

**Ejemplo 10 del Barderas. UNAM. Página 46.**

Una corriente de hidrocarburos de 5000 kgmol/h tiene la siguiente composición en porcentaje en mol: 2%, metano; 8%, etano; 25%, propano; 5%, isobutano, 30%, *n*-butano; 30%, *n*-pentano. Esta corriente se somete a destilación instantánea con el fin de recuperar el 50% en mol del *n*-butano de la alimentación en la corriente de vapor. La destilación se llevará a cabo a 7 atm. Determine:

- La temperatura de rocío y de burbuja de la mezcla.
- La temperatura de operación del tanque de separación.
- Las composiciones del vapor y del líquido.

Solución.

Componentes: Metano (1); Etano (2); Propano (3); Isobutano (4), *n*-Butano (5); *n*-Pentano (6)

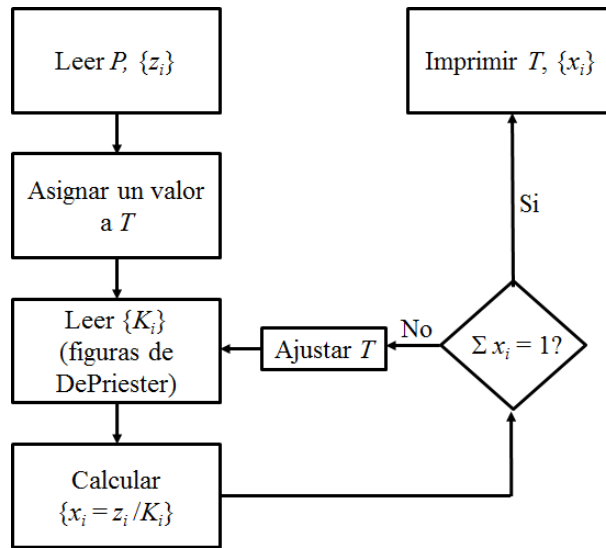
Composición de la alimentación:  $z_1 = 0.02$ ,  $z_2 = 0.08$ ,  $z_3 = 0.25$ ,  $z_4 = 0.05$ ,  $z_5 = 0.30$ ,  $z_6 = 0.30$

Presión:  $P = 7 \text{ atm} = 102.9 \text{ psi}$

Flujo molar de *n*-Butano en la fase vapor:  $y_5 V = 0.15$

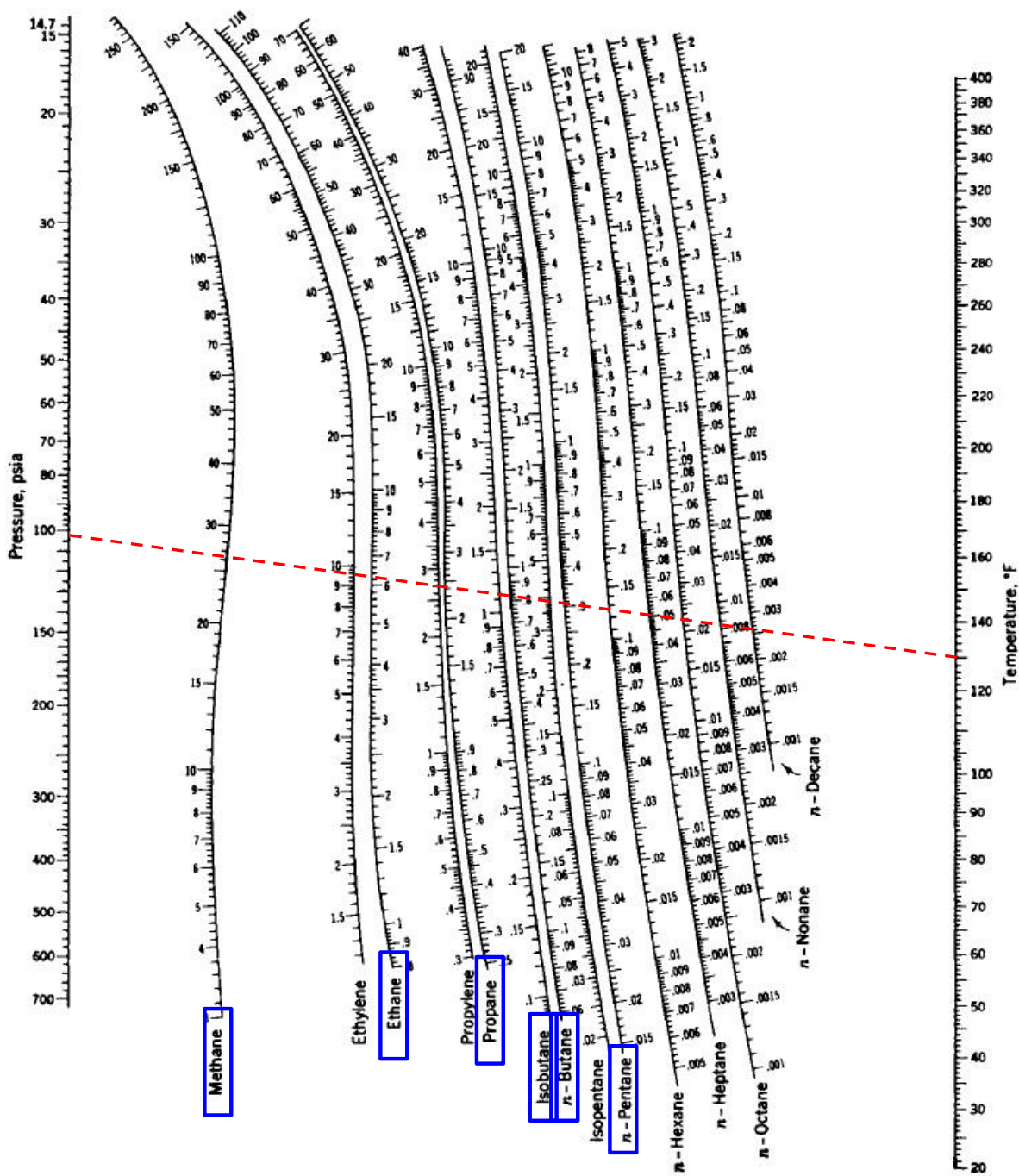
- $T_r = ?$ ,  $T_b = ?$
  - Temperatura:  $T = ?$
  - Composición del líquido y del vapor:  $\{x_i\}$ .  $\{y_i\}$
- Temperatura de rocío:**  $T_r = ?$

Procedimiento para determinar la temperatura de rocío:



$T = 130^{\circ}\text{F}$  (Asignado).

A  $P = 103$  psia y  $T = 130^{\circ}\text{F}$  de los diagramas de DePriester:



$$K_1 = 26.2; K_2 = 6.22; K_3 = 2.41; K_4 = 1.13; K_5 = 0.82; K_6 = 0.31$$

Composición del líquido:  $x_i = \frac{z_i}{K_i}$

$$x_1 = \frac{z_1}{K_1} = \frac{0.02}{26.2} = 0.0008$$

$$x_2 = \frac{z_2}{K_2} = \frac{0.08}{6.22} = 0.0129$$

$$x_3 = \frac{z_3}{K_3} = \frac{0.25}{2.41} = 0.1037$$

$$x_4 = \frac{z_4}{K_4} = \frac{0.05}{1.13} = 0.0442$$

$$x_5 = \frac{z_5}{K_5} = \frac{0.30}{0.82} = 0.3659$$

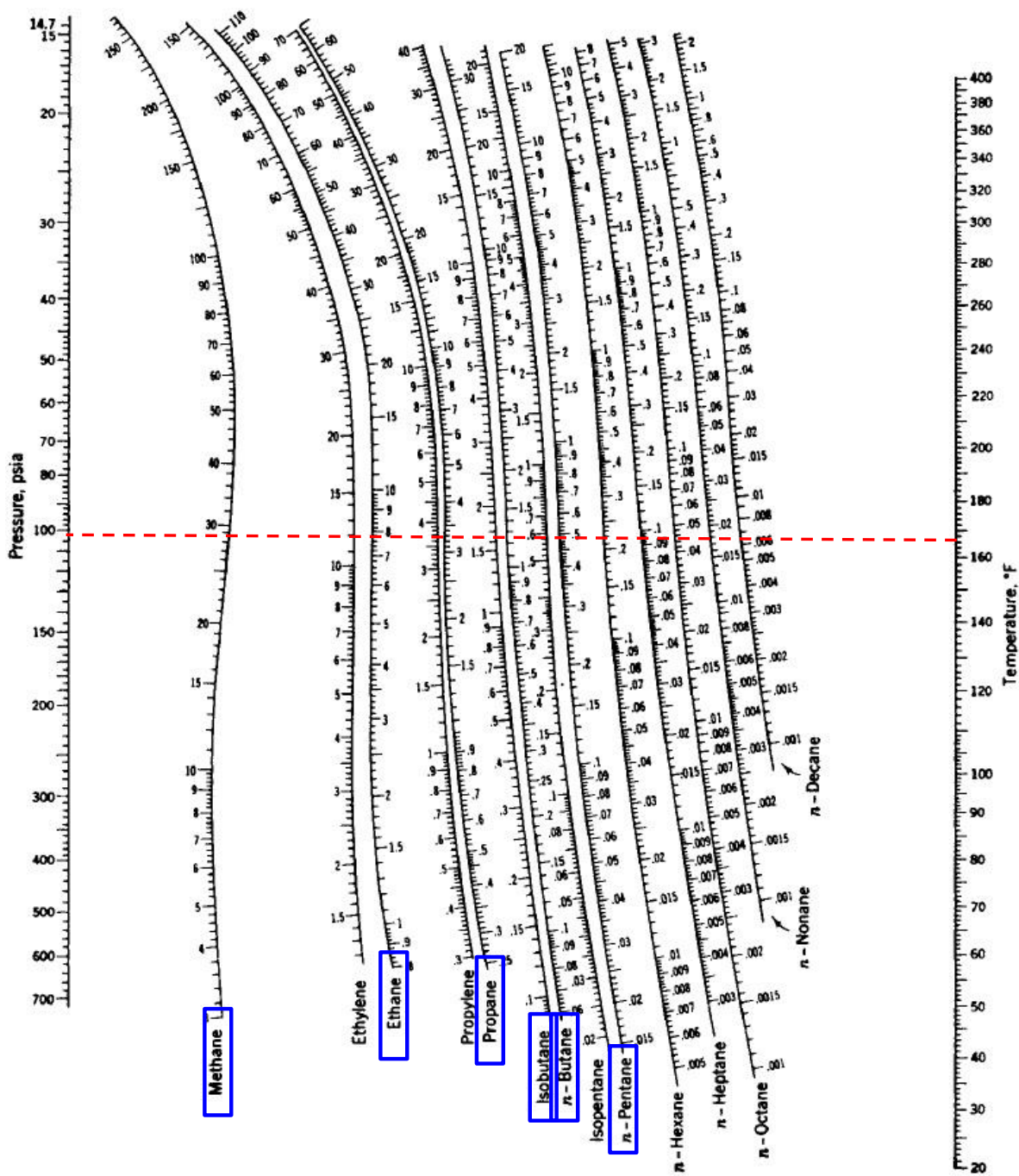
$$x_6 = \frac{z_6}{K_6} = \frac{0.30}{0.31} = 0.9677$$

$$\Sigma x_i = 0.0008 + 0.0129 + 0.1037 + 0.0442 + 0.3659 + 0.9677 = 1.4952 > 1$$

Como  $\Sigma x_i > 1$ , aumentar  $T$ , y regresar al inicio del procedimiento.

$T = 167^\circ\text{F}$  (Asignado).

A  $P = 103$  psia y  $T = 167^\circ\text{F}$  de los diagramas de DePriester:



$$K_1 = 28.6; K_2 = 7.7; K_3 = 3.25; K_4 = 1.63; K_5 = 1.24; K_6 = 0.47$$

$$\text{Composición del líquido: } x_i = \frac{z_i}{K_i}$$

$$x_1 = \frac{z_1}{K_1} = \frac{0.02}{28.6} = 0.0007$$

$$x_2 = \frac{z_2}{K_2} = \frac{0.08}{7.7} = 0.0104$$

$$x_3 = \frac{z_3}{K_3} = \frac{0.25}{3.25} = 0.0769$$

$$x_4 = \frac{z_4}{K_4} = \frac{0.05}{1.63} = 0.0307$$

$$x_5 = \frac{z_5}{K_5} = \frac{0.30}{1.24} = 0.2419$$

$$x_6 = \frac{z_6}{K_6} = \frac{0.30}{0.47} = 0.6383$$

$$\Sigma x_i = 0.0007 + 0.0104 + 0.0769 + 0.0307 + 0.2419 + 0.6383 = 0.9989$$

Como  $\Sigma x_i \approx 1$ , Fin. Salida:  $T_r = 167^\circ\text{F}$ .

**Resumen:**

Temperatura de rocío:  $T_r = 167^\circ\text{F} = 75^\circ\text{C}$ .

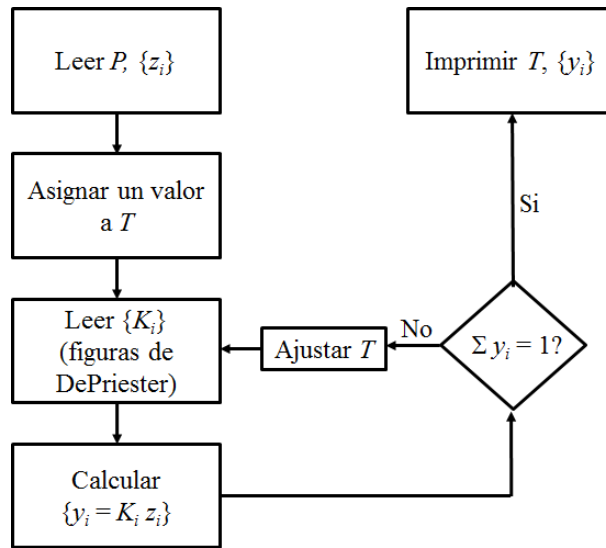
Composición de las fases en equilibrio:

Líquido:  $x_1 = 0.0007$ ;  $x_2 = 0.0104$ ;  $x_3 = 0.0769$ ;  $x_4 = 0.0307$ ;  $x_5 = 0.2419$ ;  $x_6 = 0.6383$

Vapor:  $y_1 = 0.02$ ;  $y_2 = 0.08$ ;  $y_3 = 0.25$ ;  $y_4 = 0.05$ ;  $y_5 = 0.3$ ;  $y_6 = 0.30$

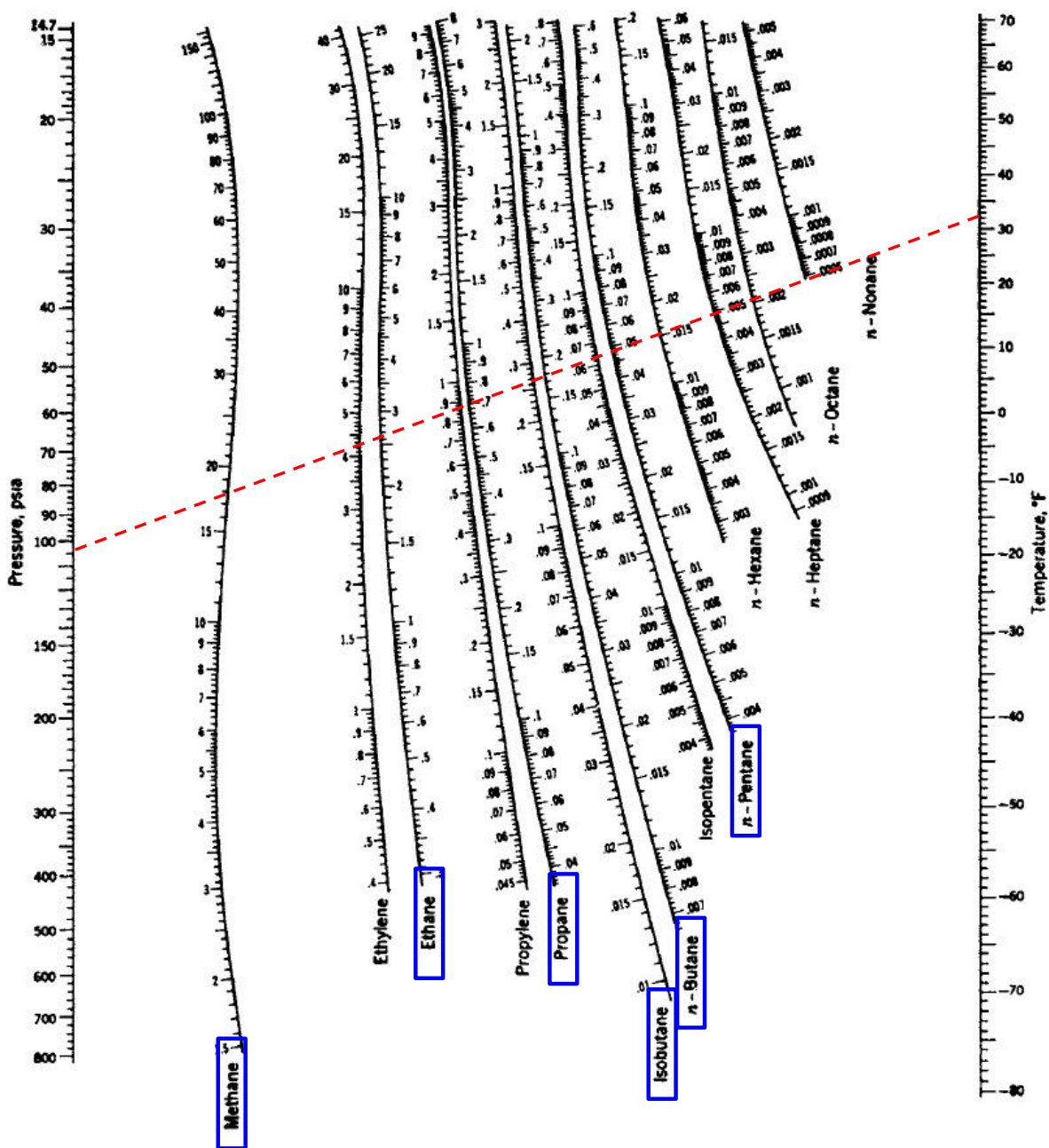
**Temperatura de burbuja:**  $T_b = ?$

Procedimiento para determinar la temperatura de burbuja:



$T = 32^\circ\text{F}$  (Asignado).

A  $P = 103$  psia y  $T = 32^\circ\text{F}$  de los diagramas de DePriester:



$$K_1 = 17.8; K_2 = 2.65; K_3 = 0.7; K_4 = 0.265; K_5 = 0.178; K_6 = 0.048$$

Composición del vapor:  $y_i = K_i z_i$

$$y_1 = K_1 z_1 = 17.8 \times 0.02 = 0.35600$$

$$y_2 = K_2 z_2 = 2.65 \times 0.08 = 0.21200$$

$$y_3 = K_3 z_3 = 0.7 \times 0.25 = 0.17500$$



$$y_4 = K_4 z_4 = 0.265 \times 0.05 = 0.01325$$

$$y_5 = K_5 z_5 = 0.178 \times 0.30 = 0.05340$$

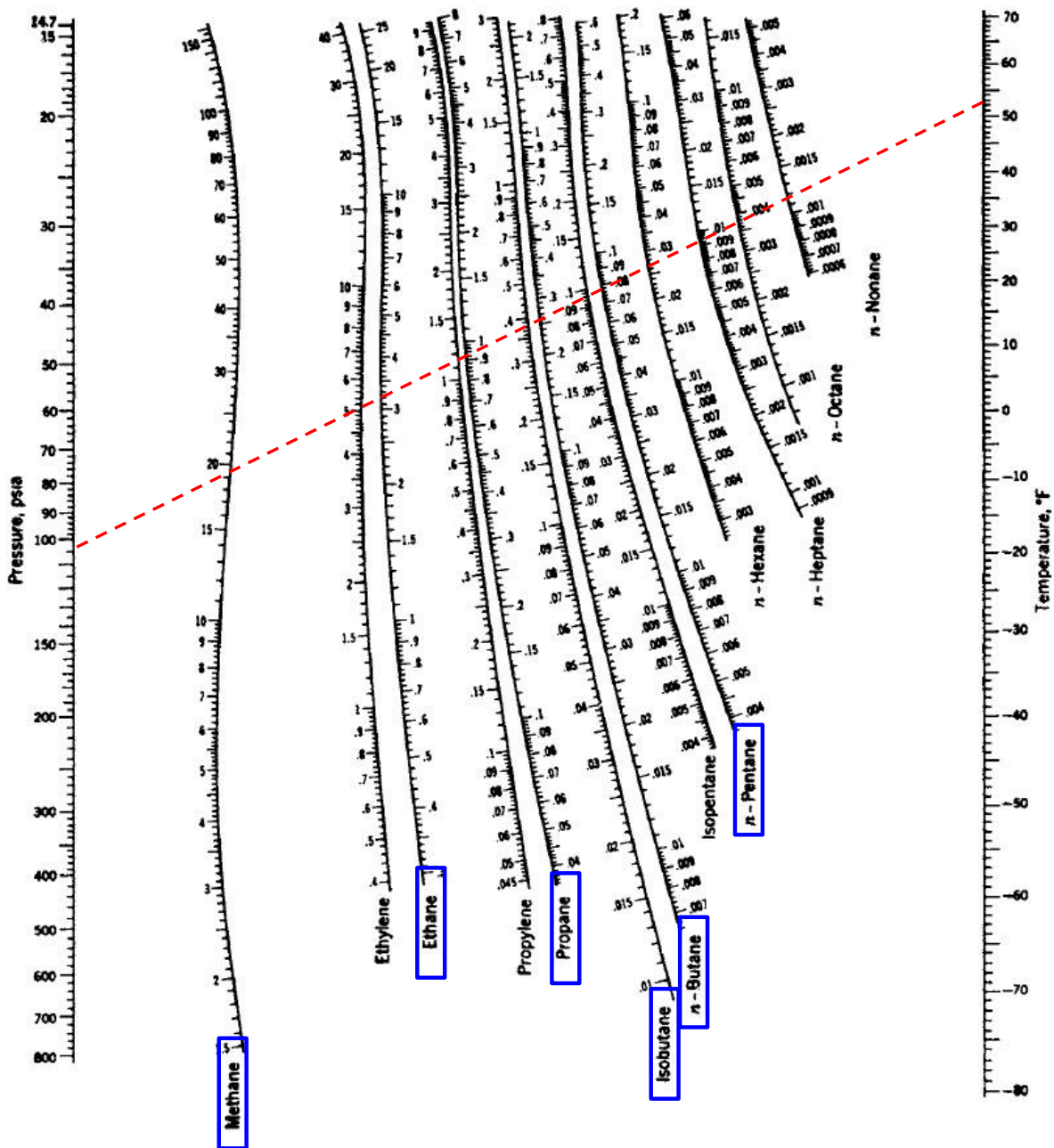
$$y_6 = K_6 z_6 = 0.048 \times 0.30 = 0.01440$$

$$\Sigma y_i = 0.35600 + 0.21200 + 0.17500 + 0.01325 + 0.05340 + 0.01440 = 0.82405 < 1$$

Como  $\Sigma y_i < 1$ , aumentar  $T$ , y regresar al inicio del procedimiento.

$T = 53^\circ\text{F}$  (Asignado).

A  $P = 103$  psia y  $T = 53^\circ\text{F}$  de los diagramas de DePriester:



$$K_1 = 19.5; K_2 = 3.25; K_3 = 0.92; K_4 = 0.38; K_5 = 0.26; K_6 = 0.078$$

Composición del vapor:  $y_i = K_i z_i$

$$y_1 = K_1 z_1 = 19.5 \times 0.02 = 0.3900$$

$$y_2 = K_2 z_2 = 3.25 \times 0.08 = 0.2600$$

$$y_3 = K_3 z_3 = 0.92 \times 0.25 = 0.2300$$

$$y_4 = K_4 z_4 = 0.38 \times 0.05 = 0.0190$$

$$y_5 = K_5 z_5 = 0.26 \times 0.30 = 0.0780$$

$$y_6 = K_6 z_6 = 0.078 \times 0.30 = 0.0234$$

$$\Sigma y_i = 0.3900 + 0.2600 + 0.2300 + 0.0190 + 0.0780 + 0.0234 = 1.0004$$

Como  $\Sigma y_i \approx 1$ , Fin. Salida:  $T_b = 53^\circ\text{F}$ .

### Resumen:

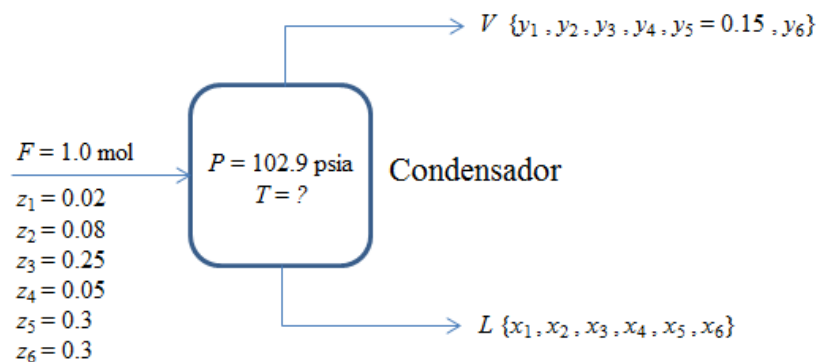
Temperatura de burbuja:  $T_b = 53^\circ\text{F} = 11.7^\circ\text{C}$ .

Composición de las fases en equilibrio:

Líquido:  $x_1 = 0.02$ ;  $x_2 = 0.08$ ;  $x_3 = 0.25$ ;  $x_4 = 0.05$ ;  $x_5 = 0.3$ ;  $x_6 = 0.3$

Vapor:  $y_1 = 0.3900$ ;  $y_2 = 0.2600$ ;  $y_3 = 0.2300$ ;  $y_4 = 0.0190$ ;  $y_5 = 0.0780$ ;  $y_6 = 0.0234$

b)



Composición del vapor:  $y_i = \frac{K_i z_i}{1 + V(K_i - 1)}$

$$y_1 = \frac{K_1 z_1}{1 + V(K_1 - 1)} \quad (1)$$

$$y_2 = \frac{K_2 z_2}{1 + V(K_2 - 1)} \quad (2)$$

$$y_3 = \frac{K_3 z_3}{1 + V(K_3 - 1)} \quad (3)$$

$$y_4 = \frac{K_4 z_4}{1 + V(K_4 - 1)} \quad (4)$$

$$y_5 = \frac{K_5 z_5}{1 + V(K_5 - 1)} \quad (5)$$

$$y_6 = \frac{K_6 z_6}{1 + V(K_6 - 1)} \quad (6)$$

Al multiplicar la ecuación (5) por la fracción de vapor (Usamos esta ecuación porque  $y_5$  es conocido):

$$y_5 V = \frac{K_5 z_5 V}{1 + V(K_5 - 1)}$$

Al sustituir  $y_5 V$  y  $z_5$  en la ecuación anterior:

$$0.15 = \frac{K_5 (0.30) V}{1 + V(K_5 - 1)}$$

$$0.5 = \frac{K_5 V}{1 + V(K_5 - 1)}$$

$$0.5 + 0.5 V(K_5 - 1) = K_5 V$$

$$0.5 + 0.5 V K_5 - 0.5 V = K_5 V$$

$$0.5 + 0.5 V K_5 - K_5 V - 0.5 V = 0$$

$$0.5 - 0.5 V K_5 - 0.5 V = 0$$

Al simplificar entre 0.5:

$$1 - V K_5 - V = 0$$

$$1 - V(K_5 + 1) = 0$$

$$1 = V(K_5 + 1)$$

$$V = \frac{1}{K_5 + 1} \quad (7)$$

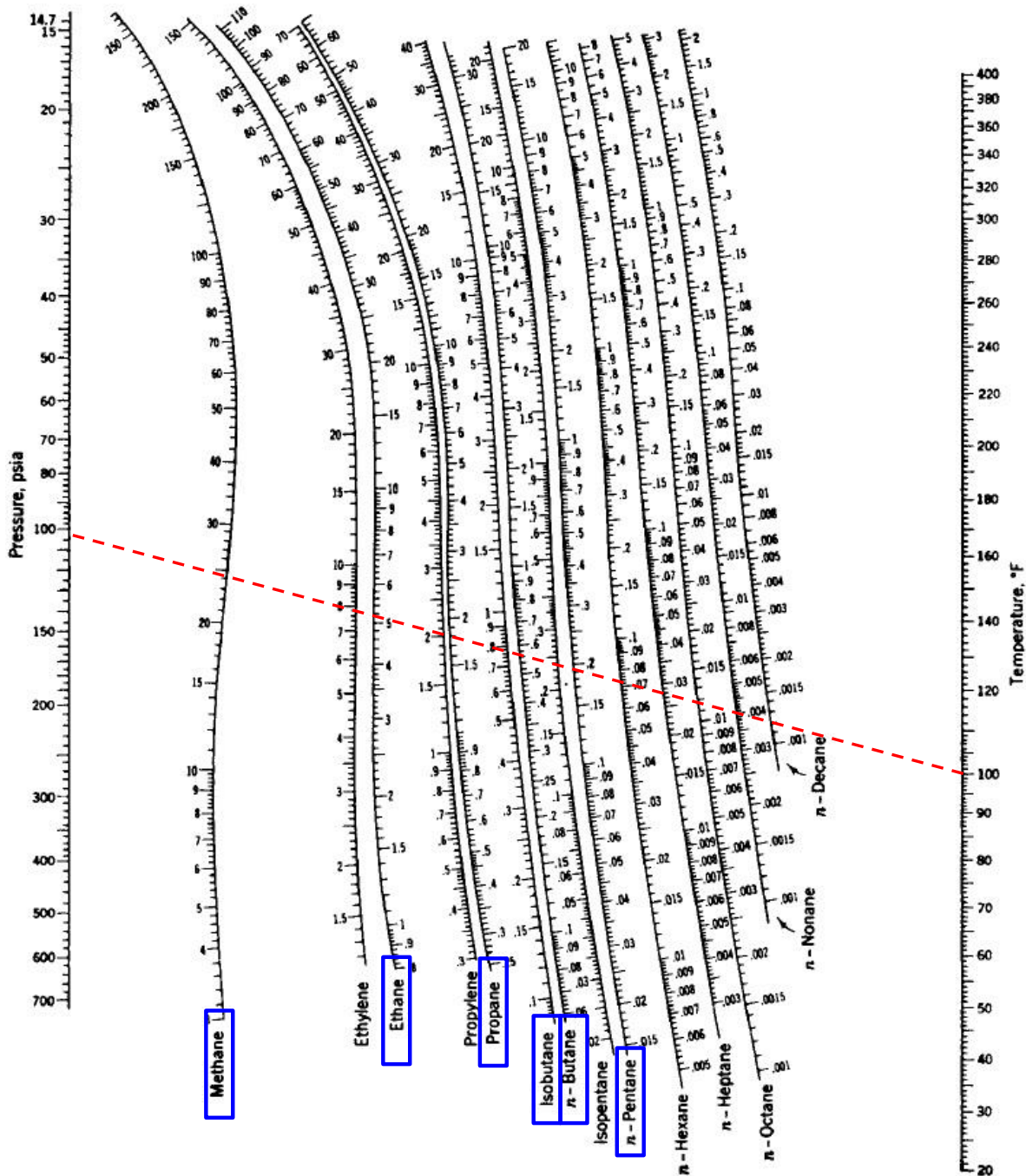
El procedimiento que conduce a la determinación de la presión es el siguiente:

- Asumir una temperatura  $T$ .
- De las gráficas de DePriester, obtener  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_5$  y  $K_6$  a  $P = 102.9$  psia y  $T$ .
- Calcular  $V$  con la ecuación (7).
- Calcular  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$  y  $y_6$  con las ecuaciones (1) – (4) y (6) .
- Verificar que  $\sum y_i = 1$ . Si  $\sum y_i > 1$ , disminuir  $T$ , y regresar al inicio del procedimiento.

Desarrollo del procedimiento:

a)  $T = 100^\circ\text{F}$ .

b) A  $P = 102.9$  psia y  $T = 100^\circ\text{F}$  de los diagramas de DePriester:



$$K_1 = 24.2; K_2 = 5.15; K_3 = 1.8; K_4 = 0.77; K_5 = 0.57; K_6 = 0.191$$

$$c) V = \frac{1}{0.57+1}$$

$$V = 0.6369$$

$$d) y_1 = \frac{24.2 \times 0.02}{1 + 0.6369(24.2 - 1)} = 0.030679$$

$$y_2 = \frac{5.15 \times 0.08}{1 + 0.6369(5.15 - 1)} = 0.113089$$

$$y_3 = \frac{1.8 \times 0.25}{1 + 0.6369(1.8 - 1)} = 0.298108$$

$$y_4 = \frac{0.77 \times 0.05}{1 + 0.6369(0.77 - 1)} = 0.045107$$

$$y_5 = \frac{0.57 \times 0.3}{1 + 0.6369(0.57 - 1)} = 0.235494$$

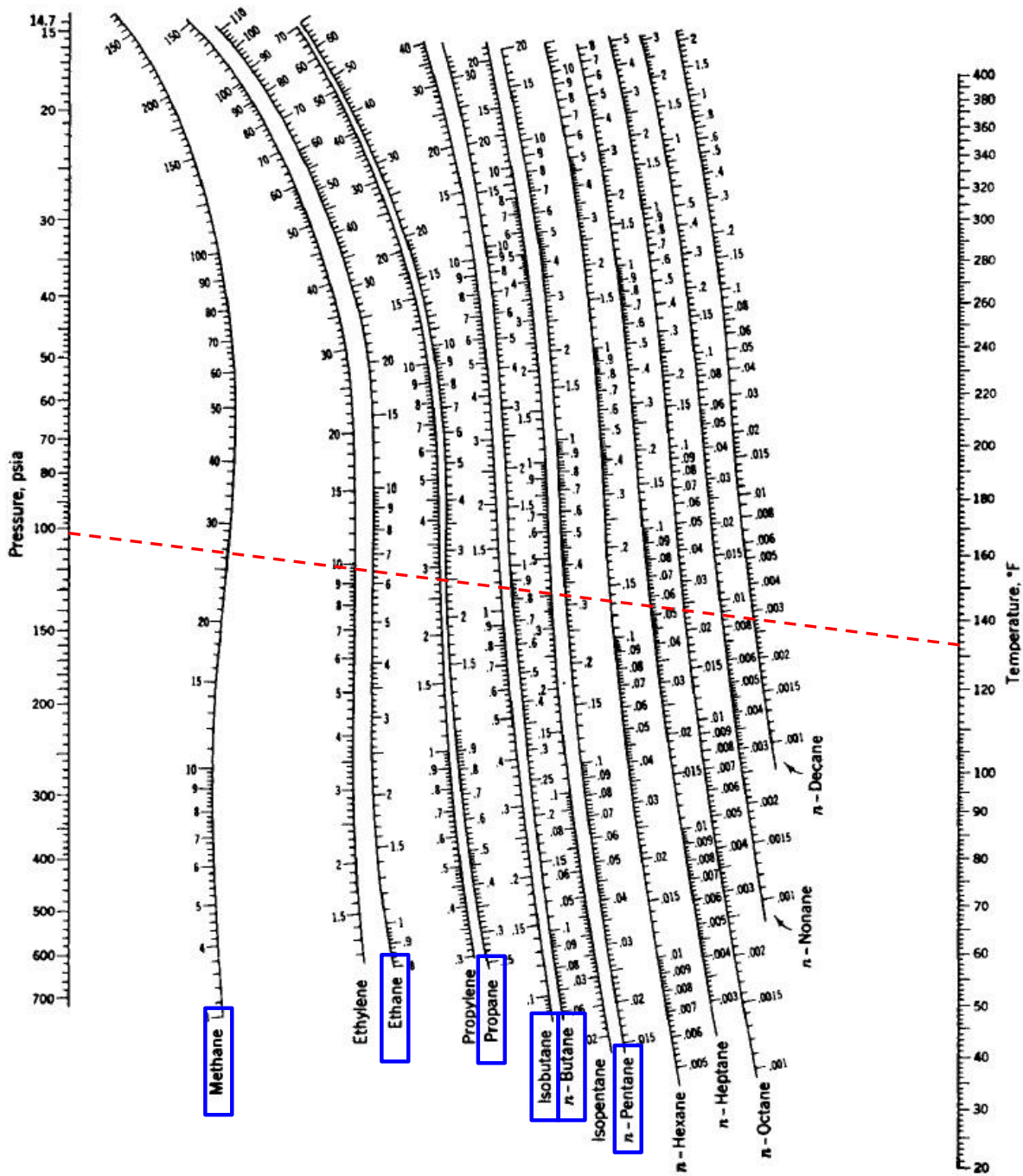
$$y_6 = \frac{0.191 \times 0.3}{1 + 0.6369(0.191 - 1)} = 0.118205$$

$$e) \Sigma y_i = 0.030679 + 0.113089 + 0.298108 + 0.045107 + 0.235494 + 0.118205 = 0.840682 < 1$$

Como  $\Sigma y_i < 1$ , aumentar  $T$ , y regresar al inicio del procedimiento.

a)  $T = 133^\circ\text{F}$  (Asignado).

b) A  $P = 102.9$  psia y  $T = 133^\circ\text{F}$  de los diagramas de DePriester:



$$K_1 = 26.5; K_2 = 6.4; K_3 = 2.48; K_4 = 1.17; K_5 = 0.85; K_6 = 0.32$$

$$c) V = \frac{1}{0.85+1}$$

$$V = 0.5405$$

$$d) y_1 = \frac{26.5 \times 0.02}{1 + 0.5405(26.5 - 1)} = 0.035853$$

$$y_2 = \frac{6.4 \times 0.08}{1 + 0.5405(6.4 - 1)} = 0.130656$$

$$y_3 = \frac{2.48 \times 0.25}{1 + 0.5405(2.48 - 1)} = 0.344457$$

$$y_4 = \frac{1.17 \times 0.05}{1 + 0.5405(1.17 - 1)} = 0.053577$$

$$y_5 = \frac{0.85 \times 0.3}{1 + 0.5405(0.85 - 1)} = 0.277498$$

$$y_6 = \frac{0.32 \times 0.3}{1 + 0.5405(0.32 - 1)} = 0.151788$$

$$e) \Sigma y_i = 0.035853 + 0.130656 + 0.344457 + 0.053577 + 0.277498 + 0.151788 = 0.993829$$

e) Como  $\Sigma y_i \approx 1$ , Fin. Salida:  $T = 133^\circ\text{F}$ .

Cálculo de las composiciones del líquido y el vapor.

Vapor: Son valores conocidos. Se calcularon para determinar la temperatura.

$$y_1 = 0.035853, y_2 = 0.130656; y_3 = 0.344457; y_4 = 0.053577; y_5 = 0.277498; y_6 = 0.151788$$

$$\text{Líquido: } x_i = \frac{y_i}{K_i}$$

$$x_1 = \frac{0.035853}{26.5} = 0.001352$$

$$x_2 = \frac{0.130656}{6.4} = 0.020415$$

$$x_3 = \frac{0.344457}{2.48} = 0.138894$$

$$x_4 = \frac{0.053577}{1.17} = 0.045792$$

$$x_5 = \frac{0.277498}{0.85} = 0.326468$$



$$x_6 = \frac{0.151788}{0.32} = 0.474338$$

Resumen:

Temperatura:  $T = 133^\circ\text{C}$ .

Composición de las fases en equilibrio:

Líquido:  $x_1 = 0.001352$ ;  $x_2 = 0.020415$ ;  $x_3 = 0.138894$ ;  $x_4 = 0.045792$ ;  $x_5 = 0.326468$ ;  $x_6 = 0.474338$

Vapor:  $y_1 = 0.035853$ ,  $y_2 = 0.130656$ ;  $y_3 = 0.344457$ ;  $y_4 = 0.053577$ ;  $y_5 = 0.277498$ ;  $y_6 = 0.151788$

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](mailto: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.