

Evaluación de producto

Programación para Ingeniería

Determinación del número de platos en una columna de destilación

MCC. Daniel G Cantón Puerto

Noviembre 2024

La destilación es el proceso que consiste en vaporizar parcialmente un líquido contenido en un recipiente y la subsiguiente condensación del vapor en un recipiente separado. La mezcla de vapores generado posee diferente composición que la mezcla de líquidos que la origina, obteniéndose en la fase vapor una mezcla mas enriquecida en el componente más volátil. Dos líquidos diferentes tendrán distintas presiones de vapor a una misma temperatura o, lo que es equivalente, a igual presión total sus puntos de ebullición diferirán. Este es el fundamento de la destilación y su uso como técnica separativa.

El método de Sorel-Lewis se utiliza para determinar el número de platos de una columna de destilación. Como se muestra en la Figura 1, se alimenta al destilador una corriente F (x_F fracción molar del componente más volátil), de dos compuestos, y se obtiene un producto de fondo B (residuo que no se pudo destilar. x_B fracción molar del componente más volátil) y otro producto del componente más volátil D (x_D fracción molar del componente más volátil). El objetivo de este método es determinar el número de platos necesarios en la columna, para obtener la fracción x_D de componente destilado.

El primer paso es hacer un balance de materia, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} D + B &= F \\ x_D D + x_B B &= x_F F \end{aligned} \tag{1}$$

al resolver el sistema, se obtienen los valores para B y D . Lo siguiente es obtener los flujos molares de vapor y líquido, L_n^1 , V_n , L_m , y V_m .

¹ r_f son los kgmol de reflujo por kgmol de producto destilado

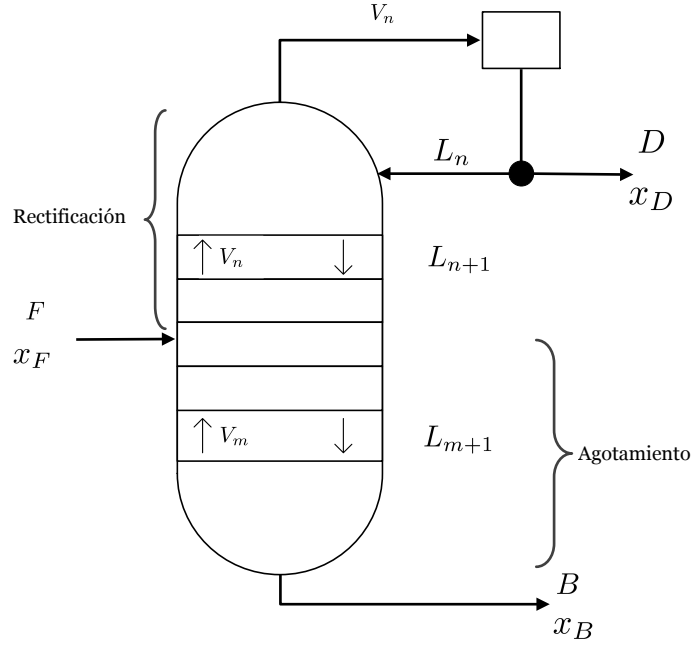


Figure 1: Columna de destilación

$$L_n = r_f D \quad (2)$$

$$V_n = L_n + D \quad (3)$$

$$L_m = L_n + F \quad (4)$$

$$V_m = L_m - B \quad (5)$$

El tercer paso consiste en obtener las líneas de rectificación y agotamiento, a partir de las siguientes ecuaciones, sustituyendo los valores obtenidos en 2, 3, 4 y 5.

$$y_n = \frac{L_n}{V_n}(x_{n+1}) + \frac{D}{V_n}(x_D) \quad (6)$$

$$y_m = \frac{L_m}{V_m}(x_{m+1}) - \frac{B}{V_m}(x_B) \quad (7)$$

finalmente utilizando la curva de equilibrio² que se muestra en la ecuación 8, se utiliza el algoritmo 1 para obtener el número de platos necesarios en la columna de destilación.

$$y = 0.6465x^3 - 1.8199x^2 + 2.1725x + 0.004 \quad (8)$$

²La curva de equilibrio varía de acuerdo al problema. Para efecto del proyecto, utilizaremos solamente la ecuación 8 como la curva de equilibrio.

Algorithm 1: Algoritmo de Sorel Lewis.

Input : La curva de equilibrio y , la recta de rectificación y_n , la recta de agotamiento y_m , x_D , x_F y x_B

Output: El número de platos totales de la columna, el plato de alimentación, el número de platos de rectificación, el número de platos de agotamiento y el plato rehervidor.

```
1  $t = 0$ 
2  $y_t = x_D$ 
3 Encontrar  $x_t$  usando la ecuación 8 cuando se iguala a  $y_t$  (utilizar el algoritmo de bisección)
4 Inicia la fase de rectificación
5 while  $x_t > x_F$  do
6   | Susituir  $x_t$  en  $y_n$ , ecuación 6
7   |  $t = t + 1$ 
8   | Encontrar  $x_t$  usando la ecuación 8 cuando se iguala a  $y_t$  (utilizar el algoritmo de bisección)
9 end while
10  $alimentacion = t$ 
11 Finaliza la fase de rectificación.
12 Inicia la fase de agotamiento
13 while  $x_t > x_B$  do
14   | Susituir  $x_t$  en  $y_m$ , ecuación 7
15   |  $t = t + 1$ 
16   | Encontrar  $x_t$  usando la ecuación 8 cuando se iguala a  $y_t$  (utilizar el algoritmo de bisección)
17 end while
18 Finaliza la fase de agotamiento.
19 El plato de alimentación es el número,  $alimentacion$ .
20 El número de platos totales es  $t$ .
21 El número de platos de agotamiento es  $t$ -número de platos de rectificación - 1.
22 El último plato de la columna se llama Rehervidor.
```

A continuación se presenta un ejemplo muestra, que servirá para verificar que el programa calcule correctamente los resultados solicitados.

Ejemplo 1 *Se tiene una mezcla de benceno-tolueno con 40% de benceno. Se desea obtener 90% de benceno como destilado y 10% como producto de fondos. La alimentación es de 100kgmol de la mezcla, y entra a su punto de ebullición. Se propone un reflujo de 3kgmol por kgmol de destilado. Todos los porcentajes son fracción mol.*

Solución. Los datos iniciales son: $F = 100\text{kgmol}$, $x_D = 0.9$, $x_B = 0.1$, $r_f = 3$. Se sustituyen los valores correspondientes en el sistema de ecuaciones 1, para realizar un

balance de materia, quedando de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} D + B &= 100 \\ 0.9D + 0.1B &= 40 \end{aligned} \tag{9}$$

Después de resolver el sistema de ecuaciones, se obtiene que:

$$\begin{aligned} B &= 62.5 \text{kgmol} \\ D &= 37.5 \text{kgmol} \end{aligned}$$

Lo siguientes es calcular los valores para L_n , V_n , L_m y V_m , utilizando las ecuaciones 2,3, 4 y 5 respectivamente. De esta forma obtenemos:

$$\begin{aligned} L_n &= r_f D = 3(37.5) = 112.5 \text{kgmol} \\ V_n &= L_n + D = 112.5 + 37.5 = 150 \text{kgmol} \\ L_m &= L_n + F = 112.5 + 100 = 212.5 \text{kgmol} \\ V_m &= L_m - B = 212.5 - 62.5 = 150 \text{kgmol} \end{aligned}$$

A continuación, se substituyen los valores obtenidos en las ecuaciones 6 y 7 para obtener las rectas de rectificación (y_n) y agotamiento (y_m).

$$\begin{aligned} y_n &= \left(\frac{112.5}{150} \right) x_{n+1} + \frac{(37.5)(0.9)}{150} \Rightarrow y_n = 0.75x_{n+1} + 0.225 \\ y_m &= \left(\frac{212.5}{150} \right) x_{m+1} - \frac{(62.5)(0.1)}{150} \Rightarrow y_m = 1.415x_{m+1} - 0.042 \end{aligned}$$

Utilizar el algoritmo 1 para determinar el número de platos necesarios para la columna de destilación.

Iteración 0 ($t = 0$)

Hacer $y_t = x_D = 0.9$. Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned} 0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.9 \\ 0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.896 &= 0 \end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.79$$

Utilizar la línea de operación de rectificación (ecuación 6) como y_t .

Iteración 1

Sustituir $x_t = 0.79$ en y_t

$$y_t = 0.75(0.79) + 0.225 = 0.593 + 0.225 = 0.818 \Rightarrow y_t = 0.818$$

Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned}0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.818 \\0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.814 &= 0\end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.644$$

Iteración 2

Sustituir $x_t = 0.644$ en y_t

$$y_t = 0.75(0.644) + 0.225 = 0.483 + 0.225 = 0.708 \Rightarrow y_t = 0.708$$

Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned}0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.708 \\0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.704 &= 0\end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.492$$

Iteración 3

Sustituir $x_t = 0.492$ en y_t

$$y_t = 0.75(0.492) + 0.225 = 0.369 + 0.225 = 0.594 \Rightarrow y_t = 0.594$$

Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned}0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.594 \\0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.59 &= 0\end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.382$$

Debido a que $x_t < x_F$, $0.382 < 0.4$. Se termina la fase de rectificación. Se establece el plato de alimentación como el número 3.

Utilizar la línea de operación de agotamiento (ecuación 7) como y_t .

Iteración 4 Sustituir $x_t = 0.382$ en y_t

$$y_t = 1.415(0.382) - 0.042 = 0.54 - 0.042 = 0.498 \Rightarrow y_t = 0.498$$

Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned}0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.498 \\0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.494 &= 0\end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.298$$

Iteración 5 Sustituir $x_t = 0.298$ en y_t

$$y_t = 1.415(0.298) - 0.042 = 0.421 - 0.042 = 0.379 \Rightarrow y_t = 0.379$$

Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned}0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.379 \\0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.375 &= 0\end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.208$$

Iteración 6 Sustituir $x_t = 0.208$ en y_t

$$y_t = 1.415(0.208) - 0.042 = 0.294 - 0.042 = 0.252 \Rightarrow y_t = 0.252$$

Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned}0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.252 \\0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.248 &= 0\end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.12$$

Iteración 7 Sustituir $x_t = 0.12$ en y_t

$$y_t = 1.415(0.12) - 0.042 = 0.169 - 0.042 = 0.127 \Rightarrow y_t = 0.127$$

Sustituir y_t en la curva de equilibrio (ecuación 8):

$$\begin{aligned}0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t + 0.004 &= 0.127 \\0.6465x_t^3 - 1.8199x_t^2 + 2.1725x_t - 0.123 &= 0\end{aligned}$$

Utilizar el método numérico de bisección para hallar x_t en la ecuación anterior quedando:

$$x_t = 0.048$$

Debido a que $x_t < x_B$, $0.048 < 0.1$. Se termina la fase de agotamiento y se presentan los resultados.

El número de platos totales de la columna es de 7.

El plato de alimentación es el número 3.

El número de platos de rectificación es de 3.

El número de platos de agotamiento es de 3.

El plato rehornador es el número 7.

■

Los lineamientos para el desarrollo y entrega del proyecto son los siguientes:

- El proyecto se realizará en equipos de trabajo colaborativo de máximo 4 integrantes.
- Se realizarán reuniones con los equipos para verificar los avances. En estas reuniones evaluará la participación de los integrantes del equipo en el desarrollo del proyecto, por lo que para tener derecho a los 10 puntos de funcionalidad, deben de tener una participación activa en cada una de las 3 reuniones que se requieren como mínimo.
- Se subirán a la plataforma el o los scripts de Python solicitados y un archivo que contenga un manual de usuario. El manual de usuario debe de contener una portada, tabla de contenido y capturas de pantalla del uso correcto del programa, buena ortografía y redacción.
- La puntuación del proyecto (30 puntos) se obtiene como sigue:
 - En el programa (10 puntos) se evaluará:
 - * Funcionalidad (5 puntos)
 - * Uso de funciones para modularidad y validación de datos (3 puntos)
 - * Documentación del código con Google docstrings (2 punto)
 - En el manual de usuario (5 puntos):
 - * Que se encuentre completo e indique claramente lo que el usuario debe de hacer para utilizar correctamente el programa. Debe de incluir capturas de pantalla de las diferentes secciones del programa. En las capturas, no debe mostrarse la barra de inicio de Windows. (3 Puntos)
 - * Uso correcto de las reglas gramaticales y ortográficas (Sólo se permite un máximo de dos errores) (1 punto)
 - * Uso de técnicas verbales de comunicación efectivas (Sólo se permite un error en la redacción). El documento deberá estar correctamente redactado. (1 punto)
 - Evaluación oral (15 puntos):

- * Se realizará de manera individual y consistirá en tres preguntas de **5 puntos** cada una.
- * Se evaluará el conocimiento que el alumno tenga acerca de la funcionalidad del programa y todos los elementos que se hayan utilizado en el mismo.