^{-5}	5.177×10^{-4}	0.8233
2 000	0.0966	2 928	0.29183	1.032×10^{-3}	7.808×10^{-5}	8.084×10^{-4}	0.7833

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

TABLA A-17

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, z , m	Temperatura, T , °C	Presión, P , kPa	Gravedad, g , m/s ²	Velocidad del sonido, c , m/s	Densidad, ρ , kg/m ³	Viscosidad, μ , kg/m · s	Conductividad térmica, k , W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1 000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1 200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1 400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1 600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1 800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2 000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2 200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2 400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2 600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2 800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3 000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3 200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3 400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3 600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3 800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4 000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4 200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4 400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4 600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4 800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5 000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5 200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5 400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5 600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5 800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6 000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6 200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6 400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6 600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6 800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7 000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8 000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9 000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10 000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12 000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14 000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16 000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18 000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Fuente: U. S. Standard Atmosphere Supplements, U. S. Government Printing Office, 1966. Basadas en las condiciones medias redondeadas al año a 45° de latitud y varían con el momento del año y los patrones meteorológicos. Las condiciones al nivel del mar ($z = 0$) se toman como $P = 101.325$ kPa, $T = 15^\circ\text{C}$, $\rho = 1.2250$ kg/m³, $g = 9.80665$ m/s².

TABLA A-18

Emisividades de las superficies

a) Metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ε	Material	Temperatura, K	Emisividad, ε
Aluminio			Magnesio pulido	300-500	0.07-0.13
Pulido	300-900	0.04-0.06	Mercurio	300-400	0.09-0.12
Lámina comercial	400	0.09	Molibdeno		
Intensamente oxidado	400-800	0.20-0.33	Pulido	300-2 000	0.05-0.21
Anodizado	300	0.8	Oxidado	600-800	0.80-0.82
Bismuto brillante	350	0.34	Níquel		
Latón			Pulido	500-1 200	0.07-0.17
Intensamente pulido	500-650	0.03-0.04	Oxidado	450-1 000	0.37-0.57
Pulido	350	0.09	Platino pulido	500-1 500	0.06-0.18
Placa mate	300-600	0.22	Plata pulida	300-1 000	0.02-0.07
Oxidado	450-800	0.6	Acero inoxidable		
Cromo pulido	300-1 400	0.08-0.40	Pulido	300-1 000	0.17-0.30
Cobre			Ligeramente oxidado	600-1 000	0.30-0.40
Intensamente pulido	300	0.02	Intensamente oxidado	600-1 000	0.70-0.80
Pulido	300-500	0.04-0.05	Acero		
Lámina comercial	300	0.15	Lámina pulida	300-500	0.08-0.14
Oxidado	600-1 000	0.5-0.8	Lámina comercial	500-1 200	0.20-0.32
Oxidado en negro	300	0.78	Intensamente oxidado	300	0.81
Oro			Estaño pulido	300	0.05
Intensamente pulido	300-1 000	0.03-0.06	Tungsteno		
Hoja brillante	300	0.07	Pulido	300-2 500	0.03-0.29
Hierro			Filamento	3500	0.39
Intensamente pulido	300-500	0.05-0.07	Zinc		
Hierro fundido	300	0.44	Pulido	300-800	0.02-0.05
Hierro forjado	300-500	0.28	Oxidado	300	0.25
Aherrumbrado	300	0.61			
Oxidado	500-900	0.64-0.78			
Plomo					
Pulido	300-500	0.06-0.08			
No oxidado, áspero	300	0.43			
Oxidado	300	0.63			

TABLA A-18

Emisividades de las superficies (*conclusión*)
b) No metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ε	Material	Temperatura, K	Emisividad, ε
Alúmina	800-1 400	0.65-0.45	Papel blanco	300	0.90
Aluminio, óxido de	600-1 500	0.69-0.41	Revoque blanco	300	0.93
Asbesto	300	0.96	Porcelana vidriada	300	0.92
Asfalto, pavimento de	300	0.85-0.93	Cuarzo, áspero, vidrio	300	0.93
Ladrillo			Caucho		
Común	300	0.93-0.96	Duro	300	0.93
De arcilla refractaria	1 200	0.75	Suave	300	0.86
Carbono, filamento de	2 000	0.53	Arena	300	0.90
Tela	300	0.75-0.90	Silicio, carburo de	600-1 500	0.87-0.85
Concreto	300	0.88-0.94	Piel humana	300	0.95
Vidrio			Nieve	273	0.80-0.90
De ventana	300	0.90-0.95	Suelo, tierra	300	0.93-0.96
Pyrex	300-1 200	0.82-0.62	Hollín	300-500	0.95
Pyroceram	300-1 500	0.85-0.57	Teflón	300-500	0.85-0.92
Hielo	273	0.95-0.99	Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Magnesio, óxido de	400-800	0.69-0.55	Madera		
Mampostería	300	0.80	Haya	300	0.94
Pinturas			Roble	300	0.90
De aluminio	300	0.40-0.50			
Negra, laca, lustrosa	300	0.88			
De aceite, todos los colores	300	0.92-0.96			
De base (primer) roja	300	0.93			
Acrílica blanca	300	0.90			
Esmalte blanco	300	0.90			

TABLA A-19

Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales

Descripción/composición	Absortividad solar, α_s	Emisividad, ε , a 300 K	Relación, α_s/ε	Transmisividad solar, τ_s
Aluminio				
Pulido	0.09	0.03	3.0	
Anodizado	0.14	0.84	0.17	
Con capa adicional de cuarzo	0.11	0.37	0.30	
Hoja	0.15	0.05	3.0	
Ladrillo rojo (Purdue)	0.63	0.93	0.68	
Concreto	0.60	0.88	0.68	
Lámina metálica galvanizada				
Limpia, nueva	0.65	0.13	5.0	
Oxidada, con acción de la intemperie	0.80	0.28	2.9	
Vidrio, espesor de 3.2 mm				
Flotado o templado				0.79
Tipo al bajo óxido de hierro				0.88
Mármol, ligeramente blancuzco (no reflector)	0.40	0.88	0.45	
Metal, con chapa				
Sulfuro negro	0.92	0.10	9.2	
Óxido negro de cobalto	0.93	0.30	3.1	
Óxido negro de níquel	0.92	0.08	11	
Cromo negro	0.87	0.09	9.7	
Mylar, espesor de 0.13 mm				0.87
Pinturas				
Negra (Parsons)	0.98	0.98	1.0	
Blanca, acrílica	0.26	0.90	0.29	
Blanca, óxido de zinc	0.16	0.93	0.17	
Papel blanco	0.27	0.83	0.32	
Plexiglas, espesor de 3.2 mm				0.90
Porcelana, losetas de porcelana, blancas (superficie vidriada reflectora)	0.26	0.85	0.30	
Tejas para techo, rojo brillante				
Superficie seca	0.65	0.85	0.76	
Superficie mojada	0.88	0.91	0.96	
Arena seca				
Blancuzca	0.52	0.82	0.63	
Roja mate	0.73	0.86	0.82	
Nieve				
Partículas finas, recién caídas	0.13	0.82	0.16	
Gránulos de hielo	0.33	0.89	0.37	
Acero				
Acabado de espejo	0.41	0.05	8.2	
Intensamente herrumbroso	0.89	0.92	0.96	
Piedra (rosa claro)	0.65	0.87	0.74	
Tedlar, espesor de 0.10 mm				0.92
Teflón, espesor de 0.13 mm				0.92
Madera	0.59	0.90	0.66	

Fuente: V. C. Sharma y A. Sharma, "Solar Properties of Some Building Elements", *Energy* 14 (1989), págs. 805-810, y otras fuentes.

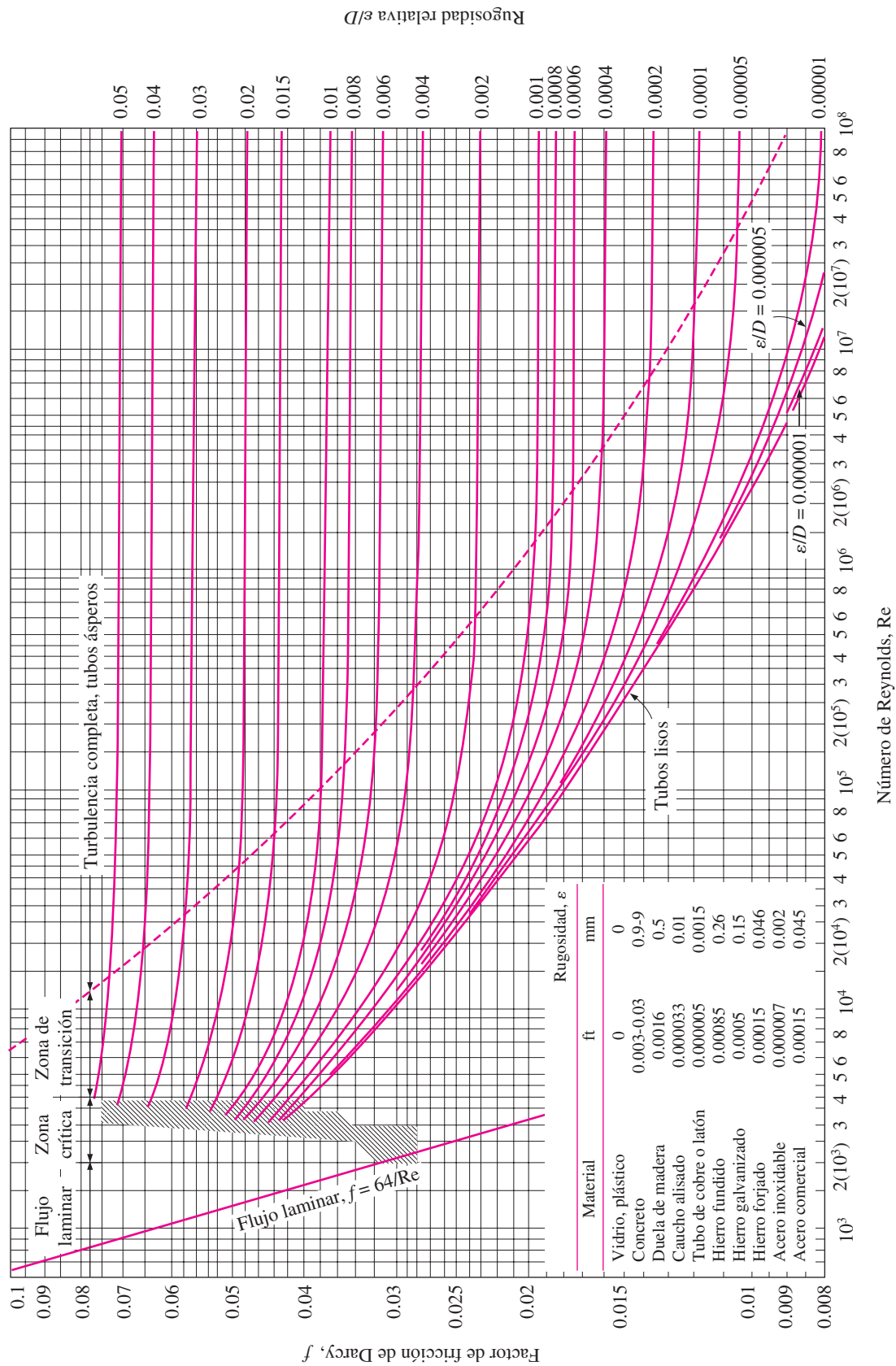


FIGURA A-20

Diagrama de Moody del factor de fricción para flujo completamente desarrollado en tubos circulares para el uso en la relación $\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^3}{2}$. Los factores de fricción en flujo turbulento se evalúan con la ecuación de Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$.

TABLAS Y DIAGRAMAS DE PROPIEDADES (SISTEMA INGLÉS)

Tabla A-1I	Masa molar, gas constante y calores específicos de ciertas sustancias	870
Tabla A-2I	Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación	871
Tabla A-3I	Propiedades de metales sólidos	872-873
Tabla A-4I	Propiedades de no metales sólidos	874
Tabla A-5I	Propiedades de materiales de construcción	875-876
Tabla A-6I	Propiedades de materiales aislantes	877
Tabla A-7I	Propiedades de alimentos comunes	878-879
Tabla A-8I	Propiedades de diversos materiales	880
Tabla A-9I	Propiedades del agua saturada	881
Tabla A-10I	Propiedades del refrigerante 134a saturado	882
Tabla A-11I	Propiedades del amoníaco saturado	883
Tabla A-12I	Propiedades del propano saturado	884
Tabla A-13I	Propiedades de líquidos	885
Tabla A-14I	Propiedades de metales líquidos	886
Tabla A-15I	Propiedades del aire a la presión de 1 atm	887
Tabla A-16I	Propiedades de gases a la presión de 1 atm	888-889
Tabla A-17I	Propiedades de la atmósfera a gran altitud	890

TABLA A-11

Masa molar, gas constante y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar, M , lbm/lbmol	Gas constante R^*		Calores específicos a 77°F		
		Btu/ lbm · R	psia · ft ³ / lbm · R	c_p , Btu/lbm · R	c_v , Btu/lbm · R	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.06855	0.3704	0.2400	0.1715	1.400
Amoniaco, NH ₃	17.03	0.1166	0.6301	0.4999	0.3834	1.304
Argón, Ar	39.95	0.04970	0.2686	0.1243	0.07457	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.01242	0.06714	0.0538	0.04137	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.03415	0.1846	0.3972	0.3631	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.03415	0.1846	0.4046	0.3705	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.04512	0.2438	0.2016	0.1564	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.07089	0.3831	0.2482	0.1772	1.400
Cloruro, Cl ₂	70.905	0.02802	0.1514	0.1142	0.08618	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.02297	0.1241	0.1552	0.1322	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.06604	0.3569	0.4166	0.3506	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.07079	0.3826	0.3647	0.2940	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.05224	0.2823	0.1967	0.1445	1.362
Helio, He	4.003	0.4961	2.681	1.2403	0.7442	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.01982	0.1071	0.3939	0.3740	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.02304	0.1245	0.3951	0.3721	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	0.9850	5.323	3.416	2.431	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.02370	0.1281	0.05923	0.03554	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.1238	0.6688	0.5317	0.4080	1.303
Neón, Ne	20.183	0.09838	0.5316	0.2460	0.1476	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.07089	0.3831	0.2484	0.1774	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.06618	0.3577	0.2387	0.1725	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.04512	0.2438	0.1925	0.1474	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.06205	0.3353	0.2193	0.1572	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.02752	0.1487	0.3974	0.3700	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.04502	0.2433	0.3986	0.3535	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.04720	0.2550	0.3657	0.3184	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.1102	0.5957	0.4455	0.3351	1.329
Sulfuro dióxido de, SO ₂	64.06	0.03100	0.1675	0.1488	0.1178	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.01291	0.06976	0.1293	0.1164	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.01946	0.1052	0.1991	0.1796	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.02363	0.1277	0.2219	0.1983	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.01512	0.08173	0.03781	0.02269	1.667

*El gas constante se calculó de $R = R_u/M$, donde $R_u = 1.9859$ Btu/lbmol · R = 10.732 psia · ft³/lbmol · R es el gas universal y M es la masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

TABLA A-2I

Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación

Sustancia	Datos para la ebullición a 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °F	Calor latente de vaporización, h_{fg} , Btu/lbm	Punto de congelación, °F	Calor latente de, fusión h_{if} , Btu/lbm	Tempera- tura, °F	Densidad, ρ lbm/ft ³	Calor específico, c_p Btu/lbm · R
Amoníaco	-27.9	24.54	-107.9	138.6	-27.9 0 40 80	42.6 41.3 39.5 37.5	1.06 1.081 1.109 1.147
Argón	-302.6	69.5	-308.7	12.0	-302.6	87.0	0.272
Benceno	176.4	169.4	41.9	54.2	68	54.9	0.411
Salmuera (20% de cloruro de sodio en masa)	219.0		0.7	—	68	71.8	0.743
<i>n</i> -Butano	31.1	165.6	-217.3	34.5	31.1	37.5	0.552
Carbono, bióxido de	-109.2*	99.6 (a 32°F)	-69.8	—	32	57.8	0.583
Etanol	172.8	360.5	-173.6	46.9	77	48.9	0.588
Etílico, alcohol	173.5	368	-248.8	46.4	68	49.3	0.678
Etilenglicol	388.6	344.0	12.6	77.9	68	69.2	0.678
Glicerina	355.8	419	66.0	86.3	68	78.7	0.554
Helio	-452.1	9.80	—	—	-452.1	9.13	5.45
Hidrógeno	-423.0	191.7	-434.5	25.6	-423.0	4.41	2.39
Isobutano	10.9	157.8	-255.5	45.5	10.9	37.1	0.545
Queroseno	399-559	108	-12.8	—	68	51.2	0.478
Mercurio	674.1	126.7	-38.0	4.90	77	847	0.033
Metano	-258.7	219.6	296.0	25.1	-258.7 -160	26.4 20.0	0.834 1.074
Metanol	148.1	473	-143.9	42.7	77	49.1	0.609
Nitrógeno	-320.4	85.4	-346.0	10.9	-320.4 -260	50.5 38.2	0.492 0.643
Octano	256.6	131.7	-71.5	77.9	68	43.9	0.502
Aceite (ligero)	—				77	56.8	0.430
Oxígeno	-297.3	91.5	-361.8	5.9	-297.3	71.2	0.408
Petróleo	—	99-165			68	40.0	0.478
Propano	-43.7	184.0	-305.8	34.4	-40 30 100	36.1 33.1 29.4	0.539 0.597 0.695
Refrigerante-134a	-15.0	93.2	-141.9	—	-40 -15 30 90	88.5 86.0 81.1 73.6	0.300 0.306 0.320 0.348
Agua	212	970.5	32	143.5	32 90 150 212	62.4 62.1 61.2 59.8	1.01 1.00 1.00 1.01

* Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la del punto triple de 75.1 psia, el bióxido de carbono existe como sólido o gas. Asimismo, la temperatura en el punto de congelación del bióxido de carbono es la temperatura en el punto triple de -69.8°F.)

TABLA A-31

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, R	Propiedades a 540 R				Propiedades a varias temperaturas (R) $k(\text{Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot \text{R})/c_p(\text{Btu/lbm} \cdot \text{R})$					
		ρ lbm/ft ³	c_p (Btu/ lbm · R)	k Btu/ h · ft · R	$\alpha \times 10^6$ ft ² /s	180	360	720	1 080	1 440	1 800
Aluminio:	1 679	168	0.216	137	1045	174.5	137	138.6	133.4	126	
Puro						0.115	0.191	0.226	0.246	0.273	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	1 395	173	0.209	102.3	785.8	37.6	94.2	107.5	107.5		
Aleación 195, cast (4.5% Cu)		174.2	0.211	97	734	0.113	0.188	0.22	0.249		
							100.5	106.9			
Berilio	2 790	115.5	0.436	115.6	637.2	572	174	93	72.8	61.3	52.5
						0.048	0.266	0.523	0.621	0.624	0.72
Bismuto	981	610.5	0.029	4.6	71	9.5	5.6	4.06			
						0.026	0.028	0.03			
Boro	4 631	156	0.264	15.6	105	109.7	32.06	9.7	6.1	5.5	5.7
						0.03	0.143	0.349	0.451	0.515	0.558
Cadmio	1 069	540	0.055	55.6	521	117.3	57.4	54.7			
						0.047	0.053	0.057			
Cromo	3 812	447	0.107	54.1	313.2	91.9	64.1	52.5	46.6	41.2	37.8
						0.045	0.091	0.115	0.129	0.138	0.147
Cobalto	3 184	553.2	0.101	57.3	286.3	96.5	70.5	49.3	39	33.6	30.1
						0.056	0.09	0.107	0.12	0.131	0.145
Cobre:											
Puro	2 445	559	0.092	231.7	1 259.3	278.5	238.6	227.07	219	212	203.4
						0.06	0.085	0.094	0.01	0.103	0.107
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	2 328	550	0.1	30	150.7		24.3	30	34		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 987	548.1	0.084	31.2	183		0.187	0.109	0.130		
							23.7	37.6	42.8		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	2 139	532.5	0.09	63.6	364.9	43.3	54.9	79.2	86.0		
							0.09	0.09	0.101		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	2 687	557	0.092	13.3	72.3	9.8	1.1				
						0.06	0.09				
Germanio	2 180	334.6	0.08	34.6	373.5	134	56	25	15.7	11.4	10.05
						0.045	0.069	0.08	0.083	0.085	0.089
Oro	2 405	1 205	0.03	183.2	1 367	189	186.6	179.7	172.2	164.09	156
						0.026	0.029	0.031	0.032	0.033	0.034
Iridio	4 896	1 404.6	0.031	85	541.4	99.4	88.4	83.2	79.7	76.3	72.8
						0.021	0.029	0.031	0.032	0.034	0.036
Hierro:											
Puro	3 258	491.3	0.106	46.4	248.6	77.4	54.3	40.2	31.6	25.01	19
						0.051	0.091	0.117	0.137	0.162	0.232
Armco (99.75% puro)		491.3	0.106	42	222.8	55.2	46.6	38	30.7	24.4	18.7
						0.051	0.091	0.117	0.137	0.162	0.233
Aceros al carbono:											
Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		490.3	0.103	35	190.6			32.8	27.7	22.7	17.4
								0.116	0.113	0.163	0.279
AISI 1010		489	0.103	37	202.4			33.9	28.2	22.7	18
								0.116	0.133	0.163	0.278
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		488	0.106	30	160.4			28.8	25.4	21.6	17
								0.119	0.139	0.166	0.231
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		508	0.104	23.7	125			24.4	23	20.2	16
								0.116	0.133	0.163	0.260
Aceros al (bajo) cromo:		488.3	0.106	21.8	117.4			22	21.2	19.3	15.6
$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{4}\text{Mo-Si}$ (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)								0.117	0.137	0.164	0.231
1 Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		490.6	0.106	24.5	131.3			24.3	22.6	20	15.8
								0.117	0.137	0.164	0.231
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		489.2	0.106	28.3	151.8			27.0	24.3	21	16.3
								0.117	0.137	0.164	0.231

TABLA A-3I

Propiedades de metales sólidos (*conclusión*)

Composición	Punto de fusión, R	Propiedades a 540 R				Propiedades a varias temperaturas (R) k(Btu/h · ft · R)/c _p (Btu/lbm · R)					
		ρ lbm/ft ³	c _p (Btu/ lbm · R)	k Btu/ h · ft · R	α × 10 ⁶ ft ² /s	180	360	720	1 080	1 440	1 800
Aceros inoxidables:											
AISI 302	3 006	503	0.114	8.7	42			10	11.6	13.2	14.7
								0.122	0.133	0.140	0.144
AISI 304		493.2	0.114	8.6	42.5	5.31	7.3	9.6	11.5	13	14.7
						0.064	0.096	0.123	0.133	0.139	0.145
AISI 316		514.3	0.111	7.8	37.5			8.8	10.6	12.3	14
						0.12	0.131	0.137	0.143		
AISI 347		498	0.114	8.2	40			9.1	1.1	12.7	14.3
								0.122	0.133	0.14	0.144
Plomo	1 082	708	0.03	20.4	259.4	23	21.2	19.7	18.1		
						0.028	0.029	0.031	0.034		
Magnesio	1 661	109	0.245	90.2	943	87.9	91.9	88.4	86.0	84.4	
						0.155	0.223	0.256	0.279	0.302	
Molibdeno	5 209	639.3	0.06	79.7	578	1 034	82.6	77.4	72.8	68.2	64.7
						0.033	0.053	0.062	0.065	0.068	0.070
Níquel:											
Puro	3 110	555.6	0.106	52.4	247.6	94.8	61.8	46.3	37.9	39	41.4
						0.055	0.091	0.115	0.141	0.126	0.134
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	3 010	524.4	0.1	6.9	36.6			8.0	9.3	12.2	
								0.114	0.125	0.130	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	2 997	531.3	0.104	6.8	33.4	5	5.9	7.8	9.8	11.8	13.9
						—	0.088	0.112	0.121	0.13	0.149
Niobio	4 934	535	0.063	31	254	31.9	30.4	32	33.6	35.4	32.2
						0.044	0.059	0.065	0.067	0.069	0.071
Paladio	3 289	750.4	0.058	41.5	263.7	44.2	41.4	42.5	46	50	54.4
						0.04	0.054	0.059	0.062	0.064	0.067
Platino:											
Puro	3 681	1 339	0.031	41.4	270	44.7	42	41.5	42.3	43.7	45.5
						0.024	0.03	0.032	0.034	0.035	0.036
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	3 240	1 038.2	0.038	27.2	187.3			30	34	37.5	40
								—	—	—	
Renio	6 215	1 317.2	0.032	27.7	180	34	30	26.6	25.5	25.4	25.8
						0.023	0.03	0.033	0.034	0.036	0.037
Rodio	4 025	777.2	0.058	86.7	534	107.5	89	84.3	78.5	73.4	70
						0.035	0.052	0.06	0.065	0.069	0.074
Silicio	3 033	145.5	0.17	85.5	960.2	510.8	152.5	57.2	35.8	24.4	18.0
						0.061	0.132	0.189	0.207	0.218	0.226
Plata	2 223	656	0.056	248	1873	257	248.4	245.5	238	228.8	219
						0.044	0.053	0.057	0.059	0.062	0.066
Tantalio	5 884	1 036.3	0.033	33.2	266	34.2	33.2	33.4	34	34.3	34.8
						0.026	0.031	0.034	0.035	0.036	0.036
Torio	3 641	730.4	0.028	31.2	420.9	34.6	31.5	31.4	32.2	32.9	32.9
						0.024	0.027	0.029	0.032	0.035	0.037
Estaño	909	456.3	0.054	38.5	431.6	49.2	42.4	35.9			
						0.044	0.051	0.058			
Titanio	3 515	281	0.013	12.7	100.3	17.6	14.2	11.8	11.2	11.4	12
						0.071	0.111	0.131	0.141	0.151	0.161
Tungsteno	6 588	1 204.9	0.031	100.5	735.2	120.2	107.5	92	79.2	72.2	68.2
						0.020	0.029	0.032	0.033	0.034	0.035
Uranio	2 531	1 190.5	0.027	16	134.5	12.5	14.5	17.1	19.6	22.4	25.4
						0.022	0.026	0.029	0.035	0.042	0.043
Vanadio	3 946	381	0.117	17.7	110.9	20.7	18	18	19.3	20.6	22.0
						0.061	0.102	0.123	0.128	0.134	0.142
Zinc	1 247	445.7	0.093	67	450	67.6	68.2	64.1	59.5		
						0.07	0.087	0.096	0.104		
Zirconio	3 825	410.2	0.067	13.1	133.5	19.2	14.6	12.5	12	12.5	13.7
						0.049	0.063	0.072	0.77	0.082	0.087

Fuente: Las tablas A-3I y A-4I se obtienen a partir de las tablas respectivas en unidades SI del apéndice 1, aplicando los factores apropiados de convección.

TABLA A-41

Propiedades de no metales sólidos

Composición	Punto de fusión, R	Propiedades a 540 R				Propiedades a varias temperaturas (R), $k(\text{Btu}/\text{h} \cdot \text{ft} \cdot \text{R})/c_p(\text{Btu}/\text{lbm} \cdot \text{R})$					
		ρ lbm/ft ³	c_p (Btu/ lbm · R)	k (Btu/ h · ft · R)	$\alpha \times 10^6$ ft ² /s	180	360	720	1 080	1 440	1 800
Aluminio, óxido de, zafiro	4 181	247.8	0.182	26.6	162.5	260	47.4	18.7	11	7.5	6
Aluminio, óxido de, policristalino	4 181	247.8	0.182	20.8	128	76.8	31.7	15.3	9.3	6	4.5
Berilio, óxido de	4 905	187.3	0.246	157.2	947.3			113.2	64.2	40.4	27.2
Boro	4 631	156	0.264	16	107.5	109.8	30.3	10.8	6.5	4.6	3.6
Boro, fibra de, compuesto epóxico (30% en volumen)	1 062	130						0.355	0.445	0.509	0.561
k , a las fibras				1.3		1.2	1.3	1.31			
k , ⊥ a las fibras				0.34		0.21	0.28	0.34			
c_p			0.268			0.086	0.18	0.34			
Carbono											
Amorfo	2 700	121.7	—	0.92	—	0.38	0.68	1.09	1.26	1.36	1.46
Diamante, tipo IIa aislador	—	219	0.121	1 329	—	5 778	2 311.2	889.8			
Grafito, pirolítico	4 091	138						0.005	0.046	0.203	
k , a las capas				1 126.7		2 871.6	1 866.3	803.2	515.4	385.4	308.5
k , ⊥ a las capas				3.3		9.7	5.3	2.4	1.5	1.16	0.92
c_p			0.169			0.032	0.098	0.236	0.335	0.394	0.428
Grafito, fibra de compuesto epóxico (25% en vol.)	810	87.4									
k , flujo de calor a las fibras				6.4		3.3	5.0	7.5			
k , flujo de calor ⊥ a las fibras				0.5	5	0.4	0.63				
c_p			0.223			0.08	0.153	0.29			
Pirocerámico Corning 9606	2 921	162.3	0.193	2.3	20.3	3.0	2.3	2.1	1.9	1.7	1.7
Silicio, carburo de	5 580	197.3	0.161	283.1	2 475.7			—	—	—	50.3
Silicio, bióxido de, cristalino (cuarzo)	3 389	165.4						0.210	0.25	0.27	0.285
k , al eje c				6		22.5	9.5	4.4	2.9	2.4	
k , ⊥ al eje c				3.6		12.0	5.9	2.7	2	1.8	
c_p			0.177			—	—	0.211	0.256	0.298	
Silicio, bióxido de, policristalino (vidrio de sílice)	3 389	138.6	0.177	0.79	9	0.4	0.65	0.87	1.01	1.25	1.65
Silicio, nitruro de	3 911	150	0.165	9.2	104	—	—	0.216	0.248	0.264	0.276
Azufre	706	130	0.169	0.1	1.51	0.095	0.1	8.0	6.5	5.7	5.0
Torio, bióxido de	6 431	568.7	0.561	7.5	65.7	0.962	0.144	0.185	0.223	0.253	0.275
Titanio, bióxido de, policristalino	3 840	259.5	0.170	4.9	30.1			5.9	3.8	2.7	2.12
								0.609	0.654	0.680	0.704
								4.0	2.9	2.3	2
								0.192	0.210	0.217	0.222

TABLA A-5I

Propiedades de materiales de construcción
(a una temperatura media de 75°F)

Material	Espesor, L in	Densidad, ρ lbm/ft ³	Conductividad térmica, k Btu-in/h · ft ² · °F	Calor específico, c_p Btu/lbm · R	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °F · h · ft ² /Btu
Tableros de construcción					
Tablero de asbesto-cemento	$\frac{1}{4}$ in	120	—	0.24	0.06
Tablero de yeso de revoque	$\frac{3}{8}$ in	50	—	0.26	0.32
Madera contrachapada (abeto Douglas)	$\frac{1}{2}$ in	50	—	—	0.45
	—	34	0.80	0.29	—
	$\frac{1}{4}$ in	34	—	0.29	0.31
	$\frac{3}{8}$ in	34	—	0.29	0.47
	$\frac{1}{2}$ in	34	—	0.29	0.62
	$\frac{3}{4}$ in	34	—	0.29	0.93
Tablero y entablado aislados	$\frac{1}{2}$ in	18	—	0.31	1.32
(densidad común)	$\frac{25}{32}$ in	18	—	0.31	2.06
Tablero duro (de alta densidad, templado estándar)	—	63	1.00	0.32	—
Tablero aglutinado:					
Densidad media	—	50	0.94	0.31	—
Contrapiso	$\frac{5}{8}$ in	40	—	0.29	0.82
Contrapiso de madera	$\frac{3}{4}$ in	—	—	0.33	0.94
Membrana de construcción					
Fieltro permeable al vapor	—	—	—	—	0.06
Sello de vapor (2 capas de fieltro de 17.3 lbm/ft ² estropajado)	—	—	—	—	0.12
Materiales para pisos					
Alfombra y carpeta fibrosa	—	—	—	0.34	2.08
Alfombra y carpeta de caucho	—	—	—	0.33	1.23
Loseta (asfalto, linóleo, vinilo)	—	—	—	0.30	0.05
Materiales para mampostería					
<i>Unidades de mampostería:</i>					
Ladrillo común		120	5.0	—	—
Ladrillo para fachada		130	9.0	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria		150	9.3	—	—
		120	6.2	0.19	—
		70	2.8	—	—
Bloques de concreto (3 núcleos ovales, agregado de arena y grava)	4 in	—	5.34	—	0.71
	8 in	—	6.94	—	1.11
	12 in	—	9.02	—	1.28
<i>Concretos:</i>					
Agregados ligeros (incluyendo esquisto, arcilla o pizarra expandidos; escorias de alto horno expandidas; cenizas de alto horno; piedra pómez y escoria)		120	5.2	—	—
		100	3.6	0.2	—
		80	2.5	0.2	—
		60	1.7	—	—
		40	1.15	—	—
Cemento/cal, mortero y estuco		120	9.7	—	—
		80	4.5	—	—
Estuco		116	5.0	—	—

TABLA A-51

Propiedades de materiales de construcción (*conclusión*)
(a una temperatura media de 75°F)

Material	Espesor, L in	Densidad, ρ lbm/ft ³	Conductividad térmica, k Btu-in/h · ft ² · °F	Calor específico, c_p Btu/lbm · R	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °F · h · ft ² /Btu
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		120	—	0.24	0.21
Asfalto en rollos		70	—	0.36	0.15
Tejas de asfalto		70	—	0.30	0.44
Techado incorporado	$\frac{3}{8}$ in	70	—	0.35	0.33
Piarra	$\frac{1}{2}$ in	—	—	0.30	0.05
Tejas de madera (simples y con cara de película de plástico)		—	—	0.31	0.94
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	$\frac{3}{4}$ in	116	5.0	0.20	0.15
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	$\frac{1}{2}$ in	45	—	—	0.32
Agregado de arena	$\frac{1}{2}$ in	105	5.6	0.20	0.09
Agregado de perlita	—	45	1.5	0.32	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	120	—	—	0.21
Forro de tablero duro	$\frac{7}{16}$ in	—	—	0.28	0.67
Forro de madera (rebajada)	$\frac{1}{2}$ in	—	—	0.31	0.79
Forro de madera (contrachapada, traslapada)	$\frac{3}{8}$ in	—	—	0.29	0.59
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	$\frac{3}{8}$ in	—	—	0.29	0.61
Con respaldo de tablero aislante	$\frac{3}{8}$ in	—	—	0.32	1.82
Vidrio arquitectónico	—	158	6.9	0.21	0.10
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	45	1.10	0.30	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	32	0.80	0.33	—
Metales					
Aluminio (1100)	—	171	1 536	0.214	—
Acero dulce	—	489	314	0.120	—
Acero inoxidable	—	494	108	0.109	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

TABLA A-6I

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 75°F)

Material	Espesor, L in	Densidad, ρ lbm/ft ³	Conductividad térmica, k Btu-in/h · ft ² · °F	Calor específico, c_p Btu/lbm · R	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °F · h · ft ² /Btu
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa)	~2 a 2 $\frac{3}{4}$ in	0.3-2.0	—	0.17-0.23	7
procesada a partir de roca,	~3 a 3 $\frac{1}{2}$ in	0.3-2.0	—	0.17-0.23	11
escoria o vidrio)	~5 $\frac{1}{4}$ a 6 $\frac{1}{2}$ in	0.3-2.0	—	0.17-0.23	19
Tablero y losa					
Vidrio celular		8.5	0.38	0.24	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		4-9	0.25	0.23	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		1.0	0.28	0.29	—
Poliuretano expandido (R -11 expandido)		1.5	0.16	0.38	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		1.0	0.36	0.30	—
Caucho expandido (rígido)		4.5	0.22	0.40	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		15	0.29	0.17	—
Corcho		7.5	0.27	0.43	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		1.5-2.5	0.16-0.18	—	—
Fibra de vidrio		3.5-4.5	0.26-0.27	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		4.4	0.18	0.25	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		12	0.32	—	—
Relleno flojo					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~3.75 a 5 in	0.6-0.20	—	0.17	11
	~6.5 a 8.75 in	0.6-0.20	—	0.17	19
	~7.5 a 10 in	—	—	0.17	22
	~7.25 in	—	—	0.17	30
Aerogel de sílice		7.6	0.17	—	—
Vermiculita (expandida)		7-8	0.47	—	—
Perlita (expandida)		2-4.1	0.27-0.31	—	—
Aserrín o virutas		8-15	0.45	—	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		0.3-3.2	0.27-0.32	—	—
Cork, granulado		10	0.31	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	9	0.4	0.24	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	$\frac{1}{2}$ in	—	—	0.24	1.39
	1 in	—	—	0.50	2.78
	2 in	—	—	0.94	5.56
Aislamiento reflector					
Polvo de sílice (al vacío)		10	0.0118	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (270 R)		2.5	0.0011	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (270 R)		7.5	0.00012	—	—

TABLA A-71

Propiedades de alimentos comunes

a) Calores específicos y propiedades en el punto de congelación

Alimento	Contenido de agua, ^a % (masa)	Punto de congelación ^a °F	Calor específico, ^b Btu/lbm · °F		Calor latente de fusión, ^c Btu/lb
			Arriba del punto de congelación	Debajo del punto de congelación	
Vegetales					
Alcachofas	84	30	0.873	0.453	121
Espárragos	93	31	0.945	0.481	134
Frijoles	89	31	0.913	0.468	128
Brócoli	90	31	0.921	0.471	129
Col	92	30	0.937	0.478	132
Zanahorias	88	29	0.905	0.465	126
Coliflor	92	31	0.937	0.478	132
Apio	94	31	0.953	0.484	135
Maíz tierno	74	31	0.793	0.423	106
Pepinos	96	31	0.969	0.490	138
Berenjena	93	31	0.945	0.481	134
Rábano	75	29	0.801	0.426	108
Poro	85	31	0.881	0.456	122
Lechuga	95	32	0.961	0.487	136
Hongos	91	30	0.929	0.474	131
Quimbombó	90	29	0.921	0.471	129
Cebollas frescas	89	30	0.913	0.468	128
Cebollas secas	88	31	0.905	0.465	126
Perejil	85	30	0.881	0.456	122
Chicharos frescos	74	31	0.793	0.423	106
Pimientos	92	31	0.937	0.478	132
Papas	78	31	0.825	0.435	112
Calabazas	91	31	0.929	0.474	131
Espinaca	93	31	0.945	0.481	134
Tomate rojo	94	31	0.953	0.484	135
Nabos	92	30	0.937	0.478	132
Frutas					
Manzanas	84	30	0.873	0.453	121
Chabacanos	85	30	0.881	0.456	122
Aguacates	65	31	0.721	0.396	93
Plátanos	75	31	0.801	0.426	108
Moras azules	82	29	0.857	0.447	118
Melones	92	30	0.937	0.478	132
Cerezas agrias	84	29	0.873	0.453	121
Cerezas dulces	80	29	0.841	0.441	115
Higos secos	23	—	—	0.270	33
Higos frescos	78	28	0.825	0.435	112
Toronja	89	30	0.913	0.468	128
Uvas	82	29	0.857	0.447	118
Limones	89	29	0.913	0.468	128
Aceitunas	75	29	0.801	0.426	108
Naranjas	87	31	0.897	0.462	125
Duraznos	89	30	0.913	0.468	128
Alimento					
Peras	83	29	0.865	0.450	119
Piñas	85	30	0.881	0.456	122
Ciruelas	86	31	0.889	0.459	124
Membrillos	85	28	0.881	0.456	122
Pasas	18	—	—	0.255	26
Fresas	90	31	0.921	0.471	129
Mandarinas	87	30	0.897	0.462	125
Sandías	93	31	0.945	0.481	134
Pescado/mariscos					
Bacalao entero	78	28	0.825	0.435	112
Hipopogoso entero	75	28	0.801	0.426	108
Langosta	79	28	0.833	0.438	113
Macarela	57	28	0.657	0.372	82
Salmón entero	64	28	0.713	0.393	92
Camarón	83	28	0.865	0.450	119
Carnes					
Res, canal de	49	29	0.593	0.348	70
Hígado	70	29	0.761	0.411	101
Bistec	67	—	0.737	0.402	96
Lomo	56	—	0.649	0.369	80
Pollo	74	27	0.793	0.423	106
Cordero, pierna de	65	—	0.721	0.396	93
Cerdo, canal de	37	—	0.497	0.312	53
Jamón	56	29	0.649	0.369	80
Salchicha de puerco	38	—	0.505	0.315	55
Pavo	64	—	0.713	0.393	92
Otros					
Almendras	5	—	—	0.216	7
Mantequilla	16	—	—	0.249	23
Queso					
americano	37	9	0.497	0.312	53
Queso suizo	39	14	0.513	0.318	56
Chocolate con leche	1	—	—	0.204	1
Huevos enteros	74	31	0.793	0.423	106
Miel de abeja	17	—	—	0.252	24
Mantecado	63	22	0.705	0.390	90
Leche entera	88	31	0.905	0.465	126
Cacahuates	6	—	—	0.219	9
Cacahuates tostados	2	—	—	0.207	3
Nueces encarameladas	3	—	—	0.210	4
Nueces	4	—	—	0.213	6

Fuentes: ^aLos datos sobre los contenidos de agua y los puntos de congelación se tomaron del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión I-P (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tabla 1. Usado con autorización. El punto de congelación es la temperatura a la cual esa congelación se inicia para las frutas y los vegetales, y la temperatura promedio de congelación para los otros alimentos.

^bLos datos del calor específico están basados en los valores del calor específico del agua y el hielo a 32°F y se determinan con base en las fórmulas de Siebel: $C_{p, \text{fresco}} = 0.800 \times (\text{contenido de agua}) + 0.200$, arriba del punto de congelación, y $C_{p, \text{congelado}} = 0.300 \times (\text{contenido de agua}) + 0.200$, debajo del punto de congelación.

^cEl calor latente de fusión se determina al multiplicar el calor de fusión del agua (143 Btu/lbm) por el contenido de agua del alimento.

TABLA A-7I

Propiedades de alimentos comunes (*conclusión*)

b) Otras propiedades

Alimento	Contenido de agua, % (masa)	Temperatura, T , °F	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · °F	Difusividad térmica, α , ft ² /S	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R
Frutas/Vegetales						
Manzana, jugo de	87	68	62.4	0.323	1.51×10^{-6}	0.922
Manzanas	85	32-86	52.4	0.242	1.47×10^{-6}	0.910
Manzanas secas	41.6	73	53.4	0.127	1.03×10^{-6}	0.650
Chabacanos secos	43.6	73	82.4	0.217	1.22×10^{-6}	0.662
Plátanos frescos	76	41	61.2	0.278	1.51×10^{-6}	0.856
Brócoli	—	21	35.0	0.223	—	—
Cerezas frescas	92	32-86	65.5	0.315	1.42×10^{-6}	0.952
Higos	40.4	73	77.5	0.179	1.03×10^{-6}	0.642
Toronja, jugo de	89	68	62.4	0.328	1.51×10^{-6}	0.934
Duraznos	36-90	2-32	59.9	0.304	1.51×10^{-6}	0.934
Ciruelas	—	3	38.1	0.143	—	—
Papas	32-158	0-70	65.7	0.288	1.40×10^{-6}	0.868
Pasas	32	73	86.2	0.217	1.18×10^{-6}	0.592
Carnes						
Res, bistec de	67	43	59.3	0.235	1.40×10^{-6}	0.802
Res, carne magra de	74	37	68.0	0.272	1.40×10^{-6}	0.844
Res, carne grasosa de	0	95	50.5	0.110	—	—
Res, hígado de	72	95	—	0.259	—	0.832
Gatos, alimento para	39.7	73	71.2	0.188	1.18×10^{-6}	0.638
Pollo, pechuga de	75	32	65.5	0.275	1.40×10^{-6}	0.850
Perros, alimento para	30.6	73	77.4	0.184	1.18×10^{-6}	0.584
Bacalao	81	37	73.7	0.309	1.29×10^{-6}	0.886
Salmón	67	37	—	0.307	—	0.802
Jamón	71.8	72	64.3	0.277	1.51×10^{-6}	0.831
Cordero	72	72	64.3	0.263	1.40×10^{-6}	0.832
Puerco, carne magra	72	39	64.3	0.263	1.40×10^{-6}	0.832
Pavo, pechuga de	74	37	65.5	0.287	1.40×10^{-6}	0.844
Ternera	75	72	66.2	0.272	1.40×10^{-6}	0.850
Otros						
Mantequilla	16	39	—	0.114	—	0.496
Chocolate, pastel de	31.9	73	21.2	0.061	1.29×10^{-6}	0.591
Margarina	16	40	62.4	0.135	1.18×10^{-6}	0.496
Leche descremada	91	72	—	0.327	—	0.946
Leche entera	88	82	—	0.335	—	0.928
Olivo, aceite de	0	90	56.8	0.097	—	—
Cacahuete, aceite de	0	39	57.4	0.097	—	—
Agua	100	0	62.4	0.329	1.51×10^{-6}	1.000
	100	30	59.6	0.357	1.61×10^{-6}	1.000
Pastel blanco	32.3	73	28.1	0.047	1.08×10^{-6}	0.594

Fuente: Los datos se obtuvieron principalmente del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión I-P (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tablas 7 y 9. Usado con autorización.

La mayor parte de los calores específicos se calculan a partir de $c_p = 0.4 + 0.6 \times (\text{contenido de agua})$, lo cual es una buena aproximación en el rango de temperatura de 40 hasta 90°F. La mayor parte de las difusividades térmicas se calculan a partir de $\alpha = k/\rho c_p$. Los valores patentados son válidos para el contenido específico de agua.

TABLA A-81

Propiedades de diversos materiales
(A menos que se indique lo contrario, los valores se dan a 540 R)

Material	Densidad, ρ lbm/ft ³	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R	Calor es- pecífico, c_p Btu/lbm · R	Material	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R	Calor es- pecífico, c_p Btu/lbm · R
Asfalto	132.0	0.036	0.220	Hielo			
Baquelita	81.2	0.81	0.350	492 R	57.4	1.09	0.487
Ladrillo refractario				455 R	57.6	1.17	0.465
Ladrillo de cromita				311 R	57.9	2.02	0.349
851 R	187.9	1.33	0.199	Cuero para suela	62.3	0.092	—
1481 R	—	1.44	—	Linóleo	33.4	0.047	—
2111 R	—	1.16	—		73.7	0.11	—
Arcilla refractaria cocida				Mica	181.0	0.30	—
2880 R				Papel	58.1	0.10	0.320
1391 R	128.0	0.58	0.229	Plásticos			
1931 R	—	0.64	—	Plexiglass	74.3	0.11	0.350
2471 R	—	0.64	—	Teflón			
Arcilla refractaria cocida				540 R	137.3	0.20	0.251
3105 R				720 R	—	0.26	—
1391 R	145.1	0.75	0.229	Lexan	74.9	0.11	0.301
1931 R	—	0.81	—	Nylon	71.5	0.17	—
2471 R	—	0.81	—	Polipropileno	56.8	0.069	0.388
Ladrillo de arcilla refractaria				Poliéster	87.1	0.087	0.279
860 R	165.1	0.58	0.229	PVC, vinilo	91.8	0.058	0.201
1660 R	—	0.87	—	Porcelana	143.6	0.87	—
2660 R	—	1.04	—	Caucho natural	71.8	0.16	—
Magnesita				Caucho			
860 R	—	2.20	0.270	Vulcanizado			
1660 R	—	1.62	—	Blando	68.7	0.075	0.480
2660 R	—	1.10	—	Duro	74.3	0.092	—
Carne de pollo blanca				Arena	94.6	0.1-0.6	0.191
(74.4% de contenido				Nieve reciente	6.24	0.35	—
de agua)				Nieve, 492 R	31.2	1.27	—
356 R	—	0.92	—	Suelo seco	93.6	0.58	0.454
419 R	—	0.86	—	Suelo mojado	118.6	1.16	0.525
455 R	—	0.78	—	Azúcar	99.9	0.34	—
492 R	—	0.28	—	Tejido humano			
527 R	—	0.28	—	Piel	—	0.21	—
Arcilla seca	96.8	0.54	—	Capa de grasa	—	0.12	—
Arcilla mojada	93.3	0.97	—	Músculo	—	0.24	—
Carbón mineral,	84.3	0.15	0.301	Vaselina	—	0.098	—
antracita				Madera, perpendicular a la fibra			
Concreto (mezcla				De balsa	8.74	0.032	—
con piedra)	143.6	0.81	0.210	Abeto	25.9	0.064	0.650
Corcho	5.37	0.028	0.485	Roble	34.0	0.098	0.570
Algodón	5.0	0.035	0.311	Pino blanco	27.2	0.064	—
Grasa	—	0.10	—	Pino amarillo	40.0	0.087	0.670
Vidrio				Madera, radial			
De ventana	174.8	0.40	0.179	Roble	34.0	0.11	0.570
Pyrex	138.9	0.6-0.8	0.199	Abeto	26.2	0.081	0.650
Crown	156.1	0.61	—	Madera para barcos	9.05	0.029	—
Al plomo	212.2	0.49	—				

TABLA A-9I

Propiedades del agua saturada

Temp., T °F	Presión de saturación, P_{sat} , psia	Densidad, ρ lbm/ft ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , Btu/lbm	Calor específico, c_p Btu/lbm · °F		Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · °F		Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β , 1/R
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
32.02	0.0887	62.41	0.00030	1 075	1.010	0.446	0.324	0.0099	4.336	0.0223	13.5	1.00	-0.038×10^{-3}
40	0.1217	62.42	0.00034	1 071	1.004	0.447	0.329	0.0100	3.740	0.0226	11.4	1.01	0.003×10^{-3}
50	0.1780	62.41	0.00059	1 065	1.000	0.448	0.335	0.0102	3.161	0.0229	9.44	1.01	0.047×10^{-3}
60	0.2563	62.36	0.00083	1 060	0.999	0.449	0.341	0.0104	2.713	0.0232	7.95	1.00	0.080×10^{-3}
70	0.3632	62.30	0.00115	1 054	0.999	0.450	0.347	0.0106	2.360	0.0236	6.79	1.00	0.115×10^{-3}
80	0.5073	62.22	0.00158	1 048	0.999	0.451	0.352	0.0108	2.075	0.0240	5.89	1.00	0.145×10^{-3}
90	0.6988	62.12	0.00214	1 043	0.999	0.453	0.358	0.0110	1.842	0.0244	5.14	1.00	0.174×10^{-3}
100	0.9503	62.00	0.00286	1 037	0.999	0.454	0.363	0.0112	1.648	0.0248	4.54	1.01	0.200×10^{-3}
110	1.2763	61.86	0.00377	1 031	0.999	0.456	0.367	0.0115	1.486	0.0252	4.05	1.00	0.224×10^{-3}
120	1.6945	61.71	0.00493	1 026	0.999	0.458	0.371	0.0117	1.348	0.0256	3.63	1.00	0.246×10^{-3}
130	2.225	61.55	0.00636	1 020	0.999	0.460	0.375	0.0120	1.230	0.0260	3.28	1.00	0.267×10^{-3}
140	2.892	61.38	0.00814	1 014	0.999	0.463	0.378	0.0122	1.129	0.0264	2.98	1.00	0.287×10^{-3}
150	3.722	61.19	0.0103	1 008	1.000	0.465	0.381	0.0125	1.040	0.0269	2.73	1.00	0.306×10^{-3}
160	4.745	60.99	0.0129	1 002	1.000	0.468	0.384	0.0128	0.963	0.0273	2.51	1.00	0.325×10^{-3}
170	5.996	60.79	0.0161	996	1.001	0.472	0.386	0.0131	0.894	0.0278	2.90	1.00	0.346×10^{-3}
180	7.515	60.57	0.0199	990	1.002	0.475	0.388	0.0134	0.834	0.0282	2.15	1.00	0.367×10^{-3}
190	9.343	60.35	0.0244	984	1.004	0.479	0.390	0.0137	0.781	0.0287	2.01	1.00	0.382×10^{-3}
200	11.53	60.12	0.0297	978	1.005	0.483	0.391	0.0141	0.733	0.0291	1.88	1.00	0.395×10^{-3}
210	14.125	59.87	0.0359	972	1.007	0.487	0.392	0.0144	0.690	0.0296	1.77	1.00	0.412×10^{-3}
212	14.698	59.82	0.0373	970	1.007	0.488	0.392	0.0145	0.682	0.0297	1.75	1.00	0.417×10^{-3}
220	17.19	59.62	0.0432	965	1.009	0.492	0.393	0.0148	0.651	0.0300	1.67	1.00	0.429×10^{-3}
230	20.78	59.36	0.0516	959	1.011	0.497	0.394	0.0152	0.616	0.0305	1.58	1.00	0.443×10^{-3}
240	24.97	59.09	0.0612	952	1.013	0.503	0.394	0.0156	0.585	0.0310	1.50	1.00	0.462×10^{-3}
250	29.82	58.82	0.0723	946	1.015	0.509	0.395	0.0160	0.556	0.0310	1.43	1.00	0.480×10^{-3}
260	35.42	58.53	0.0850	939	1.018	0.516	0.395	0.0164	0.530	0.0319	1.37	1.00	0.497×10^{-3}
270	41.85	58.24	0.0993	932	1.020	0.523	0.395	0.0168	0.506	0.0324	1.31	1.01	0.514×10^{-3}
280	49.18	57.94	0.1156	925	1.023	0.530	0.395	0.0172	0.484	0.0328	1.25	1.01	0.532×10^{-3}
290	57.53	57.63	0.3390	918	1.026	0.538	0.395	0.0177	0.464	0.0333	1.21	1.01	0.549×10^{-3}
300	66.98	57.31	0.1545	910	1.029	0.547	0.394	0.0182	0.445	0.0338	1.16	1.02	0.566×10^{-3}
320	89.60	56.65	0.2033	895	1.036	0.567	0.393	0.0191	0.412	0.0347	1.09	1.03	0.636×10^{-3}
340	117.93	55.95	0.2637	880	1.044	0.590	0.391	0.0202	0.383	0.0356	1.02	1.04	0.656×10^{-3}
360	152.92	55.22	0.3377	863	1.054	0.617	0.389	0.0213	0.359	0.0365	0.973	1.06	0.681×10^{-3}
380	195.60	54.46	0.4275	845	1.065	0.647	0.385	0.0224	0.337	0.0375	0.932	1.08	0.720×10^{-3}
400	241.1	53.65	0.5359	827	1.078	0.683	0.382	0.0237	0.318	0.0384	0.893	1.11	0.771×10^{-3}
450	422.1	51.46	0.9082	775	1.121	0.799	0.370	0.0271	0.278	0.0407	0.842	1.20	0.912×10^{-3}
500	680.0	48.95	1.479	715	1.188	0.972	0.352	0.0312	0.246	0.0432	0.830	1.35	1.111×10^{-3}
550	1 046.7	45.96	4.268	641	1.298	1.247	0.329	0.0368	0.219	0.0461	0.864	1.56	1.445×10^{-3}
600	1 541	42.32	3.736	550	1.509	1.759	0.299	0.0461	0.194	0.0497	0.979	1.90	1.885×10^{-3}
650	2 210	37.31	6.152	422	2.086	3.103	0.267	0.0677	0.167	0.0555	1.30	2.54	—
700	3 090	27.28	13.44	168	13.80	25.90	0.254	0.1964	0.123	0.0736	6.68	9.71	—
705.44	3 204	19.79	19.79	0	∞	∞	∞	∞	0.104	0.1043	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$. Las temperaturas de 32.02°F, 212°F y 705.44°F son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Todas las propiedades que se aprecian en la lista (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad Btu/lbm · °F, para el calor específico, es equivalente a Btu/lbm · R y la unidad Btu/h · ft · °F, para la conductividad térmica, es equivalente a Btu/h · ft · R.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

TABLA A-10I

Propiedades del refrigerante 134a saturado

Temp., T °F	Presión de saturación, P_{sat} , psia	Densidad, ρ , lbm/ft ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , Btu/lbm	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R		Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R		Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β , 1/R		Tensión superficial, lbf/ft
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
-40	7.4	88.51	0.1731	97.1	0.2996	0.1788	0.0636	0.00466	1.1801	0.00617	5.558	0.237	0.00114	0.001206	
-30	9.9	87.5	0.2258	95.6	0.3021	0.1829	0.0625	0.00497	1.0814	0.00739	5.226	0.272	0.00117	0.001146	
-20	12.9	86.48	0.2905	94.1	0.3046	0.1872	0.0613	0.00529	0.9942	0.00876	4.937	0.310	0.00120	0.001087	
-10	16.6	85.44	0.3691	92.5	0.3074	0.1918	0.0602	0.00559	0.9167	0.01028	4.684	0.352	0.00124	0.001029	
0	21.2	84.38	0.4635	90.9	0.3103	0.1966	0.0589	0.00589	0.8474	0.01193	4.463	0.398	0.00128	0.000972	
10	26.6	83.31	0.5761	89.3	0.3134	0.2017	0.0576	0.00619	0.7851	0.01372	4.269	0.447	0.00132	0.000915	
20	33.1	82.2	0.7094	87.5	0.3167	0.2070	0.0563	0.00648	0.7288	0.01563	4.098	0.500	0.00137	0.000859	
30	40.8	81.08	0.866	85.8	0.3203	0.2127	0.0550	0.00676	0.6777	0.01766	3.947	0.555	0.00142	0.000803	
40	49.8	79.92	1.049	83.9	0.3240	0.2188	0.0536	0.00704	0.6308	0.01978	3.814	0.614	0.00149	0.000749	
50	60.2	78.73	1.262	82.0	0.3281	0.2253	0.0522	0.00732	0.5878	0.02197	3.697	0.677	0.00156	0.000695	
60	72.2	77.51	1.509	80.0	0.3325	0.2323	0.0507	0.00758	0.5480	0.02421	3.594	0.742	0.00163	0.000642	
70	85.9	76.25	1.794	78.0	0.3372	0.2398	0.0492	0.00785	0.5111	0.02648	3.504	0.810	0.00173	0.000590	
80	101.4	74.94	2.122	75.8	0.3424	0.2481	0.0476	0.00810	0.4765	0.02875	3.425	0.880	0.00183	0.000538	
90	119.1	73.59	2.5	73.5	0.3481	0.2572	0.0460	0.00835	0.4441	0.03100	3.357	0.955	0.00195	0.000488	
100	138.9	72.17	2.935	71.1	0.3548	0.2674	0.0444	0.00860	0.4135	0.03320	3.303	1.032	0.00210	0.000439	
110	161.2	70.69	3.435	68.5	0.3627	0.2790	0.0427	0.00884	0.3844	0.03533	3.262	1.115	0.00227	0.000391	
120	186.0	69.13	4.012	65.8	0.3719	0.2925	0.0410	0.00908	0.3568	0.03738	3.235	1.204	0.00248	0.000344	
130	213.5	67.48	4.679	62.9	0.3829	0.3083	0.0392	0.00931	0.3303	0.03934	3.223	1.303	0.00275	0.000299	
140	244.1	65.72	5.455	59.8	0.3963	0.3276	0.0374	0.00954	0.3047	0.04121	3.229	1.416	0.00308	0.000255	
150	277.8	63.83	6.367	56.4	0.4131	0.3520	0.0355	0.00976	0.2800	0.04303	3.259	1.551	0.00351	0.000212	
160	314.9	61.76	7.45	52.7	0.4352	0.3839	0.0335	0.00998	0.2559	0.04484	3.324	1.725	0.00411	0.000171	
170	355.8	59.47	8.762	48.5	0.4659	0.4286	0.0314	0.01020	0.2322	0.04673	3.443	1.963	0.00498	0.000132	
180	400.7	56.85	10.4	43.7	0.5123	0.4960	0.0292	0.01041	0.2085	0.04885	3.661	2.327	0.00637	0.000095	
190	449.9	53.75	12.53	38.0	0.5929	0.6112	0.0267	0.01063	0.1843	0.05154	4.090	2.964	0.00891	0.000061	
200	504.0	49.75	15.57	30.7	0.7717	0.8544	0.0239	0.01085	0.1583	0.05557	5.119	4.376	0.01490	0.000031	
210	563.8	43.19	21.18	18.9	1.4786	1.6683	0.0199	0.01110	0.1254	0.06432	9.311	9.669	0.04021	0.000006	

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$. Las propiedades cuya lista se da aquí (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualesquiera presiones con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad Btu/lbm · °F, para el calor específico, es equivalente a Btu/lbm · R, y la unidad Btu/h · ft · °F, para la conductividad térmica es equivalente a Btu/h · ft · R.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: R. Tillner-Roth y H. D. Baehr, "An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1, 1, 1, 2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) for Temperatures from 170 K to 455 K and Pressures up to 70 MPa", *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 23, No. 5, 1994; M. J. Assael, N. K. Dalaouti, A. A. Griva y J. H. Dymond, "Viscosity and Thermal Conductivity of Halogenated Methane and Ethane Refrigerants", *IJR*, Vol. 22, págs. 525-535, 1999; programa NIST REFPROP 6 (M. O. McLinden, S. A. Klein, E. W. Lemmon y A. P. Peskin, Physical and Chemical Properties Division, National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO 80303, 1995).

TABLA A-111

Propiedades del amoníaco saturado

Temp., T °F	Presión de saturación, P_{sat} , psia	Densidad, ρ , lbm/ft ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} Btu/lbm	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R		Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R		Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β , 1/R,		Tensión superficial, lbf/ft
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
-40	10.4	43.08	0.0402	597.0	1.0542	0.5354	—	0.01026	0.7078	0.01923	—	1.003	0.00098	0.002443	
-30	13.9	42.66	0.0527	590.2	1.0610	0.5457	—	0.01057	0.6672	0.01970	—	1.017	0.00101	0.002357	
-20	18.3	42.23	0.0681	583.2	1.0677	0.5571	0.3501	0.01089	0.6287	0.02016	1.917	1.031	0.00103	0.002272	
-10	23.7	41.79	0.0869	575.9	1.0742	0.5698	0.3426	0.01121	0.5921	0.02063	1.856	1.048	0.00106	0.002187	
0	30.4	41.34	0.1097	568.4	1.0807	0.5838	0.3352	0.01154	0.5575	0.02110	1.797	1.068	0.00109	0.002103	
10	38.5	40.89	0.1370	560.7	1.0873	0.5992	0.3278	0.01187	0.5247	0.02158	1.740	1.089	0.00112	0.002018	
20	48.2	40.43	0.1694	552.6	1.0941	0.6160	0.3203	0.01220	0.4936	0.02205	1.686	1.113	0.00116	0.001934	
30	59.8	39.96	0.2075	544.4	1.1012	0.6344	0.3129	0.01254	0.4643	0.02252	1.634	1.140	0.00119	0.001850	
40	73.4	39.48	0.2521	535.8	1.1087	0.6544	0.3055	0.01288	0.4367	0.02300	1.585	1.168	0.00123	0.001767	
50	89.2	38.99	0.3040	526.9	1.1168	0.6762	0.2980	0.01323	0.4106	0.02348	1.539	1.200	0.00128	0.001684	
60	107.7	38.50	0.3641	517.7	1.1256	0.6999	0.2906	0.01358	0.3861	0.02396	1.495	1.234	0.00132	0.001601	
70	128.9	37.99	0.4332	508.1	1.1353	0.7257	0.2832	0.01394	0.3631	0.02443	1.456	1.272	0.00137	0.001518	
80	153.2	37.47	0.5124	498.2	1.1461	0.7539	0.2757	0.01431	0.3415	0.02492	1.419	1.313	0.00143	0.001436	
90	180.8	36.94	0.6029	487.8	1.1582	0.7846	0.2683	0.01468	0.3212	0.02540	1.387	1.358	0.00149	0.001354	
100	212.0	36.40	0.7060	477.0	1.1719	0.8183	0.2609	0.01505	0.3023	0.02588	1.358	1.407	0.00156	0.001273	
110	247.2	35.83	0.8233	465.8	1.1875	0.8554	0.2535	0.01543	0.2845	0.02637	1.333	1.461	0.00164	0.001192	
120	286.5	35.26	0.9564	454.1	1.2054	0.8965	0.2460	0.01582	0.2680	0.02685	1.313	1.522	0.00174	0.001111	
130	330.4	34.66	1.1074	441.7	1.2261	0.9425	0.2386	0.01621	0.2526	0.02734	1.298	1.589	0.00184	0.001031	
140	379.2	34.04	1.2786	428.8	1.2502	0.9943	0.2312	0.01661	0.2382	0.02783	1.288	1.666	0.00196	0.000951	
150	433.2	33.39	1.4730	415.2	1.2785	1.0533	0.2237	0.01702	0.2248	0.02832	1.285	1.753	0.00211	0.000872	
160	492.7	32.72	1.6940	400.8	1.3120	1.1214	0.2163	0.01744	0.2124	0.02882	1.288	1.853	0.00228	0.000794	
170	558.2	32.01	1.9460	385.4	1.3523	1.2012	0.2089	0.01786	0.2008	0.02931	1.300	1.971	0.00249	0.000716	
180	630.1	31.26	2.2346	369.1	1.4015	1.2965	0.2014	0.01829	0.1900	0.02981	1.322	2.113	0.00274	0.000638	
190	708.6	30.47	2.5670	351.6	1.4624	1.4128	0.1940	0.01874	0.1800	0.03031	1.357	2.286	0.00306	0.000562	
200	794.4	29.62	2.9527	332.7	1.5397	1.5586	0.1866	0.01919	0.1707	0.03082	1.409	2.503	0.00348	0.000486	
210	887.9	28.70	3.4053	312.0	1.6411	1.7473	0.1791	0.01966	0.1620	0.03133	1.484	2.784	0.00403	0.000411	
220	989.5	27.69	3.9440	289.2	1.7798	2.0022	0.1717	0.02015	0.1539	0.03184	1.595	3.164	0.00480	0.000338	
230	1 099.8	26.57	4.5987	263.5	1.9824	2.3659	0.1643	0.02065	0.1463	0.03236	1.765	3.707	0.00594	0.000265	
240	1 219.4	25.28	5.4197	234.0	2.3100	2.9264	0.1568	0.02119	0.1391	0.03289	2.049	4.542	0.00784	0.000194	

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las propiedades cuya lista se da aquí (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualesquiera presiones con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad Btu/lbm · °F, para el calor específico, es equivalente a Btu/lbm · R, y la unidad Btu/h · ft · °F, para la conductividad térmica es equivalente a Btu/h · ft · R.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Tillner-Roth, Harms-Watzenberg y Baehr, "Eine neue Fundamentalgleichung für Ammoniak", DKV-Tagungsbericht 20:167-181, 1993; Liley y Desai, "Thermophysical Properties of Refrigerants", ASHRAE, 1993, ISBN 1-1883413-10-9.

TABLA A-121

Propiedades del propano saturado

Temp., T °F	Presión de saturación, P_{sat} , psia	Densidad, ρ , lbm/ft ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , Btu/lbm	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R		Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R		Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β , 1/R		Tensión superficial, lbf/ft
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
-200	0.0201	42.06	0.0003	217.7	0.4750	0.2595	0.1073	0.00313	1.8042	0.01004	7.991	0.833	0.00083	0.001890	
-180	0.0752	41.36	0.0011	213.4	0.4793	0.2680	0.1033	0.00347	1.4188	0.01071	6.582	0.826	0.00086	0.001780	
-160	0.2307	40.65	0.0032	209.1	0.4845	0.2769	0.0992	0.00384	1.1518	0.01139	5.626	0.821	0.00088	0.001671	
-140	0.6037	39.93	0.0078	204.8	0.4907	0.2866	0.0949	0.00423	0.9576	0.01209	4.951	0.818	0.00091	0.001563	
-120	1.389	39.20	0.0170	200.5	0.4982	0.2971	0.0906	0.00465	0.8108	0.01280	4.457	0.817	0.00094	0.001455	
-100	2.878	38.46	0.0334	196.1	0.5069	0.3087	0.0863	0.00511	0.6961	0.01352	4.087	0.817	0.00097	0.001349	
-90	4.006	38.08	0.0453	193.9	0.5117	0.3150	0.0842	0.00534	0.6477	0.01389	3.936	0.819	0.00099	0.001297	
-80	5.467	37.70	0.0605	191.6	0.5169	0.3215	0.0821	0.00559	0.6042	0.01426	3.803	0.820	0.00101	0.001244	
-70	7.327	37.32	0.0793	189.3	0.5224	0.3284	0.0800	0.00585	0.5648	0.01464	3.686	0.822	0.00104	0.001192	
-60	9.657	36.93	0.1024	186.9	0.5283	0.3357	0.0780	0.00611	0.5289	0.01502	3.582	0.825	0.00106	0.001140	
-50	12.54	36.54	0.1305	184.4	0.5345	0.3433	0.0760	0.00639	0.4961	0.01540	3.490	0.828	0.00109	0.001089	
-40	16.05	36.13	0.1641	181.9	0.5392	0.3513	0.0740	0.00668	0.4660	0.01579	3.395	0.831	0.00112	0.001038	
-30	20.29	35.73	0.2041	179.3	0.5460	0.3596	0.0721	0.00697	0.4382	0.01619	3.320	0.835	0.00115	0.000987	
-20	25.34	35.31	0.2512	176.6	0.5531	0.3684	0.0702	0.00728	0.4126	0.01660	3.253	0.840	0.00119	0.000937	
-10	31.3	34.89	0.3063	173.8	0.5607	0.3776	0.0683	0.00761	0.3887	0.01701	3.192	0.845	0.00123	0.000887	
0	38.28	34.46	0.3703	170.9	0.5689	0.3874	0.0665	0.00794	0.3666	0.01743	3.137	0.850	0.00127	0.000838	
10	46.38	34.02	0.4441	167.9	0.5775	0.3976	0.0647	0.00829	0.3458	0.01786	3.088	0.857	0.00132	0.000789	
20	55.7	33.56	0.5289	164.8	0.5867	0.4084	0.0629	0.00865	0.3264	0.01831	3.043	0.864	0.00138	0.000740	
30	66.35	33.10	0.6259	161.6	0.5966	0.4199	0.0612	0.00903	0.3082	0.01876	3.003	0.873	0.00144	0.000692	
40	78.45	32.62	0.7365	158.1	0.6072	0.4321	0.0595	0.00942	0.2909	0.01923	2.967	0.882	0.00151	0.000644	
50	92.12	32.13	0.8621	154.6	0.6187	0.4452	0.0579	0.00983	0.2747	0.01972	2.935	0.893	0.00159	0.000597	
60	107.5	31.63	1.0046	150.8	0.6311	0.4593	0.0563	0.01025	0.2592	0.02022	2.906	0.906	0.00168	0.000551	
70	124.6	31.11	1.1659	146.8	0.6447	0.4746	0.0547	0.01070	0.2446	0.02075	2.881	0.921	0.00179	0.000505	
80	143.7	30.56	1.3484	142.7	0.6596	0.4915	0.0532	0.01116	0.2306	0.02131	2.860	0.938	0.00191	0.000460	
90	164.8	30.00	1.5549	138.2	0.6762	0.5103	0.0517	0.01165	0.2172	0.02189	2.843	0.959	0.00205	0.000416	
100	188.1	29.41	1.7887	133.6	0.6947	0.5315	0.0501	0.01217	0.2043	0.02252	2.831	0.984	0.00222	0.000372	
120	241.8	28.13	2.3562	123.2	0.7403	0.5844	0.0472	0.01328	0.1800	0.02392	2.825	1.052	0.00267	0.000288	
140	306.1	26.69	3.1003	111.1	0.7841	0.6613	0.0442	0.01454	0.1569	0.02560	2.784	1.164	0.00338	0.000208	
160	382.4	24.98	4.1145	96.4	0.8696	0.7911	0.0411	0.01603	0.1344	0.02779	2.845	1.371	0.00469	0.000133	
180	472.9	22.79	5.6265	77.1	1.1436	1.0813	0.0376	0.01793	0.1110	0.03102	3.380	1.870	0.00791	0.000065	

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$. Las propiedades cuya lista se da aquí (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualesquiera presiones con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad Btu/lbm · °F, para el calor específico, es equivalente a Btu/lbm · R, y la unidad Btu/h · ft · °F, para la conductividad térmica es equivalente a Btu/h · ft · R.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Reiner Tillner-Roth, "Fundamental Equations of State", Shaker, Verlag, Aachen, 1998; B. A. Younglove y J. F. Ely, "Thermophysical Properties of Fluids. II Methane, Ethane, Propane, Isobutane and Normal Butane", *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 16, No. 4, 1987; G. R. Somayajulu, "A Generalized Equation for Surface Tension from the Triple Point to the Critical Point", *International Journal of Thermophysics*, Vol. 9, No. 4, 1988.

TABLA A-13I

Propiedades de líquidos

Temp., $T, ^\circ\text{F}$	Densidad, $\rho, \text{lbm/ft}^3$	Calor espe- cífico, c_p , $\text{Btu/lbm} \cdot \text{R}$	Conductividad térmica, k , $\text{Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot \text{R}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{ft}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{lbm/ft} \cdot \text{h}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{ft}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr	Coefficiente de expansión. volumétrica, $\beta, 1/\text{R}$
<i>Metano</i>								
-280	27.41	0.8152	0.1205	1.497×10^{-6}	0.3806	3.857×10^{-6}	2.575	0.00175
-260	26.43	0.8301	0.1097	1.389×10^{-6}	0.2885	3.032×10^{-6}	2.183	0.00192
-240	25.39	0.8523	0.0994	1.276×10^{-6}	0.2269	2.482×10^{-6}	1.945	0.00215
-220	24.27	0.8838	0.0896	1.159×10^{-6}	0.1827	2.091×10^{-6}	1.803	0.00247
-200	23.04	0.9314	0.0801	1.036×10^{-6}	0.1491	1.798×10^{-6}	1.734	0.00295
-180	21.64	1.010	0.0709	9.008×10^{-7}	0.1222	1.568×10^{-6}	1.741	0.00374
-160	19.99	1.158	0.0616	7.397×10^{-7}	0.09929	1.379×10^{-6}	1.865	0.00526
-140	17.84	1.542	0.0518	5.234×10^{-7}	0.07804	1.215×10^{-6}	2.322	0.00943
<i>Metanol [$\text{C}_3\text{H}_3(\text{OH})$]</i>								
70	49.15	0.6024	0.1148	1.076×10^{-6}	1.394	7.879×10^{-6}	7.317	0.000656
90	48.50	0.6189	0.1143	1.057×10^{-6}	1.194	6.840×10^{-6}	6.468	0.000671
110	47.85	0.6373	0.1138	1.036×10^{-6}	1.034	6.005×10^{-6}	5.793	0.000691
130	47.18	0.6576	0.1133	1.014×10^{-6}	0.9047	5.326×10^{-6}	5.250	0.000716
150	46.50	0.6796	0.1128	9.918×10^{-7}	0.7984	4.769×10^{-6}	4.808	0.000749
170	45.80	0.7035	0.1124	9.687×10^{-7}	0.7102	4.308×10^{-6}	4.447	0.000789
<i>Isobutano (R600a)</i>								
-150	42.75	0.4483	0.0799	1.157×10^{-6}	2.310	1.500×10^{-5}	12.96	0.000785
-100	41.06	0.4721	0.0782	1.120×10^{-6}	1.321	8.939×10^{-6}	7.977	0.000836
-50	39.31	0.4986	0.0731	1.036×10^{-6}	0.8553	6.043×10^{-6}	5.830	0.000908
0	37.48	0.5289	0.0664	9.299×10^{-7}	0.5945	4.406×10^{-6}	4.738	0.001012
50	35.52	0.5643	0.0591	8.187×10^{-7}	0.4306	3.368×10^{-6}	4.114	0.001169
100	33.35	0.6075	0.0521	7.139×10^{-7}	0.3185	2.653×10^{-6}	3.716	0.001421
150	30.84	0.6656	0.0457	6.188×10^{-7}	0.2361	2.127×10^{-6}	3.437	0.001883
200	27.73	0.7635	0.0400	5.249×10^{-7}	0.1710	1.713×10^{-6}	3.264	0.002970
<i>Glicerina</i>								
32	79.65	0.5402	0.163	1.052×10^{-6}	25 370	0.08847	84101	
40	79.49	0.5458	0.1637	1.048×10^{-6}	17 291	0.06042	57655	
50	79.28	0.5541	0.1645	1.040×10^{-6}	10 259	0.03594	34561	
60	79.07	0.5632	0.1651	1.029×10^{-6}	5 568	0.01956	18995	
70	78.86	0.5715	0.1652	1.018×10^{-6}	3 392	0.01195	11730	
80	78.66	0.5794	0.1652	1.007×10^{-6}	1 979	0.00699	6941	
90	78.45	0.5878	0.1652	9.955×10^{-7}	1 352	0.004787	4809	
100	78.24	0.5964	0.1653	9.841×10^{-7}	8 19.6	0.00291	2957	
<i>Aceite para motor (no usado)</i>								
32	56.12	0.4291	0.0849	9.792×10^{-7}	9226	4.566×10^{-2}	46636	0.000389
50	55.79	0.4395	0.08338	9.448×10^{-7}	4357	2.169×10^{-2}	22963	0.000389
75	55.3	0.4531	0.08378	9.288×10^{-7}	1543	7.751×10^{-3}	8345	0.000389
100	54.77	0.4669	0.08367	9.089×10^{-7}	586.9	2.977×10^{-3}	3275	0.000389
125	54.24	0.4809	0.08207	8.740×10^{-7}	274.2	1.404×10^{-3}	1607	0.000389
150	53.73	0.4946	0.08046	8.411×10^{-7}	138.0	7.135×10^{-4}	848.3	0.000389
200	52.68	0.5231	0.07936	7.999×10^{-7}	50.61	2.668×10^{-4}	333.6	0.000389
250	51.71	0.5523	0.07776	7.563×10^{-7}	24.28	1.304×10^{-4}	172.5	0.000389
300	50.63	0.5818	0.07673	7.236×10^{-7}	13.18	7.232×10^{-5}	99.94	0.000389

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

TABLA A-141

Propiedades de metales líquidos

Temp., T , °F	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Calor espe- cífico, c_p , Btu/lbm · R	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R	Difusividad térmica, α , ft ² /s	Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h	Viscosidad cinemática, ν , ft ² /s	Número de Prandtl, Pr	Coefficiente de expansión volumétrica, β , 1/R
<i>Mercurio (Hg), punto de fusión: -38°F</i>								
32	848.7	0.03353	4.727	4.614×10^{-5}	4.081	1.335×10^{-6}	0.02895	1.005×10^{-4}
50	847.2	0.03344	4.805	4.712×10^{-5}	3.933	1.289×10^{-6}	0.02737	1.005×10^{-4}
100	842.9	0.03319	5.015	4.980×10^{-5}	3.571	1.176×10^{-6}	0.02363	1.005×10^{-4}
150	838.7	0.03298	5.221	5.244×10^{-5}	3.284	1.087×10^{-6}	0.02074	1.005×10^{-4}
200	834.5	0.03279	5.422	5.504×10^{-5}	3.057	1.017×10^{-6}	0.01849	1.005×10^{-4}
300	826.2	0.03252	5.815	6.013×10^{-5}	2.730	9.180×10^{-7}	0.01527	1.005×10^{-4}
400	817.9	0.03236	6.184	6.491×10^{-5}	2.510	8.524×10^{-7}	0.01313	1.008×10^{-4}
500	809.6	0.03230	6.518	6.924×10^{-5}	2.349	8.061×10^{-7}	0.01164	1.018×10^{-4}
600	801.3	0.03235	6.839	7.329×10^{-5}	2.227	7.719×10^{-7}	0.01053	1.035×10^{-4}
<i>Bismuto (Bi), punto de fusión: 520°F</i>								
700	620.7	0.03509	9.361	1.193×10^{-4}	3.606	1.614×10^{-6}	0.01352	
800	616.5	0.03569	9.245	1.167×10^{-4}	3.291	1.482×10^{-6}	0.01271	
900	612.2	0.0363	9.129	1.141×10^{-4}	2.976	1.350×10^{-6}	0.01183	
1 000	608.0	0.0369	9.014	1.116×10^{-4}	2.661	1.215×10^{-6}	0.0109	
1 100	603.7	0.0375	9.014	1.105×10^{-4}	2.474	1.138×10^{-6}	0.01029	
<i>Plomo (Pb), punto de fusión: 621°F</i>								
700	658	0.03797	9.302	1.034×10^{-4}	5.803	2.450×10^{-6}	0.02369	
800	654	0.03750	9.157	1.037×10^{-4}	5.234	2.223×10^{-6}	0.02143	
900	650	0.03702	9.013	1.040×10^{-4}	4.667	1.994×10^{-6}	0.01917	
1 000	645.7	0.03702	8.912	1.035×10^{-4}	4.328	1.862×10^{-6}	0.01798	
1 100	641.5	0.03702	8.810	1.030×10^{-4}	3.989	1.727×10^{-6}	0.01676	
1 200	637.2	0.03702	8.709	1.025×10^{-4}	3.650	1.590×10^{-6}	0.01551	
<i>Sodio (Na), punto de fusión: 208°F</i>								
300	57.13	0.3258	48.19	7.192×10^{-4}	1.489	7.239×10^{-6}	0.01007	
400	56.28	0.3219	46.58	7.142×10^{-4}	1.286	6.350×10^{-6}	0.008891	
500	55.42	0.3181	44.98	7.087×10^{-4}	1.084	5.433×10^{-6}	0.007667	
600	54.56	0.3143	43.37	7.026×10^{-4}	0.8814	4.488×10^{-6}	0.006387	
800	52.85	0.3089	40.55	6.901×10^{-4}	0.6380	3.354×10^{-6}	0.004860	
1 000	51.14	0.3057	38.12	6.773×10^{-4}	0.5549	3.014×10^{-6}	0.004449	
<i>Potasio (K), punto de fusión: 147°F</i>								
300	50.40	0.1911	26.00	7.500×10^{-4}	0.8950	4.933×10^{-6}	0.006577	
400	49.58	0.1887	25.37	7.532×10^{-4}	0.8031	4.500×10^{-6}	0.005975	
500	48.76	0.1863	24.73	7.562×10^{-4}	0.7113	4.052×10^{-6}	0.005359	
600	47.94	0.1839	24.09	7.591×10^{-4}	0.6194	3.589×10^{-6}	0.004728	
800	46.31	0.1791	22.82	7.643×10^{-4}	0.4357	2.614×10^{-6}	0.003420	
1 000	44.62	0.1791	21.34	7.417×10^{-4}	0.3870	2.409×10^{-6}	0.003248	
<i>Sodio-potasio (22% Na-78% K), punto de fusión: 12°F</i>								
200	52.99	0.2259	14.79	3.432×10^{-4}	1.399	7.331×10^{-6}	0.02136	
300	52.16	0.2230	14.99	3.580×10^{-4}	1.248	6.647×10^{-6}	0.01857	
400	51.32	0.2201	15.19	3.735×10^{-4}	1.098	5.940×10^{-6}	0.0159	
600	49.65	0.2143	15.59	4.070×10^{-4}	0.7966	4.456×10^{-6}	0.01095	
800	47.99	0.2100	15.95	4.396×10^{-4}	0.5541	3.207×10^{-6}	0.007296	
1 000	46.36	0.2103	16.20	4.615×10^{-4}	0.4871	2.919×10^{-6}	0.006324	

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

TABLA A-151

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T , °F	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R	Difusividad térmica, α , ft ² /h	Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h	Viscosidad cinemática, ν , ft ² /h	Número de Prandtl, Pr
-300	0.24844	0.5072	0.00508	0.0403	0.01454	0.0585	1.4501
-200	0.15276	0.2247	0.00778	0.2266	0.02438	0.1596	0.7042
-100	0.11029	0.2360	0.01037	0.3985	0.03255	0.2951	0.7404
-50	0.09683	0.2389	0.01164	0.5029	0.03623	0.3741	0.7439
0	0.08630	0.2401	0.01288	0.6215	0.03970	0.4601	0.7403
10	0.08446	0.2402	0.01312	0.6468	0.04038	0.4781	0.7391
20	0.08270	0.2403	0.01336	0.6726	0.04104	0.4963	0.7378
30	0.08101	0.2403	0.01361	0.6990	0.04170	0.5148	0.7365
40	0.07939	0.2404	0.01385	0.7259	0.04236	0.5335	0.7350
50	0.07783	0.2404	0.01409	0.7532	0.04300	0.5525	0.7336
60	0.07633	0.2404	0.01433	0.7810	0.04365	0.5718	0.7321
70	0.07489	0.2404	0.01457	0.8093	0.04428	0.5913	0.7306
80	0.07350	0.2404	0.01481	0.8381	0.04491	0.6110	0.7290
90	0.07217	0.2404	0.01505	0.8673	0.04554	0.6310	0.7275
100	0.07088	0.2405	0.01529	0.8969	0.04615	0.6512	0.7260
110	0.06963	0.2405	0.01552	0.9270	0.04677	0.6716	0.7245
120	0.06843	0.2405	0.01576	0.9575	0.04738	0.6923	0.7230
130	0.06727	0.2405	0.01599	0.9884	0.04798	0.7132	0.7216
140	0.06615	0.2406	0.01623	1.0198	0.04858	0.7344	0.7202
150	0.06507	0.2406	0.01646	1.0515	0.04917	0.7558	0.7188
160	0.06402	0.2406	0.01669	1.0836	0.04976	0.7774	0.7174
170	0.06300	0.2407	0.01692	1.1160	0.05035	0.7992	0.7161
180	0.06201	0.2408	0.01715	1.1489	0.05093	0.8213	0.7148
190	0.06106	0.2408	0.01738	1.1821	0.05151	0.8435	0.7136
200	0.06013	0.2409	0.01761	1.2156	0.05208	0.8660	0.7124
250	0.05590	0.2415	0.01874	1.3884	0.05488	0.9818	0.7071
300	0.05222	0.2423	0.01985	1.5690	0.05758	1.1027	0.7028
350	0.04899	0.2433	0.02094	1.7566	0.06020	1.2288	0.6995
400	0.04614	0.2445	0.02200	1.9507	0.06274	1.3598	0.6971
450	0.04361	0.2458	0.02305	2.1508	0.06522	1.4955	0.6953
500	0.04134	0.2472	0.02408	2.3565	0.06762	1.6359	0.6942
600	0.03743	0.2503	0.02608	2.7834	0.07225	1.9300	0.6934
700	0.03421	0.2535	0.02800	3.2292	0.07666	2.2411	0.6940
800	0.03149	0.2568	0.02986	3.6925	0.08088	2.5684	0.6956
900	0.02917	0.2599	0.03164	4.1721	0.08494	2.9112	0.6978
1 000	0.02718	0.2630	0.03336	4.6671	0.08883	3.2688	0.7004
1 500	0.02024	0.2761	0.04106	7.3465	0.10644	5.2584	0.7158
2 000	0.01613	0.2855	0.04752	10.3200	0.12163	7.5418	0.7308
2 500	0.01340	0.2922	0.05309	13.5532	0.13501	10.0733	0.7432
3 000	0.01147	0.2972	0.05811	17.0526	0.14696	12.8170	0.7516
3 500	0.01002	0.3010	0.06293	20.8709	0.15771	15.7428	0.7543
4 000	0.00889	0.3040	0.06789	25.1094	0.16745	18.8252	0.7497

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y *Thermophysical Properties of Matter*, Vol. 3: *Thermal Conductivity*, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: *Viscosity*, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

TABLA A-161

Propiedades de gases a la presión de 1 atm

Temp., T , °F	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R	Difusividad térmica, α , ft ² /h	Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h	Viscosidad cinemática, ν , ft ² /h	Número de Prandtl, Pr
<i>Bióxido de carbono, CO₂</i>							
-50	0.14712	0.1797	0.00628	0.2376	0.02786	0.1894	0.7970
0	0.13111	0.1885	0.00758	0.3068	0.03118	0.2378	0.7751
50	0.11825	0.1965	0.00888	0.3820	0.03443	0.2911	0.7621
100	0.10769	0.2039	0.01017	0.4631	0.03762	0.3493	0.7543
200	0.09136	0.2171	0.01273	0.6422	0.04382	0.4796	0.7469
300	0.07934	0.2284	0.01528	0.8428	0.04978	0.6275	0.7445
500	0.06280	0.2473	0.02027	1.3054	0.06104	0.9720	0.7446
1 000	0.04129	0.2796	0.03213	2.7837	0.08572	2.0762	0.7458
1 500	0.03075	0.2995	0.04281	4.6471	0.10640	3.4596	0.7445
2 000	0.02450	0.3124	0.05193	6.7845	0.12424	5.0705	0.7474
<i>Monóxido de carbono, CO</i>							
-50	0.09363	0.2571	0.01118	0.4644	0.03391	0.3621	0.7798
0	0.08345	0.2523	0.01240	0.5888	0.03731	0.4471	0.7593
50	0.07526	0.2496	0.01359	0.7233	0.04058	0.5392	0.7454
100	0.06854	0.2484	0.01476	0.8669	0.04372	0.6380	0.7359
200	0.05815	0.2485	0.01702	1.1782	0.04965	0.8538	0.7247
300	0.05049	0.2505	0.01920	1.5181	0.05512	1.0916	0.7191
500	0.03997	0.2567	0.02331	2.2719	0.06487	1.6229	0.7143
1 000	0.02628	0.2732	0.03243	4.5174	0.08402	3.1973	0.7078
1 500	0.01957	0.2862	0.04049	7.2281	0.09957	5.0868	0.7038
2 000	0.01559	0.2958	0.04822	10.4513	0.11630	7.4576	0.7136
<i>Metano, CH₄</i>							
-50	0.05363	0.5335	0.01401	0.4897	0.02110	0.3934	0.8033
0	0.04779	0.5277	0.01616	0.6407	0.02342	0.4901	0.7649
50	0.04311	0.5320	0.01839	0.8020	0.02568	0.5958	0.7428
100	0.03925	0.5433	0.02071	0.9712	0.02787	0.7100	0.7311
200	0.03330	0.5784	0.02559	1.3285	0.03206	0.9625	0.7245
300	0.02892	0.6226	0.03077	1.7091	0.03600	1.2447	0.7283
500	0.02289	0.7194	0.04195	2.5469	0.04322	1.8879	0.7412
1 000	0.01505	0.9438	0.07346	5.1718	0.05831	3.8743	0.7491
1 500	0.01121	1.1162	0.10766	8.6040	0.07105	6.3377	0.7366
2 000	0.00893	1.2419	0.14151	12.7568	0.08378	9.3796	0.7353
<i>Hidrógeno, H₂</i>							
-50	0.00674	3.0603	0.08246	3.9982	0.01789	2.6541	0.6638
0	0.00601	3.2508	0.09049	4.6346	0.01937	3.2256	0.6960
50	0.00542	3.3553	0.09818	5.4017	0.02081	3.8417	0.7112
100	0.00493	3.4118	0.10555	6.2715	0.02220	4.5012	0.7177
200	0.00419	3.4549	0.11946	8.2616	0.02488	5.9458	0.7197
300	0.00363	3.4613	0.13241	10.5266	0.02744	7.5516	0.7174
500	0.00288	3.4572	0.15620	15.7053	0.03228	11.2224	0.7146
1 000	0.00189	3.5127	0.20989	31.5924	0.04326	22.8748	0.7241
1 500	0.00141	3.6317	0.26381	51.5621	0.05319	37.7584	0.7323
2 000	0.00112	3.7656	0.31923	75.5304	0.06241	55.6045	0.7362

TABLA A-161

Propiedades de gases a la presión de 1 atm (*conclusión*)

Temp., $T, ^\circ\text{F}$	Densidad, $\rho, \text{lbm/ft}^3$	Calor específico, $c_p, \text{Btu/lbm} \cdot \text{R}$	Conductividad térmica, $k, \text{Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot \text{R}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{ft}^2/\text{h}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{lbm/ft} \cdot \text{h}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{ft}^2/\text{h}$	Número de Prandtl, Pr
<i>Nitrógeno, N_2</i>							
-50	0.09364	0.2320	0.01176	0.5414	0.03420	0.3652	0.6746
0	0.08346	0.2441	0.01300	0.6382	0.03758	0.4503	0.7056
50	0.07527	0.2480	0.01420	0.7607	0.04084	0.5426	0.7133
100	0.06854	0.2489	0.01537	0.9007	0.04399	0.6418	0.7126
200	0.05815	0.2487	0.01760	1.2166	0.04997	0.8592	0.7062
300	0.05050	0.2492	0.01970	1.5655	0.05554	1.0998	0.7025
500	0.03997	0.2535	0.02359	2.3278	0.06561	1.6413	0.7051
1 000	0.02628	0.2697	0.03204	4.5213	0.08593	3.2697	0.7232
1 500	0.01958	0.2831	0.04002	7.2230	0.10184	5.2021	0.7202
2 000	0.01560	0.2927	0.04918	10.7726	0.11563	7.4137	0.6882
<i>Oxígeno, O_2</i>							
-50	0.10697	0.2331	0.01216	0.4877	0.03976	0.3717	0.7622
0	0.09533	0.2245	0.01346	0.6290	0.04385	0.4599	0.7312
50	0.08598	0.2209	0.01475	0.7764	0.04774	0.5553	0.7152
100	0.07830	0.2200	0.01601	0.9295	0.05147	0.6574	0.7072
200	0.06643	0.2221	0.01851	1.2544	0.05849	0.8806	0.7020
300	0.05768	0.2262	0.02096	1.6065	0.06503	1.1274	0.7018
500	0.04566	0.2352	0.02577	2.3993	0.07701	1.6865	0.7029
1 000	0.03002	0.2520	0.03698	4.8870	0.10277	3.4234	0.7005
1 500	0.02236	0.2626	0.04701	8.0060	0.12505	5.5921	0.6985
2 000	0.01782	0.2701	0.05614	11.6686	0.14527	8.1542	0.6988
<i>Vapor de agua, H_2O</i>							
-50	0.06022	0.4512	0.00797	0.2935	0.01776	0.2949	1.0050
0	0.05367	0.4484	0.00898	0.3732	0.02013	0.3750	1.0049
50	0.04841	0.4472	0.01006	0.4647	0.02254	0.4656	1.0018
100	0.04408	0.4473	0.01121	0.5686	0.02499	0.5668	0.9969
200	0.03740	0.4503	0.01372	0.8146	0.03000	0.8020	0.9845
300	0.03248	0.4557	0.01648	1.1133	0.03512	1.0814	0.9713
500	0.02571	0.4707	0.02267	1.8736	0.04564	1.7752	0.9475
1 000	0.01690	0.5167	0.04134	4.7333	0.07251	4.2900	0.9063
1 500	0.01259	0.5625	0.06315	8.9185	0.09873	7.8422	0.8793
2 000	0.01003	0.6034	0.08681	14.3426	0.12319	12.2812	0.8563

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

TABLA A-171

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, z, ft	Temperatura, T, °F	Presión, p, psia	Gravedad, g, ft/s ²	Velocidad del sonido, c, ft/s	Densidad, ρ, lbm/ft ³	Viscosidad, μ, lbm/ft · s	Conductivi- dad térmica, k, Btu/h · ft · R
0	59.00	14.7	32.174	1 116	0.07647	1.202×10^{-5}	0.0146
500	57.22	14.4	32.173	1 115	0.07536	1.199×10^{-5}	0.0146
1 000	55.43	14.2	32.171	1 113	0.07426	1.196×10^{-5}	0.0146
1 500	53.65	13.9	32.169	1 111	0.07317	1.193×10^{-5}	0.0145
2 000	51.87	13.7	32.168	1 109	0.07210	1.190×10^{-5}	0.0145
2 500	50.09	13.4	32.166	1 107	0.07104	1.186×10^{-5}	0.0144
3 000	48.30	13.2	32.165	1 105	0.06998	1.183×10^{-5}	0.0144
3 500	46.52	12.9	32.163	1 103	0.06985	1.180×10^{-5}	0.0143
4 000	44.74	12.7	32.162	1 101	0.06792	1.177×10^{-5}	0.0143
4 500	42.96	12.5	32.160	1 099	0.06690	1.173×10^{-5}	0.0142
5 000	41.17	12.2	32.159	1 097	0.06590	1.170×10^{-5}	0.0142
5 500	39.39	12.0	32.157	1 095	0.06491	1.167×10^{-5}	0.0141
6 000	37.61	11.8	32.156	1 093	0.06393	1.164×10^{-5}	0.0141
6 500	35.83	11.6	32.154	1 091	0.06296	1.160×10^{-5}	0.0141
7 000	34.05	11.3	32.152	1 089	0.06200	1.157×10^{-5}	0.0140
7 500	32.26	11.1	32.151	1 087	0.06105	1.154×10^{-5}	0.0140
8 000	30.48	10.9	32.149	1 085	0.06012	1.150×10^{-5}	0.0139
8 500	28.70	10.7	32.148	1 083	0.05919	1.147×10^{-5}	0.0139
9 000	26.92	10.5	32.146	1 081	0.05828	1.144×10^{-5}	0.0138
9 500	25.14	10.3	32.145	1 079	0.05738	1.140×10^{-5}	0.0138
10 000	23.36	10.1	32.145	1 077	0.05648	1.137×10^{-5}	0.0137
11 000	19.79	9.72	32.140	1 073	0.05473	1.130×10^{-5}	0.0136
12 000	16.23	9.34	32.137	1 069	0.05302	1.124×10^{-5}	0.0136
13 000	12.67	8.99	32.134	1 065	0.05135	1.117×10^{-5}	0.0135
14 000	9.12	8.63	32.131	1 061	0.04973	1.110×10^{-5}	0.0134
15 000	5.55	8.29	32.128	1 057	0.04814	1.104×10^{-5}	0.0133
16 000	+1.99	7.97	32.125	1 053	0.04659	1.097×10^{-5}	0.0132
17 000	-1.58	7.65	32.122	1 049	0.04508	1.090×10^{-5}	0.0132
18 000	-5.14	7.34	32.119	1 045	0.04361	1.083×10^{-5}	0.0130
19 000	-8.70	7.05	32.115	1 041	0.04217	1.076×10^{-5}	0.0129
20 000	-12.2	6.76	32.112	1 037	0.04077	1.070×10^{-5}	0.0128
22 000	-19.4	6.21	32.106	1 029	0.03808	1.056×10^{-5}	0.0126
24 000	-26.5	5.70	32.100	1 020	0.03553	1.042×10^{-5}	0.0124
26 000	-33.6	5.22	32.094	1 012	0.03311	1.028×10^{-5}	0.0122
28 000	-40.7	4.78	32.088	1 003	0.03082	1.014×10^{-5}	0.0121
30 000	-47.8	4.37	32.082	995	0.02866	1.000×10^{-5}	0.0119
32 000	-54.9	3.99	32.08	987	0.02661	0.986×10^{-5}	0.0117
34 000	-62.0	3.63	32.07	978	0.02468	0.971×10^{-5}	0.0115
36 000	-69.2	3.30	32.06	969	0.02285	0.956×10^{-5}	0.0113
38 000	-69.7	3.05	32.06	968	0.02079	0.955×10^{-5}	0.0113
40 000	-69.7	2.73	32.05	968	0.01890	0.955×10^{-5}	0.0113
45 000	-69.7	2.148	32.04	968	0.01487	0.955×10^{-5}	0.0113
50 000	-69.7	1.691	32.02	968	0.01171	0.955×10^{-5}	0.0113
55 000	-69.7	1.332	32.00	968	0.00922	0.955×10^{-5}	0.0113
60 000	-69.7	1.048	31.99	968	0.00726	0.955×10^{-5}	0.0113

Fuente: U. S. Standard Atmosphere Supplements, U. S. Government Printing Office, 1966. Basadas en las condiciones medias redondeadas al año a 45° de latitud y varían con el momento del año y los patrones meteorológicos. Las condiciones al nivel del mar (z = 0) se toman como P = 14.696 psia, T = 59°F, ρ = 0.076474 lbm/ft³, g = 32.1741 ft/s².