



Destilación. Fundamentos.



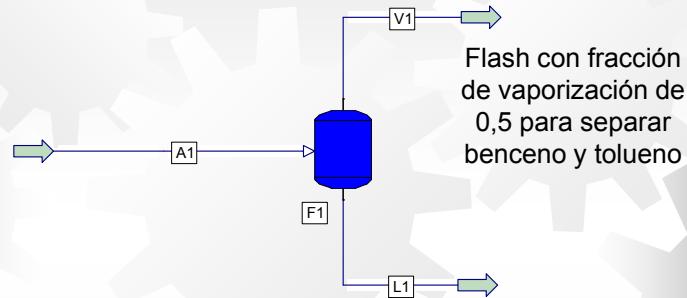
Prof. Jesús F. Ontiveros

Prof. Jesús F. Ontiveros O.

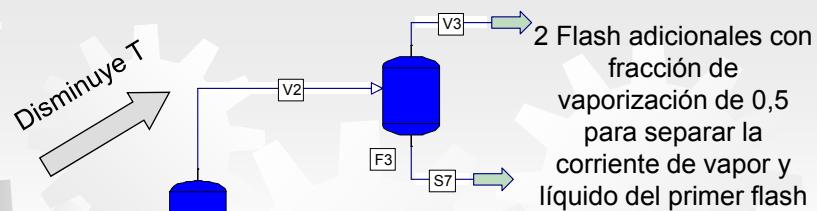
Contenido

- **Separación en Etapas Múltiples.**
Separación de una sola etapa. Etapas múltiples. Etapas en cascadas.
- **Destilación**
Definición, Generalidades.
- **Método de McCabe-Thiele**
Zonas en la columna. Zona de Enriquecimiento. Zona de agotamiento. Zona de Alimentación. Condición Térmica. Rectas de Operación. Trazado de Etapas. Etapa óptima de alimentación.

Separación en Etapas Múltiples

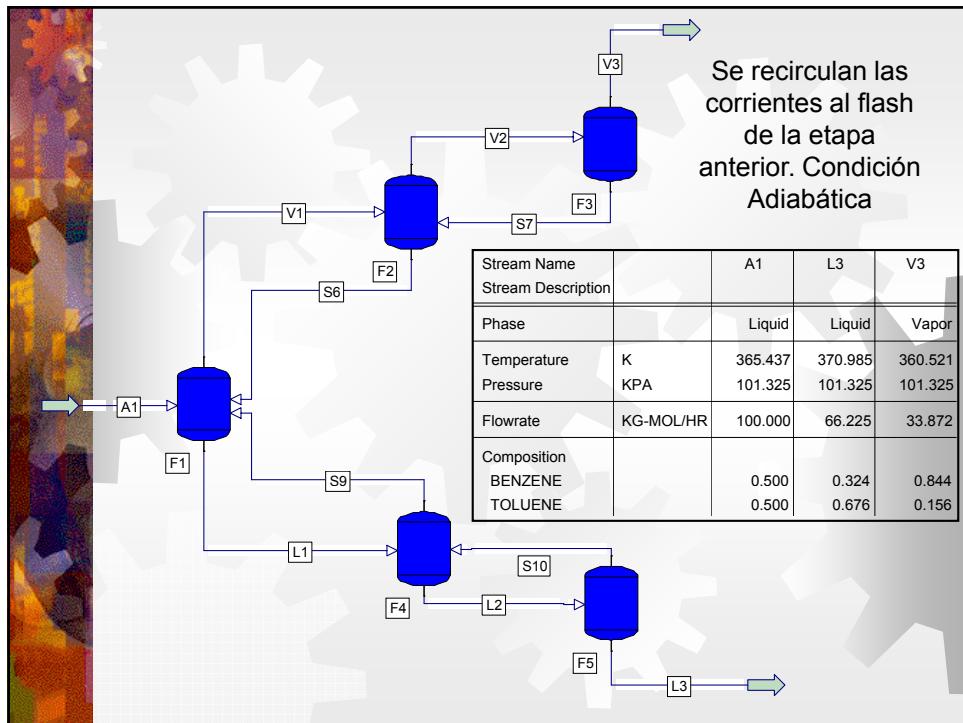


Stream Name	Stream Description	A1	L1	V1
Phase		Liquid	Liquid	Vapor
Temperature	K	365.437	368.815	368.815
Pressure	KPA	101.325	101.325	101.325
Flowrate	KG-MOL/HR	100.000	50.000	50.000
Composition				
BENZENE		0.500	0.390	0.610
TOLUENE		0.500	0.610	0.390



Stream Name	Stream Description	A1	V3	L3
Phase		Liquid	Vapor	Liquid
Temperature	K	365.437	361.955	375.416
Pressure	KPA	101.325	101.325	101.325
Flowrate	KG-MOL/HR	100.000	12.500	12.500
Composition				
BENZENE		0.500	0.808	0.200
TOLUENE		0.500	0.192	0.800

Aumenta T



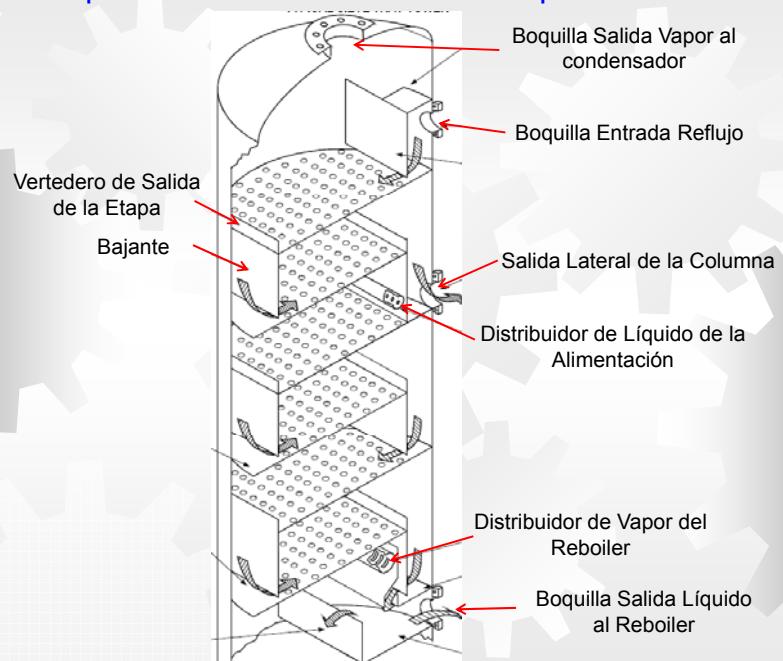
La columna de destilación puede estar estructurada internamente en platos o con empaques. Típicamente el diámetro está entre 0.3 y 10 metros (depende del flujo) mientras la altura oscila entre 3 y 75 metros (depende del grado de separación) [1]

¿Cuándo se usan platos y cuando empaques?

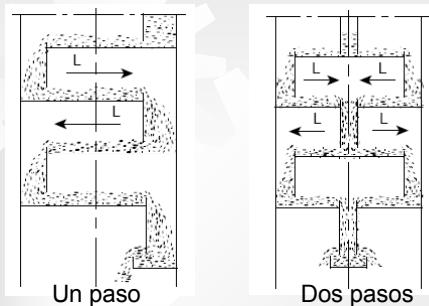
A modo general “ los platos se utilizan siempre en columnas de gran diámetro y torres con más de 20 o 30 etapas”. Las columnas con empaques se usan generalmente cuando : [4]

- Columnas con $D < 0,6$ m
- Medios corrosivos.
- Destilaciones a vacío donde es imprescindible mantener bajas caídas de presión.
- El líquido tiende a formar espumas.

• Esquema 3D de una columna de 6 platos



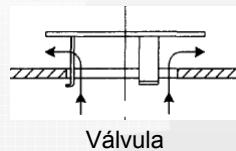
• Pasos en las etapas de una columna



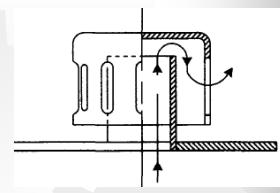
Cuatro pasos

• Tipos de Platos

Plato perforado



Válvula



Borboteo

Fotografías tomadas en el llenado con empaques nuevos de una columna de destilación durante una parada de planta



Rejilla de soporte para los empaques.

Nótese que en la parte inferior de la rejilla están ubicados los empaques





A la izquierda , fotografía de plato durante inspección. A la derecha, fotografía de un plato nuevo.

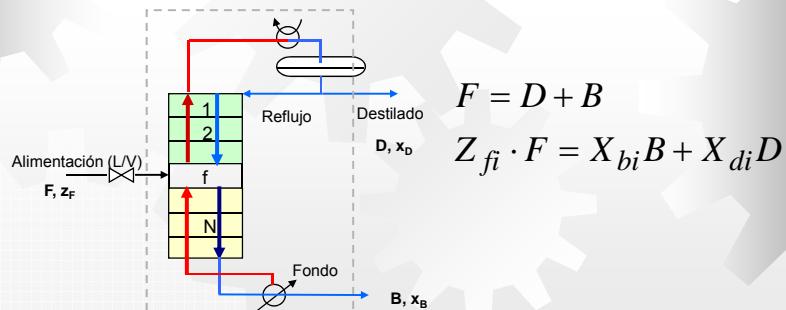
Mc Cabe Thiele

- Generalidades

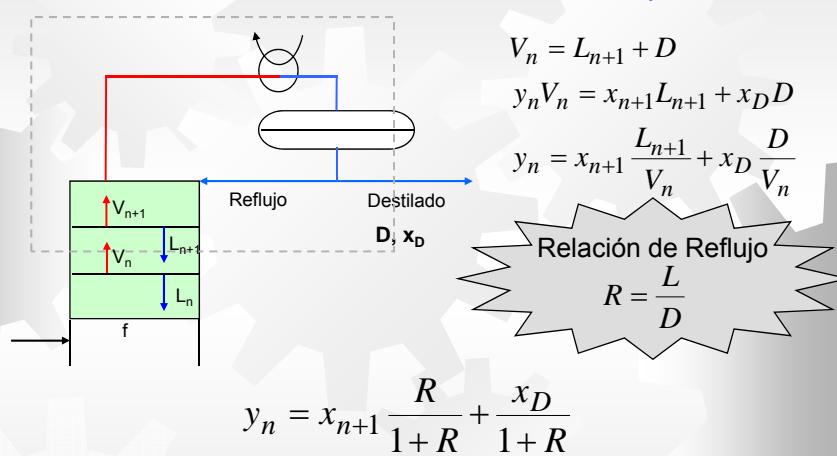
[Ind. Eng. Chem , 17, 605 (1925)]

Método gráfico para separaciones binarias

- Operación Adiabática
- No hay efectos de entalpía de mezcla y se desprecia el efecto del calor sensible
- Flujo Molar Constante en cada sección de la columna.



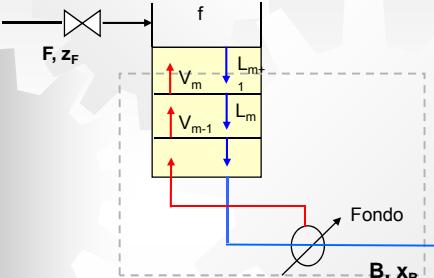
- Balance en la zona de Rectificación o Enriquecimiento



Esta es la recta de operación en la zona de rectificación. Tiene pendiente y corte positivo. Se intercepta con la línea auxiliar $y=x$ en el punto $x=X_D$

● Balance en la zona de Agotamiento o Despojamiento

Alimentación (L/V)



$$L_{m+1} = V_m + B$$

$$x_{m+1} L_{m+1} = y_m V_m + x_B B$$

$$y_m = x_{m+1} \frac{L_{m+1}}{V_m} - x_B \frac{B}{V_m}$$

Relación de Reflujo

$$R' = \frac{V}{B}$$

$$y_n = x_{m+1} \frac{R' + 1}{R'} - \frac{x_B}{R'}$$

Esta es la recta de operación en la zona de agotamiento. Tiene pendiente positiva y corte negativo. Se intercepta con la línea auxiliar $y=x$ en el punto $x=X_B$

$\frac{x_D}{R+1}$

y

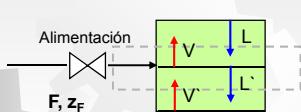
x

Recta de operación en la zona de rectificación

Recta de operación en la zona de agotamiento

Si se graficaran en un mismo diagrama las dos rectas se interceptan...
¿Dónde?

• Balance en la zona de Alimentación



$$F + L + V = L' + V'$$

$$FH_F + LH_L + V'H_{V'} = L'H_{L'} + VH_V$$

$$FH_F + H_L \cdot (L - L') = H_V \cdot (V - V')$$

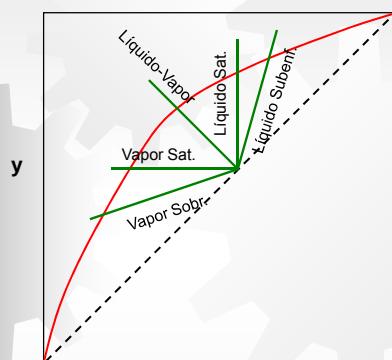
$$\frac{(H_V - H_F)}{(H_V - H_L)} = \frac{(L' - L)}{F}$$

$q > 1$	Líquido Subenfriado
$q = 1$	Líquido Saturado
$0 < q < 1$	Mezcla Líquido-Vapor
$q = 0$	Vapor Saturado
$q < 0$	Vapor Sobrecalentado

Condición Térmica q

$$q = \frac{L' - L}{F}$$

• Balance en la zona de Alimentación



$$yV = xL + x_D D$$

$$yV' = xL' - x_B B$$

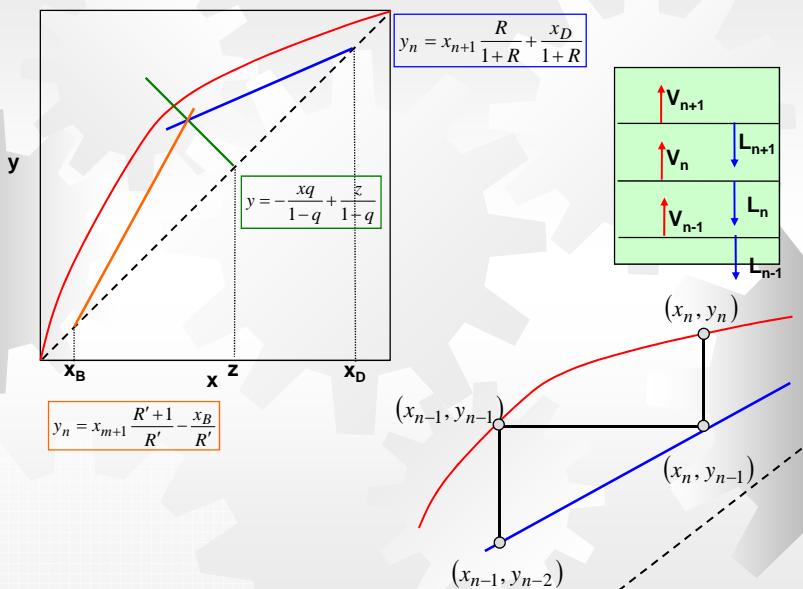
$$y(V - V') = x(L - L') + zF$$

$$y(F + L - L') = x(-qF) + zF$$

$$y = -\frac{xq}{1-q} + \frac{z}{1-q}$$

La especificación de la condición térmica y de la alimentación permiten conocer la recta de alimentación

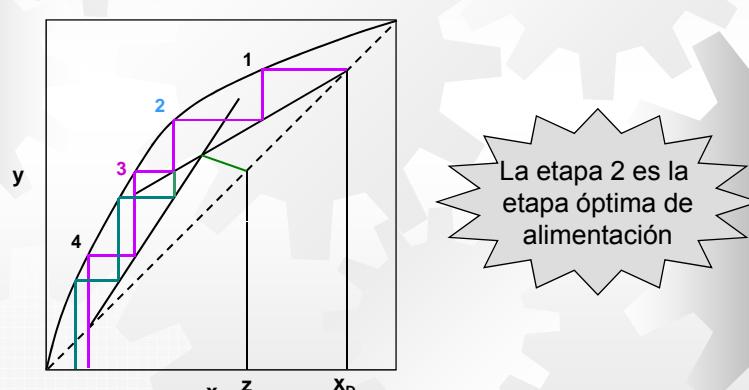
★ Rectas de Operación. Trazado de Etapas.



★ Localización de la Etapa de Alimentación.

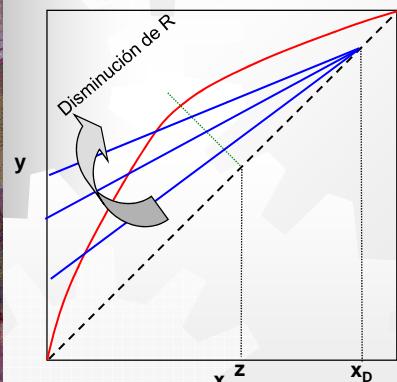
Si está especificado el número de etapas, la posición que da mayor separación entre la composición de tope y fondo.

Si no está especificado el número de etapas, la posición que minimice el número de etapas entre x_D y x_B



● **Razón de Reflujo.** $R = \frac{L}{D}$
Parámetro operacional muy importante

Influye directamente en el número de etapas

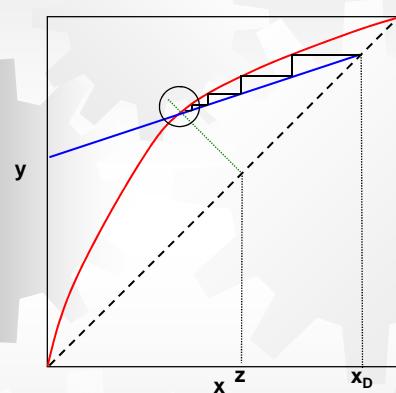


$$y_n = x_{n+1} \frac{R}{1+R} + \frac{x_D}{1+R}$$

La razón de reflujo normalmente es una función del reflujo mínimo.
Típicamente $R = (1.1-1.5)R_{\min}$

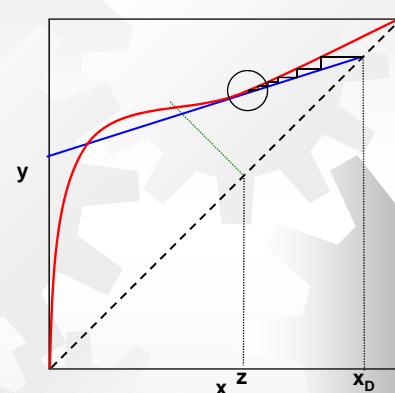
● **Razón de Reflujo. Reflujo Mínimo**

Reflujo para el cual el número de etapas requeridas es infinita



Caso A

Diagramas ideales,
intersección típica en la línea
de alimentación

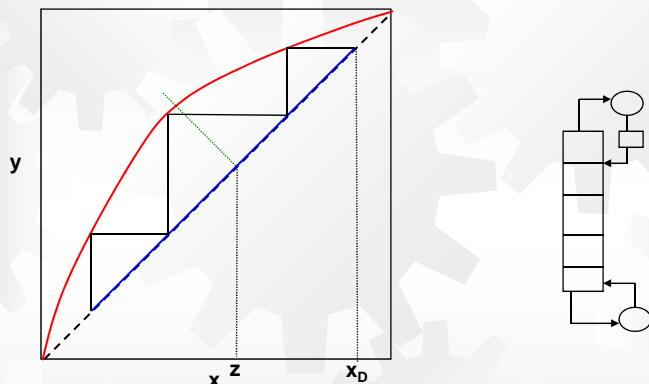


Caso B

Diagramas no ideales, intersección
en un punto de tangencia anterior
a línea de alimentación

● Razón de Reflujo. Reflujo Total.

Reflujo para el cual el número de etapas requeridas es mínimo.



● Eficiencia en las etapas.

Etapas de equilibrio \neq Platos

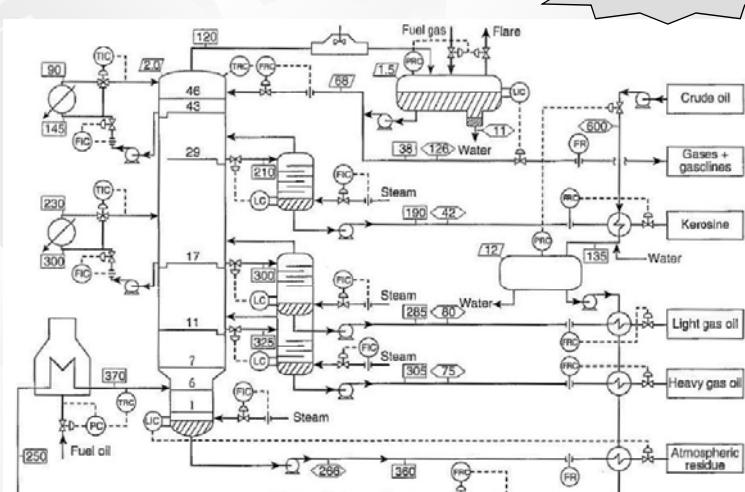
Problemas de mezclado hacen que las corrientes de salida de cada etapa no estén en equilibrio. Es necesario definir una eficiencia. La eficiencia de Murphree se establece como el cociente de la diferencia del composiciones de dos etapas sucesivas y la diferencia de las composiciones bajo consideraciones de equilibrio. Se puede tomar en base al vapor o al líquido:

$$E_v = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_{eq} - y_{n-1}} \times 100 \quad E_l = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_{eq} - x_{n-1}} \times 100$$

Destilación en la Industria

Mc Cabe-Thiele → Utilidad Pedagógica

Simuladores



Referencias

- [1] Coulson J., Richardson J., "Chemical Engineering. Volume 2: Particles Technology and Separation Processes." Quinta Edición. (2002). Pág. 542 y ss.
- [2] Perry, R., Green D., Maloney J., "Perry Manual del Ingeniero Químico." McGraw Hill. Quinta Edición. (1997). Tomo IV pág. 13-5 y ss.
- [3] King, Judson, "Procesos de Separación". Editorial Reverté (1980). Pág. 26 y ss.
- [4] Henley E. ; Seader J. "Operaciones de Separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química" Editorial Reverté (2000). Pág 108.

Foto de la portada y del contenido de la presentación corresponden a equipos durante una parada de planta. Note en la foto de portada los andamios al lado de la columna de destilación.