

Ejemplo 9 del Barderas. UNAM. Página 43.

Una mezcla formada por 80 kgmol/h de etano, 50 kgmol/h de propano y 225 kgmol/h de isobutano se encuentra a 13.6 atm y 42°C. ¿Cuál será la cantidad de vapor formado si se somete la mezcla a una destilación instantánea?

Solución.

Componentes: Etano (1); Propano (2); Isobutano (3)

Presión: $P = 13.6 \text{ atm} = 199.87 \text{ psia}$

Temperatura: $T = 42^\circ\text{C} = 107.6^\circ\text{F}$

Flujo másico de cada corriente: $n_1 = 80 \text{ kgmol/h}$, $n_2 = 50 \text{ kgmol/h}$, $n_3 = 225 \text{ kgmol/h}$

En primer lugar se determina la composición de la corriente de alimentación:

$$n_T = n_1 + n_2 + n_3$$

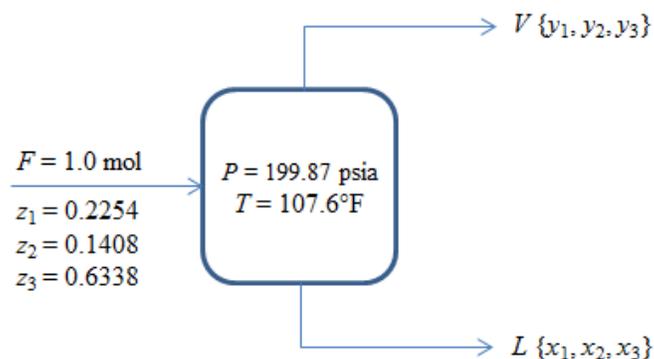
$$n_T = 80 \text{ kgmol/h} + 50 \text{ kgmol/h} + 225 \text{ kgmol/h}$$

$$n_T = 355 \text{ kgmol/h}$$

$$x_1 = \frac{n_1}{n_T} = \frac{80 \text{ kgmol/h}}{355 \text{ kgmol/h}} = 0.2254$$

$$x_2 = \frac{n_2}{n_T} = \frac{50 \text{ kgmol/h}}{355 \text{ kgmol/h}} = 0.1408$$

$$x_3 = \frac{n_3}{n_T} = \frac{225 \text{ kgmol/h}}{355 \text{ kgmol/h}} = 0.6338$$



Para averiguar el estado termodinámico de la mezcla se aplica el siguiente criterio:

Utilizar $f(V)$ como indicador preciso.

$$f(V) = \sum \frac{z_i(K_i - 1)}{1 + V(K_i - 1)}$$

Si $f(0) < 0$ → Líquido sub-enfriado.

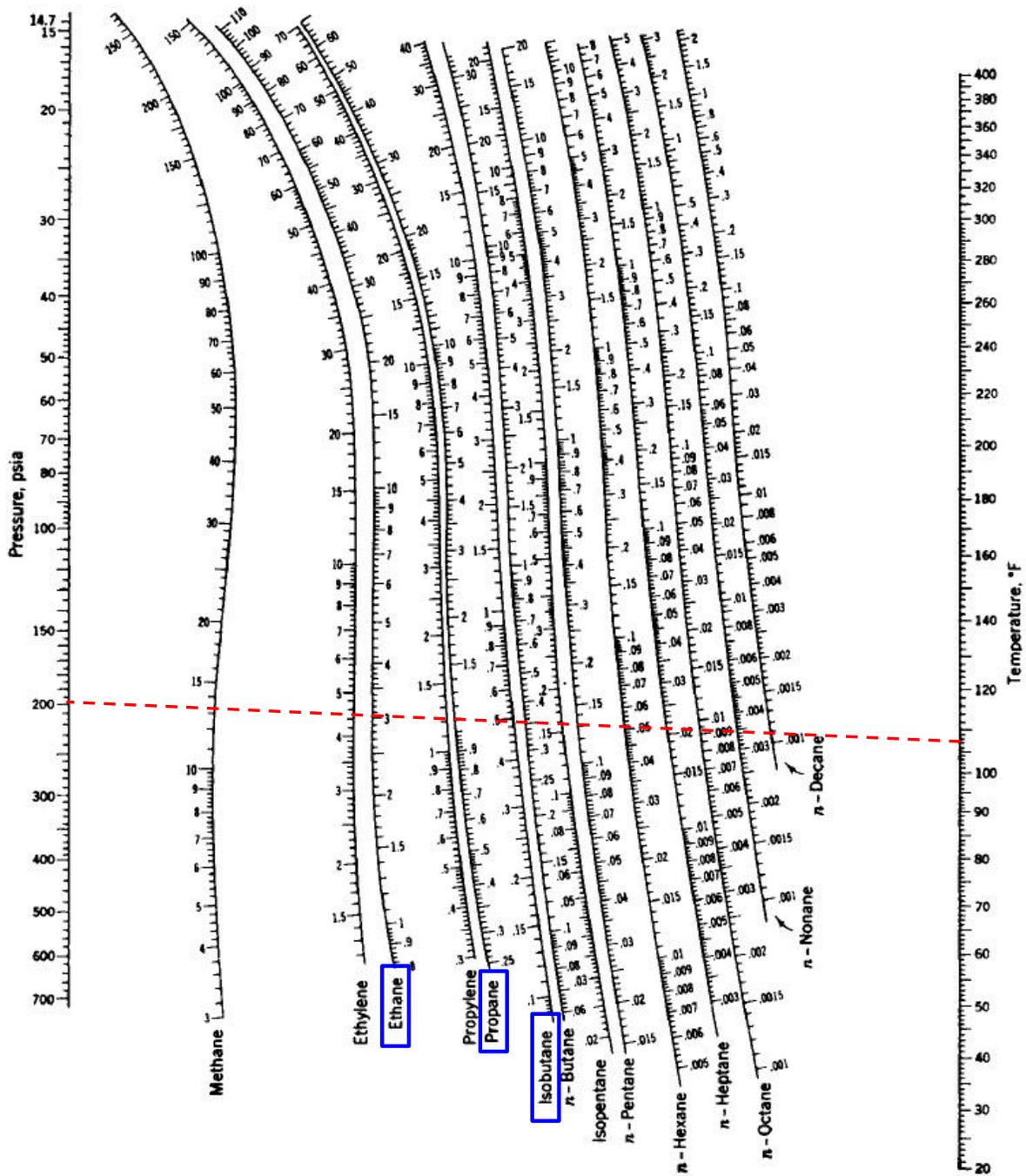
Si $f(0) = 0$ → Líquido en su Punto de Burbuja.

Si $f(1) = 0$ → Vapor en su Punto de Rocío.

Si $f(1) > 0$ → Vapor sobrecalentado.

Si no se cumple alguna de estas condiciones, la corriente será una mezcla de líquido saturado + vapor saturado (Coexistencia de ambas fases en equilibrio).

A $P = 199.87$ psia y $T = 107.6^\circ\text{F}$, de los diagramas de DePriester:



$$K_1 = 3.05; K_2 = 1.1; K_3 = 0.495$$

$$f(V) = \sum \frac{z_i(K_i - 1)}{1 + V(K_i - 1)}$$

Para una mezcla de tres componentes:

$$f(V) = \frac{z_1(K_1 - 1)}{1 + V(K_1 - 1)} + \frac{z_2(K_2 - 1)}{1 + V(K_2 - 1)} + \frac{z_3(K_3 - 1)}{1 + V(K_3 - 1)}$$

$$f(V) = \frac{0.2254(3.05 - 1)}{1 + V(3.05 - 1)} + \frac{0.1408(1.1 - 1)}{1 + V(1.1 - 1)} + \frac{0.6338(0.495 - 1)}{1 + V(0.495 - 1)}$$

$$f(V) = \frac{0.46207}{1 + 2.05V} + \frac{0.01408}{1 + 0.1V} - \frac{0.320069}{1 - 0.505V}$$

Evaluación de las condiciones límite:

$$f(0) = 0.46207 + 0.01408 - 0.320069 = 0.156081 > 0 \quad \rightarrow \quad \text{Criterio no concluyente.}$$

$$f(1) = \frac{0.46207}{1 + 2.05} + \frac{0.01408}{1 + 0.1} - \frac{0.320069}{1 - 0.505}$$

$$f(1) = \frac{0.46207}{3.05} + \frac{0.01408}{1.1} - \frac{0.320069}{0.495}$$

$$f(1) = 0.151498 + 0.0128 - 0.646604 = -0.482306 < 0 \quad \rightarrow \quad \text{Criterio no concluyente.}$$

Se trata de una mezcla saturada de líquido + vapor en equilibrio.

Cálculo de la fracción de vapor.

$$f(V) = 0$$

$$\frac{0.46207}{1 + 2.05V} + \frac{0.01408}{1 + 0.1V} - \frac{0.320069}{1 - 0.505V} = 0$$

Al resolver la ecuación anterior se obtiene: $V = 0.1790$.

Cantidad de vapor formado:

$$V = 0.1790 \times 355 \text{ kgmol/h}$$

$$V = 63.54 \text{ kgmol/h}$$

Cálculo de las composiciones del líquido y el vapor.

$$\text{Líquido: } x_i = \frac{z_i}{1 + V(K_i - 1)}$$

$$x_1 = \frac{z_1}{1 + V(K_1 - 1)} = \frac{0.2254}{1 + 0.1790(3.05 - 1)} = 0.164893$$

$$x_2 = \frac{z_2}{1 + V(K_2 - 1)} = \frac{0.1408}{1 + 0.1790(1.1 - 1)} = 0.138324$$

$$x_3 = \frac{z_3}{1 + V(K_3 - 1)} = \frac{0.6338}{1 + 0.1790(0.495 - 1)} = 0.696786$$

$$\text{Vapor: } y_i = K_i x_i$$

$$y_1 = K_1 x_1 = 3.05 \times 0.164893 = 0.502924$$

$$y_2 = K_2 x_2 = 1.1 \times 0.138324 = 0.152156$$

$$y_3 = K_3 x_3 = 0.495 \times 0.696786 = 0.344909$$

Resumen:

Fracción de vapor: $V = 0.1790$ (17.90%).

Composición de las fases en equilibrio:

Líquido: $x_1 = 0.164893$; $x_2 = 0.138324$; $x_3 = 0.696786$.

Vapor: $y_1 = 0.502924$; $y_2 = 0.152156$; $y_3 = 0.344909$.

Aplicación del Método de Newton para el cálculo de la fracción de vapor.

a) $V_1 = 0.5$

b)
$$f(V_1) = \sum \frac{z_i(K_i - 1)}{1 + V_1(K_i - 1)}$$

$$f(0.5) = \frac{0.2254(3.05 - 1)}{1 + 0.5(3.05 - 1)} + \frac{0.1408(1.1 - 1)}{1 + 0.5(1.1 - 1)} + \frac{0.6338(0.495 - 1)}{1 + 0.5(0.495 - 1)}$$

$$f(0.5) = 0.228183 + 0.013410 + (-0.428186)$$

$$f(0.5) = -0.186593$$

c)
$$f'(V_1) = -\sum \frac{z_i(K_i - 1)^2}{[1 + V_1(K_i - 1)]^2}$$

$$f'(0.5) = -\frac{(0.228183)^2}{0.2254} - \frac{(0.013410)^2}{0.1408} - \frac{(-0.428186)^2}{0.6338}$$

$$f'(0.5) = -0.231000 - 0.001277 - 0.289276$$

$$f'(0.5) = -0.521553$$

d)
$$V_2 = V_1 - \frac{f(V_1)}{f'(V_1)}$$

$$V_2 = 0.5 - \frac{-0.186593}{-0.521553}$$

$$V_2 = 0.5 - 0.357764$$

$$V_2 = 0.1422$$

Las iteraciones siguientes se resumen en la tabla mostrada a continuación:

Iteración	$f(V_1) = \sum \frac{z_i(K_i - 1)}{1 + V_1(K_i - 1)}$	$f'(V_1) = -\sum \frac{z_i(K_i - 1)^2}{[1 + V_1(K_i - 1)]^2}$	$V_2 = V_1 - \frac{f\{V_1\}}{f'\{V_1\}}$
1	-0.186593	-0.521553	0.1422
2	0.026826	-0.756874	0.1776
3	0.000971	-0.705488	0.1790
4	-0.000015	-0.703656	0.1790

Solución: $V = 0.1790$ moles.

Este ejercicio forma parte de una serie de ejercicios resueltos paso a paso acerca del tema **Equilibrio Líquido - Vapor, Diagramas de DePriester**, perteneciente a la asignatura **Termodinámica Química**. El acceso a estos archivos está disponible a través de:

<http://www.tutoruniversitario.com/>

Si Usted requiere la resolución de ejercicios adicionales acerca de ésta u otras asignaturas, contáctenos a través de los siguientes medios:

- WhatsApp: +58-4249744352 (En forma directa o desde nuestra página web).
- E-mail: medinawj@gmail.com

Lista de asignaturas en las cuales podemos ayudarle:

Cálculo Diferencial.	Cálculo Integral.	Cálculo Vectorial.
Ecuaciones Diferenciales.	Trigonometría.	Matemáticas Aplicadas.
Matemáticas Financieras.	Álgebra Lineal.	Métodos Numéricos.
Estadística.	Física (Mecánica).	Física (Electricidad).
Mecánica Vectorial (Estática).	Química Inorgánica.	Fisicoquímica.
Termodinámica.	Termodinámica Química.	Mecánica de Fluidos.
Fenómenos de Transporte.	Transferencia de Calor.	Ingeniería Económica.