

DISEÑO COMPLETO TORRE DE DESTILACIÓN GLICEROL- AGUA

Curva de equilibrio líquido- vapor

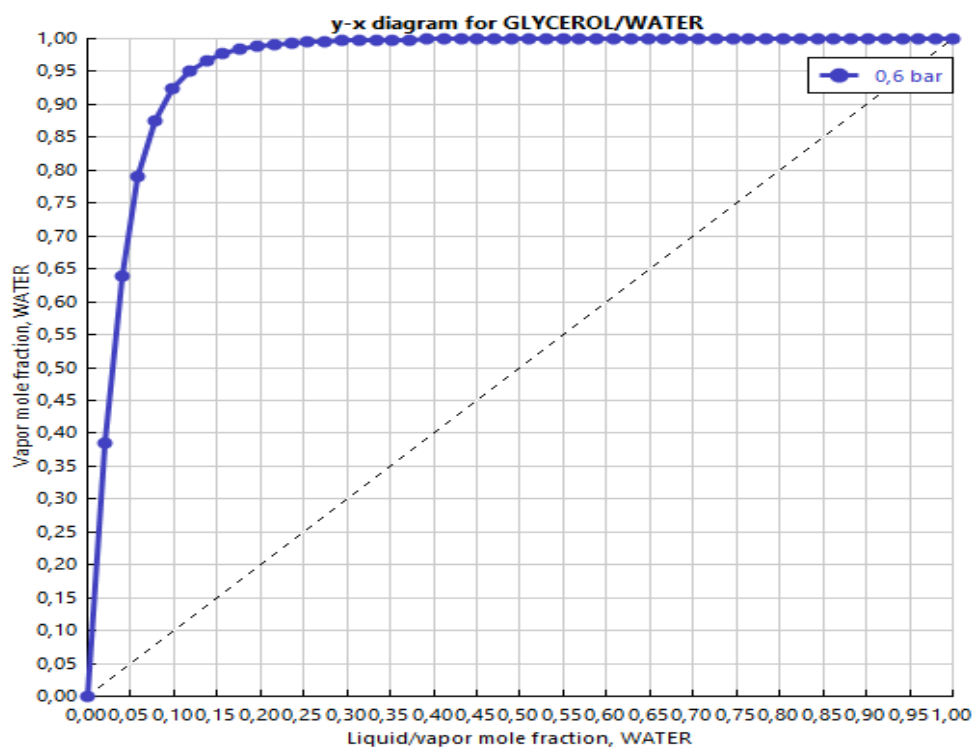
Ecuación de Antoine

$$\log(P_i^{Sat}) = A - \frac{B}{(T+C)} \quad T \text{ en } ^\circ\text{C} ; P \text{ en torr}$$

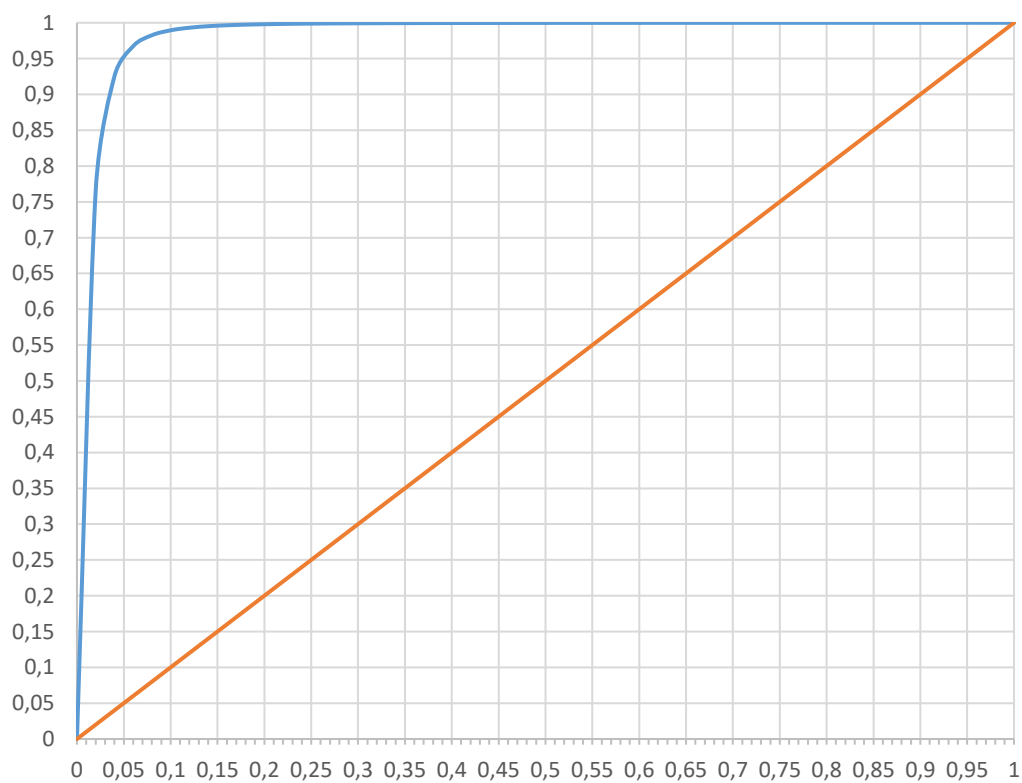
Constantes de Antoine				Fuente
Agua		glicerol		Tabla 13.4 Manual de Ing. Químico Perry.
A	8,07131	A	9,91	
B	1730,63	B	3.821	
C	233,426	C	254	

Condiciones Operativas De torre			Fuente
P=525,043torr=70kpa			Tabla Manual de Ing. Químico Perry.
P	525,043	Torr	
Teb Agua	89,99	°C	
Teb Glicerol	277,85	°C	

T	Pagua	Pglicerol	xM	yM	Volatilidad
277,85	48570,45	525,04	0,00000	0,000000	0
268,45	41977,96	389,87	0,00325	0,259859	107,67086
259,06	36078,96	286,36	0,00667	0,458229	125,99047
249,67	30826,86	207,93	0,01036	0,608084	148,25860
240,28	26175,50	149,15	0,01444	0,720035	175,50026
230,88	22079,36	105,62	0,01909	0,802682	209,05193
221,49	18493,80	73,78	0,02450	0,862926	250,67018
212,10	15375,19	50,80	0,03095	0,906247	302,68332
202,70	12681,19	34,44	0,03879	0,936949	368,20507
193,31	10370,91	22,97	0,04852	0,958368	451,43867
183,92	8405,08	15,06	0,06078	0,973061	558,11443
174,53	6746,28	9,69	0,07650	0,982954	696,12654
165,13	5359,02	6,11	0,09694	0,989484	876,47076
155,74	4209,99	3,78	0,12393	0,993698	1114,64296
146,35	3268,08	2,28	0,16007	0,996351	1432,75276
136,95	2504,52	1,34	0,20921	0,997975	1862,76340
127,56	1892,97	0,77	0,27707	0,998937	2451,53245
118,17	1409,50	0,43	0,37231	0,999484	3268,78012
108,77	1032,66	0,23	0,50833	0,999781	4419,89880
99,38	743,40	0,12	0,70623	0,999931	6066,91791
89,99	525,04	0,06	1,0000	1,000000	0



Agua-Glicerol



F1
D
W

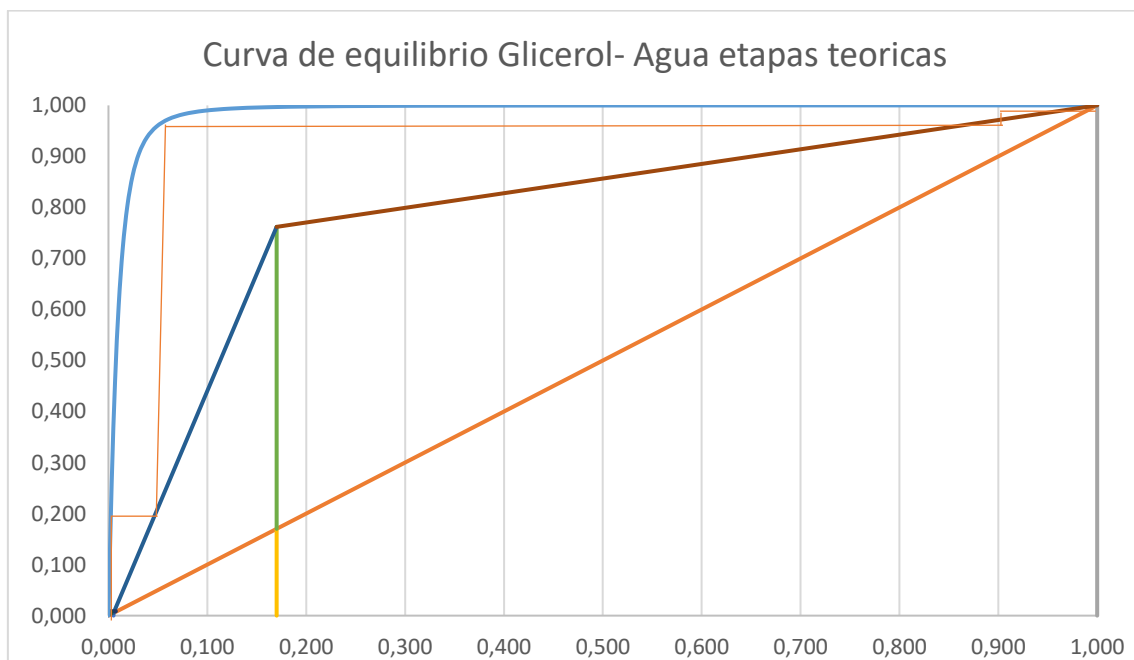
Torre de rectificación Glicerol -Agua 0,6 Bar				
	Base molar			
Corriente	Caudal total (kmol/h)	Caudal --glicerol (kmol/h)	Caudal agua (kmol/h)	Fracción molar Agua
G16	15,96106516	13,2461	2,7150	0,1701
G20-3	2,646877285	0,0000	2,6469	1,0000
G23-3	13,31418788	13,2465	0,0677	0,0051

Metanol-Agua		Fuente	Rmin	
P= 1atm		Perry Cap 13	x	y
Fracción molar de Glicerol			1,0000	1,0000
x	y		0,1710	0,4217
0,000	0,000		OA0	0,3024
0,003	0,260		A (F1/D)	1,1988
0,007	0,458		Rmin	0,9832
0,010	0,608		Rop	0,3000
0,014	0,720			
0,019	0,803			
0,024	0,863			
0,031	0,906			
0,039	0,937			
0,049	0,958			
0,061	0,973			
0,077	0,983			
0,097	0,989			
0,124	0,994			
0,160	0,996			
0,209	0,998			
0,277	0,999			
0,372	0,999			
0,508	1,000			
0,706	1,000			
1,000	1,000			

LOZR	
pte	0,5998
OA0	0,0020
x	y
0,7619	0,1701
0,0051	0,0051

LOZA	
x	y
0,7619	0,1701
#¡REF!	#¡REF!
pte	#¡REF!
OA0	#¡REF!

Datos Curva de Equilibrio		
	x	y
1	0,9966	0,9994
2	0,9914	0,9979
3	0,9816	0,9951
4	0,9629	0,9897
5	0,9268	0,9795
6	0,8604	0,9600
7	0,7560	0,9239
8	0,5868	0,8436
9	0,3571	0,6703
10	0,1634	0,4080
11	0,0629	0,1867
12	0,0000	0,0000
13	0,0000	0,0000
14	0,0000	0,0000



Cálculo número de platos reales

Eficiencia de Etapa: Correlaciones Empíricas

La eficiencia total,

$$E_O = \frac{N_{ideal}}{N_{total}}$$

Correlaciones empíricas, se han observado:

- Drickamer & Bradford (157-420 F; 14,7-366 psia; 0,066-0,355 cP):

$$E_O = 13,3 - 66,8 \log \mu [\text{cP}]$$

- O'Connell (0,1-10 cP):

$$E_O = 50,3(\alpha \cdot \mu [\text{cP}])^{-0,226}$$

Propiedad	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
Platos teóricos		3		Mc Cabe
μ Agua	viscosidad	0,19	cp	Tabla 2-365 Perry
μ glicerol	viscosidad	1,49	cp	Tabla 2-365 Perry
μ alim	viscosidad	1,4900	cp	
α	volatilidad	639,1600		
Abs	Abscisa gráfico	1,4285		Fig 6.25 Treybal. O'Connell
e	Eficiencia global platos	0,368		Fig 6.25 Treybal. O'Connell
Platos reales		10		
e	Eficiencia global platos	0,083		Corr. Lockett Cap 21 Mc Cabe
e	Eficiencia global platos	0,017		Corr. Drickamer & Bradford (157-420 F; 14,7-366 psia; 0,066-0,355 cP)
e	Eficiencia global platos	0,107		Corr. O'Connell (0,1-10 cp) Adoptado de Seader&Henley Ch7
Platos reales		11		Efic. Por Corr. Drickamer & Bradford (157-420 F; 14,7-366 psia; 0,066-0,355 cP)
Platos reales		11		Efic. Por Corr. Lockett Cap 21 Mc Cabe
Plato alim		2		Efic. Por Corr. Drickamer & Bradford (157-420 F; 14,7-366 psia; 0,066-0,355 cP)
Plato alim		2		Efic. Por Corr. Lockett Cap 21 Mc Cabe

Diseño de platos

Estimación de las propiedades fisicoquímicas del Glicerol puro				
Variable	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
MrA	Masa molar glicerol	92,09382	g/mol	
Tpen	Temperatura de ebullición normal del glicerol	563,15	K	Dato
	$\rho_L = \frac{C_1}{C_2} \left[1 + \left(1 - \frac{T}{C_3} \right)^{C_4} \right]$			Tabla 2-30 Perry 7 ed.
C1	Coeficientes para cálculo de pL	2,288		Tabla 2-30 Perry 7 ed.
C2	Coeficientes para cálculo de pL	0,2685		Tabla 2-30 Perry 7 ed.
C3	Coeficientes para cálculo de pL	512,64		Tabla 2-30 Perry 7 ed.
C4	Coeficientes para cálculo de pL	0,2453		Tabla 2-30 Perry 7 ed.
pL	Densidad del líquido saturado	1260,00	kg/m3	1260
	$\rho_G = \frac{P \cdot Mr_A}{R \cdot T_{pen}}$			
pG	Densidad del vapor saturado	1,99	kg/m3	=1*D6/(0.082*D7)
σ	Tensión superficial del líquido	0,02	N/m	Valor típico para líquidos orgánicos (McCabe)
xd		0,9949		

Diseño del plato #1 (q=1)				
Diseño para flujo cruzado (sujeto a posterior verificación)				
Variable	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
t	Espaciamiento entre platos	0,6	m	Valor supuesto
Lm	Caudal másico de líquido que ingresa al plato #1	13410	kg/h	Valor para q=0
Gm	Caudal másico de vapor que ingresa al plato #1	10800	kg/h	Valor para q=0
	$J = \begin{cases} 0,1 & \text{si } 0,01 \leq \frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \leq 0,1 \\ \frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} & \text{si } 0,1 < \frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \leq 1,0 \end{cases}$			Restricciones: (1): do < 6 mm (2): Ao/Aa > 0,1
J	Ceficiente J	0,10		
	$\alpha = 0,0744.t + 0,01173$ $\beta = 0,0304.t + 0,015$			
α	Ceficiente alfa	0,056		Restricciones: (1): do < 6 mm (2): Ao/Aa > 0,1
β	Ceficiente beta	0,033		Restricciones: (1): do < 6 mm (2): Ao/Aa > 0,1
	$C_F = (\beta - \alpha \cdot \log J) \cdot \left(\frac{\sigma}{0,02} \right)^{0,2}$			
CF	Ceficiente de inundación	0,090		
Vf	Velocidad de inundación	4,49	m/s	
Vn/Vf	Relación de velocidades	0,8		Adoptado. Típico: 0,7-0,8
	$V_f = C_F \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \quad V_n = \left(\frac{V_n}{V_f} \right) \cdot V_f$			
Vn	Velocidad referida al área neta	3,59	m/s	
	$A_n = \frac{(G_m / \rho_G)}{V_n}$			
An	Área neta	0,42	m2	
W/T	Relación longitud de vertedero - diámetro de torre	0,8		Adoptado. Típico: 0,7. Tabla 6.1 Treybal
Av/At	Fracción de área transversal ocupada por un vertedero	0,14145		=Fracción_Atotal_ocup_vertedero(D39)

	$A_t = \frac{A_n}{1 - \frac{A_v}{A_t}}$			
At	Área transversal	0,49	m2	
	$T = \sqrt{\frac{4 \cdot A_t}{\pi}}$			
T	Diámetro de torre	0,79	m	
	$W = T \cdot (W/T)$			
W	Longitud del derramadero	0,63	m	
Z'/T	Relación distancia desde el centro de la torre - diámetro de torre	0,1991		f(W/T) - Tabla 6.1 Treybal
	$Z' = T \cdot (Z'/T)$			
Z'	Distancia desde el centro de la torre hasta el vertedero	0,16	m	
t_recom	Espaciamiento recomendado de los platos	0,5		Tabla 6.1 Treybal
				Verifica valor adoptado
QL/W	Relación caudal volumétrico de líquido - longitud de derramadero	0,005	m3/m.s	< 0,015 m3/m.s
				Verifica flujo cruzado
Ad/At	Fracción de áreas de distribución y separación	0,05		Adoptado. Recomendado: 0,05 - 0,2
	$A_d = A_t \cdot \left(\frac{A_d}{A_t} \right)$			
Ad	Área de distribución y separación	0,02	m2	
	$A_a = A_t - 2 \cdot A_v - A_d$			
Aa	Área activa	0,33	m2	
do	Diámetro de una perforación	6	mm	Adoptado. Recomendado: 3 - 6 mm
p/do	Relación paso entre orificios - diámetro de una perforación	2,5		Adoptado. Recomendado: 1,5 - 2,5
	$p = d_o \cdot \left(\frac{p}{d_o} \right)$			
p	Paso entre orificios	15	mm	
Ao/Aa	Fracción de área activa ocupada por orificios	0,15		Verifica la restricción (2)
	$A_o = A_a \cdot \left(\frac{A_o}{A_a} \right)$			
Ao	Área de orificios	0,0472	m2	
	$N = \frac{A_o}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_o^2}$			
N	Número de orificios	671		

Verificación del diseño hidráulico				
Variable	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
L/do	Relación espesor de plato - diámetro de orificio	0,32		Tabla 6.2 Treybal
L	Espesor del plato	1,92	mm	=D76*D64
CV	Coeficiente de descarga	0,74		Fig. 14-30 Perry 7 ed.
	$K = \frac{50,8}{C_V^2}$			
K	Constante de proporcionalidad	92,77		
	$U_h = \frac{G_m}{\rho_G \cdot A_o}$			
Uh	Velocidad del vapor a través de los orificios	31,84	m/s	
	$h_d = K \cdot \frac{\rho_G}{\rho_L} \cdot U_h^2$			
hd	Caída de presión en el orificio	148,90	mm glicerol	
	$V_a = \frac{G_m}{\rho_G \cdot A_a}$			
Va	Velocidad a través del área activa	4,62	m/s	
	$F = U_h \cdot \sqrt{\rho_G}$			
F	Abscisa F de correlación gráfica Fig. 14-32 Perry 7 ed.	44,97	[SI]	
		36,86	[IN]	
	$\beta^* = 0,0825 \cdot \ln\left(\frac{Q_L}{W}\right) - 0,269 \cdot \ln F + 1,679$			Fig. 14-32 Perry 7 ed. parametrizada
β^*	Factor de aireación	0,21		
hw	Altura del vertedero	0,05	m glicerol	Adoptado. Típico: 0,05 m
	$h_1 = 0,666 \cdot \left(\frac{Q_L}{W}\right)^{2/3}$			
h1	Altura de la ola de líquido sobre el vertedero	0,02	m glicerol	
hw + h1	Altura del líquido sobre el plato	0,07	m glicerol	Verifica $0 \text{ m} < h_w + h_1 < 0,1 \text{ m}$
	$h'_L = \beta^* \cdot (h_w + h_1)$			
h'L	Caída de presión por la masa aireada de líquido	0,01	m glicerol	
	$h_t = h_d + h'_L$			
ht	Caída total de presión en el plato	163,50	mm Glicerol	
	$\Delta P = h_t \cdot \rho_L \cdot g$			
ΔP	Caída de presión en el plato	721,01	Pa	Verifica $500 \text{ Pa} < \Delta P < 800 \text{ Pa}$

Verificación de la altura de líquido en el vertedero				
Variable	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
hs	Altura del sello hidráulico	0,025	m	Adoptado. Típico: 0,025 m
	$A_s = W \cdot h_s$			
As	Área entre el vertedero y el piso del plato	0,0158	m2	
	$h_2 = \frac{3}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{L_m}{\rho_L \cdot A_s} \right)^2$			
h2	Caída de presión a través del sello hidráulico	5,38	mm glicerol	
	$\sum h = h_w + h_1 + h_t + h_2$			
Σh	Altura requerida de líquido en el vertedero	0,24	m Glicerol	Verifica Σh < t/2
hd_in	Caída de presión en el orificio - Condición de inundación	28	mm	Fig. 14-27 Perry 7 ed.
				Verifica hd > hd_in. No lloriquea

Verificación de arrastre				
Variable	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
	$Abs = \frac{L_m}{G_m} \cdot \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$			
Abs	Abscisa de correlación gráfica de arrastre	0,049		
Vn/Vf	Relación de velocidades	0,8		Adoptado anteriormente
E	Arrastre fraccionario	0,14		Fig. 6-17 Treybal 7 ed.

Determinación de la eficiencia del plato #1				
Variable	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
ΣvA	Volumen de difusión del Glicerol	29,901		Tabla 2-400 Perry 7 ed.
ΣvB	Volumen de difusión del Agua	9,441		Tabla 2-400 Perry 7 ed.
μG	Viscosidad del Glicerol gaseoso puro	1,10E-05	Pa.s	Tabla 2-364 Perry 7 ed.
DG	Difusividad de la fase gaseosa	4,74E-04	m ² /s	Ecuación 2-152 Perry 7 ed.
ScG	Número de Schmidt para el gas	0,01		=D126/D127/D15
Z	Distancia entre vertederos (recorrido del líquido en el plato)	0,31	m	=D51*2
NtG	Número de unidades de transferencia del gas	2,12		=(0.776+4.57 *D92-0.238 *D86*D15^ 0.5 + 104.6 *D56/D48) /D128^ 0.5
z	Ancho del flujo promedio	0,71	m	=(D46+D48)/2
θL	Relación volumen líquido sobre el plato - Caudal de líquido	5,17	s	=(D95*D131*D129)/(D56*D48)
λA	Calor de vaporización del Glicerol a Te	1746,65	kJ/kg	Tabla 'Datos de equilibrio'
λB	Calor de vaporización del Agua a Te	1823,85	kJ/kg	Tabla 'Datos de equilibrio'
VmA	Volumen molar del Glicerol líquido	13,68	kmol/m ³	=D13/D6
TpenB	Temperatura de ebullición Agua	380,63	K	Dato
	$\rho_L = \frac{C_1}{C_2} \left[1 + \left(1 - \frac{T}{C_3} \right)^{C_4} \right]$			Tabla 2-30 Perry 7 ed.
	Coeficientes para cálculo de ρ_{L_B}	0,8488		Tabla 2-30 Perry 7 ed.
		0,26655		Tabla 2-30 Perry 7 ed.
		591,8		1º
		0,2878		Tabla 2-30 Perry 7 ed.
ρ_{L_B}	Densidad del Agua líquida	135,59	kg/m ³	=(D138/D139)^(1+(1-D136/D140)^D141)*18
VmB	Volumen molar del Agua líquido	7,53	kmol/m ³	=D142/18
μB	Viscosidad del Agua líquido a la TpenA	0,33	cp	Tabla 2-365 Perry 7 ed.

$D_{AB} = 4,4 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{T}{\mu_B} \cdot \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{1/6} \cdot \left(\frac{\lambda_B}{\lambda_A}\right)^{1/2}$				
DAB	Difusividad del Glicerol en Agua (sistema diluido)	6,95E-09	m2/s	
DBA	Difusividad del Agua en glicerol (sistema diluido)	2,43E-04	m2/s	
DL	Difusividad del Glicerol en Agua	1,25E-06	m2/s	Ecuación 2-156 Perry 7 ed.
NtL	Número de unidades de transferencia del líquido	355,95		=NtL(D148,D132,D86,D15)
x1	Fracción molar de -glicerol en el líquido del plato #1	0,9949		=D18
m	Constante de Henry	0,00		Derivada de la curva de equilibrio
NtOG	Número de unidades totales de transferencia del gas	2,12		=(1/D130+D151*D25/D24/D149)^-1
EoG	Eficiencia puntual referida a la fase gaseosa	0,88		=1-EXP(-D152)
DE	Coeficiente de difusión turbulento en el plato	0,02		=DE(D86,D56*D48,D129,D92)
Pe	Número de Péclet	1,19		=PE(D129,D154,D132)
η	Factor etha	0,00		=etha(D155,D151,D153,D24/D25)
$E_{MG} = E_{OG} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp[-(\eta + Pe)]}{(\eta + Pe) \left[1 + \frac{(\eta + Pe)}{\eta} \right]} + \frac{\exp(\eta) - 1}{\eta \left[1 + \frac{\eta}{\eta + Pe} \right]} \right\}$				
EMG	Eficiencia de plato de Murphree	0,88		
EMGE	Eficiencia de plato de Murphree corregida por arrastre	0,77		=Eficiencia_plato_Murphree_corregida_a_arrastre(D158,D120)
$E_o = \frac{\ln \left[1 + E_{MGE} \cdot \left(\frac{1}{A} - 1 \right) \right]}{\ln \left(\frac{1}{A} \right)}$				
A	Factor de absorción	785,56		=(D24/D25)/D151
EoG	Eficiencia global del plato	0,84		=LN(1+D159*(1/D161-1))/LN(1/D161)+0.62

Aislación Torre de Destilación glicerol-Agua

$$t = \frac{1 + 0,01 * b}{1 + 0,01 * r}$$

$$Coeficiente\ VAN = \frac{t * (t^n - 1)}{t - 1}$$

b) Método de cálculo directo:

$$d = \sqrt{\frac{E \cdot \lambda \cdot Z \cdot (VAN) \cdot (\theta_i - \theta_o)}{I'}} - \frac{\lambda}{h_e} \text{ (m)}$$

Variable	Descripción	Valor	Unidad	Referencia
Di	Diámetro Interno del Aislamiento	31,03	in	
		0,79	m	
θo	Temperatura Interior	273	° C	
		546,15	K	
θa	Temperatura Ambiente	50	° C	
		323,15	K	
λ	Coeficiente de Conductividad medio entre θa y θo	0,043	W/m* K	
hs	Coeficiente Superficial Externo	0,42918455	W/m²* K	
Z	Tiempo de Funcionamiento de la Instalación	7440	h/año	
E	Costo de la energía	0,0001119	U\$S/Wh	
n	Número de años de vida útil	5	años	
b	Incremento de costo de la energía en el período	3	% anual	
	Interés anual del dinero	5	%	
r	Tasa de actualización neta en %	2	%	
t		1,01		
Coef. Van	Coeficiente VAN	5,15		
Dopt	Diametro óptimo	0,37	m	

Espesor del cuerpo de la torre de Destilación Agua-Glicerol

Radio Torre (in)	15,52
------------------	-------

Temperaturas de diseño			
	T fondo (°F)	T tope (°F)	T alim (°F)
T (°F)	523,4	187,088	325,4
T (°F) + 50°F	573,4	237,088	375,4
T (°F)*1,25	654,25	233,86	406,75

T diseño (°F)	654,25
T diseño (°C)	345,69

	P tope (psi)	P fondo (psi)
P (psi)	8,7	11,6
P67% (psi)	14,529	19,372

Phidrostática (Pa)	9349,2
Phidrostática (psi)	1,36
Pdiseño (psi)	20,73

Corrosion de la sustancia con acero inoxidable 316	
Corrosion (mpy)	2

Cálculo de sobreespesor para corrosión	
c (in)	0,02

Esfuerzo y eficiencia de la junta	
Esfuerzo máximo (psi)	13300
Eficiencia de la junta	1

Cálculo espesor	
Patmosferica	15,00
L	254,00
Espesor supuesto (in)	0,13
L/D0	16,37
D0/t	124,13
A calculado tabla	0,003
B calculado Tabla	3700,00
Pmax permitida	39,74
Pdiseño	17,25
Espesor acero de tabla (cm)	0,32

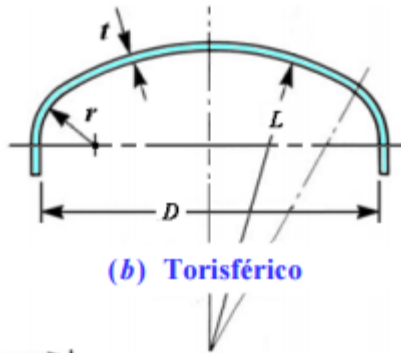
Diseño de cabezales

b) Cabezal torisférico (tipo ASME)

El espesor requerido t_r (o la presión admisible P_a) para este tipo de cabezal es:

$$t_r = \frac{0,885 P L}{S E - 0,1 P} \quad ; \quad P_a = \frac{S E t}{0,885 L + 0,1 t} \quad (8)$$

Si: $t/L \geq 0,002$, $r = 6 \% L$ y $L = D$



Espesor cabezal toriesferico	
L (in)	31,03
t, Espesor cabezal (in)	0,04
t, Espesor cabezal (cm)	0,11
t/L	0,003
r (in)	0,86
H (cm)	15,59

DISEÑO DE LAS BOQUILLAS

$$D_{opt,ecn} = 3.9 q_f^{0.45} \rho^{0.13}$$

Donde:

q_f : Caudal, ft^3/s

ρ : Densidad, Lb/ft^3

$$D = \sqrt{\left(\left(\frac{4}{\pi}\right) \cdot \left(\frac{Q}{v}\right)\right)}$$

Velocidad máxima de entrada a la torre para líquidos [21]

$$v_{max} = 3 \text{ ft/s}$$

DISEÑO DE LAS BOQUILLAS		
Diseño boquilla de alimentación G-16		
Q (ft ³ /s)	Caudal	0,02
ρ (lb/ft ³)	Densidad	46,35
Dopt (in)	Diametro óptimo	1,02
Diseño boquilla de tope		
Q (ft ³ /s)	Caudal	1,54
ρ (lb/ft ³)	Densidad	0,02
v	velocidad maxima	8,89
Dopt (in)	Diametro óptimo	0,47
Diseño boquilla de reflujo líquido		
Q (ft ³ /s)	Caudal	0,015154
ρ (lb/ft ³)	Densidad	59,36
vmax (ft/s)	Velocidad máxima	3,00
Dopt (in)	Diametro óptimo	0,3002
Diseño boquilla de fondo		
Q (ft ³ /s)	Caudal	0,0002
ρ (lb/ft ³)	Densidad	55,90
Dopt (in)	Diametro óptimo	0,64
Diseño boquilla de reflujo rehervidor		
Q (ft ³ /s)	Caudal	2,73
ρ (lb/ft ³)	Densidad	0,09
v (ft/s)	velocidad maxima	8,89
Dopt (in)	Diametro óptimo	0,62