

Nome: _____

Matrícula: _____

Propriedades das Fases

(a) Propriedades da Fase Vapor (ou Gás), V ou G :

- Massa Específica (assumindo gás ideal), ρ_V :

$$\rho_V = \frac{p}{RT} \overline{Mw}_V \quad (1)$$

- Massa Molar Média, \overline{Mw}_V ou \overline{M}_V :

$$\overline{Mw}_V = \sum_{i=1}^C y_i \cdot Mw_i \quad (2)$$

(b) Propriedades da Fase Líquida, L :

- Massa Específica, ρ_L :

$$\rho_L = \frac{\overline{Mw}_L}{\overline{V}_L} \quad (3)$$

- Massa Molar Média, \overline{Mw}_L ou \overline{M}_L :

$$\overline{Mw}_L = \sum_{i=1}^C x_i \cdot Mw_i \quad (4)$$

- Volume Específico Médio (assumindo mistura ideal), \overline{V}_L :

$$\overline{V}_L = \sum_{i=1}^C x_i \cdot \overline{V}_i = \sum_{i=1}^C \frac{x_i \cdot Mw_i}{\rho_i} \quad (5)$$

Dimensionamento de Vaso *Flash*

(a) Vertical:

- Diâmetro do Vaso, D :

$$u_{\text{perm}} = K_{\text{drum}} \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \quad (6)$$

$$K_{\text{drum}} = (1 \text{ ft/s}) \exp[A + B(\ln F_{LV}) + C(\ln F_{LV})^2 + D(\ln F_{LV})^3 + E(\ln F_{LV})^4] \quad (7)$$

$$F_{LV} = \frac{W_L}{W_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} \quad (8)$$

onde $0,1 < K_{\text{drum}} < 0,35$, W é a vazão mássica das fases.

$$\begin{aligned} A &= -1,8774780970 & B &= -0,8145804597 \\ C &= -0,1870744085 & D &= -0,0145228667 \\ E &= -0,0010148518 \end{aligned}$$

$$A_c = \frac{V \cdot Mw_V}{u_{\text{perm}} \cdot \rho_V} \quad (9)$$

$$D = \sqrt{\frac{4A_c}{\pi}} \quad (10)$$

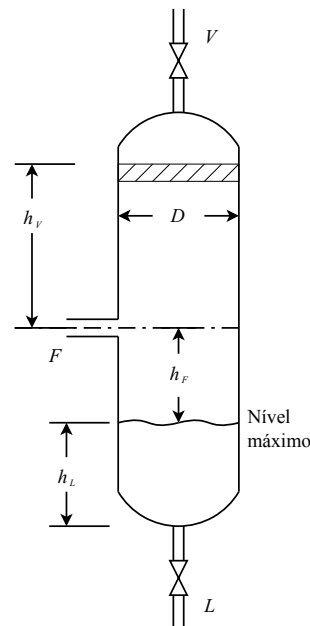


Figura 1: Dimensões de um vaso *flash* vertical.

- Altura do Vaso, h_{total} :

$$h_V = 36'' + 0,5d_F \quad (11)$$

$$h_F = 12'' + 0,5d_F \quad (12)$$

$$h_L = \frac{V_{\text{surge}}}{\pi D^2 / 4} \quad (13)$$

$$h_{\text{total}} = h_V + h_F + h_L \quad (14)$$

onde $h_V \geq 48''$ e $h_F \geq 18''$.

(b) Horizontal:

$$K_{\text{horizontal}} = 1,25 \cdot K_{\text{vertical}} \quad (15)$$

onde K_{vertical} é determinado pela equação 7.

Para ambos os casos de orientações vertical e horizontal: $3 \leq (h_{\text{total}}/D) \leq 5$.

(c) Vaso Existente:

$$V_{\text{max}} = \frac{\pi D^2 u_{\text{perm}} \rho_V}{4 \overline{Mw}_V} \quad (16)$$

$$(V/F)F < V_{\text{max}} \quad (17)$$

Dimensionamento de Coluna de Pratos

- Diâmetro do Prato, d_c :
($d_o = 3-12$ mm, habitual: 4,5 mm)

$$\frac{A_o}{A_a} = 0,907 \left(\frac{d_o}{p} \right)^2 \quad (18)$$

$$v_f = C_f \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0,5} \quad (19)$$

$$C_f = \left[\alpha \log \left(\frac{1}{\Psi} \right) + \beta \right] \left(\frac{\sigma}{0,02} \right)^{0,2} \quad (20)$$

$$\Psi = \frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,5} \quad (21)$$

Quando $A_o/A_a \geq 0,1$ e $0,01 \leq \Psi \leq 1,0$, então:

$$\alpha(t) = 0,0744t + 0,01173 \quad (22)$$

$$\beta(t) = 0,0304t + 0,015 \quad (23)$$

sendo $0,15 \leq t \leq 0,9$ m.

Tabela 1: Relações de d_c e t .

d_c (m)	t (m)
—	$\geq 0,15$
≤ 1	0,50
1-3	0,60
3-4	0,75
4-8	0,90

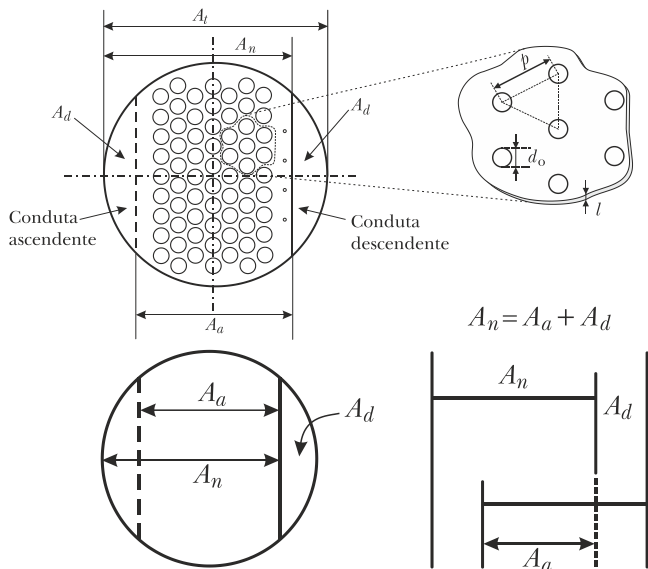


Figura 2: Áreas de um prato perfurado.

$$A_n = \frac{Q_G}{v_{op}} \quad (24)$$

$$A_n = A_t - A_d = A_t(1 - \eta) \quad (25)$$

$$A_t = \frac{\pi d_c^2}{4} \quad (26)$$

$$d_c = \sqrt{\frac{4Q_G}{\pi(1 - \eta)v_{op}}} \quad (27)$$

sendo $v_{op} = (0,7-0,8) \cdot v_f$, $p = (2,5-5) \cdot d_o$. Recomenda-se $d_c \geq 0,75$ m.

Tabela 2: Dimensões recomendadas.

w	Z	η (%)
$0,553d_c$	$0,4181d_c$	3,877
$0,60d_c$	$0,3993d_c$	5,257
$0,65d_c$	$0,2516d_c$	6,899
$0,70d_c$	$0,3562d_c$	8,8808
$0,75d_c$	$0,3296d_c$	11,255
$0,80d_c$	$0,1991d_c$	14,145

- Perdas de Carga no Prato, h_{tot} :

$$h_{tot} = h_3 + (h_1 + h_w) \quad (28)$$

$$h_3 = h_2 + h_G \quad (29)$$

$$h_2 = \frac{3}{2g} \left(\frac{Q_L}{A_{da}} \right)^2 = \frac{3}{2g} (v_{da})^2 \quad (30)$$

$$h_G = h_D + h_L + h_\sigma \quad (31)$$

$$A_a = A_t - 2A_d \quad (32)$$

$$\frac{A_a}{A_t} = 1 - 2\eta \quad (33)$$

onde $0,05 \leq (h_1 + h_w) \leq 0,1$ m.

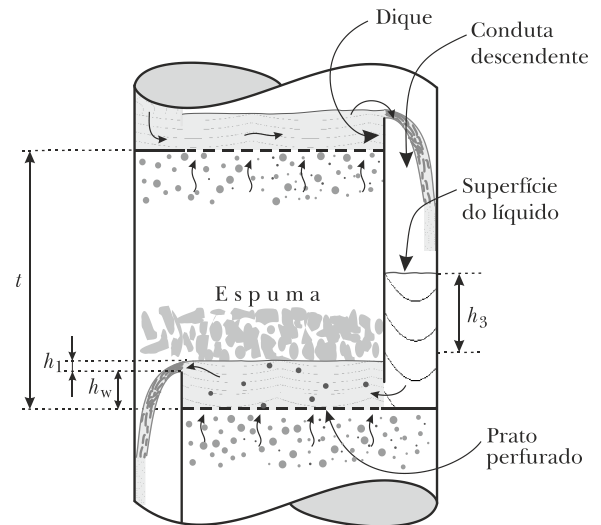


Figura 3: Coluna de pratos perfurados.

Tabela 3: Relações de A_a/A_t (área ativa) e d_c .

d_c (m)	A_a/A_t
1,0	0,65
1,25	0,70
2,0	0,74
2,5	0,76
3,0	0,78

$$h_D = C_o \left(\frac{v_o^2 \rho_G}{2g\rho_L} \right) \left[0,4 \left(1,25 - \frac{A_o}{A_n} \right) + \frac{4fl}{d_o} + \left(1 - \frac{A_o}{A_n} \right)^2 \right] \quad (34)$$

$$C_o = 1,09 \left(\frac{d_o}{l} \right)^{0,25} \quad (35)$$

onde $v_o = Q_G/A_o$ e f é o fator de atrito de Fanning.

Tabela 4: Relações de d_o e l .

d_o (mm)	l/d_o	
	aço inox	aço-carbono
3,0	0,65	–
4,5	0,43	–
6,0	0,32	–
9,0	0,22	0,50
12,0	0,16	0,38
15,0	0,17	0,30
18,0	0,11	0,25

$$h_1 = \left(\frac{Q_L}{1,839w} \right)^{2/3} \text{ para } \frac{w}{d_c} \geq 0,7 \quad (36)$$

$$h_L = 0,0061 + 0,725h_w - 0,283h_w v_a \rho_G^{0,5} + 1,225 \frac{Q_L}{Z} \quad (37)$$

$$h_\sigma = \frac{6\sigma}{\rho_L g d_{B,\text{máx}}} \quad (38)$$

$$\frac{t}{2} \geq h_{\text{tot}} \quad (39)$$

onde $v_a = Q_G/A_a$ e $Z = (d_c + w)/2$.

- Gotejamento, v_{ow} :

$$\frac{v_{ow}\mu_G}{\sigma} = 0,0229 \left(\frac{\mu_G^2 \rho_L}{\sigma \rho_G^2 d_o} \right)^{0,379} \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0,293} \left(\frac{2A_a d_o}{\sqrt{3} p^3} \right)^{2,8 / (Z/d_o)^{0,724}} \quad (40)$$

- Arrastamento de Líquido, ψ :

$$\psi = \frac{\text{vazão de líquido arrastado}}{\text{vazão total de líquido}} = \frac{e}{L + e} \quad (41)$$

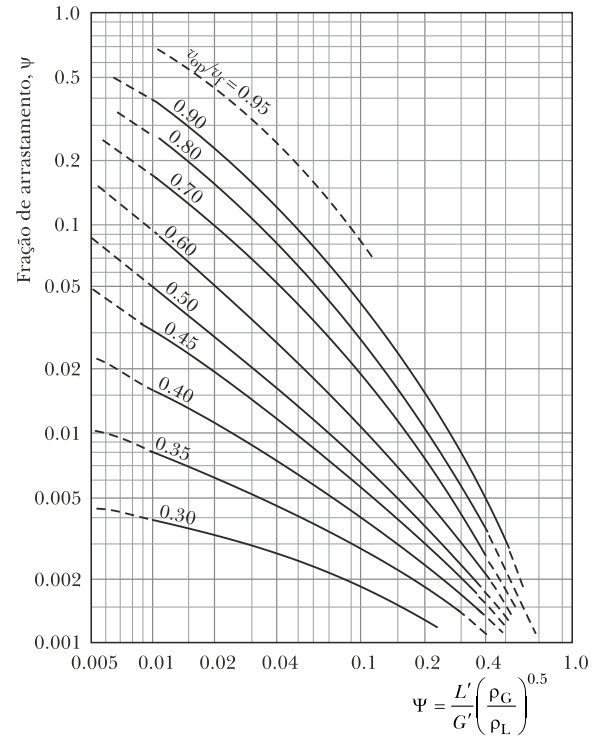


Figura 4: Fração de arrastamento, ψ , em colunas de pratos perfurados.

- Altura da Coluna, z :

$$z = (N_c - 1)t + \Delta h + N_c l \quad (42)$$

onde N_c é o n° real de pratos e Δh é uma altura adicional de compensação (1,8 m no fundo e 1,2 m no topo da coluna). Recomenda-se $z/d_c = 20$ e nunca maior do que 30.

Dimensionamento de Coluna Recheada

- Cálculo do Diâmetro, d_c :

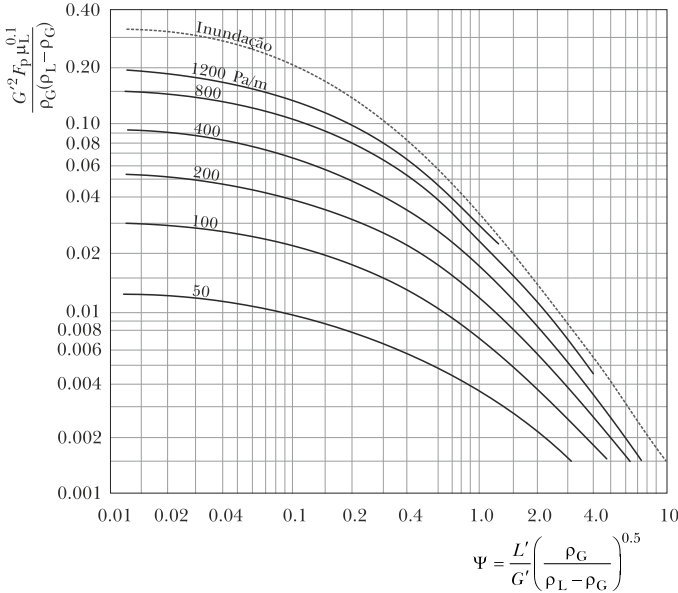


Figura 5: Queda de pressão, $\Delta p/z$, em colunas de recheio randômico de 1ª geração. Dados F_p em ft^{-1} e μ_L em cP. Válido para $F_p > 60 \text{ ft}^{-1}$.

Tabela 5: Fatores de recheio randômico, F_p (m^{-1}).

Recheio	Dimensão, mm					
	13 (0,5")	25 (1")	38 (1,5")	50 (2")	64 (2,5")	75 (3")
<i>Anéis de Raschig</i>						
Cerâmicos	1 903	508	312	213	–	121
Metálicos	1 345	472	272	187	–	105
<i>Anéis de Pall</i>						
Plásticos	–	180	130	85	–	–
Metálicos	–	183	131	89	–	–
<i>Selas de Berl</i>						
Cerâmicos	790	360	215	150	–	–
<i>Selas Intalox</i>						
Cerâmicos	660	302	171	131	–	72
Plásticos	–	131	–	92	–	59
<i>Anéis de Nutter</i>						
–	–	–	98	79	59	43

- (a) Queda de Pressão, $\Delta p/z$:

- vácuo: $\sim 8\text{--}40 \text{ Pa/m}$.
- $\sim 1 \text{ atm}$: $\sim 400\text{--}600 \text{ Pa/m}$.
- pressão elevada: $\sim 800\text{--}1200 \text{ Pa/m}$.

$$G' = \left[Y_f \frac{\rho_G(\rho_L - \rho_G)}{F_p \mu_L^{0,1}} \right]^{0,5} \quad (43)$$

$$A = \frac{\bar{M}_G \cdot G}{G'} \quad (44)$$

$$d_c = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{0,5} \quad (45)$$

onde \bar{M}_G é a massa molar média do vapor.

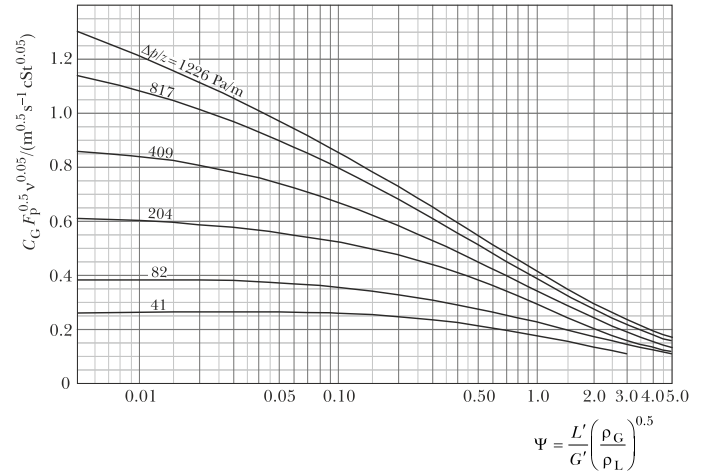


Figura 6: Correlação generalizada de queda de pressão, $\Delta p/z$, para recheio randômico mais recentes. Sabendo que $\nu = \mu_L/\rho_L$. Válido para $F_p < 200 \text{ m}^{-1}$.

Fator de capacidade do gás, C_G :

$$C_G = v_G \left[\frac{\rho_G}{(\rho_L - \rho_G)} \right]^{0,5} \quad (46)$$

onde:

$$v_G = \frac{G'}{\rho_G} = \frac{G}{A \rho_G} \quad (47)$$

- (b) Percentual de Inundação:

$$G' = \left[Y_f \frac{\rho_G(\rho_L - \rho_G)}{C_f \mu_L^{0,1}} \right]^{0,5} \quad (48)$$

$$G'_{op} = (50\text{--}80\%) G'_f \quad (49)$$

$$d_c = \left(\frac{4G}{\pi G'_{op}} \right)^{0,5} \quad (50)$$

Para recheio estruturado, Fig. 7:

$$C_f = v_f \left(\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right)^{0,5} \quad (51)$$

$$\Psi = \frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right)^{0,5} \quad (52)$$

Para $30 < F_p < 197 \text{ m}^{-1}$, é válida a correlação:

$$(\Delta p/z)_f = 40,912 \cdot F_p^{0,7} \quad (53)$$

se $F_p > 197 \text{ m}^{-1}$, usar $(\Delta p/z)_f = 1634 \text{ Pa/m}$.

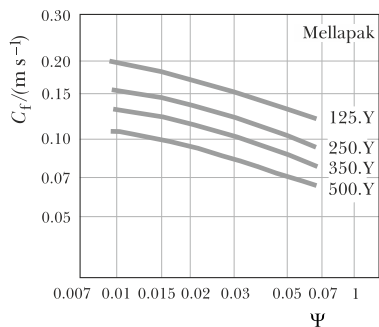


Figura 7: Fator de capacidade máxima, C_f , para recheio estruturado *Mellapak* série Y.

- Cálculo da Altura de Recheio, z :

$$z = (\text{HETP}) \times N \quad (54)$$

- Para recheios estruturados a pressão moderada ou baixa e com fluidos pouco viscosos:

$$\text{HETP} = \frac{100}{a_p} + 0,1 \quad (55)$$

onde a_p é a área superficial por unidade de volume do recheio.

- Regra prática mais simples e antiga:

$$\text{HETP} = d_c \quad (56)$$

válida para $d_c < 0,61$ m (1 ft).

- Correlação empírica de *Murch*:

$$\text{HETP} = K_1 (G')^{K_2} d_c^{K_3} z^{1/3} \left(\frac{\alpha \mu_L}{\rho_L} \right) \quad (57)$$

válida para $d_c < 0,3$ m e onde K são constantes dadas pela Tabela 6.

Tabela 6: Constantes da correlação de *Murch*.

Recheio	Dimensão, mm	K_1	K_2	K_3
<i>Anéis</i>	10 (3/8")	654 598	-0,37	1,24
	13 (1/2")	3 241 429	-0,34	1,24
	25 (1")	1 056 621	-0,1	1,24
	50 (2")	1 506 802	0	1,24
<i>Selas</i>	13 (1/2")	640 768	-0,45	1,11
	25 (1")	671 084	-0,14	1,11

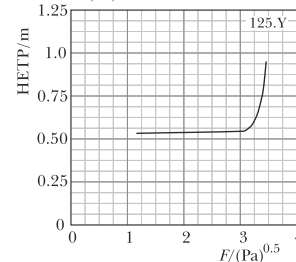
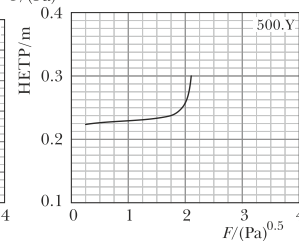
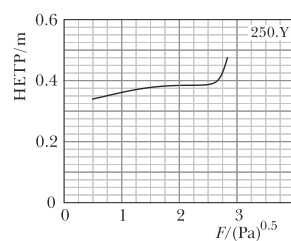
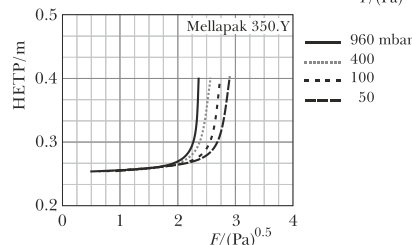
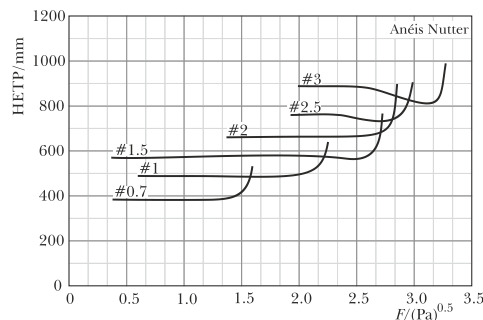


Figura 8: HETP para anéis de *Nutter* (0,7–3") e recheios estruturados *Mellapak* (125.Y, 250.Y, 350.Y e 500.Y). Sabendo que o fator de capacidade do gás $F = v_G(\rho_G)^{0,5}$ é dado em $\text{Pa}^{0,5}$. Os diagramas para os recheios estruturados *Mellapak* 125.Y, 250.Y e 500.Y são dados a 960 mbar.

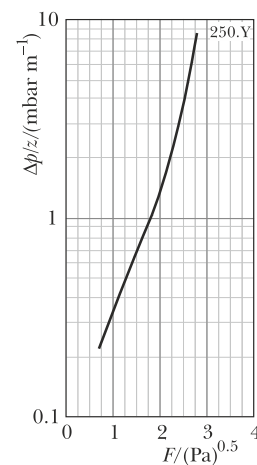
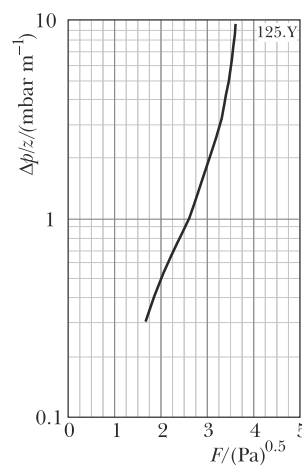


Figura 9: Queda de pressão, $\Delta p/z$, para recheio estruturado *Mellapak* 125.Y e 250.Y. Sabendo que o fator de capacidade do gás $F = v_G(\rho_G)^{0,5}$ é dado em $\text{Pa}^{0,5}$.