



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena - EEL

Operações Unitárias

II

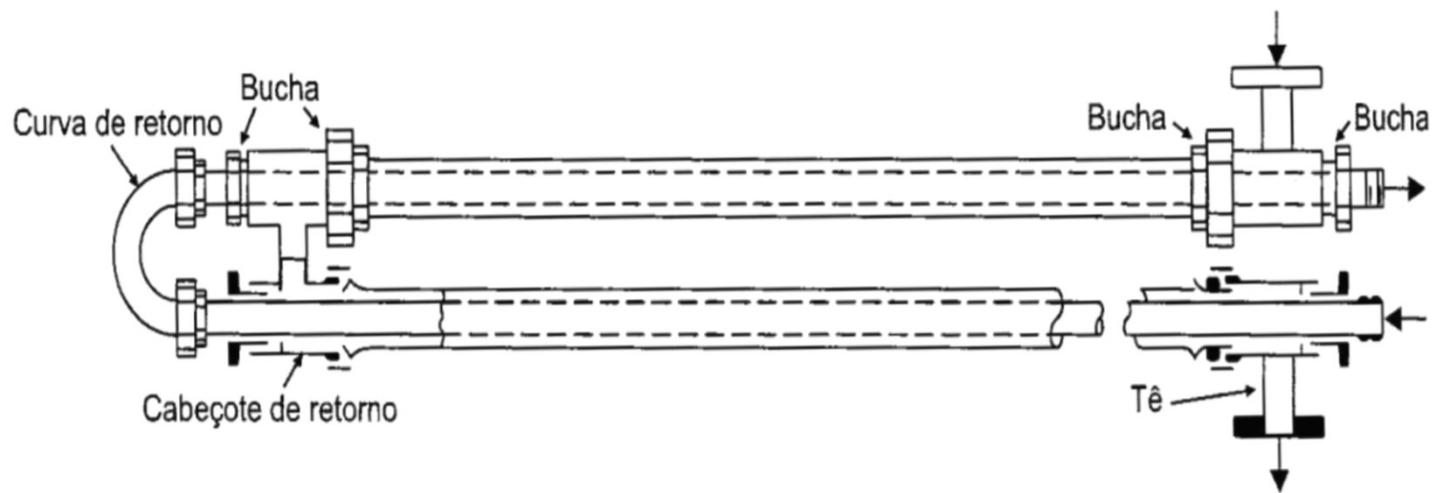
Prof^ª. Dr^ª. Simone de Fátima Medeiros



2º Semestre - 2018



Trocador bitubular – tubos concêntricos

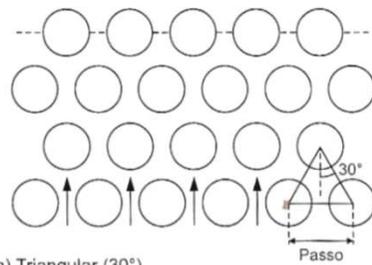


Trocador bitubular – tubos concêntricos

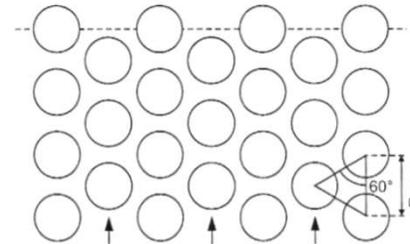
**Quadro 6.1 Conexões de um trocador
com tubo duplo**

<i>Tubo externo, IPS</i>	<i>Tubo interno, IPS</i>
2	1 ¹ / ₄
2 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄
3	2
4	3

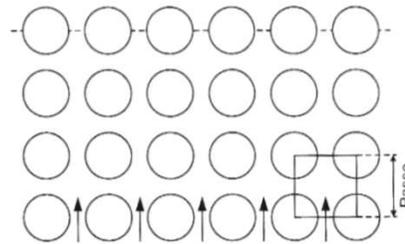
Trocador de casco e tubos



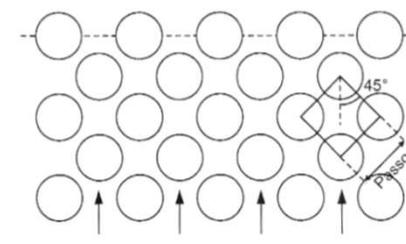
a) Triangular (30°)



b) Triangular (60°)



c) Quadrado (90°)



d) Quadrado rodado (45°)

Exemplo:

Deseja-se aquecer 9820 lb/h de benzeno em um trocador duplo tubo de 80 a 120°F, usando tolueno que entra a 160 °F e sai a 100 °F. as densidades relativas são 0,88 e 0,87, respectivamente. Um fator de incrustação de 0,001 pode ser disponível para cada corrente e a queda de pressão permitida em cada corrente é de 10 psi. Dispomos de um certo número de grampos de 20 ft com tudo IPS de 2 por 1(1/4). Quantos grampos são necessários?

Exemplo:

Quadro 11 Dimensões dos tubos de aço (IPS)

Tamanho do tubo nominal, IPS, in	DE, in	Escala N.º	DI, in	Área de escoamento por tubo, in²	Área por ft linear, ft²/ft		Peso por ft linear, lb de aço
					Externa	Interna	
1/8	0,405	40*	0,269	0,058	0,106	0,070	0,25
		80†	0,215	0,036		0,056	0,32
1/4	0,540	40*	0,364	0,104	0,141	0,095	0,43
		80†	0,302	0,072		0,079	0,54
3/8	0,675	40*	0,493	0,192	0,177	0,129	0,57
		80†	0,423	0,141		0,111	0,74
1/2	0,840	40*	0,622	0,304	0,220	0,163	0,85
		80†	0,546	0,235		0,143	1,09
3/4	1,05	40*	0,824	0,534	0,275	0,216	1,13
		80†	0,742	0,432		0,194	1,48
1	1,32	40*	1,049	0,864	0,344	0,274	1,68
		80†	0,957	0,718		0,250	2,17
1 1/4	1,66	40*	1,380	1,50	0,435	0,362	2,28
		80†	1,278	1,28		0,335	3,00
1 1/2	1,90	40*	1,610	2,04	0,498	0,422	2,72
		80†	1,500	1,76		0,393	3,64
2	2,38	40*	2,067	3,35	0,622	0,542	3,66
		80†	1,939	2,95		0,508	5,03
2 1/2	2,88	40*	2,469	4,79	0,753	0,647	5,80
		80†	2,323	4,23		0,609	7,67
3	3,50	40*	3,068	7,38	0,917	0,804	7,58
		80†	2,900	6,61		0,760	10,3
4	4,50	40*	4,026	12,7	1,178	1,055	10,8
		80†	3,826	11,5		1,002	15,0
6	6,625	40*	6,065	28,9	1,734	1,590	19,0
		80†	5,761	26,1		1,510	28,6
8	8,625	40*	7,981	50,0	2,258	2,090	28,6
		80†	7,625	45,7		2,000	43,4
10	10,75	40*	10,02	78,8	2,814	2,62	40,5
		60	9,75	74,6		2,55	54,8
12	12,75	30	12,09	115	3,338	3,17	43,8
14	14,0	30	13,25	138	3,665	3,47	54,6
16	16,0	30	15,25	183	4,189	4,00	62,6
18	18,0	20§	17,25	234	4,712	4,52	72,7
20	20,0	20	19,25	291	5,236	5,05	78,6
22	22,0	20§	21,25	355	5,747	5,56	84,0
24	24,0	20	23,25	425	6,283	6,09	94,7

*Comumente conhecido como padrão.
 †Comumente conhecido como extrapesado.
 §Aproximadamente.

Fonte: Kern (1980)

Exemplo:

Viscosidades de líquidos*
Coordenadas que devem ser usadas com a Fig. 14

Líquido	X	Y	Líquido	X	Y
Acetaldeído	15,2	4,8	Dibromoetano	12,7	15,8
Acetato amílico	11,8	12,5	Dicloroetano	13,2	12,2
Acetato butílico	12,3	11,0	Diclorometano	14,6	8,9
Acetato etílico	13,7	9,1	Difenil	12,0	18,3
Acetato metílico	14,2	8,2	Dióxido de carbono	11,6	0,3
Acetato de vinila	14,0	8,8	Dióxido de enxofre	15,2	7,1
Acetona, 100%	14,5	7,2	Dissulfeto de carbono	16,1	7,5
Acetona, 35%	7,9	15,0	Éter etílico	14,5	5,3
Ácido acético, 100%	12,1	14,2	Fenol	6,9	20,8
Ácido acético, 70%	9,5	17,0	Formato etílico	14,2	8,4
Ácido butírico	12,1	15,3	Freon-11	14,4	9,0
Ácido clorossulfônico	11,2	18,1	Freon-12	16,8	5,6
Ácido fórmico	10,7	15,8	Freon-21	15,7	7,5
Ácido hidrolórico, 31,5%	13,0	16,6	Freon-22	17,2	4,7
Ácido isobutílico	12,2	14,4	Freon-113	12,5	11,4
Ácido nítrico, 95%	12,8	13,8	Freon-114	14,6	8,3
Ácido nítrico, 60%	10,8	17,0	Glicerol, 100%	2,0	30,0
Ácido propiônico	12,8	13,8	Glicerol, 50%	6,9	19,6
Ácido sulfúrico, 110%	7,2	27,4	Glicol etileno	6,0	23,6
Ácido sulfúrico, 98%	7,0	24,8	Heptano	14,1	8,4
Ácido sulfúrico, 60%	10,2	21,3	Hexano	14,7	7,0
Água	10,2	13,0	Hidróxido de sódio, 50%	3,2	25,8
Álcool alílico	10,2	14,3	Iodeto etílico	14,7	10,3
Álcool amílico	7,5	18,4	Iodeto propílico	14,1	11,6
Álcool butílico	8,6	17,2	Isobutano	14,5	3,7
Álcool etílico, 100%	10,5	13,8	Mercúrio	18,4	16,4
Álcool etílico, 95%	9,8	14,3	Metanol, 100%	12,4	10,5
Álcool etílico, 40%	6,5	16,6	Metanol, 90%	12,3	11,8
Álcool isobutílico	7,1	18,0	Metanol, 40%	7,8	15,5
Álcool isopropílico	8,2	16,0	n-Butano	15,3	3,3
Álcool octílico	6,6	21,1	Naftaleno	7,9	18,1
Álcool propílico	9,1	16,5	Nitrobenzeno	10,6	16,2
Amônia, 100%	12,6	2,0	Nitrotolueno	11,0	17,0
Amônia, 26%	10,1	13,9	Octano	13,7	10,0
Anidrido acético	12,7	12,8	Oxalato dietílico	11,0	16,4
Anilina	8,1	18,7	Oxalato dimetilico	12,3	15,8
Anisol	12,3	13,5	Oxalato dipropílico	10,3	17,7
Benzeno	12,5	10,9	Pentacloroetano	10,9	17,3
Benzeno etílico	13,2	11,5	Pentano	14,9	5,2
Brometo etílico	14,5	8,1	Propano	15,3	1,0
Brometo propílico	14,5	9,6	Salmoura, CaCl ₂ , 25%	6,6	15,9
Bromo	14,2	13,2	Salmoura, NaCl, 25%	10,2	16,6
Bromotolueno	20,0	15,9	Sódio	16,4	13,9
Cetona-etil-metilica	13,9	8,6	Tetracloreto de carbono	12,7	13,1
Cicloexanol	2,9	24,3	Tetracloreto de titânio	14,4	12,3
Cloroetano	13,5	12,8	Tetracloroetano	11,9	15,7
Cloroeto etílico	14,8	6,0	Tetracloroetileno	14,2	12,7
Cloroeto metílico	15,0	3,8	Tolueno	13,7	10,4
Cloroeto propílico	14,4	7,5	Tribrometo fosforoso	13,8	16,7
Cloroeto de sulfúria	15,2	12,4	Tricloroeto arsênico	13,9	14,5
Clorobenzeno	12,3	12,4	Tricloroeto fosforoso	16,2	10,9
Clorofórmio	14,4	10,2	Tricloroetileno	14,8	10,5
Clorotolueno, meta	13,3	12,5	Turpentina	11,5	14,9
Clorotolueno, orto	13,0	13,3	Xileno, meta	13,9	10,6
Clorotolueno, para	13,3	12,5	Xileno, orto	13,5	12,1
Cresol, meta	2,5	20,8	Xileno, para	13,9	10,9

*De Perry, J. H., *Chemical Engineers' Handbook*, 3.^a ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.

Exemplo:

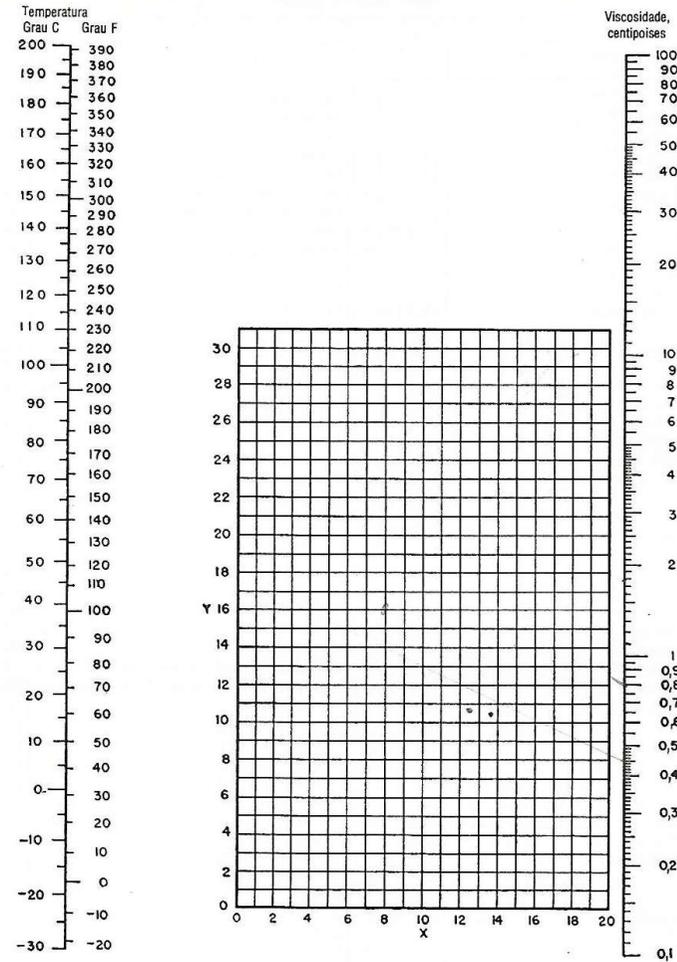


Fig. 14 Viscosidades de líquidos. (Perry, *Chemical Engineers' Handbook*, 3.^a ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.)

Fonte: Kern (1980)

Exemplo:

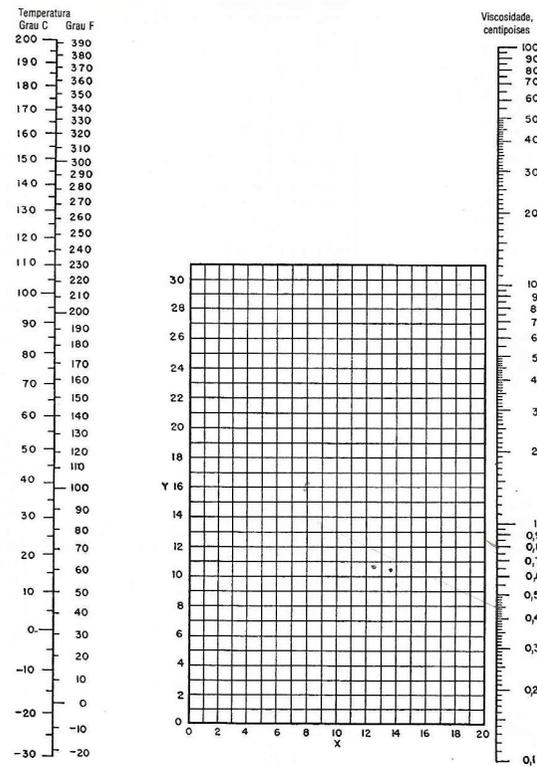


Fig. 14 Viscosidades de líquidos. (Perry, *Chemical Engineers' Handbook*, 3.^a ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.)

Exemplo:

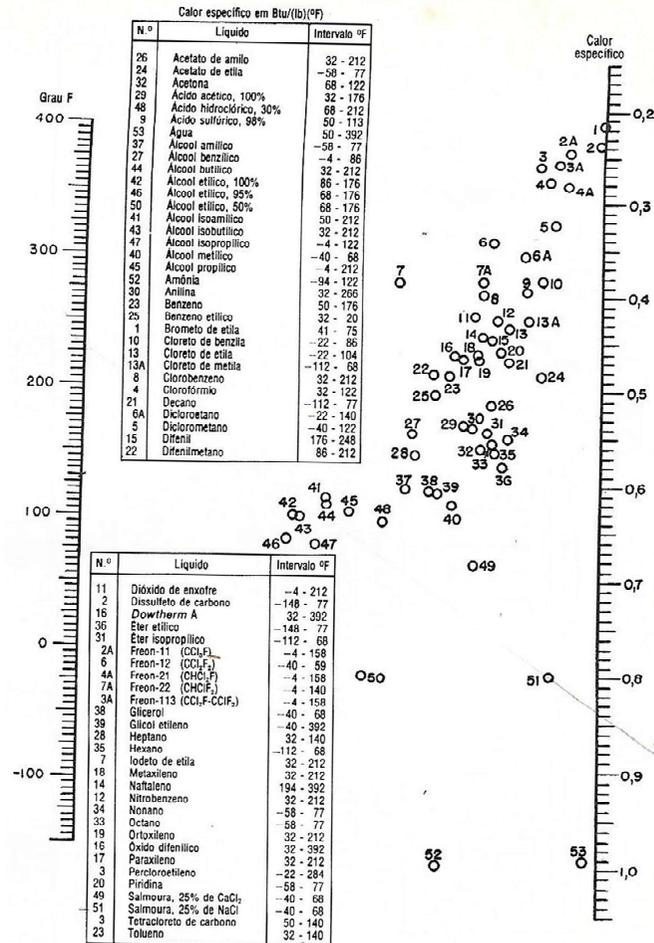


Fig. 2 Calores específicos de líquidos. (Chilton, Colburn e Vernon, baseados principalmente nos dados de International Critical Tables, Perry, Chemical Engineers' Handbook, 3.ª ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.)

Fonte: Kern (1980)

Exemplo:

Quadro 4 Condutividades térmicas de líquidos*

$k = Btu/(h)(ft^2)(^{\circ}F/ft)$
Podemos supor uma variação linear com a temperatura. Os valores extremos fornecidos constituem também os limites de temperatura sobre os quais recomendamos os dados.

Líquido	$^{\circ}F$	k
Acetato amílico	50	0,083
Alcool (n-)	86	0,094
	212	0,089
	86	0,088
	167	0,087
Acetato butílico (n-)	77-86	0,085
Alcool (n-)	86	0,097
	167	0,095
(iso-)	50	0,091
Acetato de etila	68	0,101
Alcool 100%	68	0,105
80%	68	0,137
60%	68	0,176
40%	68	0,224
20%	68	0,281
100%	122	0,087
Benzeno	86	0,086
	140	0,082
Brometo	68	0,070
Éter	86	0,080
	167	0,078
	194	0,064
Iodeto	167	0,063
Acetona	86	0,102
	167	0,095
Ácido acético 100%	68	0,099
50%	68	0,20
Ácido esteárico	212	0,0786
Ácido láurico	212	0,102
Ácido oléico	212	0,0925
Ácido palmítico	212	0,0835
Ácido sulfúrico 90%	86	0,21
60%	86	0,25
30%	86	0,30
Água	32	0,330
	86	0,356
	140	0,381
	176	0,398
Alcool alílico	77-86	0,104
Alcool heptílico (n-)	86	0,084
	167	0,091
Alcool hexílico (n-)	86	0,093
	167	0,090
Alcool metílico 100%	68	0,124
80%	68	0,154
60%	68	0,190
40%	68	0,234
20%	68	0,284
100%	122	0,114
Cloreto	5	0,111
	86	0,089
Alcool propílico (n-)	86	0,099
	167	0,095
Alcool (iso-)	86	0,091
	140	0,090
Amônia	5-86	0,29
Amônia, 26% aquosa	68	0,261
	140	0,29
Anilina	32-68	0,100
Benzeno	86	0,092
	140	0,087
Bromobenzeno	86	0,074
	212	0,070
Cimeno (para)	86	0,078
	140	0,079
Cloreto de cálcio com 30% de sal	86	0,32
15% de sal	86	0,34

Fonte: Kern (1980)

Exemplo:

Quadro 5 Condutividades térmicas de gases e vapores*
 $k = \text{Btu}/(\text{h})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$

Os valores extremos da temperatura fornecidos constituem o intervalo experimental. Para extrapolação a outras temperaturas, sugerimos que os dados fornecidos sejam plotados como $\log k$ contra $\log T$ ou que se use a hipótese que a razão $c\mu/k$ seja praticamente independente da temperatura (ou da pressão, dentro de limites moderados).

Substância	°F	k	Substância	°F	k
Acetato de etila	115	0,0072	Dióxido de carbono	-58	0,0068
	212	0,0096		32	0,0085
Álcool	363	0,0141		212	0,0133
	68	0,0089		392	0,0181
	212	0,0124		572	0,0228
Cloreto	32	0,0055	Dissulfeto	32	0,0040
	212	0,0095		45	0,0042
	363	0,0135	Monóxido	-312	0,0041
	413	0,0152		-294	0,0046
Éter	32	0,0077		32	0,0135
	115	0,0099	Tetracloroeto	115	0,0041
	212	0,0131		212	0,0052
	363	0,0189		363	0,0065
	413	0,0209	Dióxido de enxofre	32	0,0050
Acetileno	-103	0,0068		212	0,0069
	32	0,0108	Etano	-94	0,0066
	122	0,0140		-29	0,0086
	212	0,0172		32	0,0106
Acetona	32	0,0057		212	0,0175
	115	0,0074	Etileno	-96	0,0064
	212	0,0099		32	0,0101
	363	0,0147		122	0,0131
Álcool metílico	32	0,0083		212	0,0161
	212	0,0128	Heptano (n-)	392	0,0112
Acetato	32	0,0059		212	0,0103
	68	0,0068	Hexano (n-)	32	0,0072
Amônia	-76	0,0095		68	0,0080
	32	0,0128	Hexeno	32	0,0061
	122	0,0157		212	0,0109
	212	0,0185	Hidrogênio	-148	0,065
Ar	148	0,0095		-58	0,083
	32	0,0140		32	0,100
	212	0,0183		122	0,115
	392	0,0226		212	0,129
	572	0,0265		572	0,178
Benzeno	32	0,0052	Hidrogênio e dióxido de carbono	32	
	115	0,0073	0% H ₂		0,0083
	212	0,0103	20%		0,0165
	363	0,0152	40%		0,0270
	413	0,0176	60%		0,0410
Butano (n-)	32	0,0078	80%		0,0620
	212	0,0135	100%		0,10
(iso-)	32	0,0080	Hidrogênio e nitrogênio	32	
	212	0,0139	0% H ₂		0,0133
Cicloexano	216	0,0095	20%		0,0212
Cloreto	32	0,0043	40%		0,0313
Cloreto de metila	32	0,0053	60%		0,0438
	115	0,0072	80%		0,0635
	212	0,0094	Hidrogênio e óxido nitroso	32	
	363	0,0130	0% H ₂		0,0002
	413	0,0148	20%		0,0170
Cloreto de metileno	32	0,0039	40%		0,0270
	115	0,0049	60%		0,0410
	212	0,0063	80%		0,0650
	413	0,0095	Metano	-148	0,0100
Clorofórmio	32	0,0038		-58	0,0145
	115	0,0046		32	0,0175
	212	0,0058		122	0,0215
	363	0,0077	Mercurio	392	0,0197
Diclorodifluor-metano	32	0,0048	Nitrogênio	-148	0,0095
	122	0,0064		32	0,0140
	212	0,0080		122	0,0160
	302	0,0097		212	0,0180

Fonte: Kern (1980)

Exemplo:

Quadro 4 Condutividades térmicas de líquidos* (cont.)

$k = \text{Btu}/(\text{h})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$
Podemos supor uma variação linear com a temperatura. Os valores extremos fornecidos constituem também os limites de temperatura sobre os quais recomendamos os dados.

Líquido	$^{\circ}\text{F}$	k
Cloreto de sódio, salmoura 25,0%	86	0,33
Clorobenzeno 12,5%	86	0,34
Clorofórmio	50	0,083
Decano (n-)	86	0,080
	86	0,085
Diclorodifluor-metano	140	0,083
	20	0,057
	60	0,053
	100	0,048
	140	0,043
Dicloroetano	180	0,038
Diclorometano	122	0,082
	5	0,111
Dióxido de enxofre	86	0,096
	5	0,128
Dissulfeto de carbono	86	0,111
	86	0,093
Tetracloreto	167	0,088
	32	0,107
Éter de petróleo	154	0,094
	86	0,075
Gasolina	167	0,078
Glicerol 100%	86	0,078
80%	68	0,164
60%	68	0,189
40%	68	0,220
20%	68	0,259
100%	68	0,278
Glicol etileno	212	0,164
Heptano (n-)	32	0,153
	86	0,081
Hexano (n-)	140	0,079
	86	0,080
Mercurio	140	0,078
Nitrobenzeno	82	4,83
	86	0,095
Nitrometano	212	0,088
	86	0,125
Nonano (n-)	140	0,120
	86	0,084
Octano (n-)	140	0,082
	86	0,083
Óleos	140	0,081
Oliva	68	0,097
Rícino	212	0,095
	68	0,104
Paraldeído	212	0,100
	86	0,084
Pentano (n-)	212	0,078
	86	0,078
Percloroetileno	167	0,074
Querosene	122	0,092
	68	0,086
Sódio	167	0,081
	212	49
	410	46
Tolueno	86	0,086
	167	0,084
β -tricloroetano	122	0,077
Tricloroetileno	122	0,080
Turpentina	59	0,074
Vaselina	59	0,106
Xileno (meta-)	68	0,090
(orto-)	68	0,090

*De Perry, J. H., *Chemical Engineers' Handbook*, 3.^a ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.