

# DISEÑO DE COLUMNAS DE PISOS

Calculados previamente

$V_n, L_n, V_m, L_m, M, N$

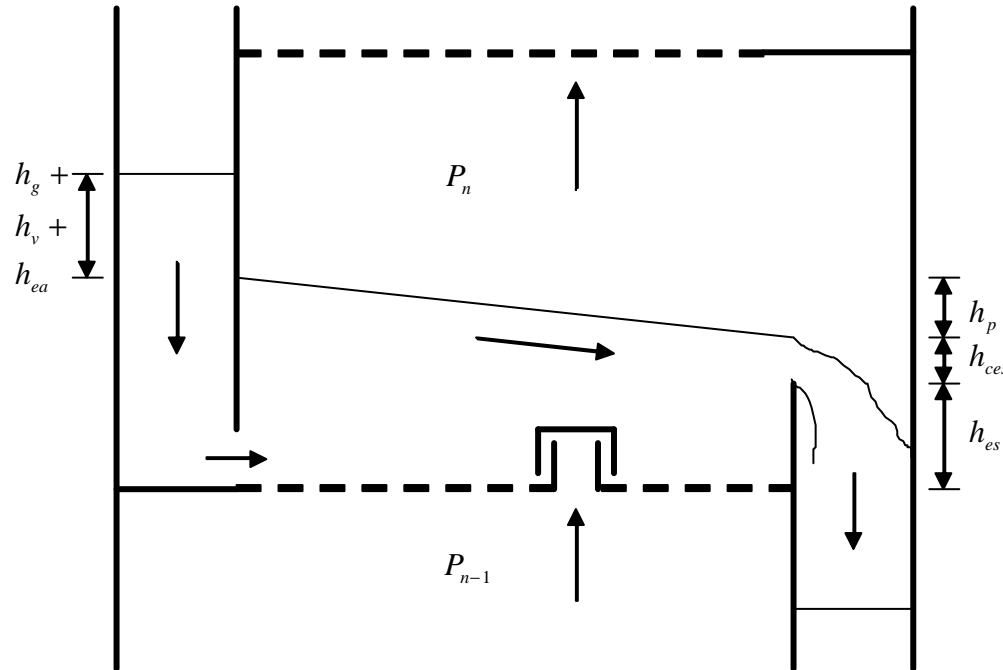
Faltan por calcular

$D, H$

Eficacias de pisos:  $(M+N)_{\text{real}}$

Capacidad de los pisos:  $D$ , espaciado entre pisos,  $H$

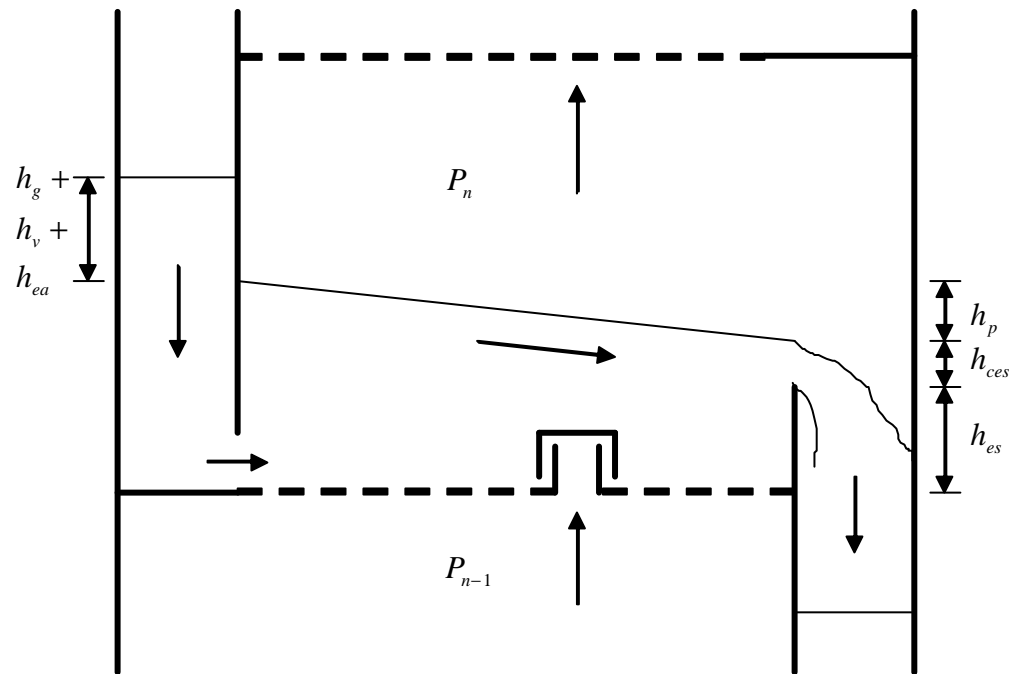
# CAPACIDAD DE LOS PISOS



$$h_g = \frac{P_{n-1} - P_n}{\rho_L g}$$

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente gaseosa



$$h_g = h_c + h_l$$

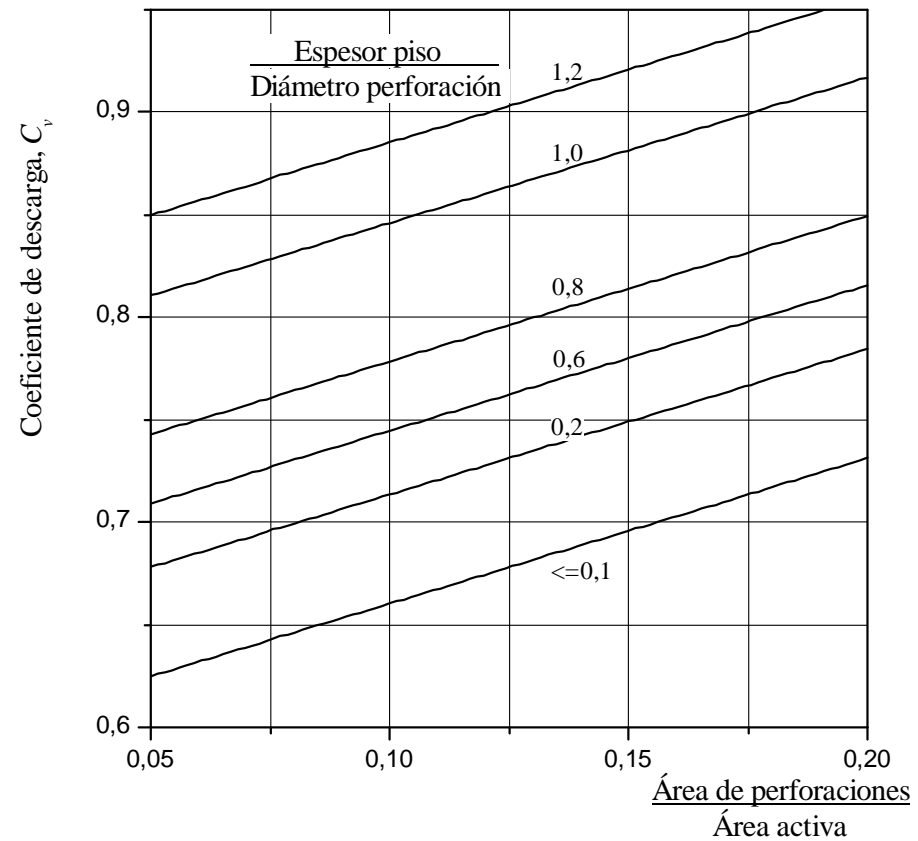
# CAPACIDAD DE LOS PISOS

Corriente gaseosa:  $h_c$

$$h_c = K \frac{\rho_V}{\rho_L} \left[ \frac{Q_G}{A_0} \right]^2$$

Pisos perforados

$$K = \frac{0,051}{C_v^2}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente gaseosa: $h_c$

$$h_c = K \frac{\rho_V}{\rho_L} \left[ \frac{Q_G}{A_c} \right]^2$$

Tipo de válvula	$K_c$	$K_a$
Estándar	$0,097 \left[ \frac{A_c}{A_{sc}} \right]^2$	$\frac{0,40}{e^{0,5}} \text{ a } \frac{0,42}{e^{0,5}}$
Orificio Venturi	$0,097 \left[ \frac{A_c}{A_{sc}} \right]^2$	$\frac{0,20}{e^{0,5}} \text{ a } \frac{0,24}{e^{0,5}}$

## Pisos de válvulas

$e$ : espesor del piso, mm

$A_c$ : Área total de las perforaciones del piso, m<sup>2</sup>

$A_{sc}$ : Área total vertical de paso del vapor a través de las válvulas menos el área obstruido por los pies de las válvulas, m<sup>2</sup>

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

Corriente gaseosa:  $h_c$

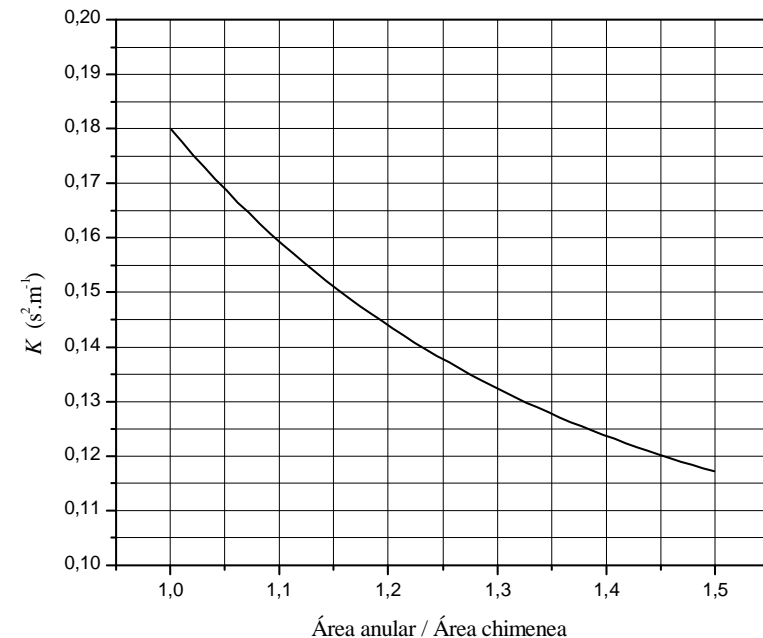
Pisos de campanas de burbujeo

$$h_c = h_{cs} + h_r$$

$h_{cs}$  campanas de burbujeo secas

$$h_{cs} = K \frac{\rho_V}{\rho_L} \left[ \frac{Q_G}{A_{ch}} \right]^2$$

$$K = 0,0976 + 1,45895 \exp \left[ - \frac{(A_{an} / A_{ch})}{0,34797} \right]$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

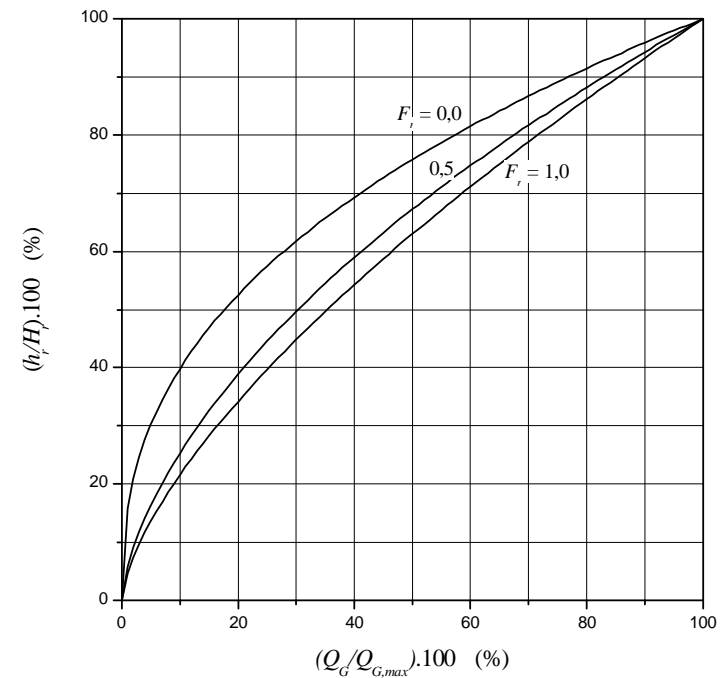
Corriente gaseosa:  $h_c$

Pisos de campanas de burbujeo

$$h_c = h_{cs} + h_r$$

$h_r$  ranuras de campana

$$h_r = C_r \left[ \frac{\rho_V}{\rho_L - \rho_V} \right] \left[ \frac{Q_G}{A_r} \right]^2$$



Ranura	$F_r$	$C_r$
Triangular	0,00	1,204
Trapezoidal	0,50	1,404
Rectangular	1,00	1,504

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

**Corriente gaseosa:  $h_l$**

$$h_l = \beta h_{esp}$$

**Pisos de campanas de burbujeo y pisos perforados: Ec. Stichlmair**

$$\beta = 1 - \left[ \frac{F_s}{(F_s)_{\max}} \right]^{0,28} \quad 0,03 < \frac{F_s}{(F_s)_{\max}} < 0,9$$

$$F_s = U_s \sqrt{\rho_V} \quad (F_s)_{\max} = 2,5 \left[ \phi^2 \sigma (\rho_L - \rho_V) g \right]^{0,25}$$

**Pisos perforados: Ec. Colwell**

$$\eta = 12,6 \left[ \frac{\rho_V}{\rho_L - \rho_V} Fr \right]^{0,4} \phi^{-0,25}$$

$$Fr = \frac{U_s^2}{g h_l} \quad \eta = \frac{1 - \beta}{\beta}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

**Corriente gaseosa:  $h_l$**

$$h_l = \beta h_{esp}$$

**Pisos perforados: Ec. Bennett**

$$h_l = \alpha_e \left[ h_{es} + C \left( \frac{Q_L}{W \alpha_e} \right)^{2/3} \right]$$

$$\alpha_e = \exp \left\{ -12,55 \left[ U_s \left( \frac{\rho_V}{\rho_L - \rho_V} \right)^{0,5} \right]^{0,91} \right\}$$

$$C = 0,50 + 0,438 \exp(-137,8 h_{es})$$

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

**Corriente gaseosa:  $h_l$**

$$h_l = \beta h_{esp}$$

**Pisos de válvulas: Ec. Dhulesia**

$$h_l = 0,42 h_{es}^{0,67} \left[ \frac{Q_L}{W U_s} \left( \frac{\rho_L}{\rho_V} \right)^{0,5} \right]^{1/3}$$

**Válvulas V1 de Glitsch**

**Sistema aire – agua**

**$0,025 \text{ m} < h_{es} < 0,075 \text{ m}$**

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente líquida

Vertedero:  $h_v$

$$h_v = 0,151 \left[ \frac{Q_L}{A_v} \right]^2$$

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente líquida

Esclusa de acceso:  $h_{ea}$

$$h_{ea} = 0,165 \left[ \frac{Q_L}{A_{ea}} \right]^2$$

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente líquida

Pisos perforados:  $h_p$

$$h_p = \frac{f}{g} \frac{Z_L}{R_h} U_{esp}^2$$

$$R_h = \frac{\text{sección de paso}}{\text{perímetro mojado}} = \frac{h_{esp} + D_{esp}}{2h_{esp} + D_{esp}}$$

$$U_{esp} = \frac{Q_L}{h_l D_{esp}} = \frac{Q_L}{h_{esp} \beta D_{esp}}$$

$$h_{esp} = \frac{h_l}{\beta}$$

$$\text{Re}_{esp} = \frac{R_h U_{esp} \rho_L}{\mu_L}$$

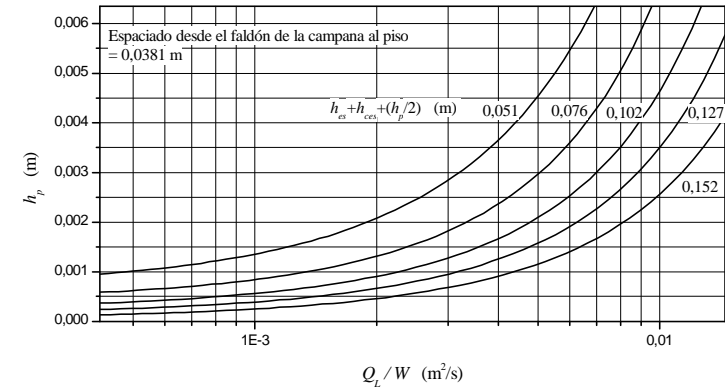
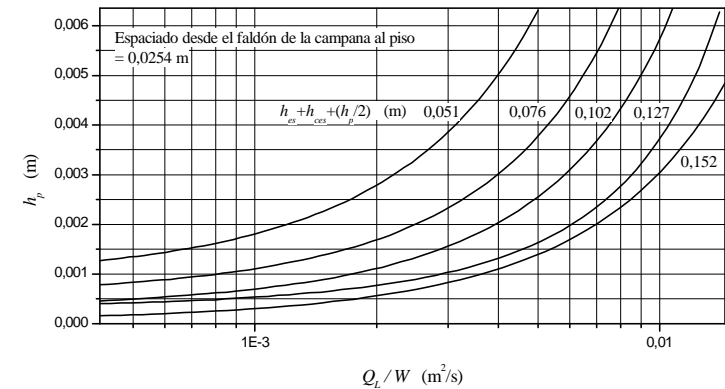
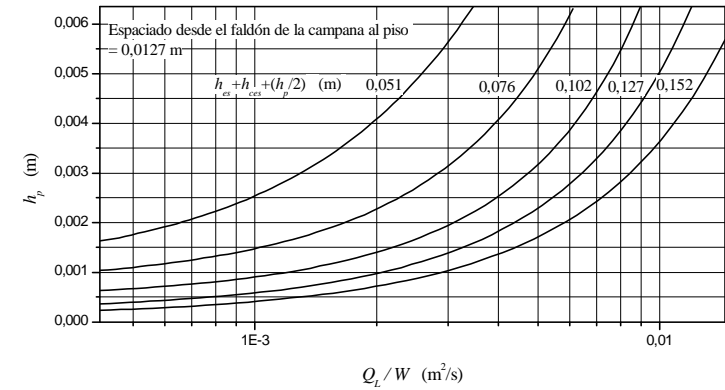
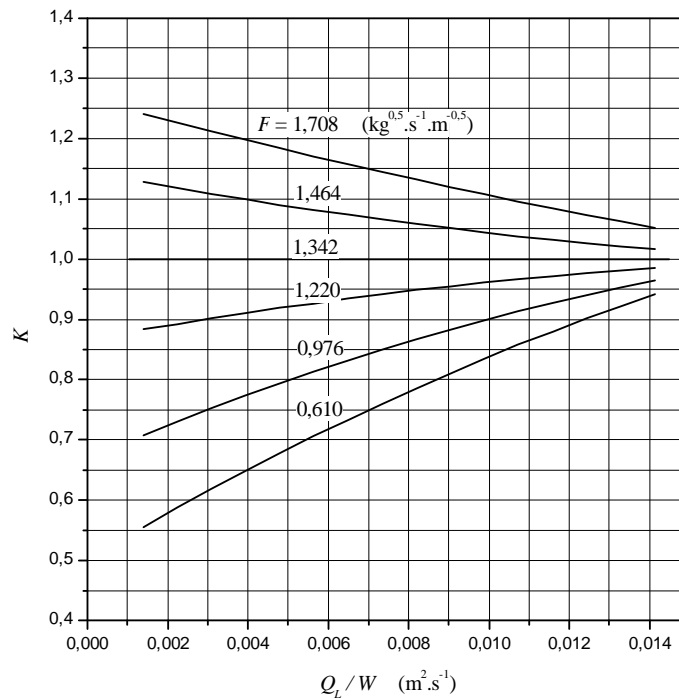
$$f = 7 \times 10^4 h_{es} \text{Re}_{esp}^{-1,06}$$

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente líquida

Pisos campanas de burbujeo:  $h_p$

$$h_p = K h_p'$$

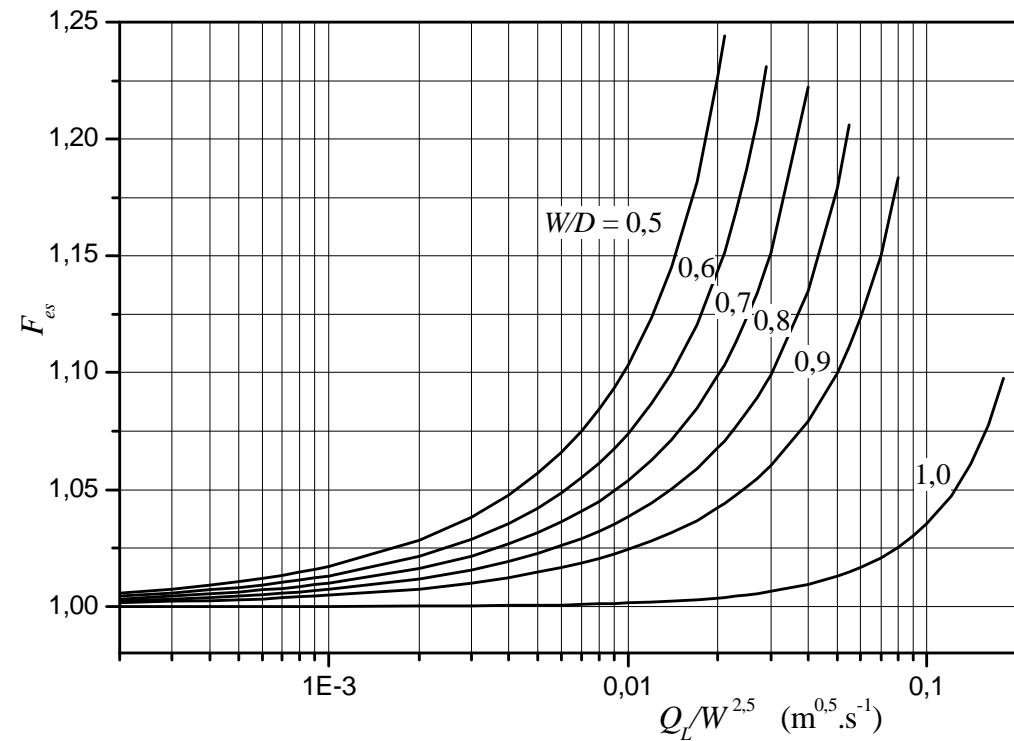


# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente líquida

Esclusa de salida:  $h_{es} + h_{ces}$

$$h_{ces} = 0,664 F_{es} \left[ \frac{Q_L}{W} \right]^{2/3}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente líquida

Esclusa circular de salida:  $h_{es} + h_{ces}$

$$h_{ces} < 0,2 D_{es}$$

$$h_{ces} = 0,249 \left[ \frac{Q_L}{D_{es}} \right]^{2/3}$$

$$0,2 D_{es} < h_{ces} < 1,5 D_{es}$$

$$h_{ces} = 0,345 \left[ \frac{Q_L}{D_{es}^2} \right]^{0,704}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Corriente líquida

Esclusa de salida con hendiduras triangulares:  $h_{es} + h_{ces}$

Hendidura no completamente cubiertas

$$h_{ces} = 1,167 \left[ \frac{Q_L h_{hen}}{W} \right]^{0,4}$$

Hendidura completamente cubiertas

$$Q_L = 0,736 \frac{W}{h_{hen}} \left[ h_{ces}^{2,5} - (h_{ces} - h_{hen})^{2,5} \right]$$

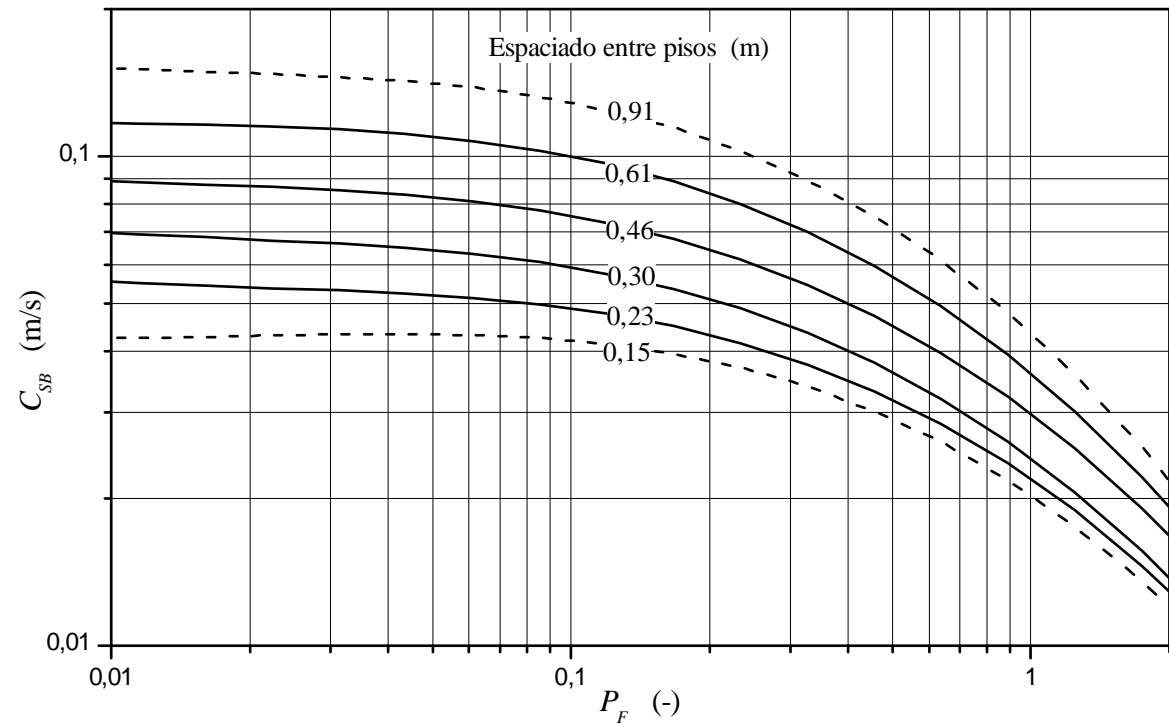
# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Anegamiento

$$U_{S,aneg} = C_{SB} \left[ \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right]^{0,5}$$

$$P_F = \frac{L M_L}{V M_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$$

$$U_{n,aneg} = C_{SB} \left[ \frac{\sigma}{0,02} \right]^{0,2} \left[ \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right]^{0,5}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Anegamiento

$$U_{n,aneg} = C_{SB} \left[ \frac{\sigma}{0,02} \right]^{0,2} \left[ \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right]^{0,5}$$

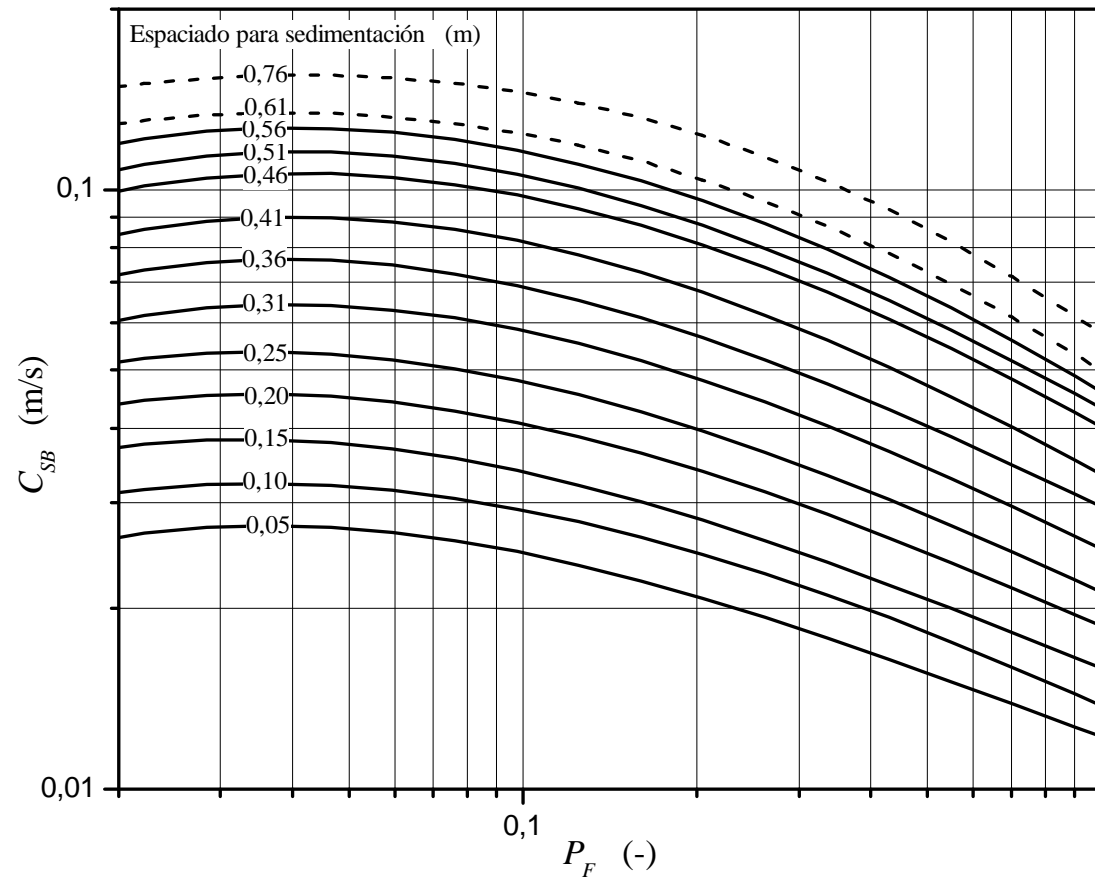
$$\log C_{SB} = A + B [\log(P_F)] + C [\log(P_F)]^2 + D [\log(P_F)]^3$$

$H_T$ (m)	A	B	C	D
0,91	-1,36065	-0,84583	-0,46309	-0,08774
0,61	-1,44379	-0,77410	-0,40118	-0,07101
0,46	-1,52659	-0,70595	-0,36783	-0,06689
0,31	-1,61667	-0,69297	-0,37387	-0,07116
0,23	-1,65935	-0,64181	-0,36586	-0,07289
0,15	-1,69222	0,62837	-0,39041	-0,07845

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Anegamiento

$$U_{n,aneg} = C_{SB} \left[ \frac{\sigma}{0,02} \right]^{0,2} \left[ \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right]^{0,5}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Anegamiento

$$U_{n,aneg} = C_{SB} \left[ \frac{\sigma}{0,02} \right]^{0,2} \left[ \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right]^{0,5}$$

$$\log C_{SB} = A + B [\log(P_F)] + C [\log(P_F)]^2 + D [\log(P_F)]^3$$

$H_T - (h_{es} + h_{ces})$ (m)	A	B	C	D
0,76	-1,24037	-0,66509	-0,28368	-0,02058
0,61	-1,30187	-0,61411	-0,22161	-0,00172
0,56	-1,33734	-0,58223	-0,15594	0,02527
0,51	-1,36468	-0,53186	-0,09946	0,04441
0,46	-1,39606	-0,53475	-0,10926	0,04059
0,41	-1,47558	-0,52906	-0,09501	0,04550
0,36	-1,52912	-0,46331	-0,03651	0,05981
0,31	-1,59921	-0,46744	-0,04743	0,05620
0,25	-1,67180	-0,44380	-0,04178	0,05063
0,20	-1,72792	-0,41689	-0,02520	0,05396
0,15	-1,79806	-0,38497	-0,00150	0,05916
0,10	-1,86121	-0,42973	-0,06547	0,03763
0,05	-1,91247	0,35217	0,02034	0,06613

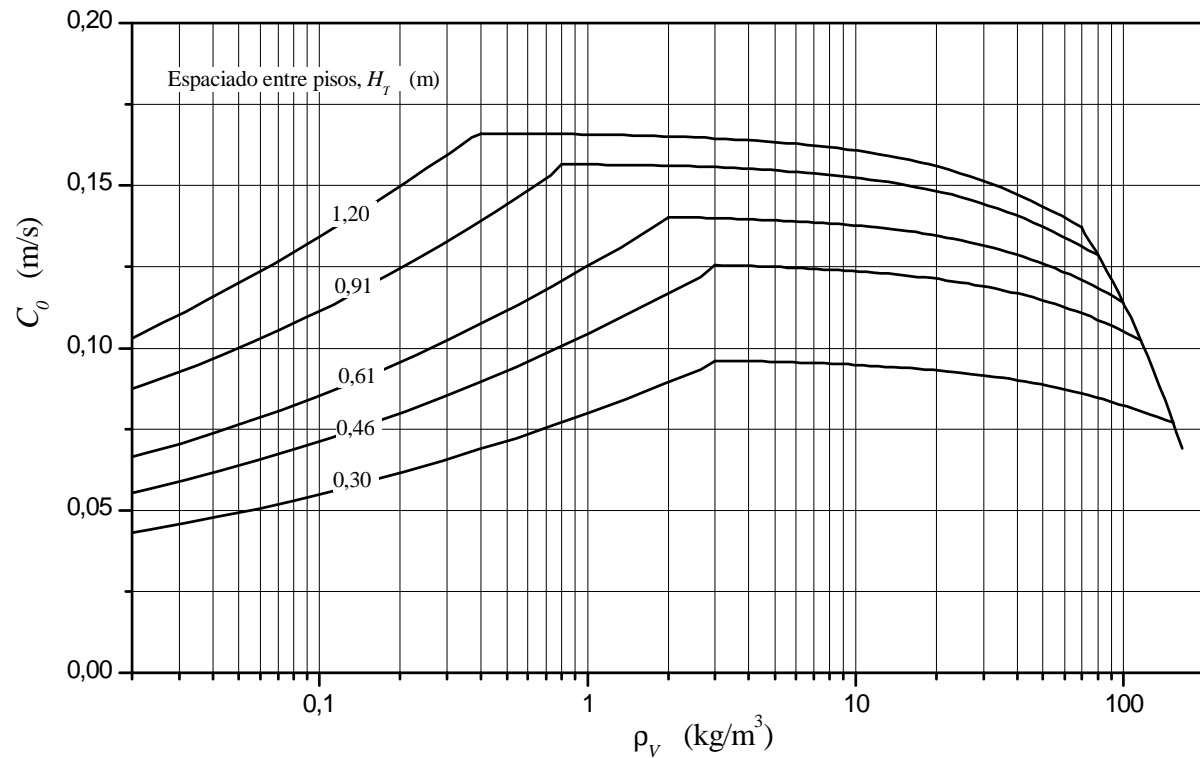
# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Anegamiento

### Pisos de válvulas

$$C_b = C_0 F_{\text{aneg}} F_{\text{sist}} - \frac{Q_L}{W}$$

$$C_b = \frac{Q_V}{A_b} \left[ \frac{\rho_V}{\rho_L - \rho_V} \right]^{0,5}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Anegamiento

### Pisos de válvulas

$$C_b = C_0 F_{\text{aneg}} F_{\text{sist}} - \frac{Q_L}{W}$$

	$F_{\text{sist}}$
<i>No espumantes</i> Sistemas regulares	1,00
<i>Ligeramente espumantes</i> Despropanizadores Sistemas con fluor: freones, BF <sub>3</sub> Desabsorbedores de H <sub>2</sub> S Desabsorbedores de carbonato fundido	0,9 0,9 0,9 0,9
<i>Moderadamente espumantes</i> Desetanizadores Absorbedores de hidrocarburos Desabsorbedores de aminas Desabsorbedores de glicoles Sistemas con sulfolano Columnas de crudo de petróleo Absorbedores de carbonato fundido Refino de furfural	0,85 0,85 0,85 0,85 0,85 0,85 0,85 0,85
<i>Fuertemente espumantes</i> Absorbedores de aminas Absorbedores de glicoles Sistemas con metiletilcetona	0,75 0,65 0,60
<i>Espuma estable</i> Absorbedores de síntesis de alcohol Regeneradores cáusticos	0,35 0,30

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

**Distancia entre pisos**

$$h_T = h_g + h_v + h_{ea} + h_p + h_{es} + h_{ces}$$

$$H_T = \frac{h_T}{0,6 \text{ a } 0,4}$$



# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Diámetro de la columna

$$(U_{v,\max})_1 = \frac{Q_L}{A_v} = 0,17 \text{ m/s}$$

$$(U_{v,\max})_2 = \frac{Q_L}{A_v} = 0,007 (\rho_L - \rho_V)^{0,5} \text{ m/s}$$

$$(U_{v,\max})_3 = \frac{Q_L}{A_v} = 0,008 [H_T (\rho_L - \rho_V)]^{0,5} \text{ m/s}$$

$$U_{v,\max} = \left[ \text{el menor de } (U_{v,\max})_1, (U_{v,\max})_2 \text{ o } (U_{v,\max})_3 \right] F_{\text{sist}}$$

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Diámetro de la columna

		Velocidad del líquido claro en vertedero, m/s		
Capacidad espumante	Ejemplos	$H_T = 0,46$ m	$H_T = 0,61$ m	$H_T = 0,91$ m
Ligera	Destilación de hidrocarburos ligeros a baja presión (< 0,7 MPa), estabilizadores	0,12-0,15	0,15-0,18	0,18-0,21
Media	Destilación de crudo de petróleo, destilación de hidrocarburos a presiones medias (0,7-2,1 MPa), absorción	0,09-0,12	0,12-0,15	0,15-0,18
Elevada	Destilación de hidrocarburos ligeros a presiones elevadas (> 2,1 MPa), aminas, glicerina	0,06-0,075	0,06-0,075	0,06-0,09

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Diámetro de la columna

Capacidad espumante	Ejemplos	Tiempo de residencia, s
Ligera	Destilación de hidrocarburos de bajo peso molecular, alcoholes	3
Media	Destilación de hidrocarburos de peso molecular medio	4
Elevada	Absorción en aceites minerales	5
Muy elevada	Aminas y glicoles	7

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Diseño de la columna

1. Se localizan los pisos teóricos que impliquen los máximos caudales molares de ambas fases en cada uno de los sectores de la columna:  $L$ ,  $V$ .
2. Se supone un espaciado entre pisos,  $HT$ . Generalmente se elegirá un valor estándar de 0,61 m (24 pulgadas), o en casos excepcionales 0,46 m (18 pulgadas).
3. Se estiman las densidades de líquido y gas en las condiciones de presión y temperatura de los pisos seleccionados y los pesos moleculares medios, mediante la de los gases perfectos y los datos bibliográficos que resulten necesarios.
4. Se estima la velocidad de anegamiento mediante la correlación de Fair, ecuación [8.91] y la figura 8.24.
5. Se estima el diámetro de la columna a partir de la velocidad límite de anegamiento y se corrige en función de la capacidad espumante del sistema: para sistemas poco espumantes utilizar el 80% del valor calculado, mientras que para sistemas espumantes utilizar el 70% del valor calculado.

# CAPACIDAD DE LOS PISOS

## Diseño de la columna

6. Se calcula el área neta de paso del gas  $A_n$  dividiendo el caudal volumétrico del vapor por la velocidad del vapor suponiendo una aproximación del 80% a la velocidad de anegamiento para sistemas con poca capacidad espumante, o del 70% para sistemas espumantes.
7. Se selecciona el tipo de piso, en función del caudal volumétrico de líquido: con vertedero o sin vertedero; número y tipo de vertederos por piso, etc.
8. Se selecciona un valor del área del vertedero como porcentaje del área transversal total de la columna, en función del diámetro estimado de la columna y del tipo de flujo del líquido sobre el piso.
9. Se calcula el área transversal de la columna dividiendo el área neta para el flujo del gas por el porcentaje que le corresponde de área total de la columna.

# **CAPACIDAD DE LOS PISOS**

## **Diseño de la columna**

- 10. Se calcula el diámetro de la columna de sección circular a partir del área transversal de la columna acabada de calcular.**
- 11. Se comprueba que el espaciado entre pisos supuesto está dentro de los límites recomendados, para el diámetro de la columna calculado.**
- 12. Se selecciona el tipo de piso, basándose en las recomendaciones.**