

Laboratorio de Operaciones Unitarias

Experiencia: Destilación con Alimentación Lateral

1.- Marco Teórico

La destilación es una de las operaciones unitarias fundamentales dentro de la ingeniería de procesos. Su objetivo es separar un componente valioso de una mezcla líquida basándose en la diferencia de volatilidades de los componentes que son parte de la mezcla. A su vez, existen diferentes tipos de operaciones de destilación, en esta sección se cubrirá la destilación en torre de destilación con alimentación lateral.

Una de las ventajas de usar una columna de destilación es que el proceso puede conducirse de manera continua. Además, debido a la mayor cantidad de etapas de equilibrio, se obtiene un producto destilado de una composición mas constante a través del tiempo.

Uno de los métodos más comunes para calcular una torre de destilación es el método gráfico de McCabe-Thiele, que permite calcular la cantidad ideal de platos para llevar a cabo la operación de destilación.

Para aplicar el método es necesaria la construcción de distintas curvas que se basan en las condiciones de operación de la torre. La primera línea que se construye en el gráfico X/Y es la curva diagonal, luego se procede con la curva de equilibrio del sistema en cuestión, como puede verse en la Figura 1.

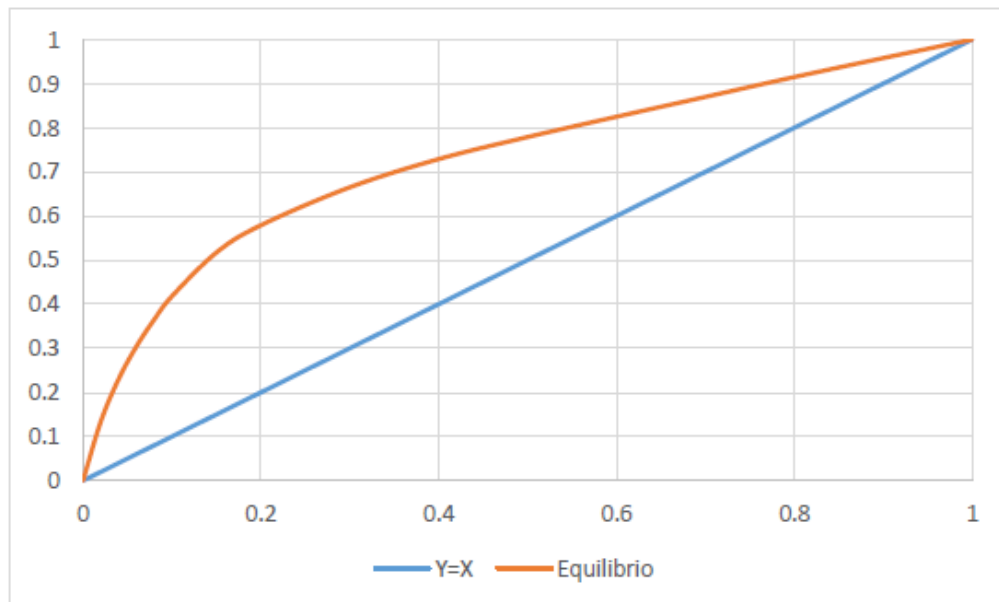


Figura 1: McCabe-Thiele - Paso 1

Luego se trazan las curvas de operación superior e inferior. La curva de operación superior se traza desde la composición de destilado X_D , la pendiente de esta línea está dada por la razón de reflujo según $R_D/(R_D+1)$.

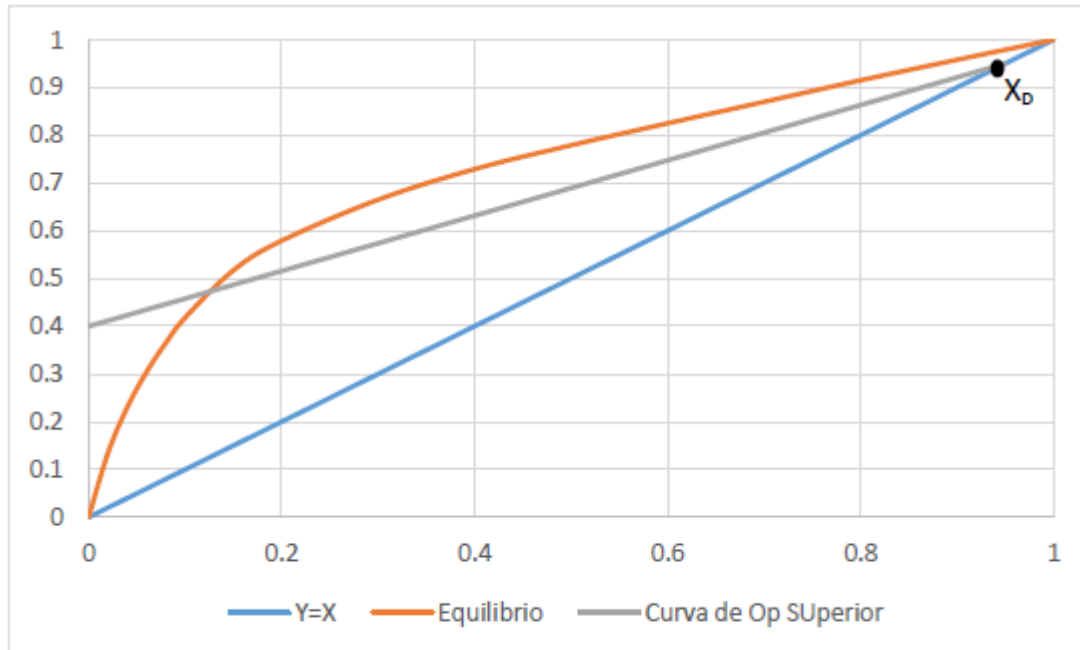


Figura 2: McCabe-Thiele - Paso 2

Trazar la curva de operación inferior puede ser un tanto complicado a esta altura, por lo que primero se discutirá la construcción de la curva de alimentación. Esta depende de la calidad térmica de la alimentación. Así se tendrá que $q > 1$ si la alimentación es líquido sub enfriado, $q = 1$ si es líquido saturado, $0 < q < 1$ si es una mezcla líquido-vapor, $q = 0$ si es vapor saturado y $q < 0$ si es vapor sobre calentado.

Para los casos de líquido sub enfriado y vapor sobre calentado, q se calcula según las Ec 1 y Ec. 2 respectivamente.

$$q = 1 + \frac{C_{pL}(T_b - T_F)}{\lambda} \quad \text{Ec. 1}$$

$$q = -\frac{C_{pV}(T_F - T_d)}{\lambda} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde C_{pL} y C_{pV} son las capacidades caloríficas del líquido y vapor respectivamente, T_F es la temperatura de la alimentación, T_b y T_d son las temperaturas de burbuja y rocío de la mezcla respectivamente y λ el calor de vaporización de la mezcla.

Finalmente, la curva de alimentación se traza desde X_F con pendiente $-q/(1-q)$. En la siguiente figura se muestra la curva de ejemplo para una alimentación de tipo líquido saturado.

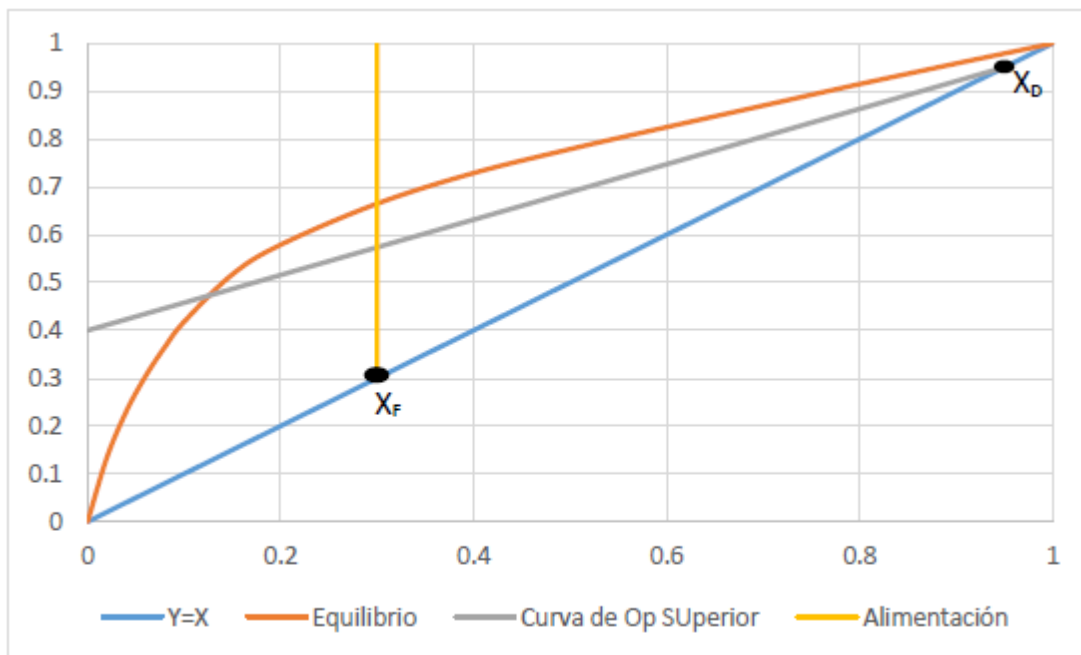


Figura 3: McCabe-Thiele - Paso 3

Luego, se traza rápidamente la línea de operación inferior, que va desde X_B hasta la intersección de la curva de operación superior y la línea de alimentación.

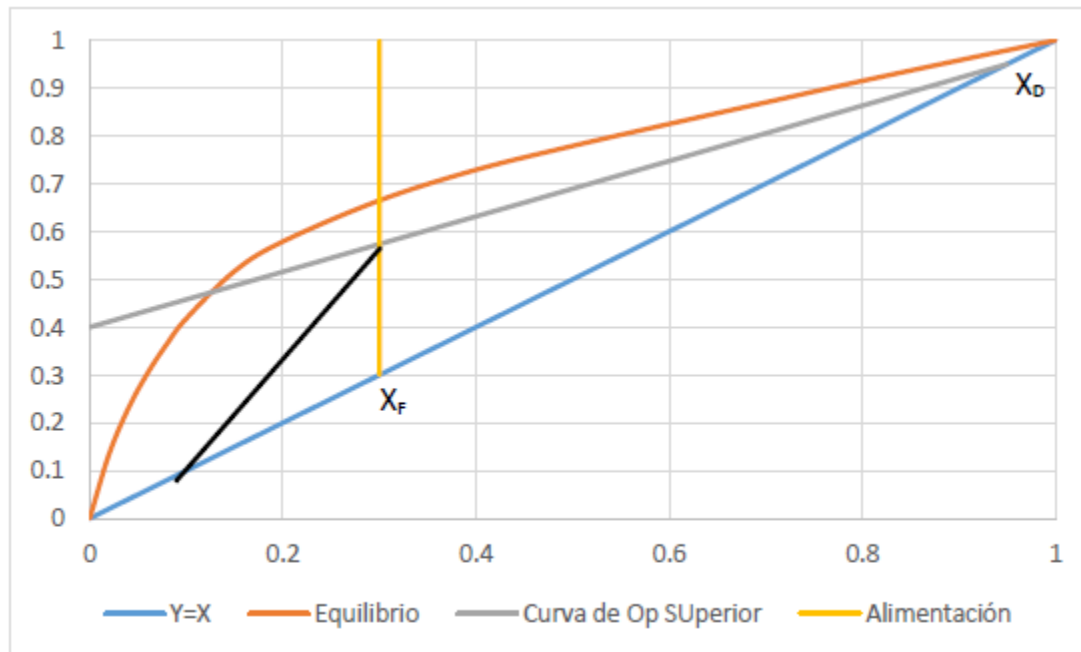


Figura 4: McCabe-Thiele - Paso 4

Finalmente se trazan líneas que van desde las líneas de operación hasta la curva de equilibrio, cada escalón obtenido de esta forma es una etapa de equilibrio, un plato.

Recordemos que este método permite obtener el número ideal de platos, por lo que el número real se obtiene mediante la eficiencia de los platos, como muestra la Ec. 3.

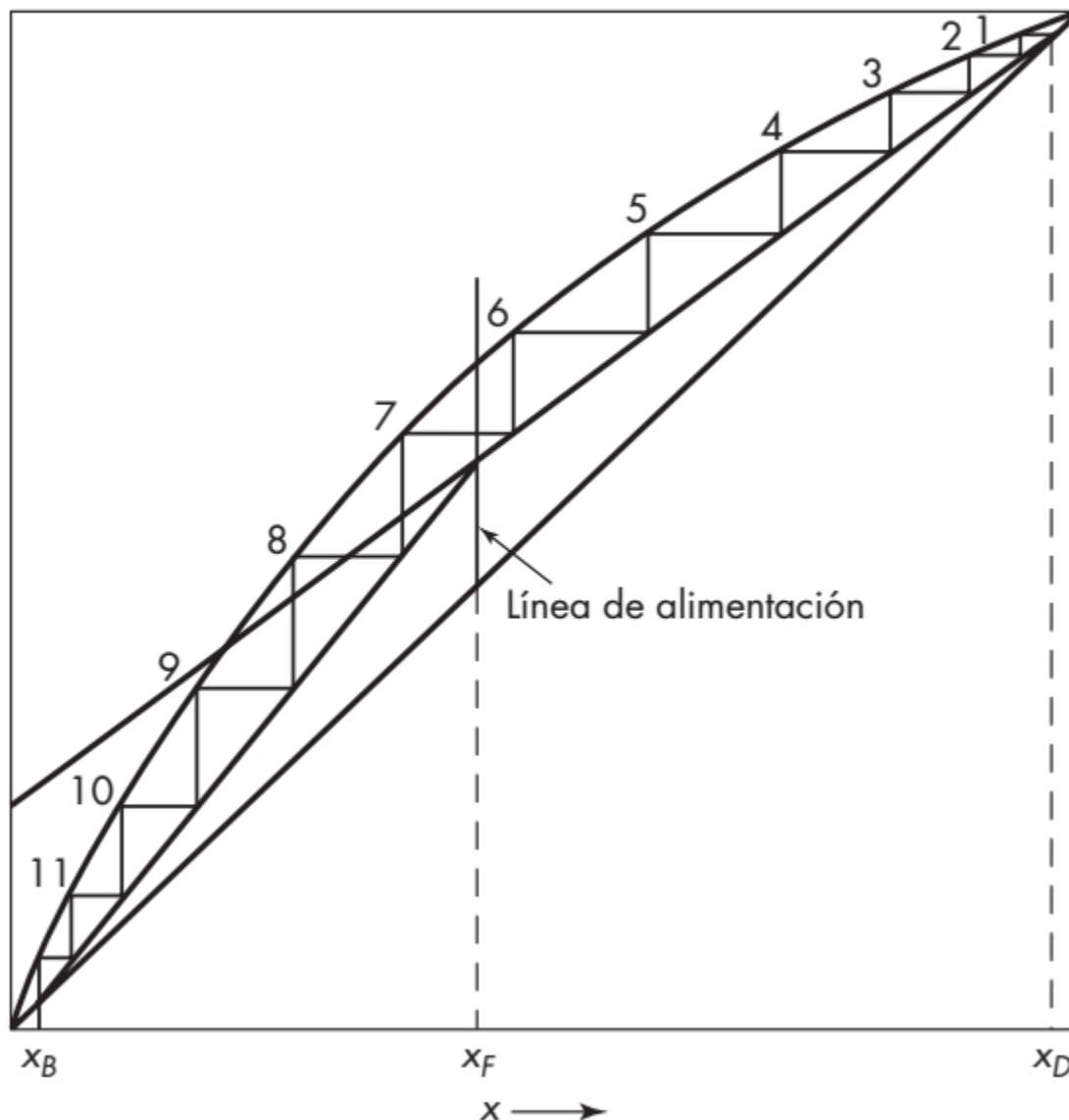


Figura 5: McCabe-Thiele - Paso 5

$$N_r = \frac{N_i}{\eta} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde N_r es el número real de platos, N_i es el número ideal de platos y η es la eficiencia de los platos.

2.- Objetivos

- 2.1.- Operar la torre de destilación con alimentación lateral
- 2.2.- Poner a régimen de operación la columna.
- 2.3.- Analizar la evolución de la composición de destilado a través del tiempo.
- 2.4.- Determinar la eficiencia de los platos de la torre.
- 2.5.- Calcular los gastos energéticos (y errores) del rehervidor y condensador.
- 2.6.- Comparar resultados con los obtenidos en la experiencia de destilación batch.

3.- Procedimiento

1. Identificar las distintas líneas presentes en el sistema, diferenciando claramente los ductos por los que circula vapor, agua de enfriamiento, producto, alimentación lateral y reflujo.
2. Línea de vapor:
Abrir las válvulas V02, V04 y V06. Cerrar las válvulas V01, V03 y V05.
3. Ubicar baldes pesados previamente en la línea de descarga de la trampa de vapor TV1 frente al rehervidor.
4. Línea de producto:
Manipular la válvula V08 de tres vías ubicada en el tercer piso de la estructura, de tal forma que se conecten la torre de destilación con el tren de condensadores. Abrir la válvula V07 ubicada en la salida superior del rehervidor.

Cerrar la válvula V11 en la línea de producto para que este circule completamente por el rotámetro R2. Revisar la configuración de las válvulas V15 y V16 de modo que el destilado llegue a un solo estanque de recepción. Las válvulas V13, V22, V23 y V24 deben estar inicialmente cerradas. Las válvulas V09, V10, V12 y V14 deben estar abiertas.
5. Línea de agua de enfriamiento:
La válvula V18 debe estar abierta. Se debe regular el flujo de agua de enfriamiento hasta que el rotámetro R1 indique un flujo de 20 [l/min] utilizando la válvula V17 ubicada en el segundo piso de la estructura.

6. Colocar termocuplas en los termopozos T1, T2 y T3 ubicados en la entrada y salida del tren de condensadores en la línea de agua de enfriamiento y en el codo superior que se encuentra antes del tren de condensadores, en la línea de producto.
Además, se deben ubicar termocuplas en cada uno de los termopozos que se encuentran en los platos de la torre (La disposición de las termocuplas puede variar dependiendo de la cantidad que se disponga).
7. Línea de reflujo:
En el tercer piso de la estructura, abrir las válvulas V25 y V27, y cerrar la válvula V26.
8. Tomar una muestra del estanque de alimentación lateral, para esto se debe agitar el contenido del estanque haciendo funcionar la bomba BC2 en un circuito cerrado. Abrir válvulas V29 y V30, luego encender la bomba BC2 durante 1 minuto aproximadamente. Finalmente, apagar la bomba y tomar muestra abriendo la válvula V28.
9. Realizar una prueba de refractometría para determinar la concentración de la alimentación. Una vez hecho esto, estimar el punto de burbuja de la mezcla.
10. En el sector de alimentación lateral, abrir las válvulas V29 y V30, esta última en un ángulo de 45°.
11. Abrir ligeramente la válvula V22 o la V23, dependiendo del estanque al cual se haga llegar el producto, y luego, abrir ligeramente la válvula V24, que da el paso al reflujo, ya que el rotámetro se podría atascar en el tope.
12. Una vez realizados los pasos anteriores, dar aviso al supervisor para abrir el paso de vapor hacia el rehervidor.
13. Regular la presión del vapor a 4 [psi] mediante la válvula V04.

14. Revisar la temperatura de la línea de producto, esto servirá de indicador para saber cuándo el vapor emanado del rehervidor está por llegar a los condensadores.
15. El producto llegará al estanque acumulador cuando el rotámetro R2 comience a marcar, en este momento se debe encender la bomba BC1 y manipular la válvula de reflujo V24 hasta que el rotámetro R3 indique el valor deseado (es importante que el caudal de reflujo no sea mayor al de producto que llega al estanque). Al mismo tiempo, se debe comenzar a manipular la válvula V17 para controlar la diferencia de temperaturas en el tren de condensadores. Si deja de caer producto a lo largo de la operación, deberán modificarse, o la presión de vapor mediante la válvula V04 o el reflujo de producto mediante la válvula V24.
16. Esperar a que las temperaturas del sistema se mantengan constantes (una vez llegado a este punto, la torre se encontrará en régimen). Anotar el perfil de temperaturas a lo largo de la torre.
17. Con la torre en régimen, determinar el plato al cual se conectará la alimentación lateral considerando que la temperatura del plato debe ser mayor a la temperatura de burbuja de la mezcla. Abrir las válvulas V31 y V32, y luego, abrir aquellas válvulas que sean necesarias para que la alimentación llegue al plato seleccionado.
18. Encender la bomba BC2 de alimentación lateral y regular las válvulas V29 y V30 hasta que el rotámetro R4 marque el flujo indicado por el supervisor. Es importante en este punto prestar atención a los cambios que se puedan presentar en las distintas variables del proceso para tomar las medidas correspondientes en cuanto al flujo de alimentación, de reflujo o presión del vapor.
19. Esperar hasta que el sistema se estabilice nuevamente.
20. Registrar el perfil de temperatura a lo largo de la torre.
21. Cronometrar 2 carreras consecutivas de 3 minutos cada una.

Para cada carrera:

- Al inicio y al final, tomar una muestra del líquido en el rehervidor mediante la válvula V20 y una del producto destilado mediante la válvula V13.
- Cambiar el balde ubicado en la descarga de la trampa de vapor TV1, registrando la masa de condensado obtenida al final de cada carrera.
- Registrar las temperaturas de entrada y salida de los condensadores, procurando que la diferencia de temperatura se encuentre entre 5 y 10 °C.

22. Una vez terminadas las carreras, dar aviso al supervisor para cerrar el paso del flujo de vapor, abrir la válvula V04, apagar las bombas BC1 y BC2, cerrar la válvula de reflujo V22 o V23, según corresponda, y mantener el flujo de agua fría en los condensadores. Luego, retirar las termocuplas.

Durante la operación, es importante tener en cuenta el tiempo que demora el producto en trasladarse desde el rehervidor hasta los estanques de recepción, el cual es de aproximadamente 12 minutos. Si el producto llegase a demorar mucho más tiempo del estimado en llegar, podría deberse a un error en la operación, una opción para este caso, es la de aumentar el flujo de agua de enfriamiento, para acelerar la condensación del producto.

4.- Referencias

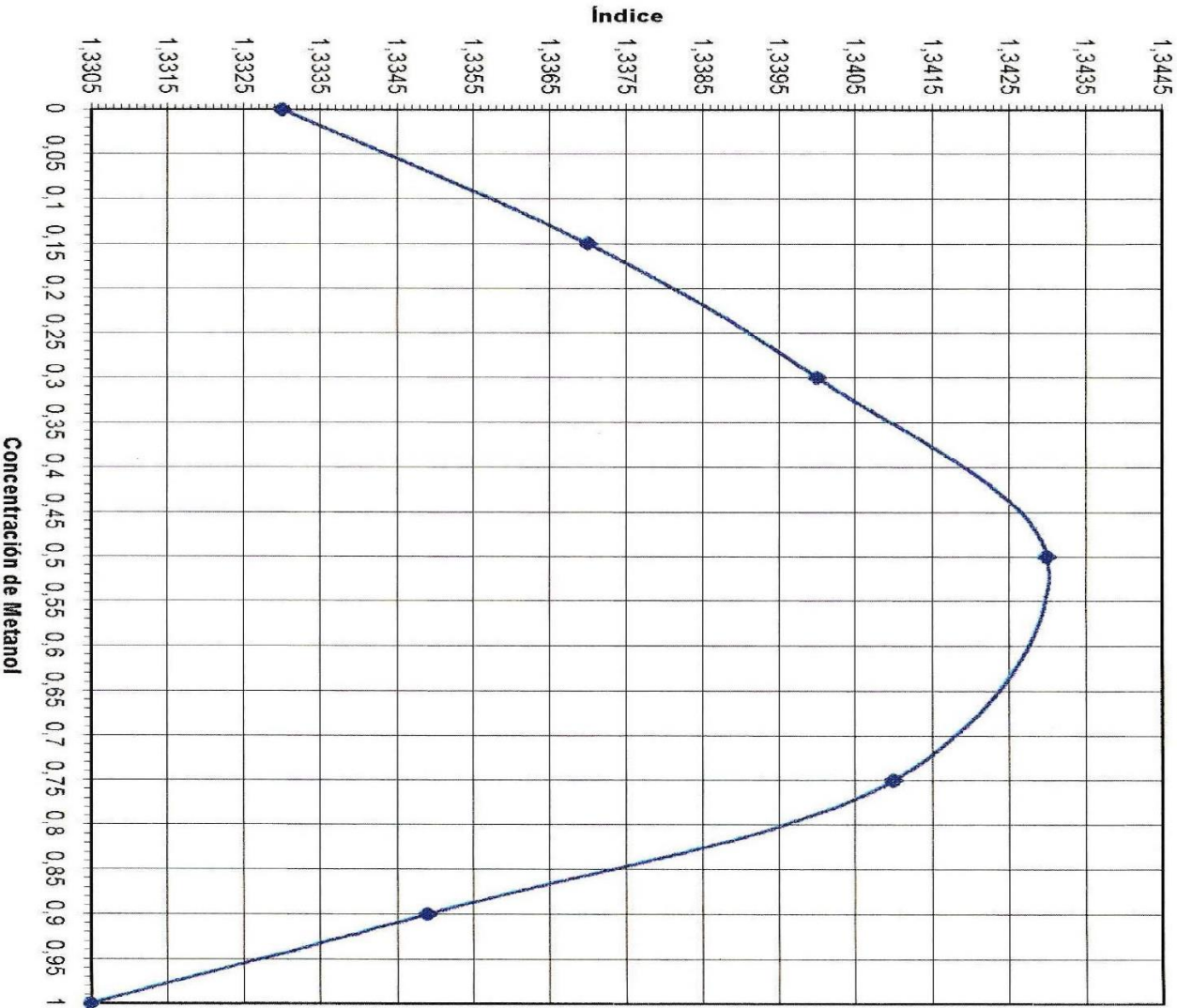
Warren L. McCabe, Julian C. Smith and Peter Harriot. 1993. Unit Operations in Chemical Engineering. McGraw-Hill, Fifth Edition.

C. Judson King. 1980. Separation Process. McGraw-Hill. Second Edition.

J. D. Seader and Ernest J. Henley. 1998. Separation Process Principles. John Wiley and sons Inc. First Edition.

Robert H. Perry. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw Hill. Seventh Edition

Apéndice A: Curva de índice de refracción mezcla metanol-agua



Apéndice B: Datos de equilibrio del sistema menatol/agua

Component		Temperature, °C	Mole fraction <i>A</i> in		Total pressure, kPa
<i>A</i>	<i>B</i>		Liquid	Vapor	
Methanol	Water	100.0	0.0	0.0	101.3
		96.4	0.020	0.134	
		93.5	0.040	0.230	
		91.2	0.060	0.304	
		89.3	0.080	0.365	
		87.7	0.100	0.418	
		84.4	0.150	0.517	
		81.7	0.200	0.579	
		78.0	0.300	0.665	
		75.3	0.400	0.729	
		73.1	0.500	0.779	
		71.2	0.600	0.825	
		69.3	0.700	0.870	
		67.5	0.800	0.915	
		66.0	0.900	0.958	
		65.0	0.950	0.979	
		64.5	1.000	1.000	