

# LOQ4086-OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

## Trocadores de Calor



Prof<sup>a</sup> Lívia Chaguri

# **LOQ4086-OPERAÇÕES UNITÁRIAS II**

## **Projeto de Trocadores de Calor**

- a) Método Bell-Delaware**
- b) Método Kern**
- c) Exercício de aplicação**

# Projeto de Trocadores de Calor: Casco e Tubos

No campo de atuação do EQ o projeto de TC refere-se a dimensionamento térmico e hidráulico.

TC projetado deve realizar o serviço térmico, com determinada perda de carga máxima para cada corrente.

Equipamento tem que satisfazer simultaneamente: requisitos de transferência de calor e perda de carga.



# Projeto de Trocadores de Calor: Casco e Tubos

Na transferência de calor o aumento da veloc. escoamento dos fluidos aumenta coeficientes de transferência de calor e o  $U$ .

Menor área de troca necessária: equipamento mais barato.

Aumento da veloc. Escoamento implica no aumento de  $\Delta P$ : maiores gastos com bombeamento.

Projeto do TC: impor uma  $\Delta p_{m\acute{a}x}$  e dimensionar o TC procurando utilizar toda  $\Delta p_{permitida}$ .

# Projeto de Trocadores de Calor: Casco e Tubos

**$\Delta P$  admissível - 10 e 25 psi - líquidos**

**$\Delta P$  admissível < 2 psi - gases e vapores**

Projeto: procurar utilizar toda  **$\Delta P$  admissível**, desde que se consiga alguma redução da área de troca ou melhoria no equipamento.



# Lógica do Projeto

O equipamento deverá satisfazer, simultaneamente, requisitos de transferência de calor e de perda de carga.

Num projeto, estamos interessados no dimensionamento do trocador:

- comprimento dos tubos,
- diâmetros do casco e dos tubos,
- número de tubos e passes,
- ângulo do arranjo.

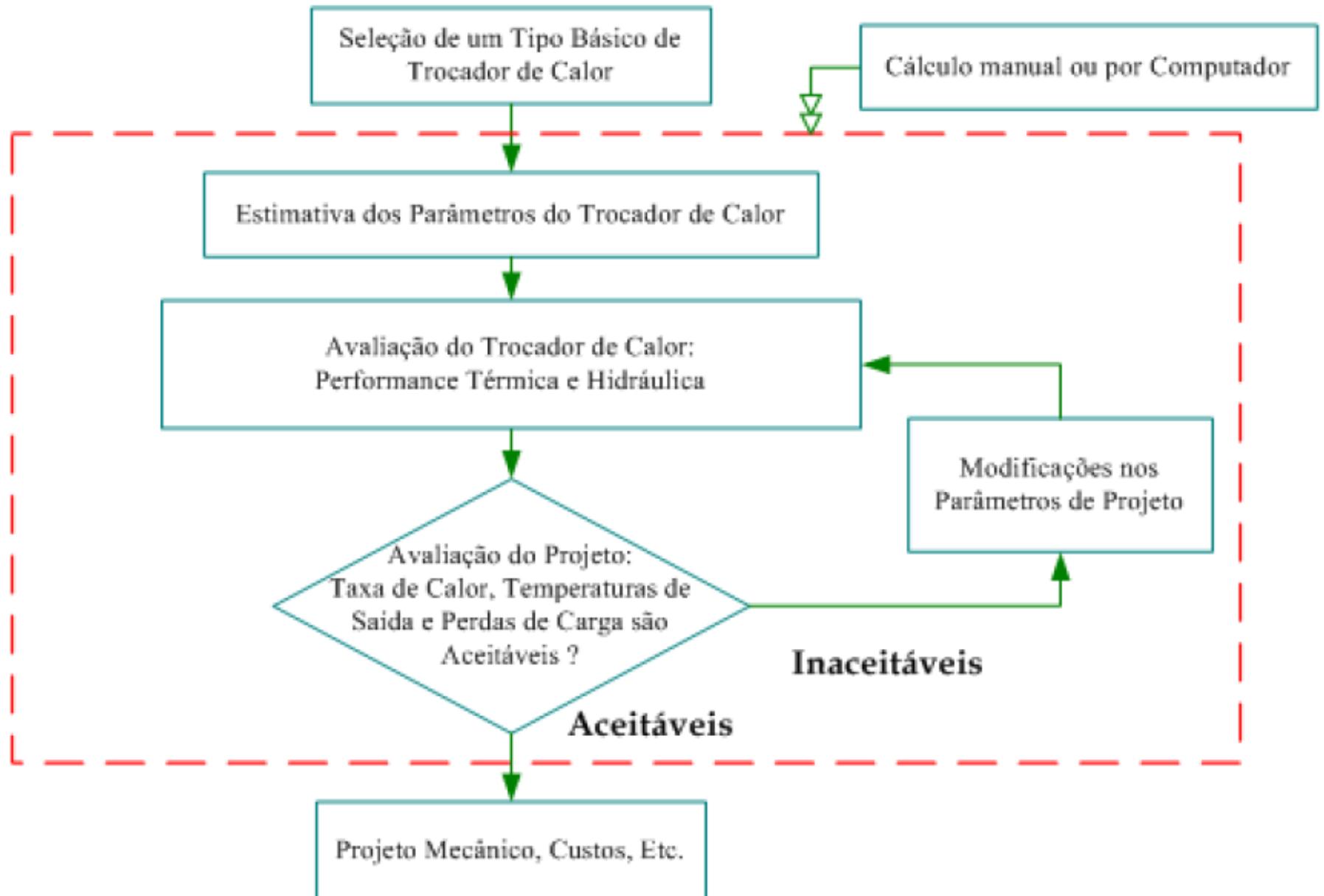
A avaliação do TC implica em determinar se o serviço pode ou não ser executado e não na melhor forma de utilizar o equipamento.

# Incertezas do Projeto

- Previsão das propriedades físicas;
- Correlações para o cálculo dos coeficientes de transferência de calor;
- Condições operacionais podem variar;
- Restrições de dimensões e parâmetros;
- Desconhecimento das características da incrustação.



# Estrutura Lógica do Projeto



# Projeto de Trocadores de Calor

Os métodos mais usados para o cálculo dos coeficientes de transferência e da perda de carga da literatura aberta:

- i. Método Donahue – publicado em 1949 e 1955.
- ii. Método Kern – grande importância, tornou-se padrão industrial por muitos anos. Provavelmente o mais conhecido, embora sua precisão seja inferior a de outros.
- Publicação em 1950 no livro Process Heat Transfer (D.Q. Kern).
- O escoamento do lado do casco é bem mais complexo do que este método propõe.

# Projeto de Trocadores de Calor

- iii. Método de Tinker – analisou a complexidade do escoamento do lado casco (1951) Sua abordagem inovadora foi empregada posteriormente por outros métodos.
- iv. Método de Bell-Delaware – trata apenas do escoamento do lado do casco (em troc. Casco e tubo) é o mais preciso e recomendado da literatura aberta.

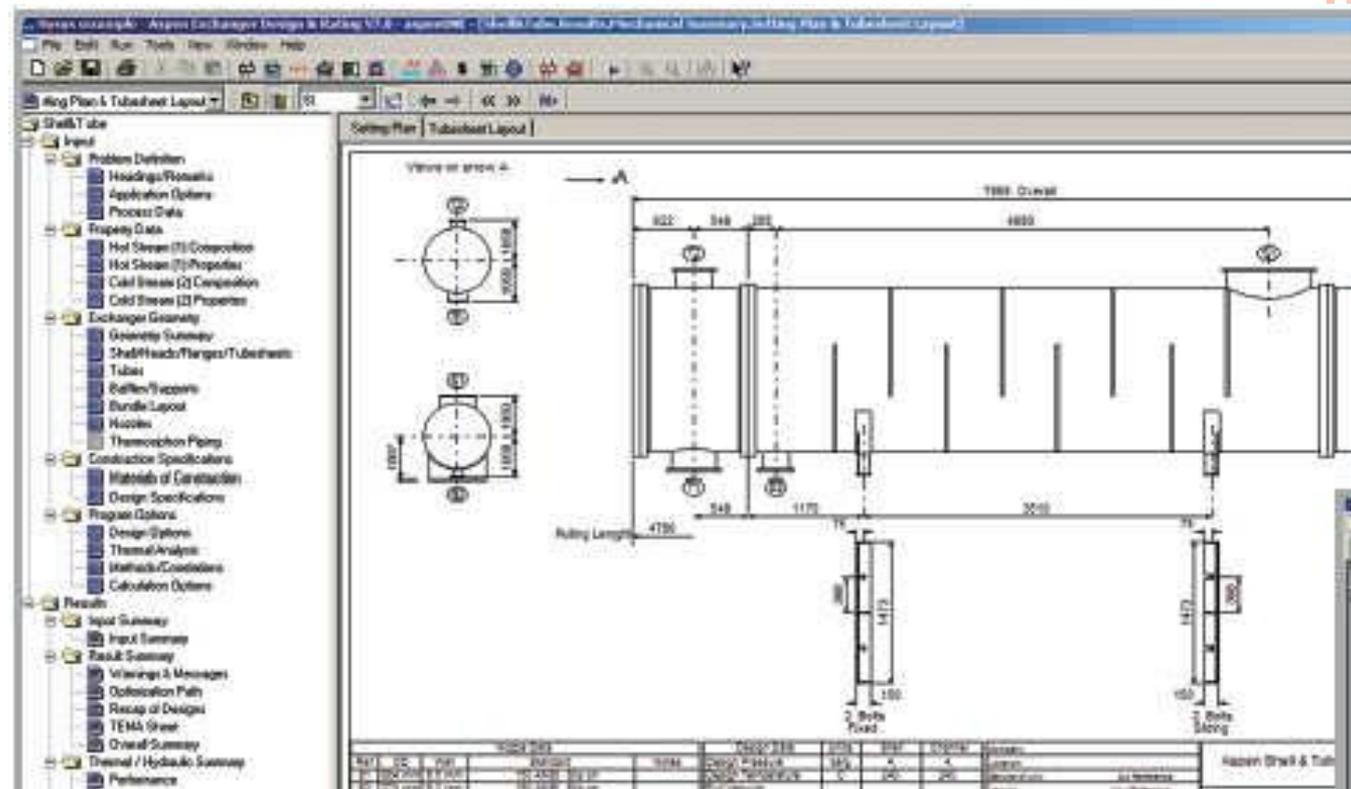
Principais métodos de iniciativas privadas:

- HTRI – Heat Transfer Research Inc. (USA)
- HTFS – Heat Transfer and Fluid Service (UK)
- B-JAC International Ltd. (adquirida pela ASPEN TEC)

# Projeto de Trocadores de Calor

Principais métodos de iniciativas privadas:

- HTRI – Heat Transfer Research Inc. (USA)
- HTFS – Heat Transfer and Fluid Service (UK)
- B-JAC International Ltd. (adquirida pela ASPENTEC)



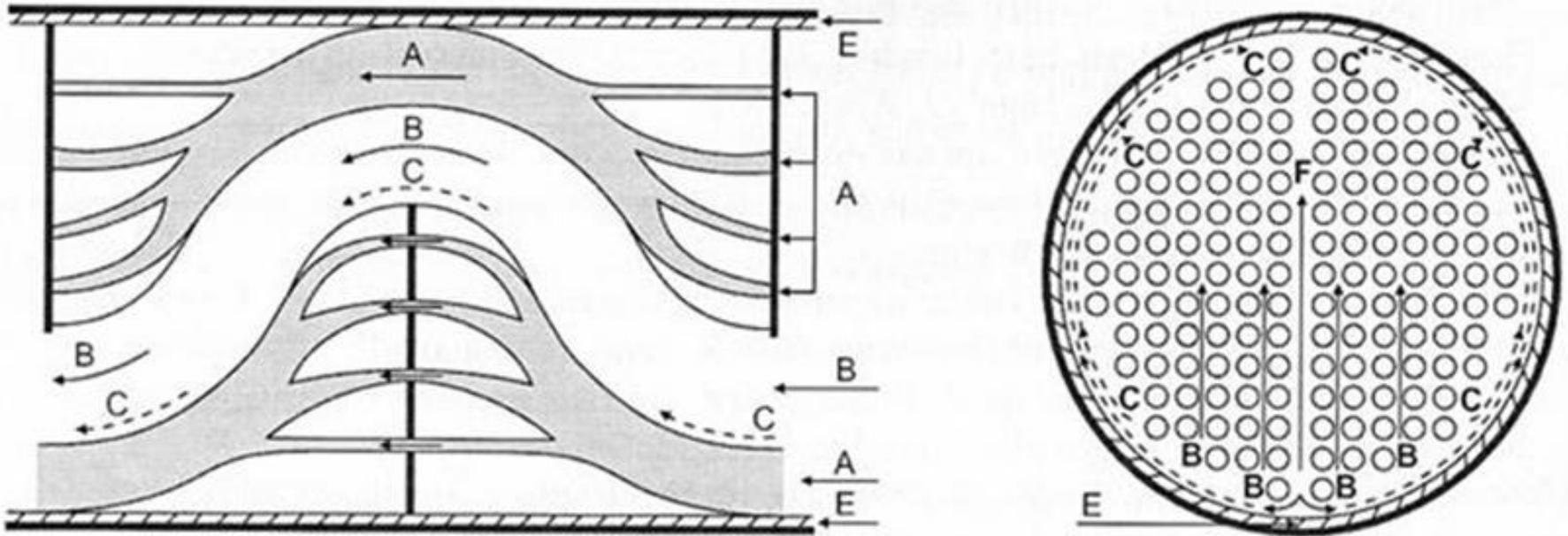
# Projeto de Trocadores de Calor – Bell Delaware

Lado do Tubo – Correlações Conhecidas relacionando  $Nu$ ,  $Pr$ ,  $Re$  e  $\mu_{tp}$ .

Lado do Casco – Correlações que são função também das características físicas do TC (tipo, corte e espaçamento das Chicanas, do número, diâmetro, comprimento e arranjo dos tubos, das dimensões da carcaça).



# Projeto de TC – Bell Delaware – Esco. Lado Casco



Corrente A – efeito pequeno  $h$  e  $\Delta P$

**Corrente B – principal corrente – corrente desejada no casco**

Corrente C – efeito grande em  $h$  e  $\Delta P$  – redução mecânica

Corrente E - efeito grande em  $h$  e  $\Delta P$  – inevitável

Corrente F – efeito moderado em  $h$  e  $\Delta P$  – pode ser reduzida

Estas correntes são um modelo para representar as correntes de forma simples. As correntes acontecem em conjunto e interagem entre si.

# Projeto de TC – Bell Delaware – Esco. Lado Casco

## Estrutura básica do método.

- $h$ ,  $\Delta P$  na seção do escoamento e na janela da chicana são calculados para um feixe de tubos.
- Valores de  $h$  e  $\Delta P$  são multiplicados por fatores de correção (determ. experim.) para considerar vazamentos nas correntes A, C e E seus desvios.
- Fatores de correção dependem da geometria de construção do trocador.
- Necessário cálculos das áreas referentes a esses vazamentos, área da seção de escoamento cruzado no centro do feixe, área vazamentos casco-chicanas e tubo-chicana etc.

# Projeto de TC – Bell Delaware – Esco. Lado Casco

## Estrutura básica do método.

- Cálculo do coeficiente de transferência de calor no lado do casco:

$$h = h_{ideal} J_c J_l J_b J_r J_s$$

Sendo:

$h_{ideal}$ : coeficiente de transferência de calor esc. cruzado em feixe tubos ideal. Assumindo que toda corrente escoa perpendicularmente a um feixe de tubos ideal.

$J_c$  – fator de correção para corte e o espaçamento das chicanas.

$J_l$  – fator de correção para efeitos dos vazamentos casco-chicanas e chicanas-tubos (Correntes A e E).

$J_b$  – fator de correção devido “bypass” ao feixe em razão da abertura entre a extremidade do feixe.

$J_s$  – fator de correção para o espaçamento diferenciado das chicanas nas seções de entrada e saída do trocador.

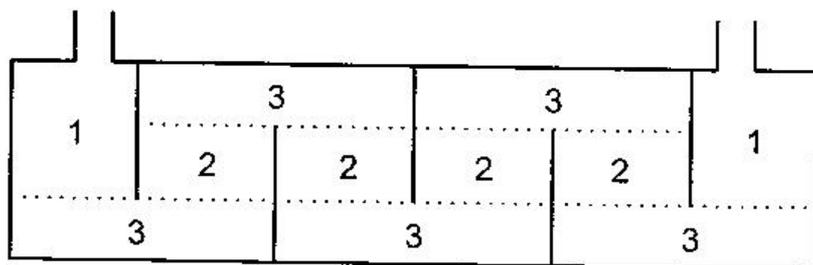
$J_r$  – fator de correção para o gradiente adverso de temperatura em escoamento laminar.

# Projeto de TC – Bell Delaware – Esco. Lado Casco

## Estrutura básica do método.

- Cálculo perda de carga no lado do casco

Cálculo de  $\Delta P$  no lado do casco é dividido em 3 partes:



Casco sem os carretéis

1. Perda de carga nas seções de entrada e saída,  $\Delta p_e$
2. Perda de carga nas seções de escoamento cruzado,  $\Delta p_c$
3. Perda de carga nas janelas,  $\Delta p_w$

1. Região de entrada e saída;
2. Região de escoamento cruzado;
3. Região de janelas.

$$\Delta p_s = \Delta p_c + \Delta p_w + \Delta p_e$$

Perda de carga região escoamento cruzado (aponta para  $\Delta p_c$ )

Perda de carga região de Entrada e saída (aponta para  $\Delta p_e$ )

Perda de carga no casco/total (aponta para  $\Delta p_s$ )

Perda de carga região de janelas (aponta para  $\Delta p_w$ )

# Projeto de TC – Bell Delaware – Esco. Lado Casco

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

1. Balanço de energia
2. Diferença de temperatura no trocador ( $\Delta t$ )
  - 2.1 Quando necessário corrigir  $\Delta t$  – fator F (R, S)
3. Avaliação das propriedades físicas dos fluidos pela temperatura média em cada corrente ou temperatura calórica (Kern).
4. Cálculo de h para lado tubo e lado casco
5. Cálculo da temperatura da parede ( $t_w$ )
6. Cálculo do coeficiente global limpo
7. Cálculo do fator de incrustação
8. Cálculo da área
9. Cálculo da perda de carga para lado tubo e lado casco.



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

1. Balanço de energia

2. Diferença de temperatura no trocador ( $\Delta t$ )

$$\Delta t = (MLDT)_{contr} \cdot F \longrightarrow \text{a partir de R e S: define número de passes}$$

3. Avaliação das propriedades físicas dos fluidos pela temperatura calórica (Kern)/ considerar  $T_{médias}$ :

Tentativa 1

a) Supor valor de UD: Quadro 8, Kern

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta t}$$

$$N_t = \frac{A}{\pi d_e L}$$



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

b) Supor número de passagens no tubo: que atenda  $\Delta P$  admissível



# Projeto de TC – Método Kern

## Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

c) Corrigir valor de  $U_D$  em razão da nova área obtida em b.

Selecionar o trocador de calor pelo **Quadro 9 Kern**;  
Obtém-se novo  $N_t$ , portanto, nova área  $A$  e novo  $U_D$ .

$$U_D = \frac{Q}{A\Delta t}$$

Nesse ponto, se definirmos o espaçamento das chicanas, todo o trocador estará definido.

O seguinte passo é verificar se o trocador definido é adequado ou não.



Etapas necessárias para cálculo de  $h$  e  $\Delta P$



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

4. Cálculo da área de escoamento: lado casco e tubo

Casco

$$a_s = \frac{D_s \times C' \times B}{P_t \times 144} (ft^2)$$

Tubo

$$a_t = \frac{N_t a'_t}{144n} (ft^2)$$

B – espaçamento entre as chicanas

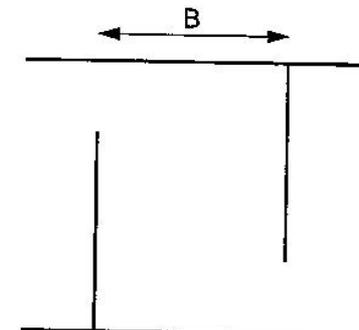
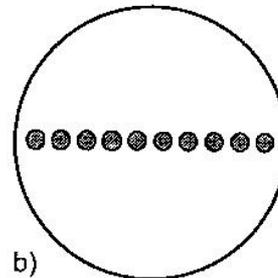
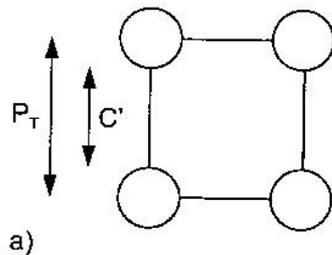
C' – espaço vazio (espaço entre os tubos)

P<sub>t</sub> – diâmetro do tubo mais C'

N<sub>t</sub> – número de tubos

a'<sub>t</sub> – área de escoamento (quadro 10, Kern)

n – número passos tubo



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

5. Cálculo da vazão mássica ( $G$ ): lado casco e tubo

Casco

$$G_s = \frac{\dot{m}_s}{a_s}$$

Tubo

$$G_t = \frac{\dot{m}_t}{a_t}$$

6. Cálculo de Re: lado casco e tubo

$$\text{Re} = \frac{G_s D_s}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{G_t D_t}{\mu}$$



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

7. Obtenção de  $j_H$ : lado casco e tubo

Casco

Casco: Figura 28 Kern

Tubo

Casco: Figura 24 Kern



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

8. Obtenção de  $k(c\mu/k)^{1/3}$ : lado casco e tubo

Figura 16. Kern

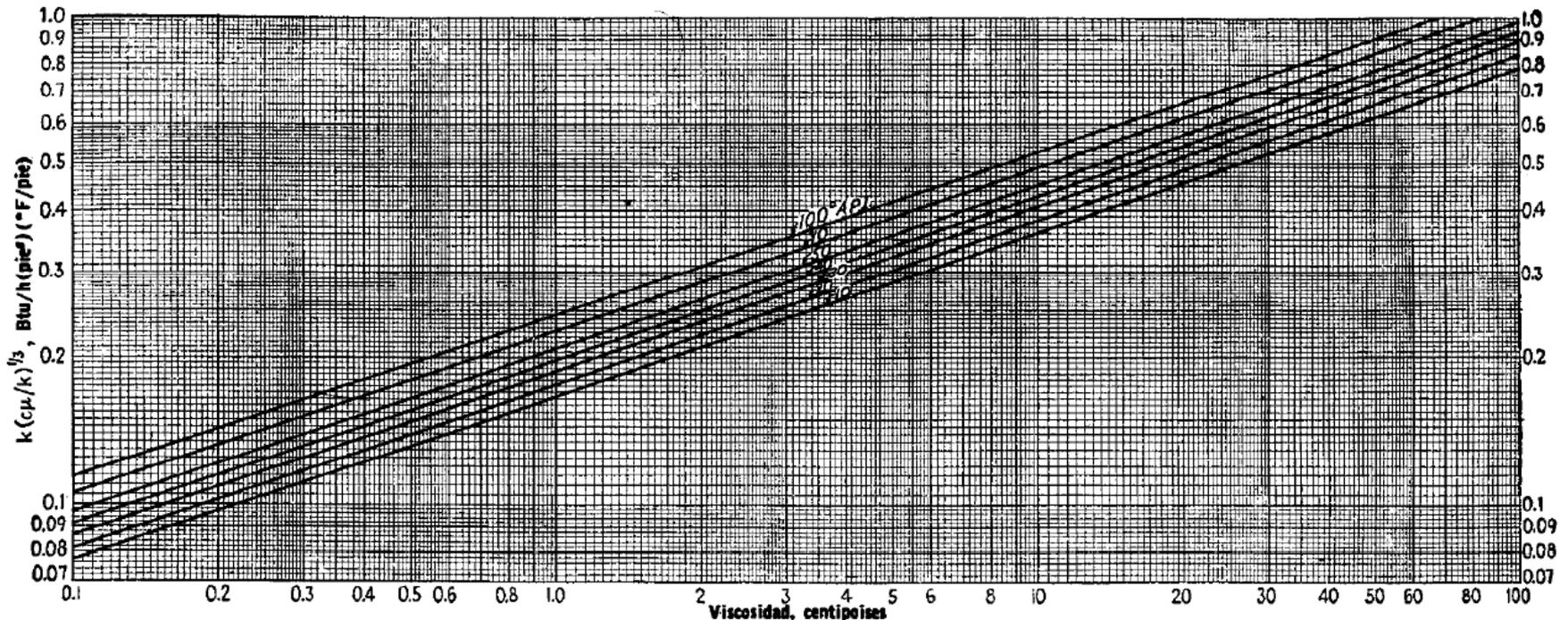


FIG. 16. Valores de  $k(c/\mu)^{1/3}$  para hidrocarburos

# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

## 9. Cálculo de $h$ : lado casco e tubo

Casco

$$h_o = j_H \frac{k}{D_s} \left( \frac{c\mu}{k} \right)^{1/3} \phi_s$$

Tubo

$$h_i = j_H \frac{k}{D_t} \left( \frac{c\mu}{k} \right)^{1/3} \phi_t$$

Correção da viscosidade: pode ser omitida ou considerada como 1.  
Para efeitos práticos.



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

10. Correção de  $h_i$ : lado tubo/ correção para área externa

$$h_{i_o} = h_i \frac{D_t}{D_e} \rightarrow \text{Quadro 10 - Kern}$$

Tubo, DE, in	BWG	Espessura da parede, in	DI, in	Área de es- coamento por tubo, in <sup>2</sup>	Área por ft linear, ft <sup>2</sup>		Peso por ft linear, lb de aço
					Externa	Interna	
1/2	12	0,109	0,282	0,0625	0,1309	0,0748	0,493
	14	0,083	0,334	0,0876		0,0874	0,403
	16	0,065	0,370	0,1076		0,0969	0,329
	18	0,049	0,402	0,127		0,1052	0,258
	20	0,035	0,430	0,145		0,1125	0,190
3/4	10	0,134	0,482	0,182	0,1963	0,1263	0,965
	11	0,120	0,510	0,204		0,1335	0,884
	12	0,109	0,532	0,223		0,1393	0,817
	13	0,095	0,560	0,247		0,1466	0,727
	14	0,083	0,584	0,268		0,1529	0,647
	15	0,072	0,606	0,289		0,1587	0,571
	16	0,065	0,620	0,302		0,1623	0,520
	17	0,058	0,634	0,314		0,1660	0,469
	18	0,049	0,652	0,334		0,1707	0,401



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

## 11. Cálculo $\Delta P$ : lado casco e lado tubo

Casco

Com Re calculado encontrar  $f$  (Fig. 29).

Dado:  $s$  – desvio de viscosidade ou  $\rho_f$ .

Calculo de número de interseções:  $N+1$ :

$$N + 1 = \frac{12L}{B}$$

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N + 1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot \rho_f \cdot \phi_s} \quad (psi)$$

Tubo

Com Re calculado encontrar  $f$  (Fig. 26).

Dado:  $s$  – desvio de viscosidade ou  $\rho_f$ .

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot G_t \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_t \cdot \rho_f \cdot \phi_t} \quad (psi)$$

Pode ser substituída por  $s$



# Projeto de TC – Método Kern

Sequencia e detalhamento das etapas do projeto.

12. Cálculo do Coeficiente Global Limpo:  $U_C$

$$U_C = \frac{h_{i_o} \cdot h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

13. Cálculo do fator de incrustação  $R_D$

$$R_D = \frac{U_C - U_D}{U_C \cdot U_D}$$

14. Comparar  $R_D$  calculado com  $R_D$  real.

**Trocador é aceitável se  $R_D$  calculado  $>$   $R_D$  real**



# Projeto de TC – Método Kern

**Exemplo 11.1 Kern:** Usamos 29.800 lb/h de óleo leve com 35 °API a 340 °F (cp 0,58 Btu/lb °F). para aquecer 103.300 lb/h de nafta com 48 ° API de 200 até 230 °F (cp 0,56 Btu/lb °F). A viscosidade do óleo é igual a 5,0 cp a 100 °F e 2,3 cp a 210 °F. As quedas de pressão permitidas são de 10 psi.

Como o óleo tende a depositar resíduos, considere um fator de incrustação de 0,005 e use passo quadrado. Nos projetos práticos, é comum utilizar tubos BWG 16 com De de  $\frac{3}{4}$  in, comprimento de 16' 0".

Dados:

$$S_{\text{óleo}} = 0,76 \text{ (Fig. 6 Kern)}$$

$$\mu_{\text{óleo}} = 3,63 \text{ lb/fth}$$

$$S_{\text{nafta}} = 0,72$$

$$\mu_{\text{nafta}} = 1,31 \text{ lb/fth (Fig. 6 Kern)}$$



### Quadro 8 Coeficiente global de projeto aproximado

Incluimos valores dos fatores de incrustação totais de 0,003 e quedas de pressão permitidas de 5 até 10 psi na corrente controlada

#### Resfriadores

Fluido quente	Fluido frio	$U_D$ global
Água	Água	250-500§
Metanol	Água	250-500§
Amônia	Água	250-500§
Soluções aquosas	Água	250-500§
Orgânicos leves*	Água	75-150
Orgânicos médios†	Água	50-125
Orgânicos pesados‡	Água	5-75¶
Gases	Água	2-50★
Água	Salmoura	100-200
Orgânicos leves	Salmoura	40-100

#### Aquecedores

Fluido quente	Fluido frio	$U_D$ global
Vapor	Água	200-700§
Vapor	Metanol	200-700§
Vapor	Amônia	200-700§
Vapor	Soluções aquosas:	
Vapor	Menos que 2,0 cp	200-700
Vapor	Mais que 2,0 cp	100-500§
Vapor	Orgânicos leves	100-200
Vapor	Orgânicos médios	50-100
Vapor	Orgânicos pesados	6-60
Vapor	Gases	5-50★

#### Trocadores

Fluido quente	Fluido frio	$U_D$ global
Água	Água	250-500§
Soluções aquosas	Soluções aquosas	250-500§
Orgânicos leves	Orgânicos leves	40-75
Orgânicos médios	Orgânicos médios	20-60
Orgânicos pesados	Orgânicos pesados	10-40
Orgânicos pesados	Orgânicos leves	30-60
Orgânicos leves	Orgânicos pesados	10-40

\*Os *orgânicos leves* são líquidos com viscosidades menores que 0,5 centipoise e incluem o benzeno, o tolueno, a acetona, o etanol, o metil-etil-cetona, a gasolina, o querosene leve e a nafta.

†Os *orgânicos médios* possuem viscosidades entre 0,5 e 1,0 centipoise e incluem o querosene, o óleo absorvedor, o gásóleo quente, o óleo absorvedor quente, e alguns óleos brutos.

‡Os *orgânicos pesados* possuem viscosidades acima de 1,0 centipoise e incluem o gásóleo frio, os óleos lubrificantes, os óleos combustíveis, os óleos brutos reduzidos, alcatrões e asfaltos.

§Fator de incrustação 0,001.

¶Queda de pressão entre 20 e 30 psi.

★Estes valores são fortemente influenciados pela pressão de operação.

**Quadro 9 Disposições dos espelhos (contagem dos tubos)**  
Passo quadrado

Tubos com DE de $\frac{3}{4}$ in com passo quadrado de 1 in						Tubos com DE de 1 in com passo quadrado de $1\frac{1}{4}$ in					
Carcaça, DI, in	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	Carcaça, DI, in	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	32	26	20	20		8	21	16	14		
10	52	52	40	36		10	32	32	26	24	
12	81	76	68	68	60	12	48	45	40	38	36
13 $\frac{1}{4}$	97	90	82	76	70	13 $\frac{1}{4}$	61	56	52	48	44
15 $\frac{1}{4}$	137	124	116	108	108	15 $\frac{1}{4}$	81	76	68	68	64
17 $\frac{3}{4}$	177	166	158	150	142	17 $\frac{3}{4}$	112	112	96	90	82
19 $\frac{1}{4}$	224	220	204	192	188	19 $\frac{1}{4}$	138	132	128	122	116
21 $\frac{1}{4}$	277	270	246	240	234	21 $\frac{1}{4}$	177	166	158	152	148
23 $\frac{1}{4}$	341	324	308	302	292	23 $\frac{1}{4}$	213	208	192	184	184
25	413	394	370	356	346	25	260	252	238	226	222
27	481	460	432	420	408	27	300	288	278	268	260
29	553	526	480	468	456	29	341	326	300	294	286
31	657	640	600	580	560	31	406	398	380	368	358
33	749	718	688	676	648	33	465	460	432	420	414
35	845	824	780	766	748	35	522	518	488	484	472
37	934	914	886	866	838	37	596	574	562	544	532
39	1049	1024	982	968	948	39	665	644	624	612	600
Tubos com DE de $1\frac{1}{4}$ in com passo quadrado de $1\frac{9}{16}$ in						Tubos com DE de $1\frac{1}{2}$ in com passo quadrado de $1\frac{7}{8}$ in					
10	16	12	10			12	16	16	12	12	
12	30	24	22	16	16	12	16	16	12	12	
13 $\frac{1}{4}$	32	30	30	22	22	13 $\frac{1}{4}$	22	22	16	16	
15 $\frac{1}{4}$	44	40	37	35	31	15 $\frac{1}{4}$	29	29	25	24	22
17 $\frac{1}{4}$	56	53	51	48	44	17 $\frac{1}{4}$	39	39	34	32	29
19 $\frac{1}{4}$	78	73	71	64	56	19 $\frac{1}{4}$	50	48	45	43	39
21 $\frac{1}{4}$	96	90	86	82	78	21 $\frac{1}{4}$	62	60	57	54	50
23 $\frac{1}{4}$	127	112	106	102	96	23 $\frac{1}{4}$	78	74	70	66	62
25	140	135	127	123	115	25	94	90	86	84	78
27	166	160	151	146	140	27	112	108	102	98	94
29	193	188	178	174	166	29	131	127	120	116	112
31	226	220	209	202	193	31	151	146	141	138	131
33	258	252	244	238	226	33	176	170	164	160	151
35	293	287	275	268	258	35	202	196	188	182	176
37	334	322	311	304	293	37	224	220	217	210	202
39	370	362	348	342	336	39	252	246	237	230	224

Quadro 10 Dados sobre trocadores de calor e condensação em tubos

Tubo, DE, in	BWG	Espessura da parede, in	DI, in	Área de es- coamento por tubo. in <sup>2</sup>	Área por ft linear, ft <sup>2</sup>		Peso por ft linear, lb de aço
					Externa	Interna	
1/2	12	0,109	0,282	0,0625	0,1309	0,0748	0,493
	14	0,083	0,334	0,0876		0,0874	0,403
	16	0,065	0,370	0,1076		0,0969	0,329
	18	0,049	0,402	0,127		0,1052	0,258
	20	0,035	0,430	0,145		0,1125	0,190
3/4	10	0,134	0,482	0,182	0,1963	0,1263	0,965
	11	0,120	0,510	0,204		0,1335	0,884
	12	0,109	0,532	0,223		0,1393	0,817
	13	0,095	0,560	0,247		0,1466	0,727
	14	0,083	0,584	0,268		0,1529	0,647
	15	0,072	0,606	0,289		0,1587	0,571
	16	0,065	0,620	0,302		0,1623	0,520
	17	0,058	0,634	0,314		0,1660	0,469
	18	0,049	0,652	0,334		0,1707	0,401
1	8	0,165	0,670	0,355	0,2618	0,1754	1,61
	9	0,148	0,704	0,389		0,1843	1,47
	10	0,134	0,732	0,421		0,1916	1,36
	11	0,120	0,760	0,455		0,1990	1,23
	12	0,109	0,782	0,479		0,2048	1,14
	13	0,095	0,810	0,515		0,2121	1,00
	14	0,083	0,834	0,546		0,2183	0,890
	15	0,072	0,856	0,576		0,2241	0,781
	16	0,065	0,870	0,594		0,2277	0,710
	17	0,058	0,884	0,613		0,2314	0,639
18	0,049	0,902	0,639	0,2361	0,545		
1 1/4	8	0,165	0,920	0,665	0,3271	0,2409	2,09
	9	0,148	0,954	0,714		0,2498	1,91
	10	0,134	0,982	0,757		0,2572	1,75
	11	0,120	1,01	0,800		0,2644	1,58
	12	0,109	1,03	0,836		0,2701	1,45
	13	0,095	1,06	0,884		0,2775	1,28
	14	0,083	1,08	0,923		0,2839	1,13
	15	0,072	1,11	0,960		0,2896	0,991
	16	0,065	1,12	0,985		0,2932	0,900
	17	0,058	1,13	1,01		0,2969	0,808
18	0,049	1,15	1,04	0,3015	0,688		
1 1/2	8	0,165	1,17	1,075	0,3925	0,3063	2,57
	9	0,148	1,20	1,14		0,3152	2,34
	10	0,134	1,23	1,19		0,3225	2,14
	11	0,120	1,26	1,25		0,3299	1,98
	12	0,109	1,28	1,29		0,3356	1,77
	13	0,095	1,31	1,35		0,3430	1,56
	14	0,083	1,33	1,40		0,3492	1,37
	15	0,072	1,36	1,44		0,3555	1,20
	16	0,065	1,37	1,47		0,3587	1,09
	17	0,058	1,38	1,50		0,3623	0,978
18	0,049	1,40	1,54	0,3670	0,831		



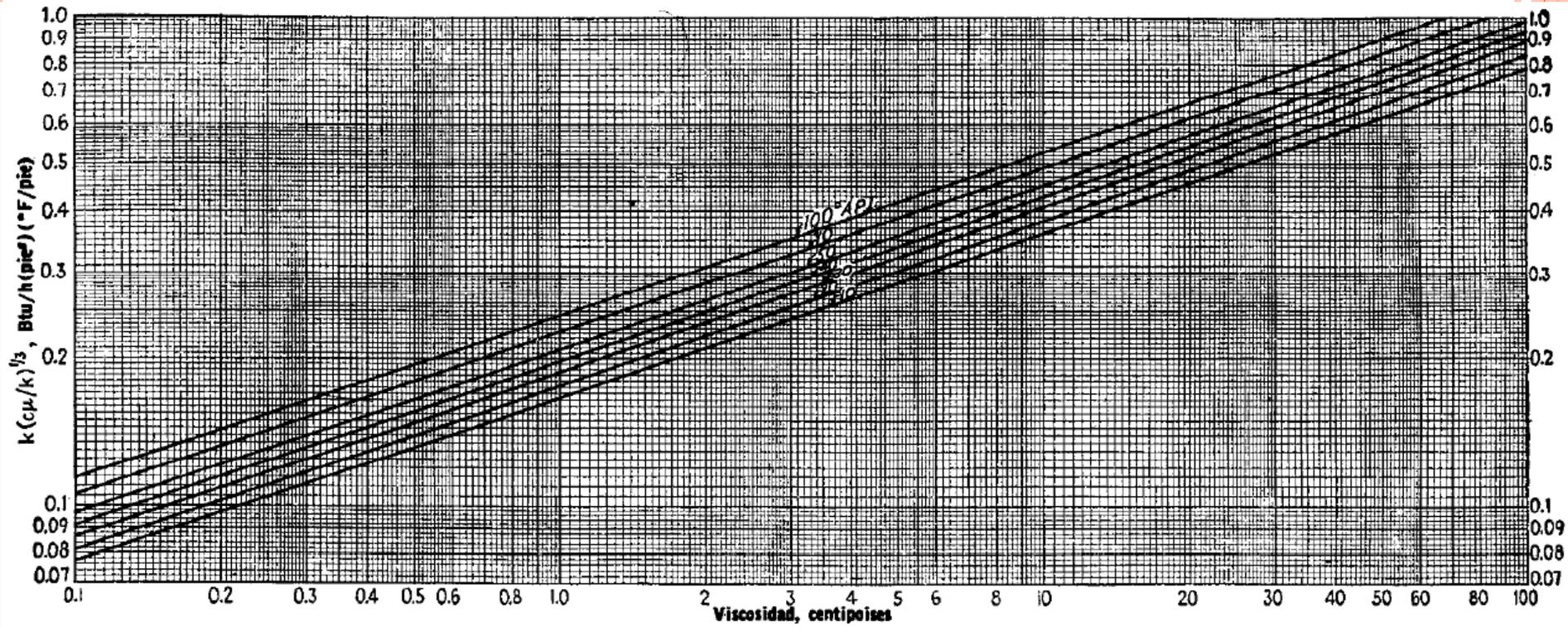
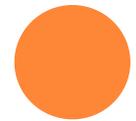


FIG. 16. Valores de  $k(c/\mu)^{1/2}$  para hidrocarburos



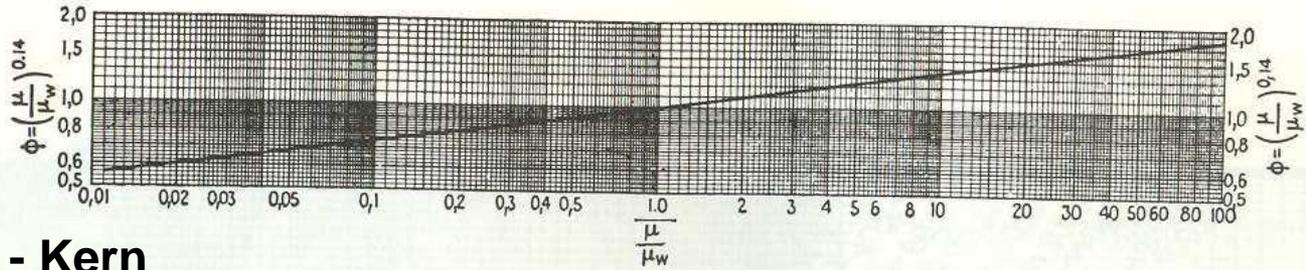
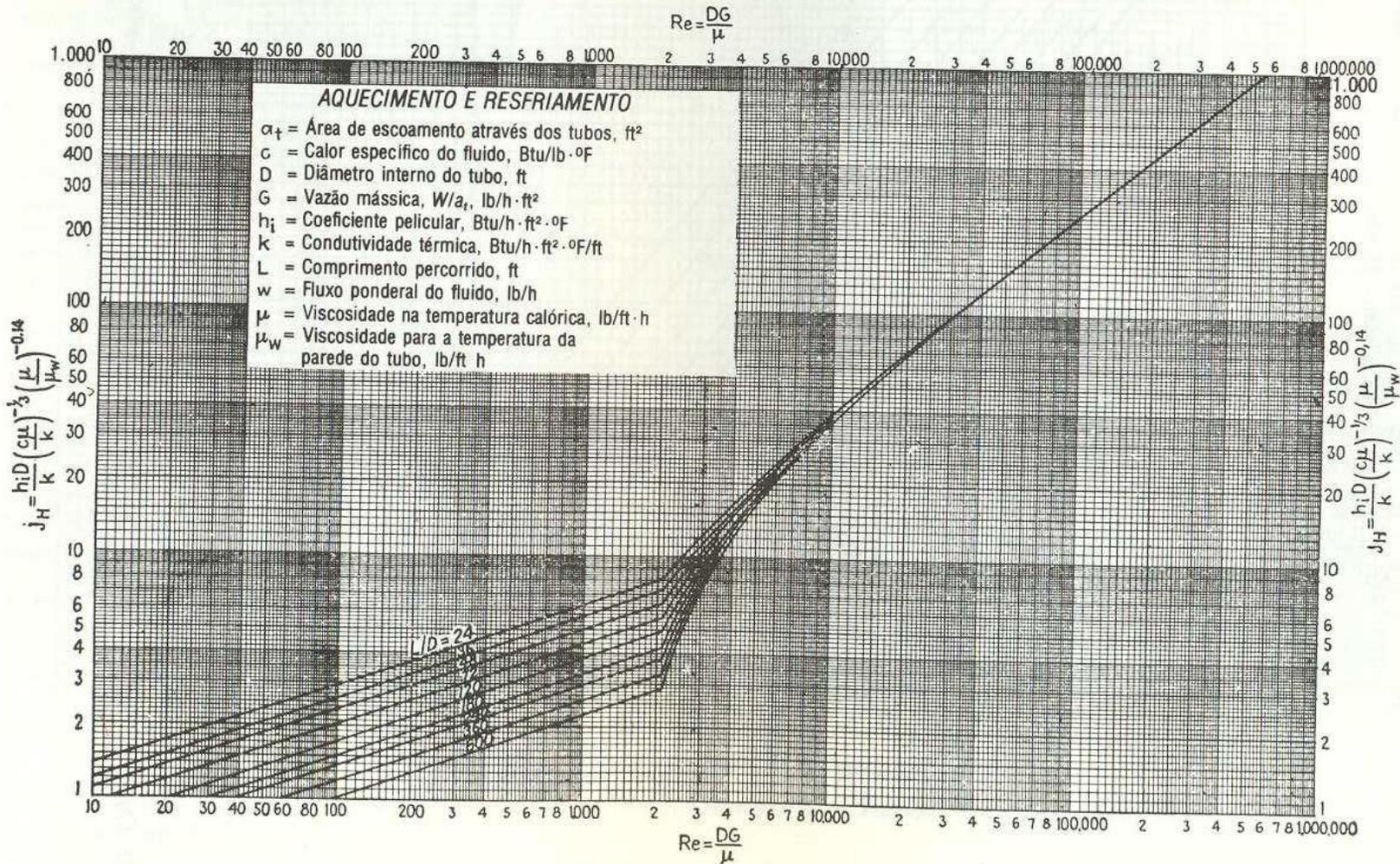
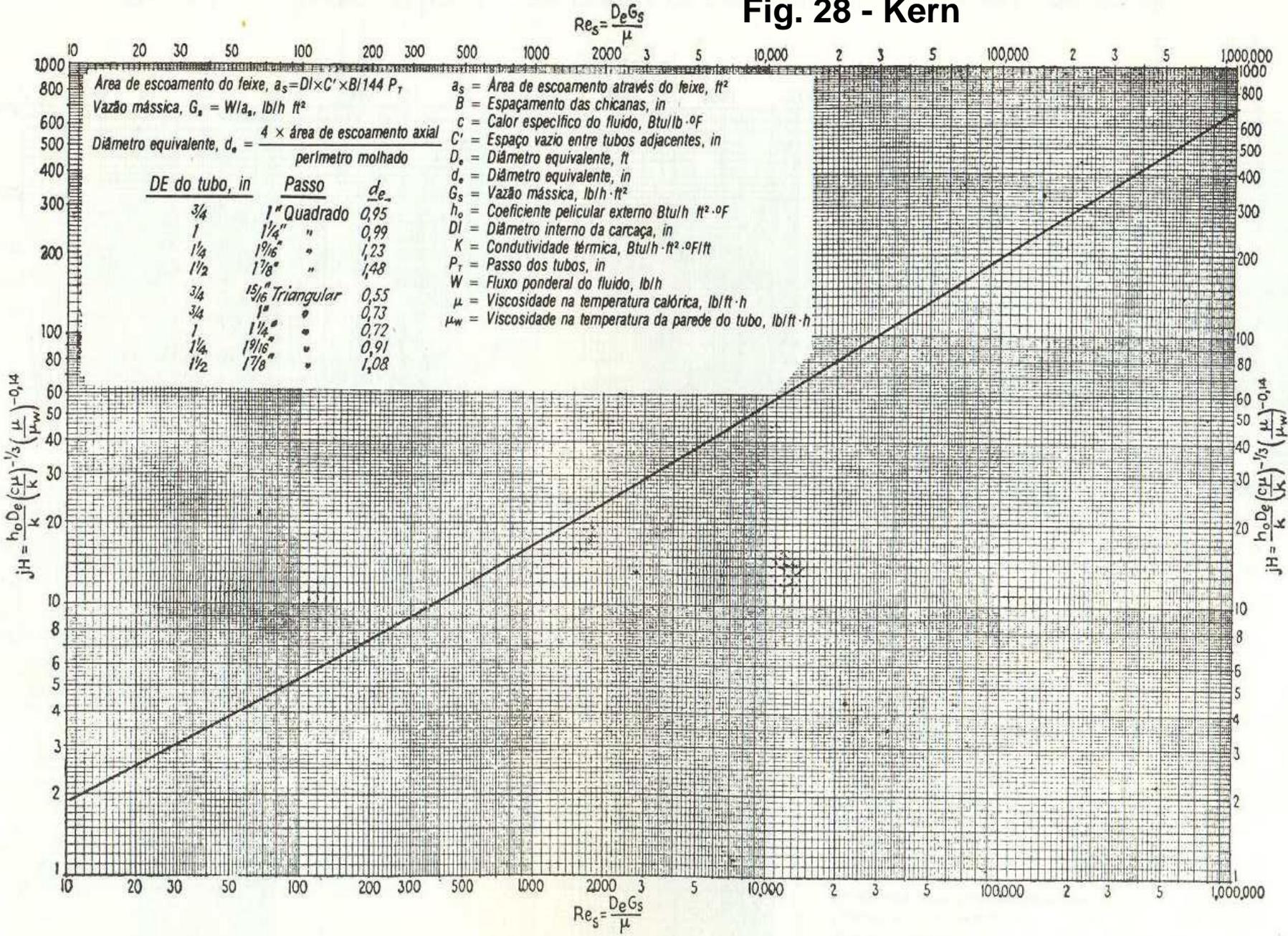


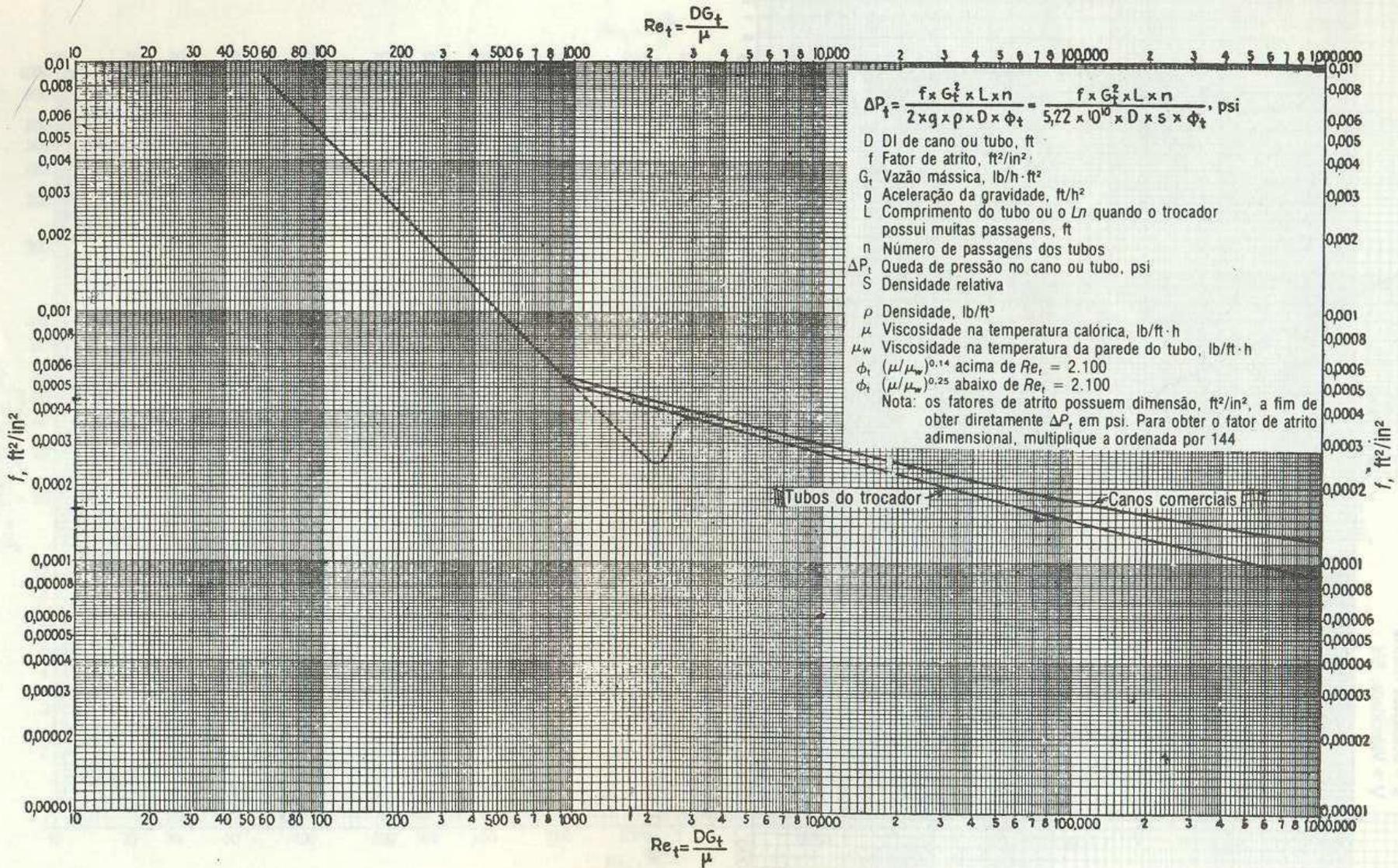
Fig. 24 - Kern



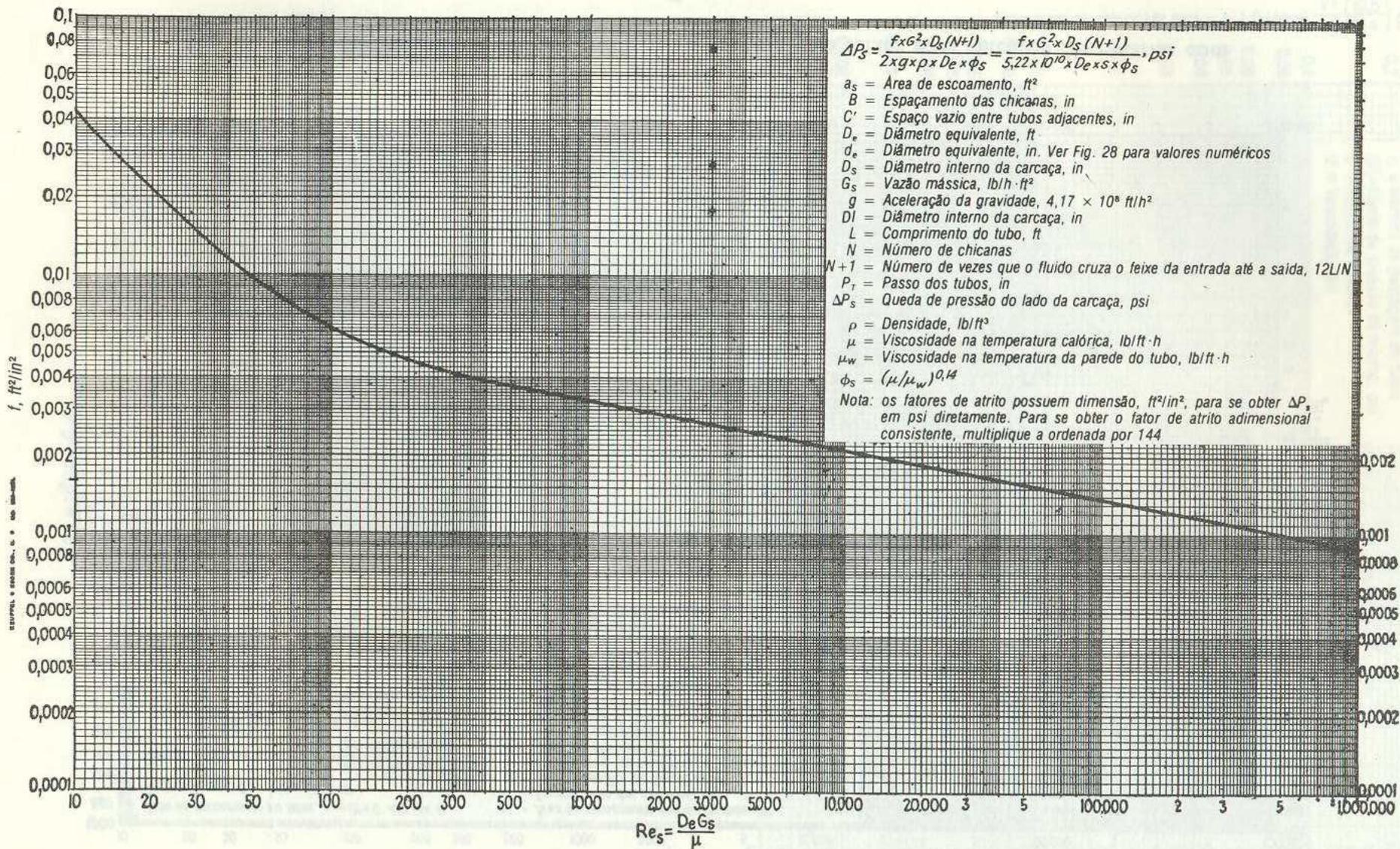
# Fig. 28 - Kern



# Figura 26. Fator de atrito para o interior do tubo



# Figura 29. Fator de atrito para o casco



# Bibliografia

- ARAÚJO, Everaldo Cesar da Costa. Trocadores de Calor. Série Apontamentos. EDUFSCAR. 2002.
- KERN – Processos de Transmissão de Calor. 1987.

