Hidráulica de platos.

Diseño interior de la torre.

Para los cálculos de la hidráulica de platos tenemos los siguientes caudales:

L = 53,33 Kmol / h	L' = 307,3 Kmol / h
V = 183,4 Kmol / h	V' = 109,37 Kmol / h
Caudales de la parte de arriba de la torre.	Caudales de la parte de abajo de la torre.

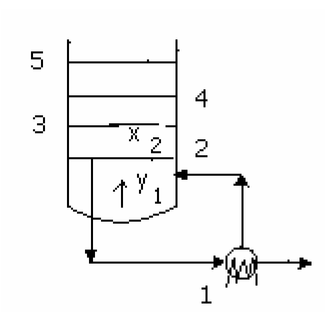
Para un mejor diseño, cogeremos los caudales más desfavorables, combinando los caudales, ya que el caso más desfavorable en un líquido es el goteo, y el caso más desfavorable del gas, es la formación de espuma. Por eso cogeremos el caudal de vapor de la parte superior de la columna y el caudal de líquido de la parte de debajo de la columna, ya que seria el caso más crítico.

Datos necesarios para los cálculos de la hidráulica de platos.

Calculamos las densidades de la mezcla gaseosa y líquida, en cabeza, para el caudal de vapor, y en el fondo, para el caudal de líquido:

Datos:
- ρ_{DME} = 0,01764 gr / ml (Kg / l)
- $\rho_{metanol}$ = 0,8 gr / ml
- ρ_{agua} = 1 gr / ml

→ **Para el líquido, L'.**



Plato 1: $y_1 = 0,06962$
$y_2 = 0,5808$
$y_3 = 0,3496$

Plato 2: $x_1 = 0,02735$
$x_2 = 0,4160$
$x_3 = 0,55665$

L' = 307,3 Kmol / h * fracción molar de cada componente.

→ 307,3 * 0,02735 = 8,404655 Kmol / h
→ 307,3 * 0,4160 = 127,8368 Kmol / h
→ 307,3 * 0,55665 = 171,058545 Kmol / h

Los valores obtenidos del DME, metanol y agua, los multiplicamos por sus Pm (pesos moleculares), que son 46, 32 y 18 respectivamente, y así obtenemos sus unidades en Kg / h (en caudal másico).

DME → 386,61413 Kg / h
Metanol → 386,61413 Kg / h
Agua → 386,61413 Kg / h

$\sum$ 7556,44554 Kg / h * 1 h / 3600 s = 2,09901265 Kg / s. Caudal másico de la mezcla líquida.

- Calculamos los caudales volumétricos para el líquido.

DME → 386,61413 Kg / h / ρ_{DME} Kg / l = 21916,90079 l / h
Metanol → 4090,7776 Kg / h / $\rho_{metanol}$ Kg / l = 5113,472 l / h
Agua → 3079,05381 Kg / h / ρ_{agua} Kg / l = 3079,05381 l / h

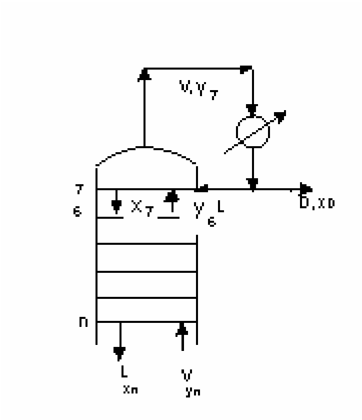
$\sum$ 30109,4266 l/h → 30,1094266 m^3/h

Este es el valor del caudal volumétrico de la mezcla líquida.

- Calculamos la densidad de la mezcla liquida, ρ_L.

$$\rho_L = \frac{Caudal \ldots masico}{Caudal \ldots volumetrico} = \frac{2{,}09901265\ Kg/s}{30{,}1094266 m^3/h * 1h/3600s} = 250{,}9661057 \quad \text{Kg / m}^3$$

→ **Para el vapor, *V*.**



Plato 6: $y_1 = 0{,}9946$
$y_2 = 0{,}0051$
$y_3 = 0{,}0003$

Plato 7: $x_1 = 0{,}993500$
$x_2 = 0{,}005344$
$x_3 = 0{,}001156$

$V' = 183{,}4$ Kmol / h * fracción molar de cada componente.

→ 183,4 * 0,9946 = 182,40964 Kmol / h
→ 183,4 * 0,0051 = 0,93534 Kmol / h
→ 183,4 * 0,0003 = 0,05502 Kmol / h

Los valores obtenidos del DME, metanol y agua, los multiplicamos por sus Pm (pesos moleculares), que son 46, 32 y 18 respectivamente, y así obtenemos sus unidades en Kg / h (en caudal másico).

DME → 8390,84344 Kg / h
Metanol → 29,93088 Kg / h
Agua → 0,99036 Kg / h

$\sum$ 8421,76468 Kg / h * 1 h / 3600 s = 2,339379078 Kg / s. Caudal másico de la mezcla vapor

- Calculamos los caudales volumétricos para el vapor.

DME → 8390,84344 Kg / h / ρ_{DME} Kg / l = 475671,3968 l / h
Metanol → 29,93088 Kg / h / $\rho_{metanol}$ Kg / l = 37,4136 l / h
Agua → 0,99036 Kg / h / ρ_{agua} Kg / l = 0,99036 l / h

$\sum$ 475709,8008 l/h → 475,7098008 m^3/h

Este es el valor del caudal volumétrico de la mezcla vapor.

- Calculamos la densidad de la mezcla vapor, ρ_G.

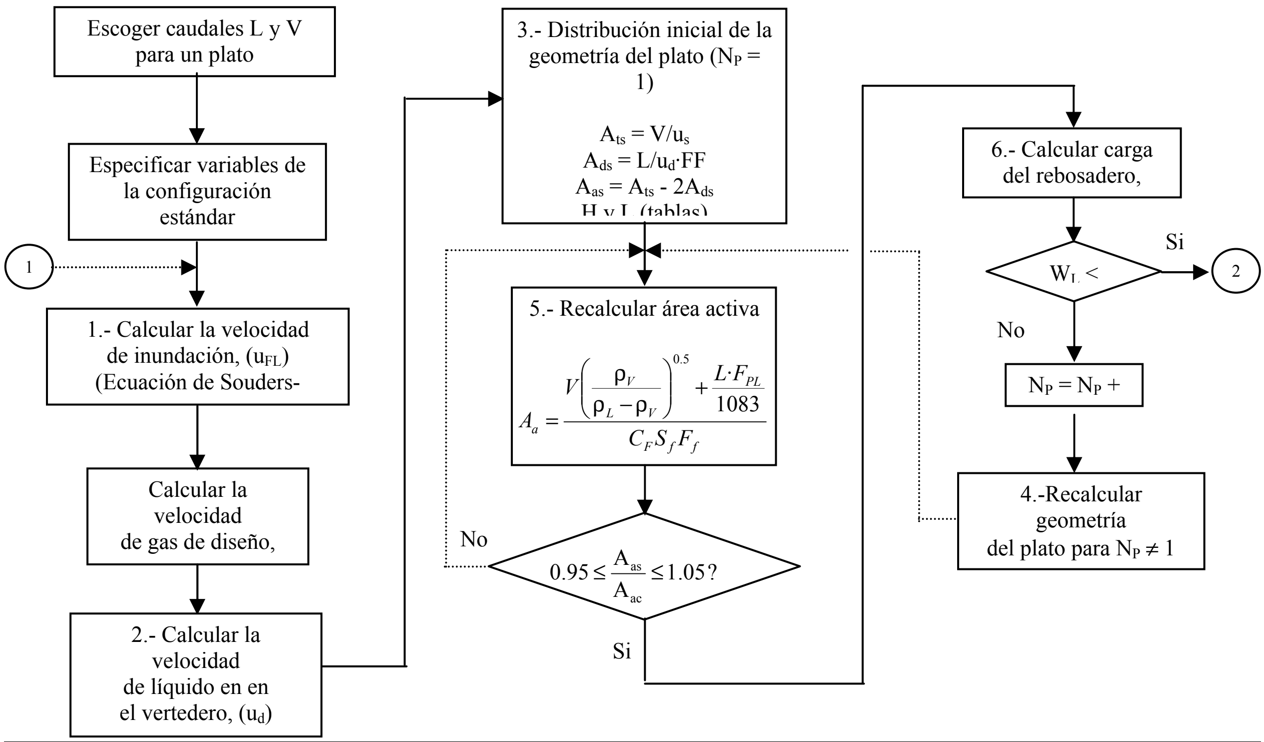
$$\rho_G = \frac{Caudal \ldots masico}{Caudal \ldots volumetrico} = \frac{2{,}339379078\ Kg/s}{475{,}7098008 m^3/h * 1h/3600s} = 17{,}703576 \quad \text{Kg / m}^3$$

CONFIGURACIÓN ESTANDAR

Parámetro	Simbolo	Valor recomendado	Opciones
Espaciado entre platos	ts	24"	12" (mínimo práctico) - 48" (máximo)
Espesor del plato	td	0,078" (14 gage)	0,4 < td/dh < 0,7
Diámetro de las perforaciones	dh	3/8"	1/8" (mínimo) - 1" (máximo)
Altura del rebosadero	hw	2"	1/2" (mínimo) - 6" (máximo)
Número de pasos	Np	1	1 (mínimo) - 0,377*(AT)^0,5 (máximo)
Factor de inundacion	Ff	0.82	0,65 (vacio) - 0,82 (máximo)
Factor de goteo	Wf	0.6	Para una flexibilidad T = 2
Factor de espuma	Sf	1 (normal)	0,85 (moderadamente espumante); 0,73 (espumante); 0,6 (muy espumante) ;0,3 (espuma estable)

De la configuración estándar anterior, respetaremos todos los parámetros con el valor recomendado, excepto el espaciado entre platos, *ts*, que lo cogeremos de 21” y en diámetro de las perforaciones, *dh*, que lo cogeremos de 6/8”.

Algoritmo de cálculo
Diseño del plato (1)



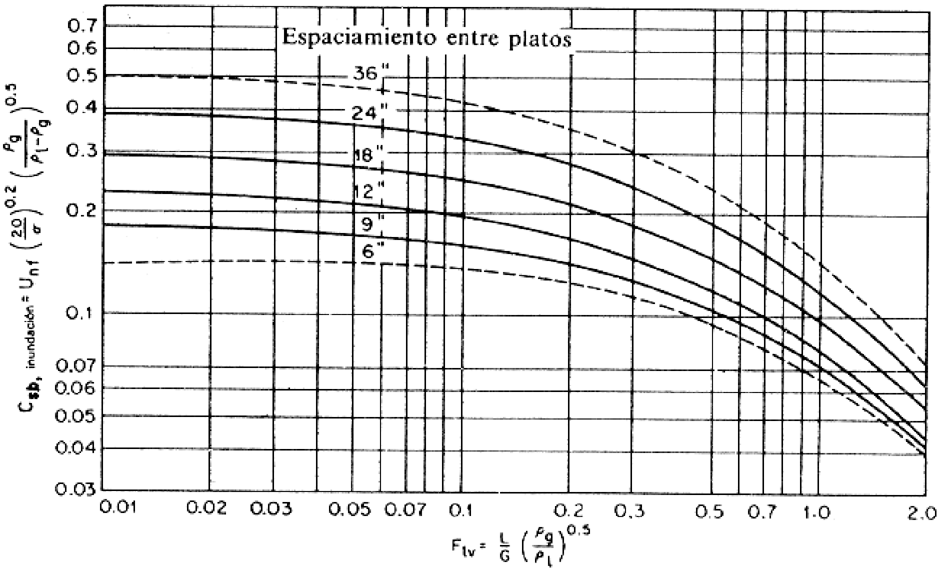
1.- Calcular la velocidad de inundación.

Se calcula mediante la ecuación de Souders-Brown:

$$u_{nf} = C_{sb} S_f \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0.5}$$

donde:

u_{nf} = velocidad lineal de inundación del gas, ft/s
ρ_L, ρ_G = densidad de líquido y gas respectivamente, lb/ft^3
S_f = factor de espuma, (adim)
C_{sb} = parámetro de capacidad. Se obtiene mediante la siguiente gráfica:



donde la abscisa es el parámetro de flujo F_{lv} donde:

L, G = caudales másicos de líquido y gas respectivamente, kg/h
caudal másico

ρ_L, ρ_G = densidad de líquido y gas respectivamente, kg/m^3

ρ_L = 250,9661057 Kg / m^3 --> ρ_L = 15,66775538 lb / ft^3

ρ_V = 17,703576 Kg / m^3 --> ρ_V = 1,105230116 lb / ft^3

Mediante la grafica, buscamos C_{sb} para un valor de F_{lv}, que calculamos a continuación:

$$F_{lv} = \frac{L}{G}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0,5} = \frac{7556,44554}{8421,76468}\left(\frac{17,703576}{250,9661057}\right)^{0,5} = 0,238307339$$

$F_{lv} \cong 0,238$ para 21” --> $C_{sb} \cong 0,32$

$$u_{nf} = 0,32 * 1 * \left(\frac{15,66775538 - 1,105230116}{1,105230116}\right)^{0,5} = 1,161560859 \quad \text{ft / s}$$

Ahora procedemos al cálculo de la velocidad del gas de diseño (u_s):

$u_s = 0,85 \cdot u_{nf}$ --> u_s = 0,85 * 1,161560859 = 0,987326729 ft / s

2.- Calcular la velocidad de líquido en el vertedero.

Seleccionar el menor de los siguientes valores:

$$u_d = \min\begin{cases} 250 \cdot S_f \\ 7.5 \cdot S_f \left[t_s(\rho_L - \rho_V)\right]^{0.5} \\ 41 \cdot S_f \cdot (\rho_L - \rho_V)^{0.5} \end{cases}$$

u_d = velocidad del líquido en el vertedero (gpm/ft^2)
S_f = factor de espuma, (adim)
t_s = espaciado entre platos, pulg
ρ_L, ρ_V = densidad de líquido y vapor, lb/ft^3

De los siguientes valores que vamos a calcular, escogeremos aquel valor que sea menor:

$$u_d = \min\begin{cases} 250 \cdot S_f \longrightarrow 250 \times 1 = 250 \\ 7.5 \cdot S_f \left[t_s(\rho_L - \rho_V)\right]^{0.5} \longrightarrow 7{,}5 \times 1\left[21(15{,}66775538 - 1{,}105230116)\right]^{0{,}5} = 131{,}1563303 \\ 41 \cdot S_f \cdot (\rho_L - \rho_V)^{0.5} \longrightarrow 41 \times 1(15{,}66775538 - 1{,}105230116)^{0{,}5} = 156.4595953 \end{cases}$$

De los valores obtenidos cogemos el u_d = 131,1563303 gpm/ft^2

3.- Distribución inicial de la geometría del plato (N_P = 1).

Los valores a estimar son el área total del plato (A_t), el área de vertederos (A_d), y el área activa (A_a), supuesto un plato de un solo paso:

$$A_t = \frac{V}{u_s}$$

$$A_d = \frac{L}{u_d F_f}$$

$$A_a = A_t - 2A_d$$

donde:

A_t = área total, ft^2
A_d = área de vertederos, ft^2
A_a = área activa, ft^2
V = caudal volumétrico de gas, ft^3/s
L = caudal volumétrico de líquido, gpm
u_s = velocidad superficial del gas en condiciones de operación (0.85 x u_{FL}), ft/s
u_d = velocidad de líquido en el vertedero, gpm/ft^2
F_f = factor de inundación, (adim.)

Siendo V = 475,7098008 m^3/h --> V = 4,665920355 ft^3 / s
L = 30,1094266 m^3/h --> L = 132,0909607 gal / min

El resto de la geometría del plato se determina mediante las tablas adjuntas en donde se determina la anchura del vertedero (H) y la longitud del rebosadero (L_W) en función del cociente entre el área de vertederos y el área total del plato (A_d/A_t).

Por último se determina la longitud de la trayectoria de flujo (F_{PL}), como la distancia libre entre vertederos, esto es:

$$F_{PL} = D_t - 2H$$

El diámetro de la torre se obtiene a partir del área total, mediante:

$$D_t = \left(\frac{4A_t}{\pi}\right)^{0.5}$$

redondeando finalmente a la ½ pulgada inmediatamente superior, por motivos de estandarización.

Los resultados obtenidos son los siguientes;

$$A_t = \frac{V}{u_s} = \frac{4,665920355}{0,987326729} = 4,725811849\,ft^2$$

$$A_d = \frac{L}{u_d F_f} = \frac{135,0909607}{131,1563303 \times 0,82} = 1,256097008\,ft^2$$

$$A_a = A_t - 2A_d = 4,725811849 - 2 \times 1,256097008 = 2,213617834\,ft^2$$

Con estos datos calculamos el diámetro de la torre, y escogeremos un valor de diámetro estándar (ver anexo nº 8 de tablas).

$$D_t = \left(\frac{4A_t}{\pi}\right)^{0.5} = \left(\frac{4\times 4{,}725811849}{\pi}\right)^{0,5} = 2{,}452975851\,ft$$

Por lo tanto, cogeremos como valor estándar 3 ft de diámetro de la torre.

- Recalculamos las áreas con el valor estándar de diámetro de torre escogido:

$$A_t = \pi\times R^2 = \pi\times\left(\frac{3}{2}\right)^2 = 7{,}068583471\,ft^2$$

$$A_d = \frac{L}{u_d F_f} = \frac{135{,}0909607}{131{,}1563303\times 0{,}82} = 1{,}256097008\,ft^2$$

$$A_a = A_t - 2A_d = 7{,}068583471 - 2\times 1{,}256097008 = 4{,}556389455\,ft^2\,(A_{as})$$

- Determinamos la anchura del vertedero (H) y la longitud del rebosadero (Lw), con ayuda de las tabla que se adjunta a continuación:

$$\frac{A_d}{A_t} = \frac{1{,}256097008}{7{,}068583471} = 0{,}177701(tablas : 0{,}1775) \xrightarrow{\times D} \text{Lw} = 2{,}5383 \text{ ft.}$$

$$\text{H} = 0{,}7005 \text{ ft.}$$

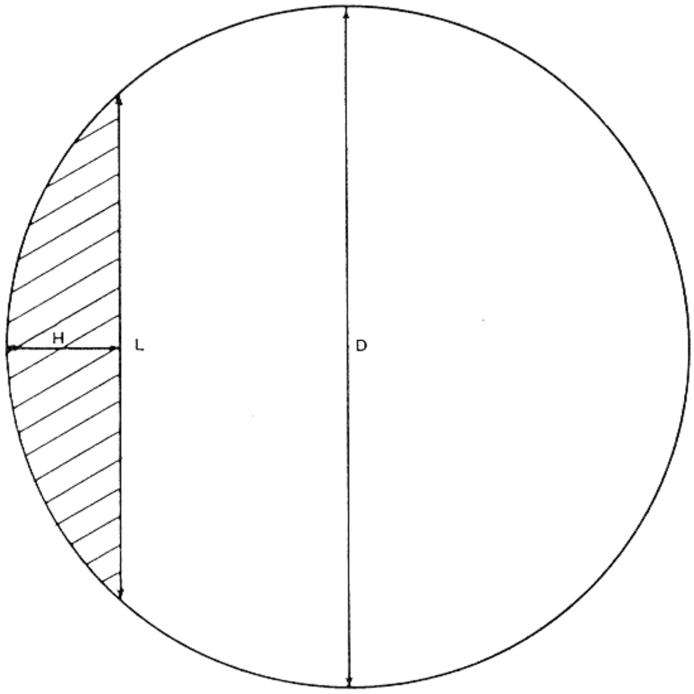


TABLE 4

SEGMENTAL FUNCTIONS

D = TOWER DIAMETER

H = CHORD HEIGHT

L = CHORD LENGTH

A_D = CHORD AREA

A_T = TOWER AREA

H/D FROM .0 TO .1

H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T
.0000	.0000	.0000	.0200	.2800	.0048	.0400	.3919	.0134	.0600	.4750	.0245	.0800	.5426	.0375
.0005	.0447	.0000	.0205	.2834	.0050	.0405	.3943	.0137	.0605	.4768	.0248	.0805	.5441	.0378
.0010	.0632	.0001	.0210	.2868	.0051	.0410	.3966	.0139	.0610	.4787	.0251	.0810	.5457	.0382
.0015	.0774	.0001	.0215	.2901	.0053	.0415	.3989	.0142	.0615	.4805	.0254	.0815	.5472	.0385
.0020	.0894	.0002	.0220	.2934	.0055	.0420	.4012	.0144	.0620	.4823	.0257	.0820	.5487	.0389
.0025	.0999	.0002	.0225	.2966	.0057	.0425	.4035	.0147	.0625	.4841	.0260	.0825	.5502	.0392
.0030	.1094	.0003	.0230	.2998	.0059	.0430	.4057	.0149	.0630	.4859	.0263	.0830	.5518	.0396
.0035	.1181	.0004	.0235	.3030	.0061	.0435	.4080	.0152	.0635	.4877	.0266	.0835	.5533	.0399
.0040	.1262	.0004	.0240	.3061	.0063	.0440	.4102	.0155	.0640	.4895	.0270	.0840	.5548	.0403
.0045	.1339	.0005	.0245	.3092	.0065	.0445	.4124	.0157	.0645	.4913	.0273	.0845	.5563	.0406
.0050	.1411	.0006	.0250	.3122	.0067	.0450	.4146	.0160	.0650	.4931	.0276	.0850	.5578	.0410
.0055	.1479	.0007	.0255	.3153	.0069	.0455	.4168	.0162	.0655	.4948	.0279	.0855	.5592	.0413
.0060	.1545	.0008	.0260	.3183	.0071	.0460	.4190	.0165	.0660	.4966	.0282	.0860	.5607	.0417
.0065	.1607	.0009	.0265	.3212	.0073	.0465	.4211	.0168	.0665	.4983	.0285	.0865	.5622	.0421
.0070	.1667	.0010	.0270	.3242	.0075	.0470	.4233	.0171	.0670	.5000	.0288	.0870	.5637	.0424
.0075	.1726	.0011	.0275	.3271	.0077	.0475	.4254	.0173	.0675	.5018	.0292	.0875	.5651	.0428
.0080	.1782	.0012	.0280	.3299	.0079	.0480	.4275	.0176	.0680	.5035	.0295	.0880	.5666	.0431
.0085	.1836	.0013	.0285	.3328	.0081	.0485	.4296	.0179	.0685	.5052	.0298	.0885	.5680	.0435
.0090	.1889	.0014	.0290	.3356	.0083	.0490	.4317	.0181	.0690	.5069	.0301	.0890	.5695	.0439
.0095	.1940	.0016	.0295	.3384	.0085	.0495	.4338	.0184	.0695	.5086	.0304	.0895	.5709	.0442
.0100	.1990	.0017	.0300	.3412	.0087	.0500	.4359	.0187	.0700	.5103	.0308	.0900	.5724	.0446
.0105	.2039	.0018	.0305	.3439	.0090	.0505	.4379	.0190	.0705	.5120	.0311	.0905	.5738	.0449
.0110	.2086	.0020	.0310	.3466	.0092	.0510	.4400	.0193	.0710	.5136	.0314	.0910	.5752	.0453
.0115	.2132	.0021	.0315	.3493	.0094	.0515	.4420	.0195	.0715	.5153	.0318	.0915	.5766	.0457
.0120	.2178	.0022	.0320	.3520	.0096	.0520	.4441	.0198	.0720	.5170	.0321	.0920	.5781	.0460
.0125	.2222	.0024	.0325	.3546	.0098	.0525	.4461	.0201	.0725	.5186	.0324	.0925	.5795	.0464
.0130	.2265	.0025	.0330	.3573	.0101	.0530	.4481	.0204	.0730	.5203	.0327	.0930	.5809	.0468
.0135	.2308	.0027	.0335	.3599	.0103	.0535	.4501	.0207	.0735	.5219	.0331	.0935	.5823	.0472
.0140	.2350	.0028	.0340	.3625	.0105	.0540	.4520	.0210	.0740	.5235	.0334	.0940	.5837	.0475
.0145	.2391	.0030	.0345	.3650	.0108	.0545	.4540	.0212	.0745	.5252	.0337	.0945	.5850	.0479
.0150	.2431	.0031	.0350	.3676	.0110	.0550	.4560	.0215	.0750	.5268	.0341	.0950	.5864	.0483
.0155	.2471	.0033	.0355	.3701	.0112	.0555	.4579	.0218	.0755	.5284	.0344	.0955	.5878	.0486
.0160	.2510	.0034	.0360	.3726	.0115	.0560	.4598	.0221	.0760	.5300	.0347	.0960	.5892	.0490
.0165	.2548	.0036	.0365	.3751	.0117	.0565	.4618	.0224	.0765	.5316	.0351	.0965	.5906	.0494
.0170	.2585	.0037	.0370	.3775	.0119	.0570	.4637	.0227	.0770	.5332	.0354	.0970	.5919	.0498
.0175	.2622	.0039	.0375	.3800	.0122	.0575	.4656	.0230	.0775	.5348	.0358	.0975	.5933	.0501
.0180	.2659	.0041	.0380	.3824	.0124	.0580	.4675	.0233	.0780	.5363	.0361	.0980	.5946	.0505
.0185	.2695	.0042	.0385	.3848	.0127	.0585	.4694	.0236	.0785	.5379	.0364	.0985	.5960	.0509
.0190	.2730	.0044	.0390	.3872	.0129	.0590	.4712	.0239	.0790	.5395	.0368	.0990	.5973	.0513
.0195	.2765	.0046	.0395	.3896	.0132	.0595	.4731	.0242	.0795	.5410	.0371	.0995	.5987	.0517

H/D FROM .1 TO .2

H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T
.1000	.6000	.0520	.1200	.6499	.0680	.1400	.6940	.0851	.1600	.7332	.1033	.1800	.7684	.1224
.1005	.6013	.0524	.1205	.6511	.0684	.1405	.6950	.0855	.1605	.7341	.1037	.1805	.7692	.1229
.1010	.6027	.0528	.1210	.6523	.0688	.1410	.6960	.0860	.1610	.7351	.1042	.1810	.7700	.1234
.1015	.6040	.0532	.1215	.6534	.0692	.1415	.6971	.0864	.1615	.7360	.1047	.1815	.7709	.1239
.1020	.6053	.0536	.1220	.6546	.0696	.1420	.6981	.0869	.1620	.7369	.1051	.1820	.7717	.1244
.1025	.6066	.0540	.1225	.6557	.0701	.1425	.6991	.0873	.1625	.7378	.1056	.1825	.7725	.1249
.1030	.6079	.0544	.1230	.6569	.0705	.1430	.7001	.0878	.1630	.7387	.1061	.1830	.7733	.1253
.1035	.6092	.0547	.1235	.6580	.0709	.1435	.7012	.0882	.1635	.7396	.1066	.1835	.7742	.1258
.1040	.6105	.0551	.1240	.6592	.0713	.1440	.7022	.0886	.1640	.7406	.1070	.1840	.7750	.1263
.1045	.6118	.0555	.1245	.6603	.0717	.1445	.7032	.0891	.1645	.7415	.1075	.1845	.7758	.1268
.1050	.6131	.0559	.1250	.6614	.0721	.1450	.7042	.0895	.1650	.7424	.1080	.1850	.7766	.1273
.1055	.6144	.0563	.1255	.6626	.0726	.1455	.7052	.0900	.1655	.7433	.1084	.1855	.7774	.1278
.1060	.6157	.0567	.1260	.6637	.0730	.1460	.7062	.0904	.1660	.7442	.1089	.1860	.7782	.1283
.1065	.6170	.0571	.1265	.6648	.0734	.1465	.7072	.0909	.1665	.7451	.1094	.1865	.7790	.1288
.1070	.6182	.0575	.1270	.6659	.0738	.1470	.7082	.0913	.1670	.7460	.1099	.1870	.7798	.1293
.1075	.6195	.0579	.1275	.6671	.0743	.1475	.7092	.0918	.1675	.7468	.1103	.1875	.7806	.1298
.1080	.6208	.0583	.1280	.6682	.0747	.1480	.7102	.0922	.1680	.7477	.1108	.1880	.7814	.1303
.1085	.6220	.0587	.1285	.6693	.0751	.1485	.7112	.0927	.1685	.7486	.1113	.1885	.7822	.1308
.1090	.6233	.0591	.1290	.6704	.0755	.1490	.7122	.0932	.1690	.7495	.1118	.1890	.7830	.1313
.1095	.6245	.0595	.1295	.6715	.0760	.1495	.7132	.0936	.1695	.7504	.1122	.1895	.7838	.1318
.1100	.6258	.0598	.1300	.6726	.0764	.1500	.7141	.0941	.1700	.7513	.1127	.1900	.7846	.1323
.1105	.6270	.0602	.1305	.6737	.0768	.1505	.7151	.0945	.1705	.7521	.1132	.1905	.7854	.1328
.1110	.6283	.0606	.1310	.6748	.0773	.1510	.7161	.0950	.1710	.7530	.1137	.1910	.7862	.1333
.1115	.6295	.0610	.1315	.6759	.0777	.1515	.7171	.0954	.1715	.7539	.1142	.1915	.7870	.1338
.1120	.6307	.0614	.1320	.6770	.0781	.1520	.7180	.0959	.1720	.7548	.1146	.1920	.7877	.1343
.1125	.6320	.0619	.1325	.6781	.0785	.1525	.7190	.0963	.1725	.7556	.1151	.1925	.7885	.1348
.1130	.6332	.0623	.1330	.6791	.0790	.1530	.7200	.0968	.1730	.7565	.1156	.1930	.7893	.1353
.1135	.6344	.0627	.1335	.6802	.0794	.1535	.7209	.0973	.1735	.7574	.1161	.1935	.7901	.1358
.1140	.6356	.0631	.1340	.6813	.0798	.1540	.7219	.0977	.1740	.7582	.1166	.1940	.7909	.1363
.1145	.6368	.0635	.1345	.6824	.0803	.1545	.7229	.0982	.1745	.7591	.1171	.1945	.7916	.1368
.1150	.6380	.0639	.1350	.6834	.0807	.1550	.7238	.0986	.1750	.7599	.1175	.1950	.7924	.1373
.1155	.6392	.0643	.1355	.6845	.0811	.1555	.7248	.0991	.1755	.7608	.1180	.1955	.7932	.1378
.1160	.6404	.0647	.1360	.6856	.0816	.1560	.7257	.0996	.1760	.7616	.1185	.1960	.7939	.1383
.1165	.6416	.0651	.1365	.6866	.0820	.1565	.7267	.1000	.1765	.7625	.1190	.1965	.7947	.1388
.1170	.6428	.0655	.1370	.6877	.0825	.1570	.7276	.1005	.1770	.7633	.1195	.1970	.7955	.1393
.1175	.6440	.0659	.1375	.6887	.0829	.1575	.7285	.1009	.1775	.7642	.1200	.1975	.7962	.1398
.1180	.6452	.0663	.1380	.6898	.0833	.1580	.7295	.1014	.1780	.7650	.1204	.1980	.7970	.1403
.1185	.6464	.0667	.1385	.6908	.0838	.1585	.7304	.1019	.1785	.7659	.1209	.1985	.7977	.1409
.1190	.6476	.0671	.1390	.6919	.0842	.1590	.7314	.1023	.1790	.7667	.1214	.1990	.7985	.1414
.1195	.6488	.0676	.1395	.6929	.0847	.1595	.7323	.1028	.1795	.7675	.1219	.1995	.7992	.1419

H/D FROM .2 TO .3

H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T
.2000	.8000	.1424	.2200	.8285	.1631	.2400	.8542	.1845	.2600	.8773	.2066	.2800	.8980	.2292
.2005	.8007	.1429	.2205	.8292	.1636	.2405	.8548	.1851	.2605	.8778	.2072	.2805	.8985	.2298
.2010	.8015	.1434	.2210	.8298	.1642	.2410	.8554	.1856	.2610	.8784	.2077	.2810	.8990	.2304
.2015	.8022	.1439	.2215	.8305	.1647	.2415	.8560	.1862	.2615	.8789	.2083	.2815	.8995	.2309
.2020	.8030	.1444	.2220	.8312	.1652	.2420	.8566	.1867	.2620	.8794	.2088	.2820	.8999	.2315
.2025	.8037	.1449	.2225	.8319	.1658	.2425	.8572	.1873	.2625	.8800	.2094	.2825	.9004	.2321
.2030	.8045	.1454	.2230	.8325	.1663	.2430	.8578	.1878	.2630	.8805	.2100	.2830	.9009	.2326
.2035	.8052	.1460	.2235	.8332	.1668	.2435	.8584	.1884	.2635	.8811	.2105	.2835	.9014	.2332
.2040	.8059	.1465	.2240	.8338	.1674	.2440	.8590	.1889	.2640	.8816	.2111	.2840	.9019	.2338
.2045	.8067	.1470	.2245	.8345	.1679	.2445	.8596	.1895	.2645	.8821	.2116	.2845	.9024	.2344
.2050	.8074	.1475	.2250	.8352	.1684	.2450	.8602	.1900	.2650	.8827	.2122	.2850	.9028	.2349
.2055	.8081	.1480	.2255	.8358	.1689	.2455	.8608	.1906	.2655	.8832	.2128	.2855	.9033	.2355
.2060	.8089	.1485	.2260	.8365	.1695	.2460	.8614	.1911	.2660	.8837	.2133	.2860	.9038	.2361
.2065	.8096	.1490	.2265	.8371	.1700	.2465	.8619	.1917	.2665	.8843	.2139	.2865	.9043	.2367
.2070	.8103	.1496	.2270	.8378	.1705	.2470	.8625	.1922	.2670	.8848	.2145	.2870	.9047	.2372
.2075	.8110	.1501	.2275	.8384	.1711	.2475	.8631	.1927	.2675	.8853	.2150	.2875	.9052	.2378
.2080	.8118	.1506	.2280	.8391	.1716	.2480	.8637	.1933	.2680	.8858	.2156	.2880	.9057	.2384
.2085	.8125	.1511	.2285	.8397	.1721	.2485	.8643	.1938	.2685	.8864	.2161	.2885	.9061	.2390
.2090	.8132	.1516	.2290	.8404	.1727	.2490	.8649	.1944	.2690	.8869	.2167	.2890	.9066	.2395
.2095	.8139	.1521	.2295	.8410	.1732	.2495	.8654	.1949	.2695	.8874	.2173	.2895	.9071	.2401
.2100	.8146	.1527	.2300	.8417	.1738	.2500	.8660	.1955	.2700	.8879	.2178	.2900	.9075	.2407
.2105	.8153	.1532	.2305	.8423	.1743	.2505	.8666	.1961	.2705	.8884	.2184	.2905	.9080	.2413
.2110	.8160	.1537	.2310	.8429	.1748	.2510	.8672	.1966	.2710	.8890	.2190	.2910	.9084	.2419
.2115	.8167	.1542	.2315	.8436	.1754	.2515	.8678	.1972	.2715	.8895	.2195	.2915	.9089	.2424
.2120	.8174	.1547	.2320	.8442	.1759	.2520	.8683	.1977	.2720	.8900	.2201	.2920	.9094	.2430
.2125	.8182	.1553	.2325	.8449	.1764	.2525	.8689	.1983	.2725	.8905	.2207	.2925	.9098	.2436
.2130	.8189	.1558	.2330	.8455	.1770	.2530	.8695	.1988	.2730	.8910	.2212	.2930	.9103	.2442
.2135	.8196	.1563	.2335	.8461	.1775	.2535	.8700	.1994	.2735	.8915	.2218	.2935	.9107	.2448
.2140	.8203	.1568	.2340	.8467	.1781	.2540	.8706	.1999	.2740	.8920	.2224	.2940	.9112	.2453
.2145	.8210	.1573	.2345	.8474	.1786	.2545	.8712	.2005	.2745	.8925	.2229	.2945	.9116	.2459
.2150	.8216	.1579	.2350	.8480	.1791	.2550	.8717	.2010	.2750	.8930	.2235	.2950	.9121	.2465
.2155	.8223	.1584	.2355	.8486	.1797	.2555	.8723	.2016	.2755	.8935	.2241	.2955	.9125	.2471
.2160	.8230	.1589	.2360	.8492	.1802	.2560	.8728	.2021	.2760	.8940	.2246	.2960	.9130	.2477
.2165	.8237	.1594	.2365	.8499	.1808	.2565	.8734	.2027	.2765	.8945	.2252	.2965	.9134	.2482
.2170	.8244	.1600	.2370	.8505	.1813	.2570	.8740	.2033	.2770	.8950	.2258	.2970	.9139	.2488
.2175	.8251	.1605	.2375	.8511	.1818	.2575	.8745	.2038	.2775	.8955	.2264	.2975	.9143	.2494
.2180	.8258	.1610	.2380	.8517	.1824	.2580	.8751	.2044	.2780	.8960	.2269	.2980	.9148	.2500
.2185	.8265	.1615	.2385	.8523	.1829	.2585	.8756	.2049	.2785	.8965	.2275	.2985	.9152	.2506
.2190	.8271	.1621	.2390	.8529	.1835	.2590	.8762	.2055	.2790	.8970	.2281	.2990	.9156	.2511
.2195	.8278	.1626	.2395	.8536	.1840	.2595	.8767	.2060	.2795	.8975	.2286	.2995	.9161	.2517

H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T
.3000	.9165	.2523	.3200	.9330	.2759	.3400	.9474	.2998	.3600	.9600	.3241	.3800	.9708	.3487
.3005	.9170	.2529	.3205	.9333	.2765	.3405	.9478	.3004	.3605	.9603	.3247	.3805	.9710	.3493
.3010	.9174	.2535	.3210	.9337	.2771	.3410	.9481	.3010	.3610	.9606	.3253	.3810	.9713	.3499
.3015	.9178	.2541	.3215	.9341	.2777	.3415	.9484	.3016	.3615	.9609	.3259	.3815	.9715	.3505
.3020	.9183	.2547	.3220	.9345	.2782	.3420	.9488	.3022	.3620	.9612	.3265	.3820	.9718	.3512
.3025	.9187	.2552	.3225	.9349	.2788	.3425	.9491	.3028	.3625	.9614	.3272	.3825	.9720	.3518
.3030	.9191	.2558	.3230	.9352	.2794	.3430	.9494	.3034	.3630	.9617	.3278	.3830	.9722	.3524
.3035	.9195	.2564	.3235	.9356	.2800	.3435	.9498	.3040	.3635	.9620	.3284	.3835	.9725	.3530
.3040	.9200	.2570	.3240	.9360	.2806	.3440	.9501	.3046	.3640	.9623	.3290	.3840	.9727	.3536
.3045	.9204	.2576	.3245	.9364	.2812	.3445	.9504	.3053	.3645	.9626	.3296	.3845	.9730	.3543
.3050	.9208	.2582	.3250	.9367	.2818	.3450	.9507	.3059	.3650	.9629	.3302	.3850	.9732	.3549
.3055	.9212	.2588	.3255	.9371	.2824	.3455	.9511	.3065	.3655	.9631	.3308	.3855	.9734	.3555
.3060	.9217	.2593	.3260	.9375	.2830	.3460	.9514	.3071	.3660	.9634	.3315	.3860	.9737	.3561
.3065	.9221	.2599	.3265	.9379	.2836	.3465	.9517	.3077	.3665	.9637	.3321	.3865	.9739	.3567
.3070	.9225	.2605	.3270	.9382	.2842	.3470	.9520	.3083	.3670	.9640	.3327	.3870	.9741	.3574
.3075	.9229	.2611	.3275	.9386	.2848	.3475	.9524	.3089	.3675	.9642	.3333	.3875	.9744	.3580
.3080	.9233	.2617	.3280	.9390	.2854	.3480	.9527	.3095	.3680	.9645	.3339	.3880	.9746	.3586
.3085	.9237	.2623	.3285	.9393	.2860	.3485	.9530	.3101	.3685	.9648	.3345	.3885	.9748	.3592
.3090	.9242	.2629	.3290	.9397	.2866	.3490	.9533	.3107	.3690	.9651	.3351	.3890	.9750	.3598
.3095	.9246	.2635	.3295	.9401	.2872	.3495	.9536	.3113	.3695	.9653	.3357	.3895	.9753	.3605
.3100	.9250	.2640	.3300	.9404	.2878	.3500	.9539	.3119	.3700	.9656	.3364	.3900	.9755	.3611
.3105	.9254	.2646	.3305	.9408	.2884	.3505	.9543	.3125	.3705	.9659	.3370	.3905	.9757	.3617
.3110	.9258	.2652	.3310	.9411	.2890	.3510	.9546	.3131	.3710	.9661	.3376	.3910	.9759	.3623
.3115	.9262	.2658	.3315	.9415	.2896	.3515	.9549	.3137	.3715	.9664	.3382	.3915	.9762	.3629
.3120	.9266	.2664	.3320	.9419	.2902	.3520	.9552	.3143	.3720	.9667	.3388	.3920	.9764	.3636
.3125	.9270	.2670	.3325	.9422	.2908	.3525	.9555	.3150	.3725	.9669	.3394	.3925	.9766	.3642
.3130	.9274	.2676	.3330	.9426	.2914	.3530	.9558	.3156	.3730	.9672	.3401	.3930	.9768	.3648
.3135	.9278	.2682	.3335	.9429	.2920	.3535	.9561	.3162	.3735	.9675	.3407	.3935	.9771	.3654
.3140	.9282	.2688	.3340	.9433	.2926	.3540	.9564	.3168	.3740	.9677	.3413	.3940	.9773	.3661
.3145	.9286	.2693	.3345	.9436	.2932	.3545	.9567	.3174	.3745	.9680	.3419	.3945	.9775	.3667
.3150	.9290	.2699	.3350	.9440	.2938	.3550	.9570	.3180	.3750	.9682	.3425	.3950	.9777	.3673
.3155	.9294	.2705	.3355	.9443	.2944	.3555	.9573	.3186	.3755	.9685	.3431	.3955	.9779	.3679
.3160	.9298	.2711	.3360	.9447	.2950	.3560	.9576	.3192	.3760	.9688	.3438	.3960	.9781	.3685
.3165	.9302	.2717	.3365	.9450	.2956	.3565	.9579	.3198	.3765	.9690	.3444	.3965	.9783	.3692
.3170	.9306	.2723	.3370	.9454	.2962	.3570	.9582	.3204	.3770	.9693	.3450	.3970	.9786	.3698
.3175	.9310	.2729	.3375	.9457	.2968	.3575	.9585	.3211	.3775	.9695	.3456	.3975	.9788	.3704
.3180	.9314	.2735	.3380	.9461	.2974	.3580	.9588	.3217	.3780	.9698	.3462	.3980	.9790	.3710
.3185	.9318	.2741	.3385	.9464	.2980	.3585	.9591	.3223	.3785	.9700	.3468	.3985	.9792	.3717
.3190	.9322	.2747	.3390	.9467	.2986	.3590	.9594	.3229	.3790	.9703	.3475	.3990	.9794	.3723
.3195	.9326	.2753	.3395	.9471	.2992	.3595	.9597	.3235	.3795	.9705	.3481	.3995	.9796	.3729

H/D FROM .4 TO .5

H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T	H/D	L/D	A_D/A_T
.4000	.9798	.3735	.4200	.9871	.3986	.4400	.9928	.4238	.4600	.9968	.4491	.4800	.9992	.4745
.4005	.9800	.3742	.4205	.9873	.3992	.4405	.9929	.4244	.4605	.9969	.4498	.4805	.9992	.4752
.4010	.9802	.3748	.4210	.9874	.3998	.4410	.9930	.4251	.4610	.9970	.4504	.4810	.9993	.4758
.4015	.9804	.3754	.4215	.9876	.4005	.4415	.9931	.4257	.4615	.9970	.4510	.4815	.9993	.4765
.4020	.9806	.3760	.4220	.9878	.4011	.4420	.9932	.4263	.4620	.9971	.4517	.4820	.9994	.4771
.4025	.9808	.3767	.4225	.9879	.4017	.4425	.9934	.4270	.4625	.9972	.4523	.4825	.9994	.4777
.4030	.9810	.3773	.4230	.9881	.4023	.4430	.9935	.4276	.4630	.9973	.4529	.4830	.9994	.4784
.4035	.9812	.3779	.4235	.9882	.4030	.4435	.9936	.4282	.4635	.9973	.4536	.4835	.9995	.4790
.4040	.9814	.3785	.4240	.9884	.4036	.4440	.9937	.4288	.4640	.9974	.4542	.4840	.9995	.4796
.4045	.9816	.3791	.4245	.9885	.4042	.4445	.9938	.4295	.4645	.9975	.4548	.4845	.9995	.4803
.4050	.9818	.3798	.4250	.9887	.4049	.4450	.9939	.4301	.4650	.9975	.4555	.4850	.9995	.4809
.4055	.9820	.3804	.4255	.9888	.4055	.4455	.9940	.4307	.4655	.9976	.4561	.4855	.9996	.4815
.4060	.9822	.3810	.4260	.9890	.4061	.4460	.9942	.4314	.4660	.9977	.4567	.4860	.9996	.4822
.4065	.9824	.3816	.4265	.9891	.4068	.4465	.9943	.4320	.4665	.9978	.4574	.4865	.9996	.4828
.4070	.9825	.3823	.4270	.9893	.4074	.4470	.9944	.4326	.4670	.9978	.4580	.4870	.9997	.4834
.4075	.9827	.3829	.4275	.9894	.4080	.4475	.9945	.4333	.4675	.9979	.4586	.4875	.9997	.4841
.4080	.9829	.3835	.4280	.9896	.4086	.4480	.9946	.4339	.4680	.9979	.4593	.4880	.9997	.4847
.4085	.9831	.3842	.4285	.9897	.4093	.4485	.9947	.4345	.4685	.9980	.4599	.4885	.9997	.4854
.4090	.9833	.3848	.4290	.9899	.4099	.4490	.9948	.4352	.4690	.9981	.4606	.4890	.9998	.4860
.4095	.9835	.3854	.4295	.9900	.4105	.4495	.9949	.4358	.4695	.9981	.4612	.4895	.9998	.4866
.4100	.9837	.3860	.4300	.9902	.4112	.4500	.9950	.4364	.4700	.9982	.4618	.4900	.9998	.4873
.4105	.9838	.3867	.4305	.9903	.4118	.4505	.9951	.4371	.4705	.9983	.4625	.4905	.9998	.4879
.4110	.9840	.3873	.4310	.9904	.4124	.4510	.9952	.4377	.4710	.9983	.4631	.4910	.9998	.4885
.4115	.9842	.3879	.4315	.9906	.4131	.4515	.9953	.4383	.4715	.9984	.4637	.4915	.9999	.4892
.4120	.9844	.3885	.4320	.9907	.4137	.4520	.9954	.4390	.4720	.9984	.4644	.4920	.9999	.4898
.4125	.9846	.3892	.4325	.9908	.4143	.4525	.9955	.4396	.4725	.9985	.4650	.4925	.9999	.4905
.4130	.9847	.3898	.4330	.9910	.4149	.4530	.9956	.4402	.4730	.9985	.4656	.4930	.9999	.4911
.4135	.9849	.3904	.4335	.9911	.4156	.4535	.9957	.4409	.4735	.9986	.4663	.4935	.9999	.4917
.4140	.9851	.3910	.4340	.9912	.4162	.4540	.9958	.4415	.4740	.9986	.4669	.4940	.9999	.4924
.4145	.9853	.3917	.4345	.9914	.4168	.4545	.9959	.4421	.4745	.9987	.4675	.4945	.9999	.4930
.4150	.9854	.3923	.4350	.9915	.4175	.4550	.9959	.4428	.4750	.9987	.4682	.4950	1.0000	.4936
.4155	.9856	.3929	.4355	.9916	.4181	.4555	.9960	.4434	.4755	.9988	.4688	.4955	1.0000	.4943
.4160	.9858	.3936	.4360	.9918	.4187	.4560	.9961	.4440	.4760	.9988	.4695	.4960	1.0000	.4949
.4165	.9860	.3942	.4365	.9919	.4194	.4565	.9962	.4447	.4765	.9989	.4701	.4965	1.0000	.4955
.4170	.9861	.3948	.4370	.9920	.4200	.4570	.9963	.4453	.4770	.9989	.4707	.4970	1.0000	.4962
.4175	.9863	.3954	.4375	.9922	.4206	.4575	.9964	.4460	.4775	.9990	.4714	.4975	1.0000	.4968
.4180	.9865	.3961	.4380	.9923	.4213	.4580	.9965	.4466	.4780	.9990	.4720	.4980	1.0000	.4975
.4185	.9866	.3967	.4385	.9924	.4219	.4585	.9965	.4472	.4785	.9991	.4726	.4985	1.0000	.4981
.4190	.9868	.3973	.4390	.9925	.4225	.4590	.9966	.4479	.4790	.9991	.4733	.4990	1.0000	.4987
.4195	.9870	.3979	.4395	.9927	.4232	.4595	.9967	.4485	.4795	.9992	.4739	.4995	1.0000	.4994
												.5000	1.0000	.5000

- Calculamos la distancia libre entre los vertederos, obteniendo el siguiente valor;

$$F_{pl} = D_t - 2H \quad \text{-->} \quad F_{pl} = 3 - 2 * 0{,}7005 = 1{,}599 \text{ ft}^2$$

4.- Recalcular el área activa mediante iteración.

Usar las ecuaciones suministradas por cada fabricante de platos. Por ejemplo, para los internos más comunes hoy día (platos de válvulas) la empresa Glitsch Inc., sugiere usar para sus válvulas tipo Ballast® la siguiente ecuación:

$$A_a = \frac{V\left(\dfrac{\rho_V}{\rho_L - \rho_V}\right)^{0.5} + \dfrac{LF_{PL}}{1083}}{C_{af} S_f F_f}$$

donde:

A_a = área activa, ft^2
L = caudal volumétrico de líquido, gpm
V = caudal volumétrico de gas, ft^3/s
ρ_L, ρ_V = densidad de líquido y vapor, lb/ft^3
F_{PL} = longitud de la trayectoria de flujo en el plato, ft
S_f = factor de espuma, (adim)
F_f = factor de inundación, (adim)

C_{af} = factor de capacidad, (adim). Se obtiene en función del espaciado entre platos mediante la menor de las tres correlaciones siguientes:

$$C_{af} = \min\begin{cases} \dfrac{t_s^{0.65}\rho_V^{0.167}}{12} \\ 0.3174 + 0.04122(t_s - 12)^{0.483} - 10^{-6}\rho_V(245 + 661 t_s) \\ 0.595 - 0.0596\rho_V \end{cases}$$

De los siguientes valores que vamos a calcular, escogeremos aquel valor que sea menor:

$$C_{af} = \min \begin{cases} \dfrac{21^{0.65} 1{,}105230116^{0.167}}{12} = 0{,}613081057 \\ 0.3174 + 0.04122(21 \ \ -12)^{0.483} - 10^{-6} 1{,}105230116 \ (245 + 661 \times 21) = 0{,}420913673 \\ \\ 0.595 - 0.0596 \times 1{,}105230116 = 0{,}529128285 \end{cases}$$

De todos los valores obtenidos cogemos, C_{af} = 0,420913673, ya que ha sido el menos de los calculados.

El área activa tendrá el siguiente valor:

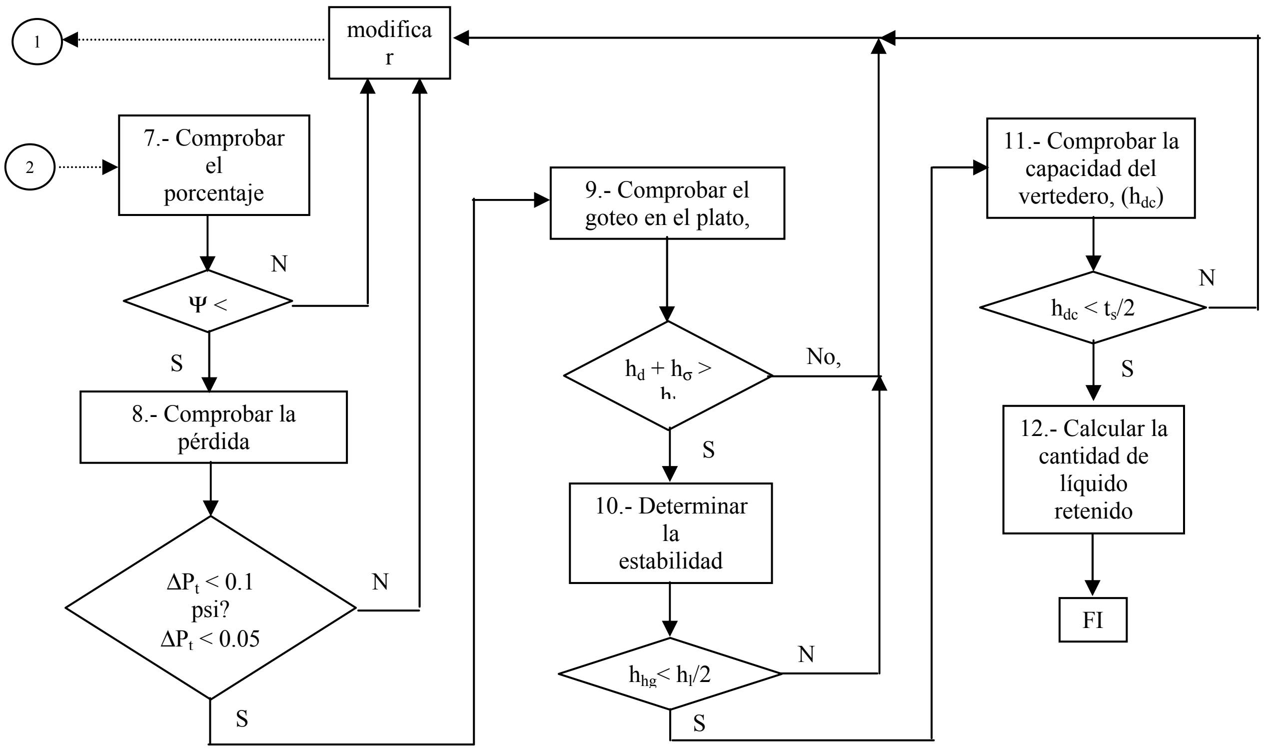
$$A_a = \frac{4{,}665920355 \left(\dfrac{1{,}105230116}{15{,}66775538 - 1{,}105230116} \right)^{0,5} + \dfrac{135{,}0909607 \times 1{,}599}{1083}}{0{,}420913673 \times 1 \times 0{,}82} = 4{,}302129061 \, ft^2$$

El A_a vale 4,302129061 ft^2 y representa el área activa recalculada, A_{ac}. Cuya relación con el área activa no recalculada, A_{ac}, es la siguiente:

$$\frac{A_{as}}{A_{ac}} = \frac{4{,}556389455}{4{,}302129061} = 1{,}05$$

Como se cumple la siguiente condición, $0{,}95 \le \dfrac{A_{as}}{A_{ac}} \le 1{,}05$, esto quiere decir que podemos seguir con los cálculos pertinentes y que no tenemos que volver a remodelar la geometría del plato.

Algoritmo de cálculo
Diseño del plato (2)



<u>5.- Calcular la carga del rebosadero.</u>

Para platos de un solo paso se calcula mediante:

$$W_L = \frac{L}{L_W}$$

donde:

W_L = carga hidráulica del plato por unidad de longitud de rebosadero, gpm/ft
L = caudal de líquido en el plato, gpm
L_W = longitud del rebosadero, ft

Cuando hay mas de un paso, sustituir la longitud del rebosadero (L_W) por la anchura promedio de la trayectoria de flujo en el plato (W_{PL}).

El valor para la carga hidráulica del plato por unidad de longitud de rebosadero, es la siguiente:

$$W_L = \frac{L}{L_W} = \frac{135{,}0909607}{2{,}5383} = 53{,}22103798\,gpm/ft$$

Como el valor obtenido de W_L es menor a 96, esto quiere decir que estamos en el caso de platos de un solo paso.

6.- Comprobar el porcentaje de arrastre.

La fracción de líquido arrastrada se determina mediante la correlación:

$$\Psi = \exp\left[-(6.692 + 1.956F_f)(F_{lv})^{(-0.132+0.654F_f)}\right]$$

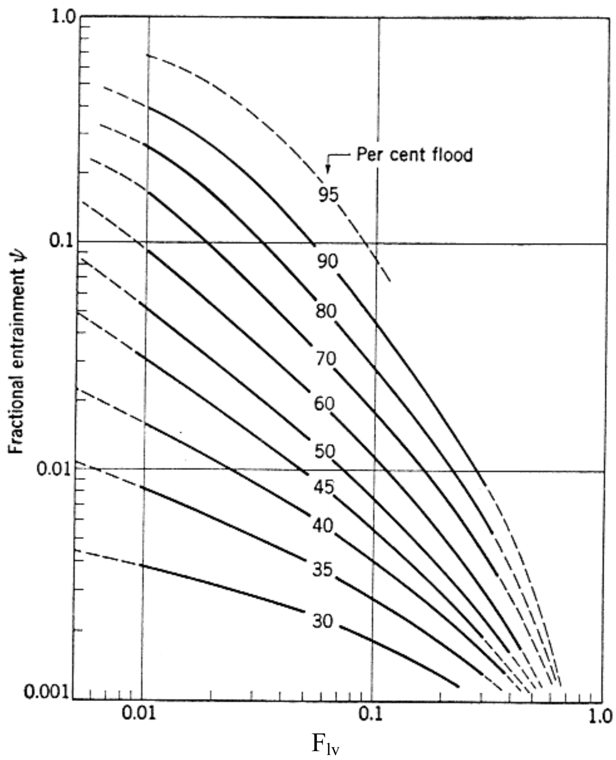
donde:

F_f = Factor de inundación, (adim)
F_{lv} = Parámetro de flujo calculado mediante:

$$F_{lv} = \frac{L}{448.8V}\left(\frac{\rho_L}{\rho_V}\right)^{0.5}$$

L = caudal volumétrico de líquido, gpm
V = caudal volumétrico de vapor, ft^3/s
ρ_L, ρ_V = densidad de líquido y vapor, lb/ft^3

Alternativamente puede obtenerse de la gráfica:



Calculamos el valor del parámetro de flujo, mediante la siguiente expresión:

$$F_{lv} = \frac{L}{448.8V}\left(\frac{\rho_L}{\rho_V}\right)^{0.5} = \frac{135{,}0909607}{448{,}8 \times 4{,}665920355}\left(\frac{15{,}66775538}{1{,}105230116}\right)^{0{,}5} = 0{,}242891967$$

Para el calculo de ψ hay dos formas de obtener su valor, mediante la grafica mostrada anteriormente y conociendo el valor de F_{lv}, o mediante una ecuación matemática. Con la ecuación matemática, obtenemos el siguiente valor, valor que tendrá que coincidir con la grafica;

$$\Psi = \exp\left[-\left(6{,}692 + 1{,}956 \times 0{,}82\right)\left(0{,}242891967\right)^{\left(-0{,}132 + 0{,}654 \times 0{,}82\right)}\right] = 0{,}009263672$$

Como el valor obtenido es menor a 0,2 no tenemos que modificar el diseño y podemos continuar con la hidráulica de platos.

7.- Calcular la pérdida de presión en el plato.

$$h_t = h_d + h_l$$

h_d = caída de presión a través de las perforaciones en plato seco, pulg
h_l = presión hidrostática debida a la masa de líquido aireada sobre el plato, pulg

- Para calcular la caída de presión en plato seco, utilícese la correlación de Leibson et al[1]:

$$h_d = 0.186 \frac{\rho_V}{\rho_L} \left(\frac{V}{C_V A_h} \right)^2$$

donde:

V = caudal de gas, ft^3/s
ρ_L, ρ_V = densidades de líquido y vapor, lb/ft^3
A_h = área ocupada por las perforaciones, ft^2

Se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$A_h = 0.905 A_T \left(\frac{d_h}{P} \right)^2$$ disposición triangular

$$A_h = 0.785 A_T \left(\frac{d_h}{P} \right)^2$$ disposición cuadrada

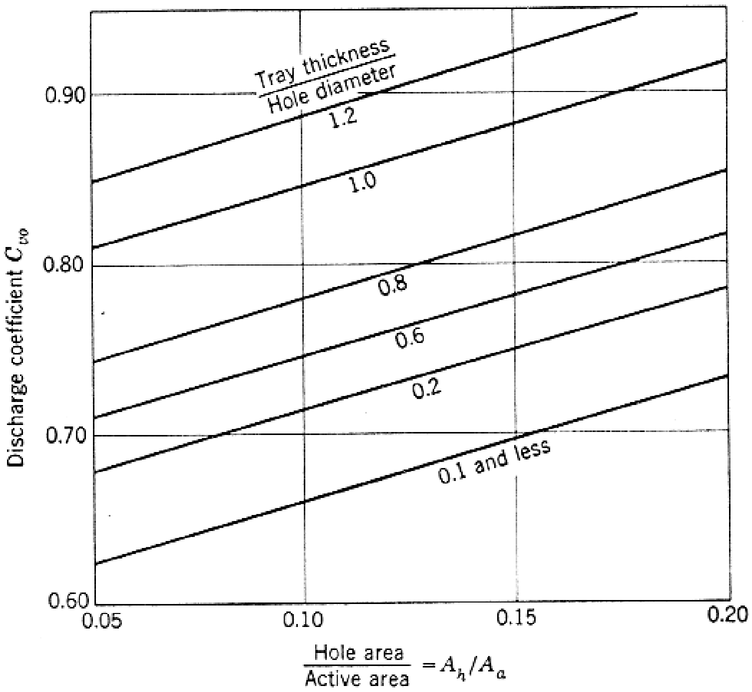
donde P es la distancia entre centros de las perforaciones. Para la distribución triangular (la más habitual) se usan espaciados de 1, 1.5 y 2 pulgadas.

Por último:

C_V = coeficiente de descarga, que se obtiene a partir de la correlación:

$$C_V = \left[0.836 + 0.273 \left(\frac{t_d}{d_h} \right) \right] \left[0.674 + 0.717 \left(\frac{A_h}{A_a} \right) \right]$$

o a partir de la figura:



Procedemos a los cálculos, donde nuestra disposición es triangular y el valor es de P = 1, con estos datos y con las formulas anteriores, calculamos A_h y seguidamente calculamos C_V, los resultados obtenidos son los siguientes;

$$A_h = 0.905 A_T \left(\frac{d_h}{P}\right)^2 = 0,905 \times 7,068583471 \left(\frac{6/8}{1}\right)^2 = 3,598350773\, ft^2$$

$$C_V = \left[0.836 + 0.273\left(\frac{0,078}{6/8}\right)\right]\left[0.674 + 0.717\left(\frac{3,598350773}{4,556389455}\right)\right] = 1,072054964$$

Con los valores de C_V y A_h obtenidos podemos calcular el valor de h_d, caída de presión a través de las perforaciones en plato seco, en pulg, con la expresión siguiente;

$$h_d = 0.186 \frac{\rho_V}{\rho_L}\left(\frac{V}{C_V A_h}\right)^2 = 0,186 \frac{1,105230116}{15,66775538}\left(\frac{4,665920355}{1,072054964 \times 3,598350773}\right)^2 = 0,01919519''$$

- Para calcular la presión hidrostática debida a la masa de líquido aireada utilícese la correlación de Fair[2]:

$$h_l = \beta(h_w + h_{ow})$$

donde:

h_w = altura del rebosadero, pulg.
h_{ow} = altura de la cresta sobre el rebosadero, pulg.

Para calcularla, utilícense las ecuaciones para vertederos de Francis. Para un vertedero segmentado, la ecuación es:

$$h_{ow} = 0.48\left(\frac{L}{L_W}\right)^{2/3}$$

donde:

L = caudal de líquido, gpm
L_W = longitud del rebosadero, pulg

Calculamos el valor de h_{ow} con la expresión anterior, los resultados son los siguientes:

$$h_{ow} = 0.48\left(\frac{135{,}0909607}{30{,}47178872}\right)^{2/3} = 1{,}295368898\, pu\lg$$

β = coeficiente de aireación que se obtiene a partir de la correlación:

$$\beta = 0.977 - 0.619F_s + 0.341F_s^2 - 0.0636F_s^3$$

donde F_s es un parámetro que es función del área activa:

$$F_s = \frac{V}{A_a}\rho_V^{0.5}$$

siendo:

V = caudal volumétrico, ft^3/s
A_a = área activa, ft^2
ρ_V = densidad del vapor, lb/ft^3

Calculamos F_s, con la expresión anterior para así calcular seguidamente el valor de β, coeficiente de aireación.

$$F_s = \frac{V}{A_a}\rho_V^{0.5} = \frac{4{,}665920355}{4{,}556389455} \times 1{,}105230116^{0,5} = 1{,}0765714$$

$$\beta = 0.977 - 0.619 \times 1{,}0765714 + 0.341 \times 1{,}0765714^2 - 0.0636 \times 1{,}0765714^3 = 0{,}626466271$$

Calculamos el valor de la presión hidrostática, con la siguiente fórmula, sabiendo que h_w=2 (dato de la tabla de valores estándar), el resultado obtenido es el siguiente:

$$h_l = \beta(h_w + h_{ow}) = 0{,}626466271(2 + 1{,}295368898) = 2{,}064437465\, pu\lg$$

Por tanto, el valor de h_t será el siguiente:

$$h_t = h_d + h_l = 2{,}064437465 + 0{,}01919519 = 2{,}083632655\, pu\lg$$

Para pasar la caída de presión total de pulgadas de líquido a libras por pulgada cuadrada (psi), utilícese la siguiente fórmula de conversión:

$$\Delta P = \frac{h_t \rho_L}{1728}$$

El resultado obtenido para la caída de presión, tras recopila los datos necesarios para su calculo, es el siguiente:

$$\Delta P = \frac{h_t \rho_L}{1728} = \frac{2{,}083632655 \times 15{,}66775538}{1728} = 0{,}018892272$$

Como el resultado obtenido es menor a 0,1 y menor a 0,05, esto quiere decir que no tenemos que modificar nada del diseño, y que por tanto podemos continuar con los cálculos de la hidráulica de platos.

<u>8.- Calcular las pérdidas por goteo.</u>

Para determinar si nos encontramos en régimen de goteo, calcular la pérdida de carga debida a la formación de burbujas mediante:

$$h_\sigma = \frac{0.04\sigma}{\rho_L d_h}$$

donde:

h_σ = pérdida de carga debida a la formación de burbujas, pulg
σ_L = tensión superficial del líquido, dinas/cm
ρ_L = densidad del líquido, lb/ft^3
d_h = diámetro de las perforaciones o agujeros, pulg

siendo σ_L = 45 dinas/cm, dato obtenido de la base de CHEMCAD.

La ausencia de goteo se garantiza cuando se cumple el criterio:

$$h_d + h_\sigma < h_l$$

Procedemos a los cálculos mediante las expresiones anteriores, siendo los resultados obtenidos los siguientes;

$$h_\sigma = \frac{0.04\sigma}{\rho_L d_h} = \frac{0,004 \times 48}{15,66775538 \times 6/8} = 0,1633929\,pu\,\lg$$

$$h_d + h_\sigma < h_l \longrightarrow 0,01919519 + 0,1633929 \langle 2,064437465$$

Como se cumple que $h_d + h_\sigma < h_l$, esto quiere decir que no se produce goteo en el plato, y que el diseño hasta ahora es el correcto.

9.- Determinar la estabilidad de la columna.

Para operación estable de la columna en estado estacionario se debe verificar el criterio:

$$h_{hg} < \frac{h_l}{2}$$

donde:

h_l = presión hidrostática debida a la masa de líquido aireada sobre el plato, pulg
h_{hg} = gradiente hidráulico en el plato, pulg

Para el cálculo del gradiente hidráulico (h_{hg}), utilícese la siguiente expresión:

$$h_{hg} = f\,\frac{u_L^2 F_{PL}}{12 g R_h}$$

donde:

R_h = radio hidráulico, (ft) definido como el cociente entre la sección transversal y el perímetro mojado del plato:

$$R_h = \frac{h_f D_f}{2h_f + 12D_f}$$

siendo:

D_f = media entre el diámetro de la torre y la longitud del rebosadero, pulg
h_f = altura real de la espuma sobre el plato, pulg

Siendo el valor de $D_f = \dfrac{3ft \times \dfrac{1pu\lg}{0{,}0833ft} + 30{,}47178872pu\lg}{2} = 33{,}24309724pu\lg$

Se calcula mediante:

$$h_f = \frac{h_l}{2\beta - 1}$$

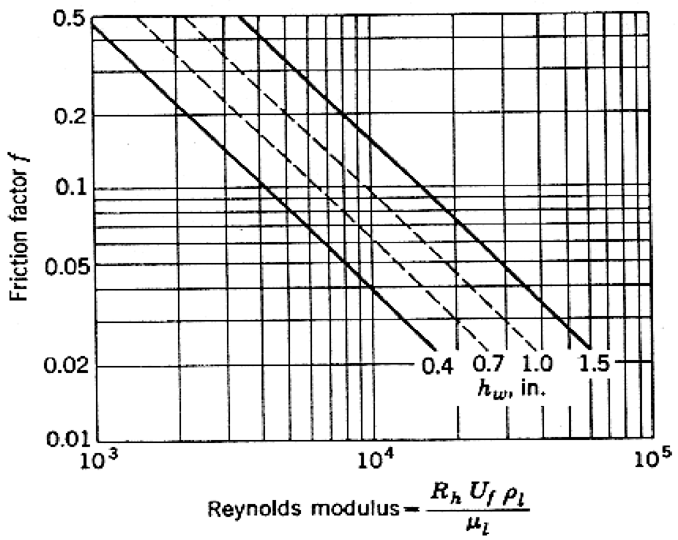
donde:

F_{PL} = longitud de la trayectoria de flujo en el plato, ft
g = constante de gravitación universal, (32.2 ft/s^2)
u_L = velocidad lineal de la masa de líquido aireada (ft/s). Se calcula mediante:

$$u_L = \frac{12L}{h_l D_f}$$

donde:

L = caudal volumétrico de liquido en el plato, (ft^3/s)
f = factor de fricción de Fanning.
Se obtiene en función del número de Reynolds y de la altura de rebosadero (h_w) a partir de la figura:



Calculamos cada uno de los parámetros anteriores, para así poder conocer la estabilidad de la columna.

Procedemos a calcular u_L, h_f y R_h, para a continuación calcular h_{hg}, gradiente hidráulico, los valores obtenidos son los siguientes:

$$u_L = \frac{12L}{h_l D_f} = \frac{12 \times 135{,}0909607}{2{,}064437465 \times 33{,}24309724} = 23{,}62132877\, ft/s$$

$$h_f = \frac{h_l}{2\beta - 1} = \frac{2{,}064437465}{2 \times 0{,}626466271 - 1} = 8{,}162008133\, pu\lg$$

$$R_h = \frac{h_f D_f}{2h_f + 12D_f} = \frac{8{,}162008133 \times 33{,}24309724}{8{,}162008133 + 12 \times 33{,}24309724} = 0{,}653428515\, ft$$

Con estos datos calculados, procedemos a saber el valor de h_{hg}, que será el siguiente;

$$h_{hg} = f\,\frac{u_L^2 F_{PL}}{12 g R_h} = 0{,}028\,\frac{23{,}62132877^2 \times 1{,}599}{12 \times 32{,}2 \times 0{,}653428515} = 0.098941831\, pu\lg$$

donde f, factor de fricción se obtuvo de la grafica anterior para el valor de Reynolds siguiente;

$$\mathrm{Re} = \frac{R_h \times u_L \times \rho_L}{\mu_L} = \frac{0{,}653428515 \times 23{,}62132877 \times 15{,}66775538}{7{,}785 \times 10^{-4}} = 3{,}10607 \times 10^5$$

siendo $\mu_{(mezcla)}$ = 0,11585 cP --> $\mu_{(mezcla)}$ = 7,7857*10^{-4} lb/ft*s (dato de tablas).

Para este valor de Reynolds, f vale 0,028 aproximadamente.

Ahora tras saber los datos necesarios, calculamos la condición de estabilidad de la columna, siendo el resultado obtenido el siguiente;

$$h_{hg} < \frac{h_l}{2} \longrightarrow 0{,}098941831 \langle \frac{2{,}064437465}{2}$$

Como la condición anterior se cumple, esto quiere decir que la columna opera de forma estable en estado estacionario, y que por tanto no hay que modificar su diseño.

10.- Calcular la capacidad del vertedero.

La altura de líquido existente en estado estacionario en el vertedero se calcula mediante el siguiente equilibrio de presiones:

$$h_{dc} = h_t + h_w + h_{ow} + h_{hg} + h_{da}$$

donde:

h_{dc} = altura de líquido en el vertedero, pulg
h_t = caída de presión total en el plato, pulg
h_w = altura del rebosadero, pulg
h_{ow} = altura de la cresta sobre el rebosadero, pulg
h_{hg} = gradiente hidráulico en el plato, pulg
h_{da} = caída de presión debida a la fricción bajo el vertedero, pulg

Para el cálculo de la caída de presión debida a la fricción bajo el vertedero (h_{da}), utilícese la fórmula propuesta por Fair[3]:

$$h_{da} = 0.558\left(\frac{L}{448.8A_{ud}}\right)$$

donde:

L = caudal líquido, gpm
A_{ud} = área libre para el flujo de líquido bajo el vertedero, ft^2.
Se calcula como una fracción del área del vertedero. La práctica habitual es usar la siguiente aproximación:

$$A_{ud} = 0.42A_d$$

Calculamos los datos necesario para posteriormente saber si el vertedero tiene la suficiente capacidad, los cálculos obtenidos son los siguientes;

$$A_{ud} = 0.42A_d = 0{,}42\times1{,}256097008 = 0{,}527560743\,ft^2$$

$$h_{da} = 0.558\left(\frac{L}{448.8A_{ud}}\right) = 0{,}558\left(\frac{135{,}0909607}{448{,}8\times0{,}527560743}\right) = 0{,}318372222\,pu\lg$$

Por tanto;

$$h_{dc} = 2{,}083632655 + 2 + 1{,}295368898 + 0{,}098941831 + 0{,}318372222 = 5{,}796315606\,pu\lg$$

Para determinar si el vertedero diseñado es capaz de manejar el líquido se utiliza el criterio:

$$h_{dc} < \frac{t_s}{2}$$

donde:

$$h_{dc} < \frac{t_s}{2} \longrightarrow 5{,}796315606 \langle \frac{21}{2}$$

Como la condición anterior se cumple, esto quiere decir que el diseño del vertedero es el correcto, es decir que tiene suficiente capacidad para el líquido en el plato.

11.- Calcular la cantidad de líquido retenida en el plato ("hold-up").

Se requiere este cálculo para estimar el peso de líquido que soporta el plato que, junto con el peso del plato en si mismo y el de la envolvente, permite calcular el peso total de la columna, cálculos fundamentales para el soporte y la estructura de la misma (pandeo, efecto del viento, etc...).

$$M_L = \frac{(h_l A_a + h_{dc} A_d)\rho_L}{12}$$

donde:

M_L = cantidad de líquido retenida en el plato, lb
h_l = altura de líquido en el plato, pulg
h_{dc} = altura de líquido en el vertedero, pulg
A_a = área activa, ft
A_d = área de vertederos
ρ_L = densidad del líquido, lb/ft^3

La cantidad retenida en el plato, M_L, es la siguiente:

$$M_L = \frac{(2{,}064437465 \times 4{,}556389455 + 5{,}796315606 \times 1{,}256097008) \times 15{,}66775538}{12} = 21{,}78747068 lb$$