



Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
Facultad de Ingeniería Química
e Industrias Alimentarias



PRACTICA N°2

Destilación Binaria

Autores: Herrera/Huamanchumo/Valenzuela

Curso: Diseño de Plantas Industriales I

Profesor: MSc. P. Angeles Ch.

- I.** Diseñe una columna de destilación para separar una mezcla benceno-tolueno para una alimentación de 400 lb/mol.hr.

El benceno ingresa a razón de 46% mol y el producto de cabeza debe tener 98.5% y el producto de fondo 98.5% de tolueno. La relación de reflujo con respecto al destilado es de 3.0.

El calor latente de benceno y tolueno es constante e igual 7500 cal/gr.ml y el Cp del benceno y tolueno es 0.5 cal/gr. °C respectivamente.

Además de los datos de equilibrio del Sistema Benceno - Tolueno que encuentre en la bibliografía se adjunta lo siguiente:

°T (°C)	x_i	y_i	Pvb	Pvt
80.1	1	1		
85	0.78	0.90	877	345
90	0.581	0.777	1016	405
95	0.411	0.632	1168	475
100	0.258	0.456	1344	557
105	0.130	0.261	1532	645
110	0.017	0.039	1748	745
110.6	0	0		

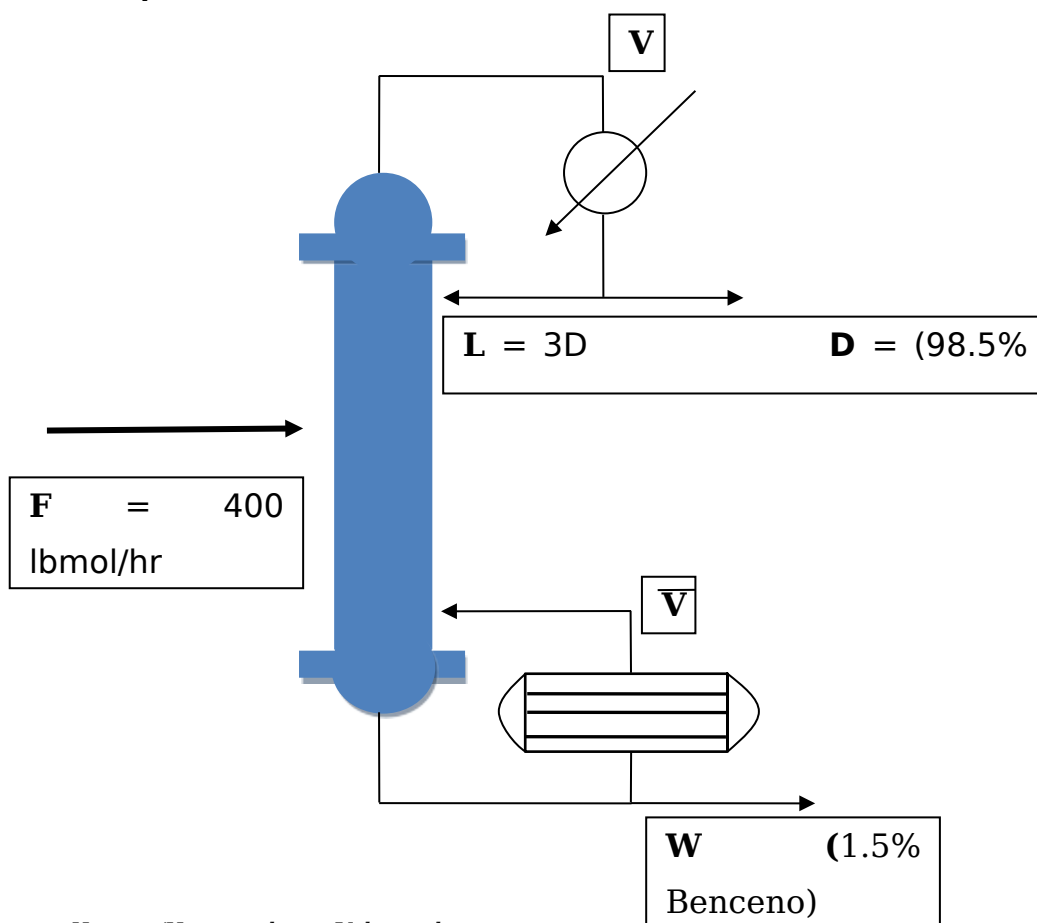
❖ Determinar:

- Los moles de destilado y de los fondos.
- Numero mínimo de platos teóricos si la alimentación es liquido saturado.
- Reflujo mínimo si la alimentación es liquido saturado.
- Numero de platos si F es una mezcla de 1/3 de vapor y 2/3.
- Numero de platos si F es líquido subenfriado a 22 °C de líquido.
- Numero de platos si F es vapor saturado.

- g)** Si se usa vapor saturado en el calderin a 30 psig determinar la cantidad de vapor necesario en el calderin para los siguientes casos:
1. Si F es liquido subenfriado a 22 °C.
 2. Si F es liquido saturado.
 3. Si F es mezcla liquido-vapor con 1/3 vapor 2/3 liquido.
 4. Si F es vapor saturado.
- h)** Calcular el agua de enfriamiento en el condensador si esta ingresa a 25 °c y sale a 40°c.
- i)** Hallar el mínimo número de platos si la alimentación es vapor saturado.
- j)** Determinar el reflujo mínimo para todos los casos.
- k)** Si el reflujo fuera 2 veces el reflujo mínimo. Determinar el número de platos reales si la eficiencia es 80%.
- l)** Determinar altura total de la columna si el espacio es de 20".
- m)** Hallar el diámetro de la columna si la velocidad del vapor fuera 2.5 pies/seg.

Desarrollo:

a)



✚ Balance general: **$F = D + W$**

✚ Balance parcial: **$V = L + D$**

✚ Balance de benceno:

$$0.46 \cdot (400) = 0.985 \cdot D + 0.015 \cdot W$$

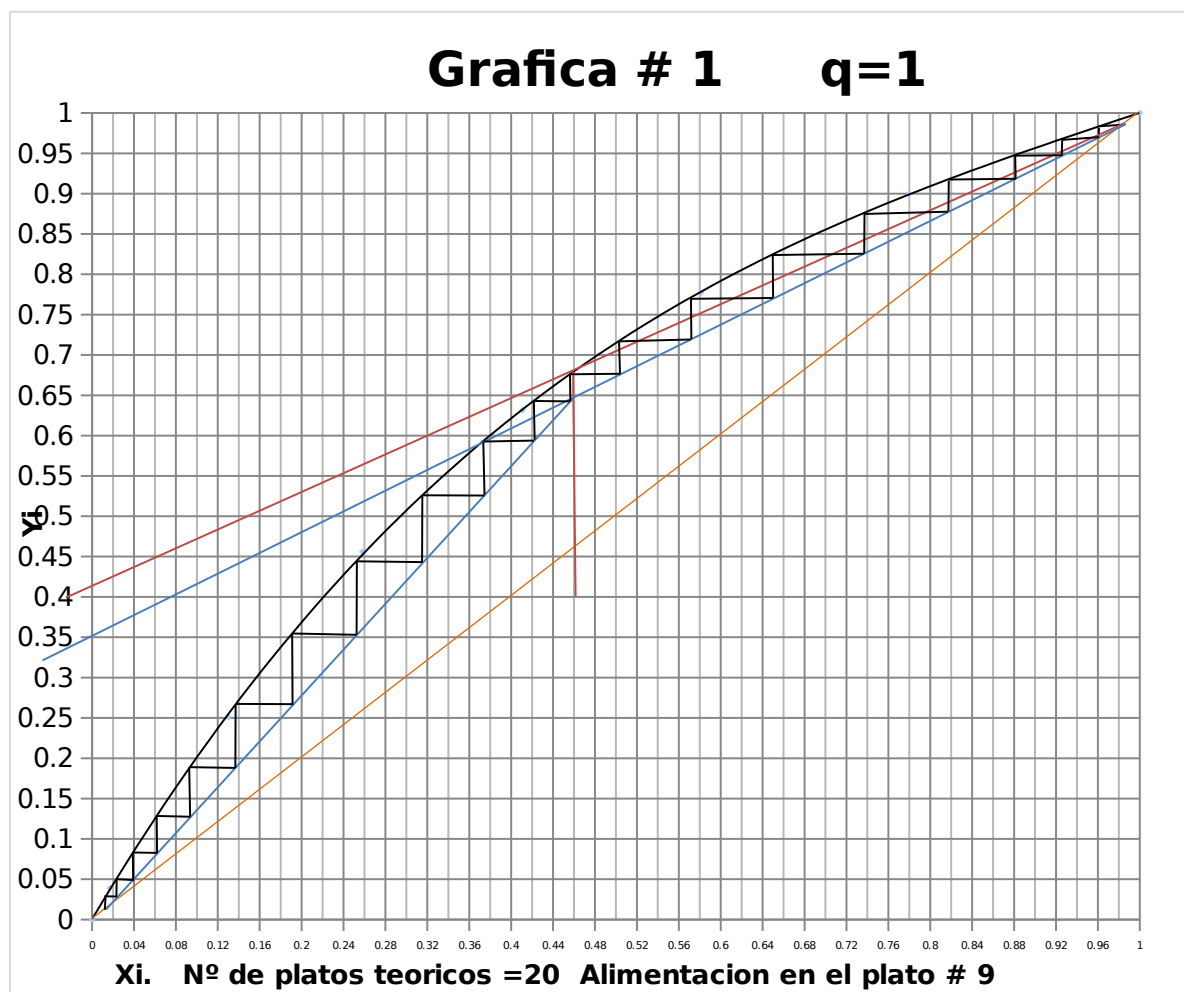
$$400 = D + W \quad \text{Entonces} \rightarrow D = 400 - W$$

$$0.46 \cdot 400 = 0.985 \cdot 400 - 0.985 \cdot W + 0.015 \cdot W$$

$$\text{Rpta: } W = 210 \text{ lbmol/hr}$$

$$D = 190 \text{ lbmol/hr}$$

b) Según la Grafica #1 existen 20 platos teóricos.



- c)** Si la alimentación es líquido saturado: $q=1$ (punto de burbuja)

$$\Theta = \arctg(1) = 90$$

$$\text{Datos: } X_f = 0.46; X_D = 0.985; X_W = 0.015$$

De la grafica:

$$X_D / (R_m + 1) = 0.415 \rightarrow R_m = 1.3735$$

$$R = 1.35 \cdot R_m = 1.35 \cdot 1.3735 = 1.8542 \rightarrow X_D / (R + 1) = 0.985 / (1.8542 + 1) = 0.3451$$

- d)** Para hallar q (calor necesario para vaporizar 1 mol) se considera la parte que es líquido(cuando hay una mezcla vapor -líquido)

$$\text{Si } q = 2/3 \rightarrow m = q / (q - 1) = (2/3) / ((2/3) - 1) = -2$$

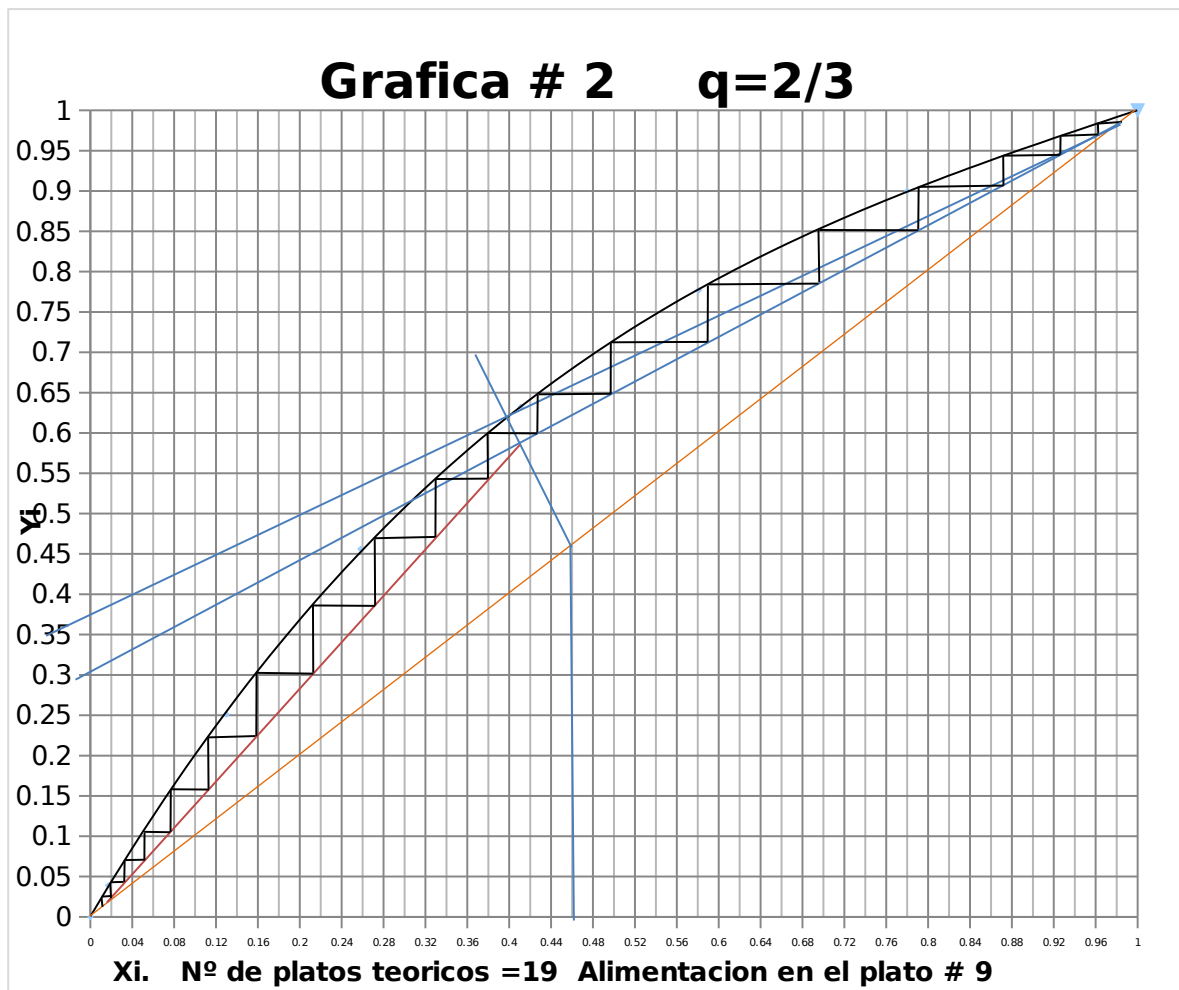
$$\Theta = \arctg(-2) \rightarrow \Theta = -63.43$$

De la grafica:

$$X_D / (R_m + 1) = 0.375 \rightarrow R_m = 1.63$$

$$R = 1.35 \cdot R_m = 1.35 \cdot 1.63 = 2.200 \rightarrow X_D / (R + 1) = 0.985 / (2.2 + 1) = 0.31$$

Según la Grafica #2 existen 19 platos teóricos.



e) Líquido subenfriado a 22 °C : $q=(H_v-H_f)/(H_v-H_l)$

$q= (H_v-H_l)+ (H_l-H_f)/(H_v-H_l)$ H_v-H_l = calor latente de vaporización promedio.

$q=1+ ((H_l-H_f)/ (H_v-H_l))$
 ebullición.

H_v = entalpia de F a su punto de

$q=1+ ((c_p \cdot \Delta t)/ (H_v-H_l))$
 rocío.

H_l = entalpia de F a su punto de

Interpolamos:

°C	x_i	y_i
80.1		
85	0.78	0.90
90	0.581	0.777
T	0.46	
95	0.411	0.632
100	0.258	0.456
105	0.130	0.261
110	0.017	0.039
110.6		

90 → 0.581

T → 0.46 T=93.56 °C

95 → 0.411

T= temperatura de ebullición

en la alimentación.

$$q=1+ ((cp*\Delta t)/ (Hv-HI))$$

$$Cp= 0.5 \text{ cal/gr} \quad Hv-HI= (7500 \text{ cal/gr-mol})/(85.8 \text{ gr/gr-mol})=87.41 \text{ cal/gr}$$

$$PM= 85.8 \text{ gr/grmol}$$

$$q=1+ ((0.5 \text{ cal/gr.}^\circ\text{C}*(93.56-22)^\circ\text{C})/(87.41 \text{ cal/gr}))=1.4093$$

$$m= q/(q-1)= (1.4093)/(1.4093-1)=3.4432$$

$$\Theta= \arctg (3.4432) \quad \rightarrow \quad \Theta= 73.8052$$

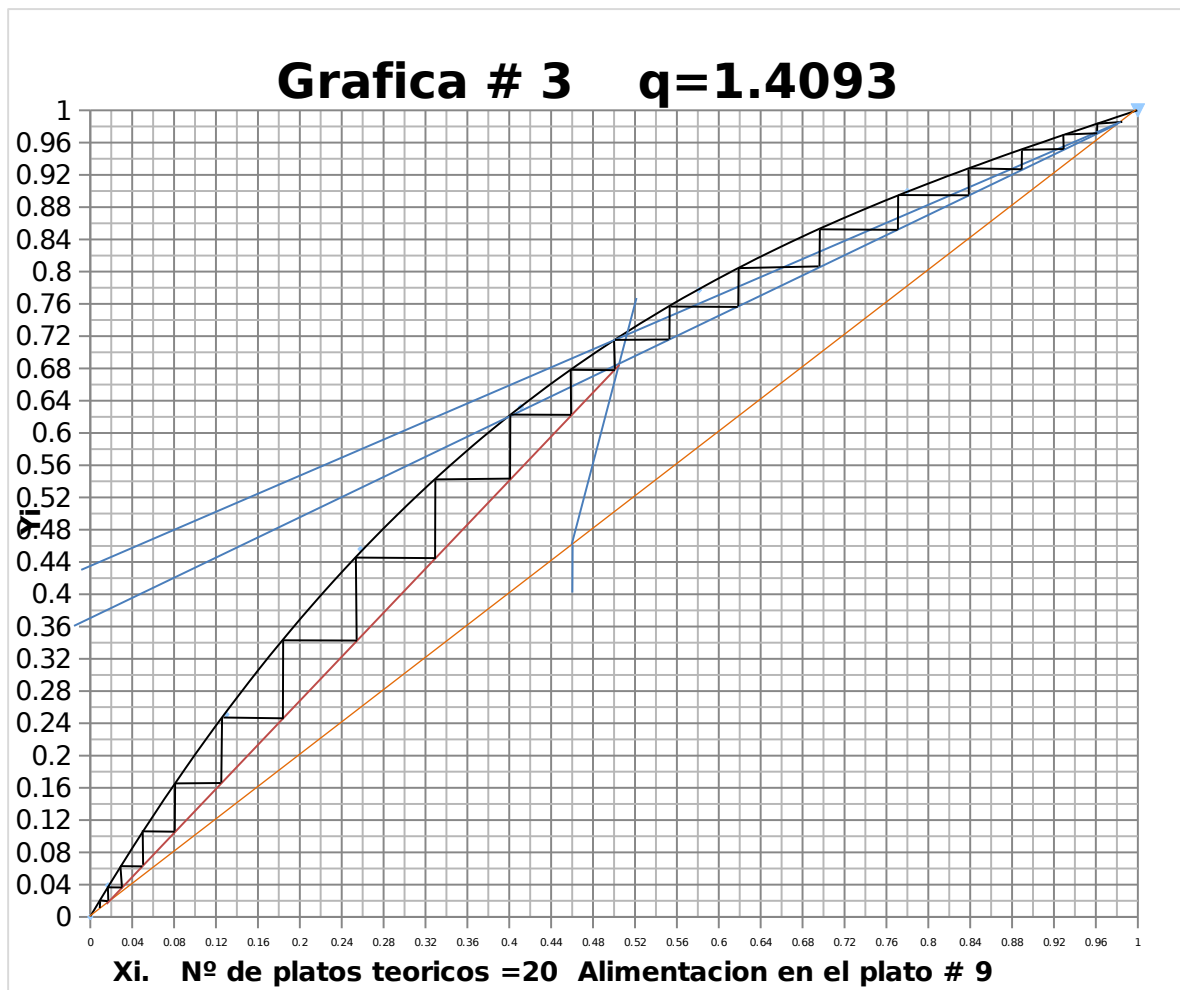
De la grafica:

$$X_D/(Rm+1)= 0.44 \quad \rightarrow \quad Rm= 1.24$$

$$R=1.35*Rm = 1.35*1.24=1.6721 \quad \rightarrow \quad X_D \quad /(R+1)=$$

$$0.985/(1.6721+1)=0.3686$$

Según la grafica #3 existen 20 platos teóricos.



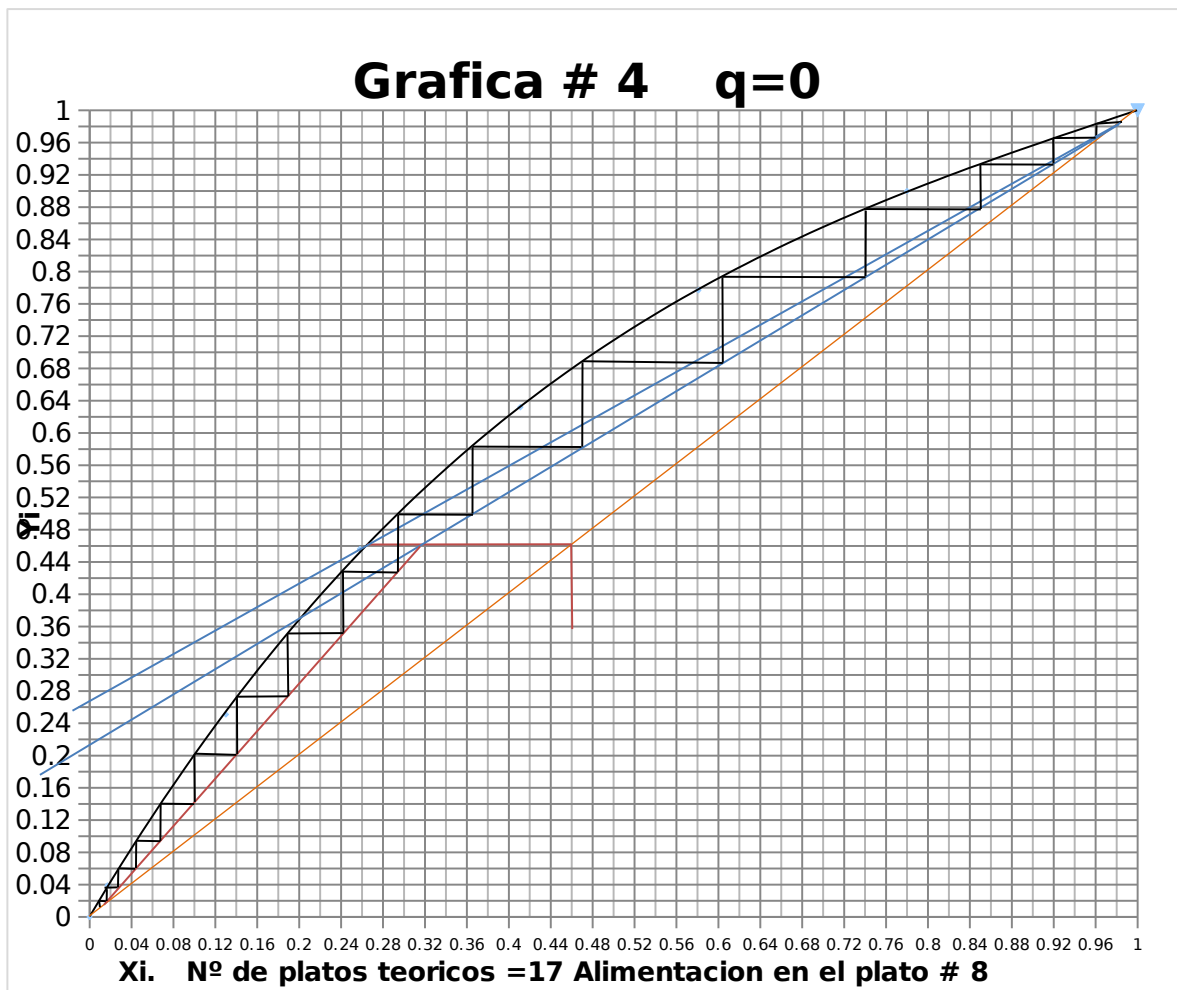
f) Si F es vapor saturado: $q=0$

$$\Theta = \arctg(0) \rightarrow \Theta = 180$$

$$X_D / (R_m + 1) = 0.27 \rightarrow R_m = 2.6481$$

$$R = 1.35 \cdot R_m = 1.35 \cdot 2.6481 = 3.5749 \rightarrow X_D / (R + 1) = 0.985 / (3.5749 + 1) = 0.2153$$

Según la grafica #4 existen 17 platos teóricos.



g) Casos:

1. Si F es liquido subenfriado a 22 °C: $q=1.4093$

$$V_m = V_n - (1 - 1.4093) * F$$

$$V_m = 4 * D - (0.4093) * F$$

$$V_m = 4 * (190 \text{ lbmol/hr}) - 0.4093 * (400 \text{ lbmol/hr}) = 596.28 \text{ lbmol/hr}$$

$$Q = V_m * \lambda$$

$$Q = (596.28 \text{ lbmol/hr}) * (7500 \text{ cal/gr-mol}) * (453.6 \text{ gr-mol/lbmol})$$

$$Q = 2028544.56 \text{ Kcal/hr}$$

$$\lambda_{\text{vapor}} (44.7 \text{ psia}) = 516.059 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q = m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = Q / \lambda_{\text{vapor}} = (2028544.56 \text{ Kcal/hr}) / (516.059 \text{ Kcal/kg}) = 3930.84 \text{ kg/hr}$$

2. Si F es liquido saturado: $q=1$

$$V_m = V_n - (1 - 1) * F$$

$$V_m = 4 * D$$

$$V_m = 4 * (190 \text{ lbmol/hr}) = 760 \text{ lbmol/hr}$$

$$Q = V_m * \lambda$$

$$Q = (760 \text{ lbmol/hr}) * (7500 \text{ cal/gr-mol}) * (453.6 \text{ gr-mol/lbmol})$$

$$Q = 517104 \text{ Kcal/hr}$$

$$\lambda_{\text{vapor}} (44.7 \text{ psia}) = 516.059 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q = m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = Q / \lambda_{\text{vapor}} = (517104 \text{ Kcal/hr}) / (516.059 \text{ Kcal/kg}) = 1002.02 \text{ kg/hr}$$

3. Si F es una mezcla liquido-vapor con 1/3 vapor y 2/3 liquido: $q = 2/3 = 0.67$

$$V_m = V_n - (1 - 0.67) * F$$

$$V_m = 4 * D - (0.33) * F$$

$$V_m = 4 * (190 \text{ lbmol/hr}) - 0.33 * (400 \text{ lbmol/hr}) = 628 \text{ lbmol/hr}$$

$$Q = V_m * \lambda$$

$$Q = (628 \text{ lbmol/hr}) * (7500 \text{ cal/gr-mol}) * (453.6 \text{ gr-mol/lbmol})$$

$$Q = 2136456 \text{ Kcal/hr}$$

$$\lambda_{\text{vapor}} (44.7 \text{ psia}) = 516.059 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q = m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = Q / \lambda_{\text{vapor}} = (2136456 \text{ Kcal/hr}) / (516.059 \text{ Kcal/kg}) = 4139.9452 \text{ kg/hr}$$

4. Si F es vapor saturado: $q = 0$

$$V_m = V_n - (1 - 0) * F$$

$$V_m = 4 * D - * F$$

$$V_m = 4 * (190 \text{ lbmol/hr}) - (400 \text{ lbmol/hr}) = 360 \text{ lbmol/hr}$$

$$Q = V_m * \lambda$$

$$Q = (360 \text{ lbmol/hr}) * (7500 \text{ cal/gr-mol}) * (453.6 \text{ gr-mol/lbmol})$$

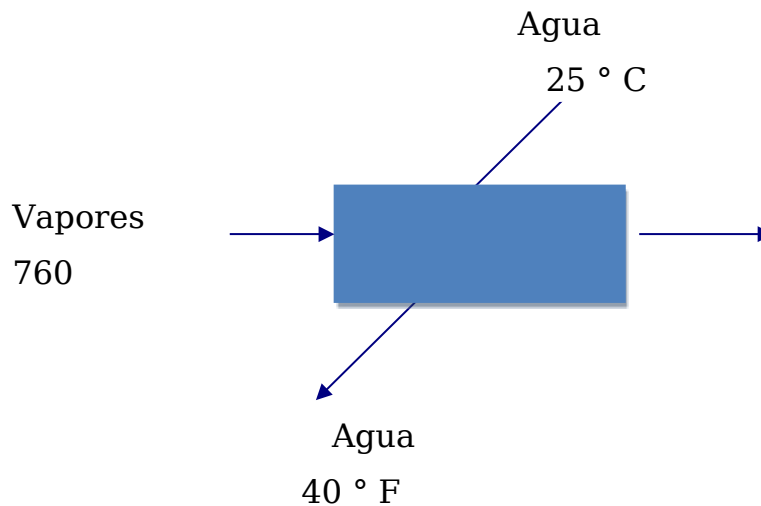
$$Q = 1224720 \text{ Kcal/hr}$$

$$\lambda_{\text{vapor}} (44.7 \text{ psia}) = 516.059 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q = m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = Q / \lambda_{\text{vapor}} = (1224720 \text{ Kcal/hr}) / (516.059 \text{ kcal/kg}) = 2373.22 \text{ kg/hr}$$

h)



$$D = 190 \text{ lbmol/hr}$$

$$R \rightarrow L/D = 3$$

$$L = 3 * 190 \text{ lbmol/hr}$$

$$L = 570 \text{ lbmol/hr}$$

$$V = L + D$$

$$V = 570 + 190$$

$$V = 760 \text{ lbmol/hr}$$

Calor de condensación:

$$Q = m * \lambda$$

$$Q = 760 \text{ lbmol/hr} * (7500 \text{ cal/gr.mol}) * (1000 \text{ grmol} / 2.2046 \text{ lbmol})$$

$$Q = 2585503.039 \text{ Kcal/hr}$$

$$Q = m_{\text{H}_2\text{O}} * C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$T_m = 32.5 \text{ °C} = 90.5 \text{ °F}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = Q / (C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * \Delta T_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2585503.039 \text{ cal/hr}}{(1 \text{ cal/gr} * \text{°C}) * (40 - 25) \text{ °C}} = 172366869.3 \text{ gr/hr} = 172366.87 \text{ kg/hr}$$

i)

°C	x	y	α
80.1	1	1	
85	0.78	0.90	2.54
90	0.58	0.77	2.5
	1	7	
	0.54		α _T
	0.46		α _B
95	0.41	0.63	2.46
	1	2	
100	0.25	0.45	2.41
	8	6	
105	0.13	0.26	2.38
	0	1	
110	0.01	0.03	2.35
	7	9	
110.6	0	0	

$$X_B=0.46; X_T=0.54$$

Cuando es vapor saturado:

$$\alpha_T = 2.4715$$

$$\alpha_B=2.4904$$

$$N_{\min} = (\log (X_D*(1-X_W))/(X_W*(1-X_D)))/(\log \alpha_{AB}) - 1$$

$$N_{\min} = (\log(0.985*(1-0.015))/(0.015*(1-0.985)))/(\log (2.47*2.49)) - 1$$

$$N_{\min} = 8.215 \text{ Redondeando } \rightarrow 9 \text{ platos}$$

j) Cuando:

$$q=1 \rightarrow R_m=1.3735$$

$$q=2/3 \text{ (mezcla de 1/3 vapor y 2/3 liquido)} \rightarrow R_m=1.7514$$

$$q=1.4093 \text{ (liquido subenfriado a 2°C)} \rightarrow R_m=1.5035$$

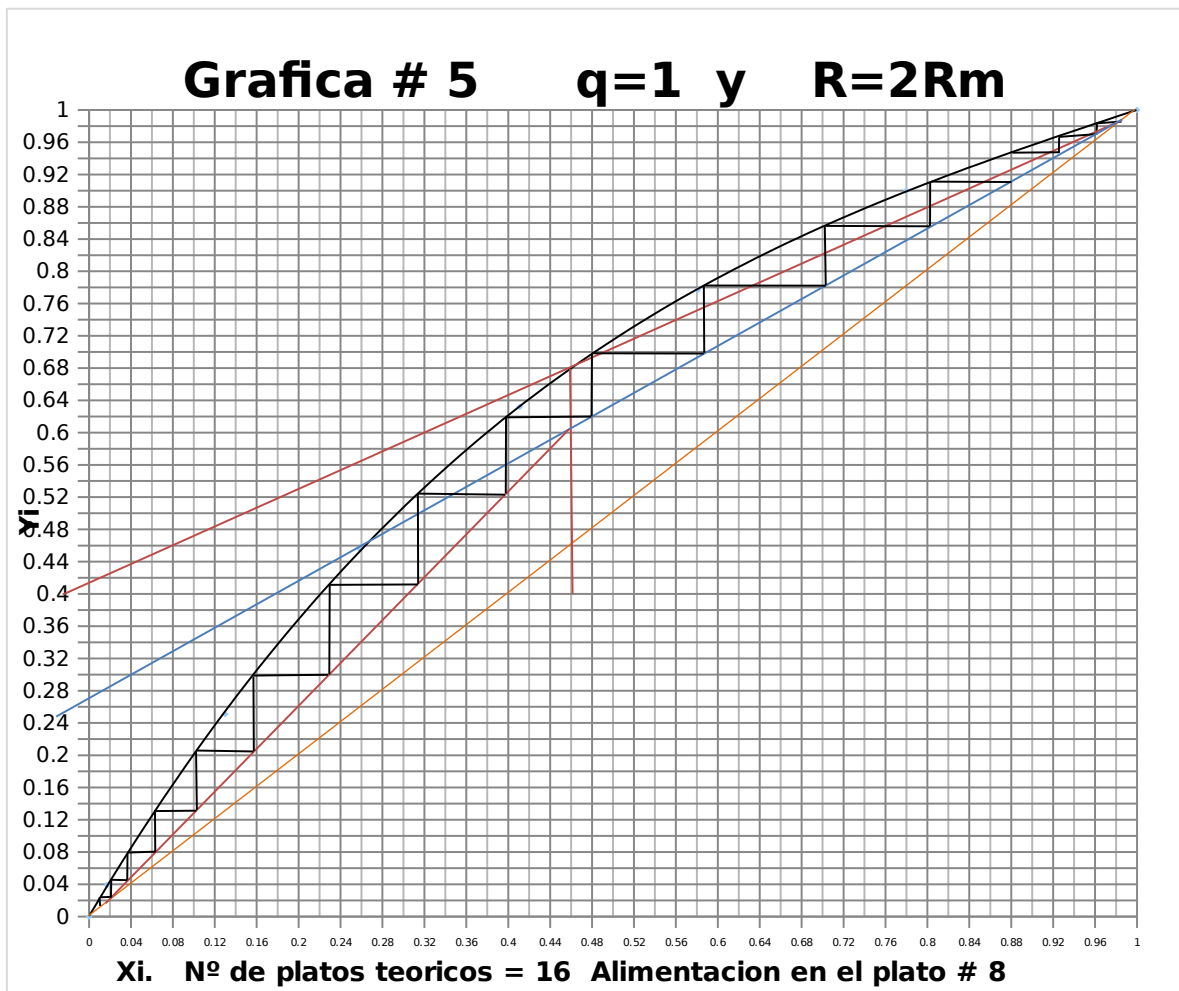
$$q=0 \text{ (vapor saturado)} \rightarrow R_m=2.6481$$

k) Si $R = 2 \cdot R_m$; eficiencia $\epsilon = 80\%$

🌈 Líquido saturado:

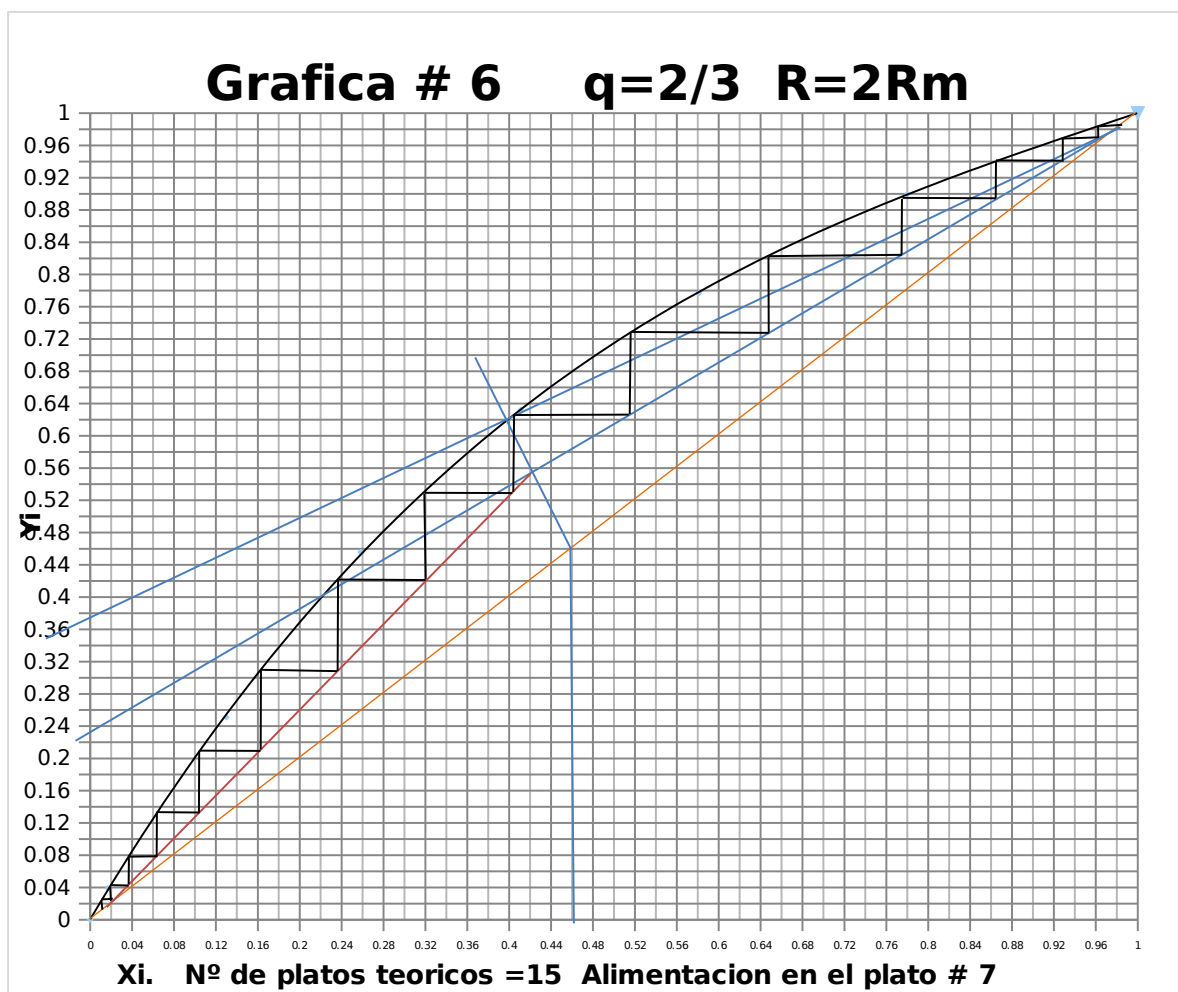
$R_m = 1.35$; $R = 2.7$

Según la grafica #5 existen 16 platos teóricos con una eficiencia del 80% tenemos 20 platos reales.



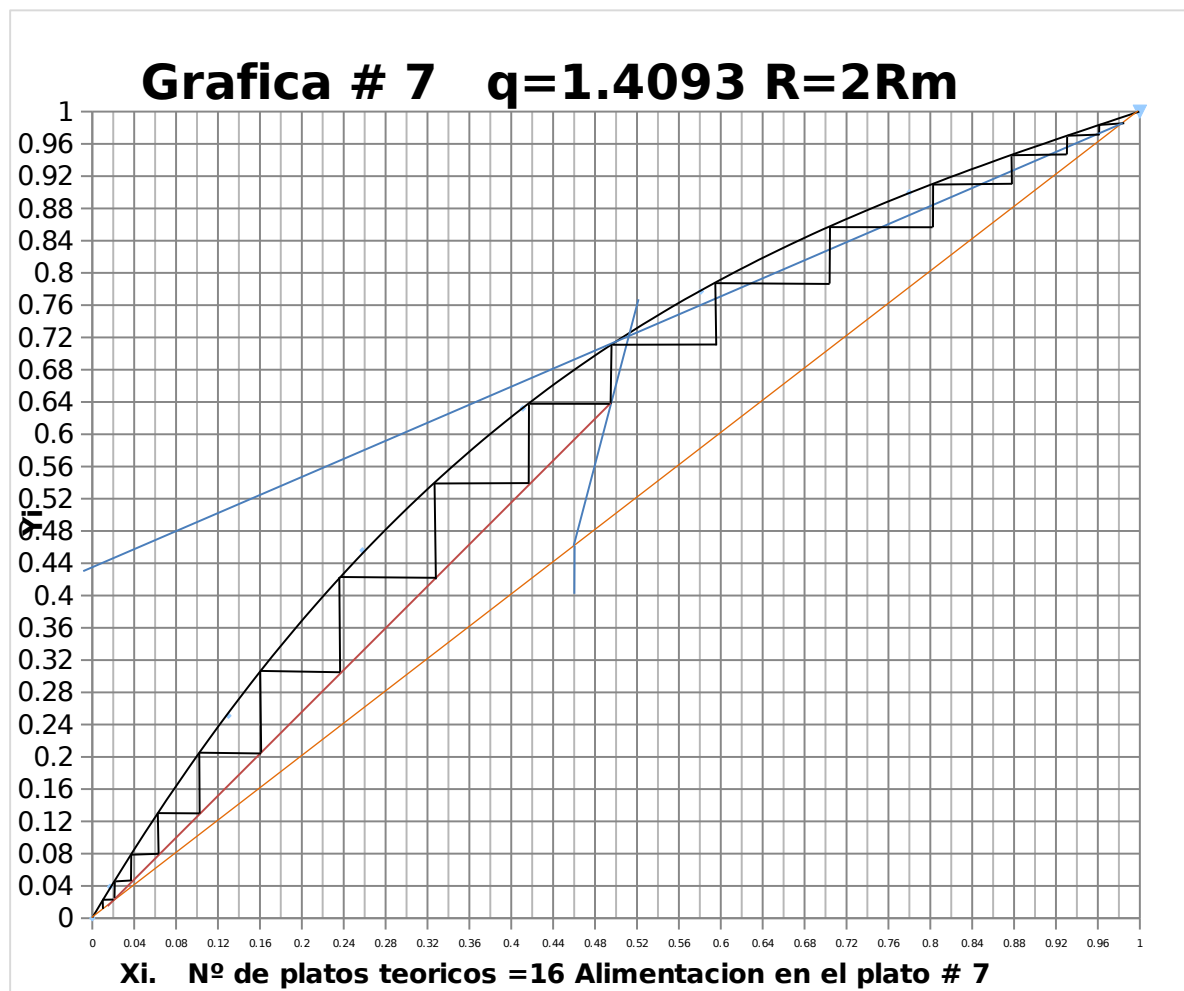
🌈 Mezcla de 1/3 vapor y 2/3 líquido:

$R_m = 1.63$; $R = 3.26$ Según la grafica #6 existen 15 platos teoricos con una eficiencia del 80%, tenemos 19 platos reales.



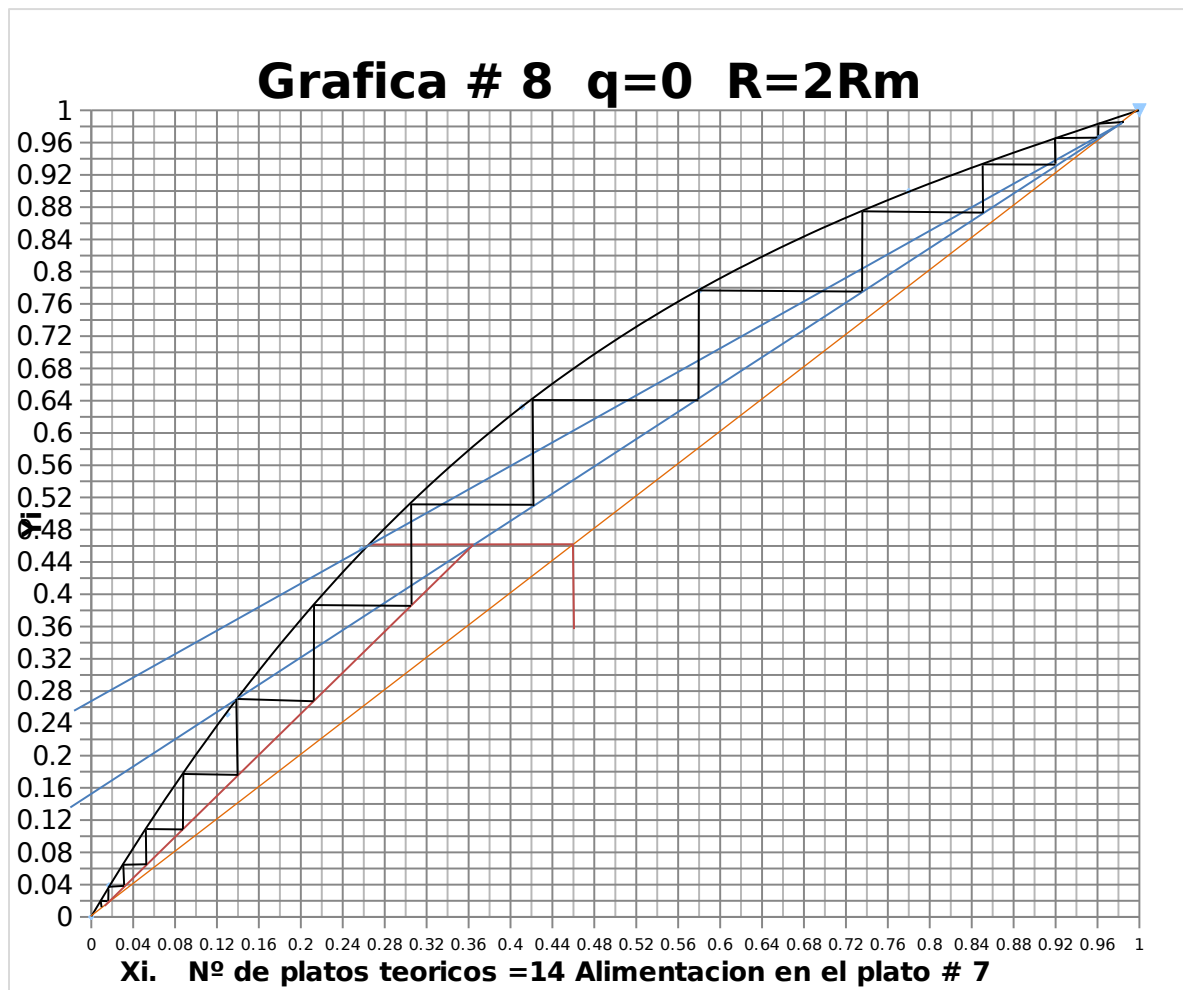
🚦 Líquido subenfriado a 22 °C:

$R_m = 1.24$; $R = 2.48$ Según la grafica #7 existen 16 platos teoricos con una eficiencia del 80%, tenemos 20 platos reales.



🚦 Vapor saturado:

$R_m = 2.6481$; $R = 5.2962$ Según la grafica #8 existen 14 platos teóricos con una eficiencia del 80% tenemos 18 platos reales.



I) Determinar la altura

1. Cuando es liquido saturado , $N=20$; $\epsilon = 80\%$

$$H = (N-1/\epsilon) * e$$

$$H = ((20-1)/0.8) * 1.67 = 39.6625 \text{ pies}$$

$$Z = H + S + T$$

$$Z = 39.6625 + 6 + 3 = 48.6625 \text{ pies}$$

2. Cuando es una mezcla de 1/3 vapor y 2/3 liquido, $N=17$; $\epsilon = 80\%$

$$H = (N-1/\epsilon) * e$$

$$H = ((17-1)/0.8) * 1.67 = 33.4 \text{ pies}$$

$$Z = H + S + T$$

$$Z = 33.4 + 6 + 3 = 42.4 \text{ pies}$$

3. Cuando es liquido subenfriado a 22 °C, N= 19 ; € = 80%

$$H = (N-1/\epsilon) * e$$

$$H = ((19-1)/0.8) * 1.67 = 37.575 \text{ pies}$$

$$Z = H + S + T$$

$$Z = 37.575 + 6 + 3 = 46.57 \text{ pies}$$

4. Cuando es vapor saturado, N= 15 ; € = 80%

$$H = (N-1/\epsilon) * e$$

$$H = ((15-1)/0.8) * 1.67 = 29.225 \text{ pies}$$

$$Z = H + S + T$$

$$Z = 29.225 + 6 + 3 = 38.225 \text{ pies}$$

m) Hallar diámetro de la columna, si V= 2.5 pies/seg

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad A = m_v / G_v$$

$$p_v = (P * M) / (R * T)$$

$$p_v = (78 * 14.7) / (10.73 * 531.6)$$

$$p_v = 0.2010$$

$$\checkmark G_v = V * p_v$$

$$G_v = (2.5 \text{ pies/seg}) * (0.2010) = 0.5025 \text{ lb/pies}^2 * \text{seg}$$

$$\checkmark PM = 85.8 \text{ gr/grmol} = 85.8 \text{ lb/lbmol}$$

$$v = 596.28 \text{ lb/pies}^2 * \text{seg}$$

$$m_v = (596.28 * 95.8) / 3600 = 15.87 \text{ lb/seg}$$

$$A = 15.87 / 0.5025 = 31.58 \text{ pies}^2$$

$$\checkmark D = \sqrt{\frac{(4 * 31.58)}{\pi}} = 6.34 \text{ pies}$$

Anexos:

Desarrollo de graficas en Microsoft Office Excel:
[ejercicio1destilacion.xlsx](#)