



Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Dpto. de Operaciones Unitarias y Proyectos



DESTILACION CONTINUA

Prof. Yoana Castillo

yoanacastillo@ula.ve

Web: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/yoanacastillo/>

CONTENIDO

- Separación en un etapa.
- Etapas múltiples.
- Etapas en cascada.
- Destilación Continua.
 - Equipos de Destilación
 - Internos de columna.
- Destilación Continua Binaria.
- Método de McCabe-Thiele.

SEPARACION EN UNA ETAPA

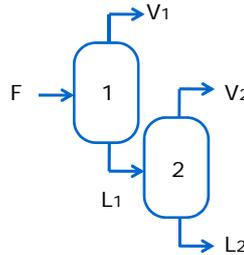
... en capítulo anterior 

Destilación Instantánea

- Operación simple
- Separación limitada.

¿Cómo obtener mayor separación?

Agregar más separadores



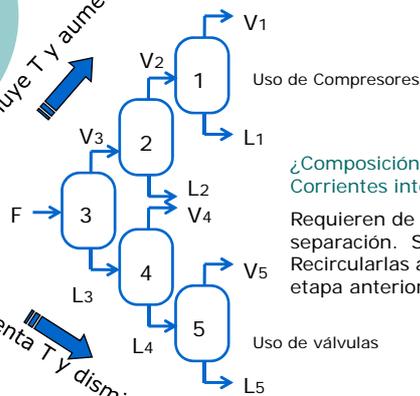
Presiones: $P_1 > P_2$

Temperaturas: $T_1 < T_2$

SEPARACION EN MÚLTIPLES ETAPAS

ETAPAS MÚLTIPLES Y CASCADA

 Disminuye T y aumenta P



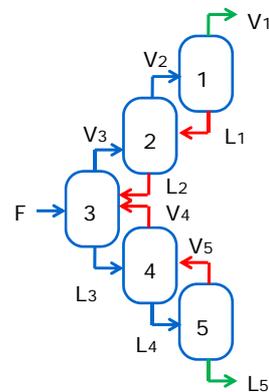
Uso de Compresores

¿Composición de Corrientes intermedias?
Requieren de mayor separación. Solución: Recircularlas al flash de etapa anterior.

Uso de válvulas

 Aumenta T y disminuye p

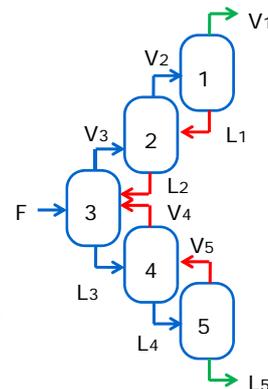
ETAPAS MÚLTIPLES



ETAPAS EN CASCADA

ETAPAS EN CASCADA

- Operación en contracorriente.
- No hay productos intermedios.
- Productos finales: TOPE Y FONDO con mayor pureza.
- Presenta la desventaja que la presión es variable y requiere de compresores. Costos. Solución Ingenieril: Trabajar a presión constante y variar la temperatura.
- Uso de intercambiadores de calor para evaporar parcialmente las corrientes líquidas o poner en contacto directo las corrientes de vapor y líquido para que haya transferencia de calor y masa.
- La simplificación de las etapas en cascada con la construcción de todo el sistema dentro de un solo equipo (Columna) el cual es un aparato más sencillo y menos costoso. COLUMNA DE DESTILACIÓN. [1,2]



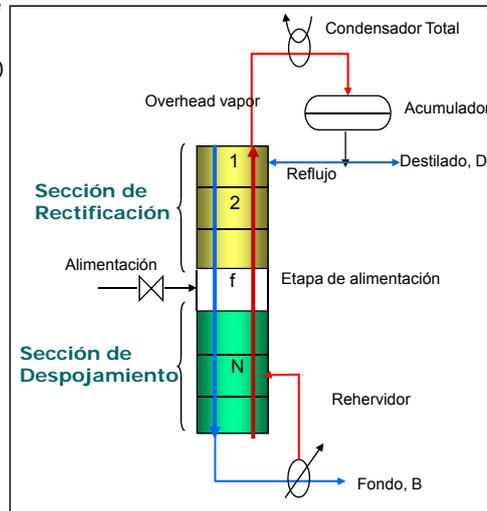
DESTILACIÓN

- Operación unitaria que permite la separación de componentes de una mezcla cuando hay una diferencia de volatilidades entre ellos, se basa en el equilibrio de fases líquido y vapor.
- Es el método de separación más común en la industria de procesos químicos (90-95% de las separaciones en industrias).
- El componente más volátil tiende a concentrarse en el vapor.
- El componente menos volátil se concentra en el líquido.
- Cuando $\alpha=1$ y/o algún componente es térmicamente inestable No es aplicable la destilación. [1,2]



COLUMNA DE DESTILACIÓN

- La columna es de metal y tiene corte transversal circular.
- Contiene etapas (platos o empaques) donde se efectúa el contacto entre el líquido y el vapor.
- El líquido drena por gravedad y llega al rehervidor donde se produce un vapor y líquido (Fondo) en equilibrio. El vapor se recircula y asciende llegando a un condensador del cual se retira un líquido (Destilado) y parte se devuelve al tope de la columna como un reciclo o Reflujo.
- Diámetro de la columna depende del flujo. ($0.3 < D_c < 10\text{m}$) [3]
- Altura depende del grado de separación deseado. ($3 < H < 75\text{m}$) [3]



Fotografía de Refinería de Amuay, Venezuela



Fotografía de planta Industrial de Agua Pesada situada en Arroyito, Argentina

Internos de la columna de destilación

Contacto líquido-vapor {
 • Platos
 • Empaques



En general:

Platos

Se usan siempre en columnas de gran diámetro y torres con mas de 20 etapas. [4]

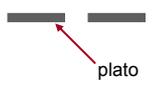


Empaques

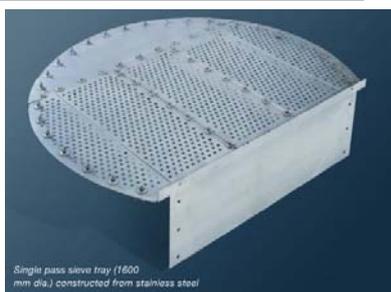
Columnas con diámetros <0.6m
 Medio es corrosivo.
 Destilaciones al vacío (mantener baja caída de Presión)
 Líquido tiende a formar espumas.



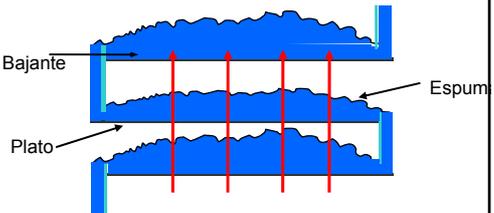
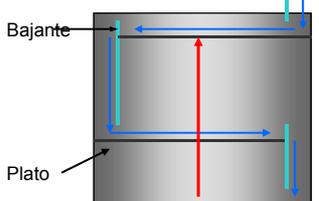
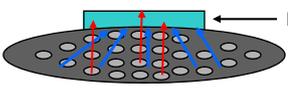
Platos Perforados



Configuración de plato

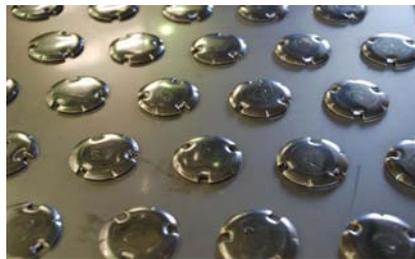
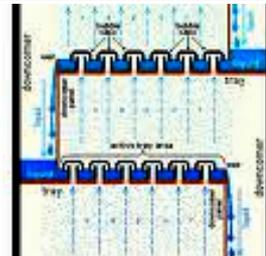
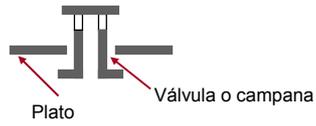


Single pass sieve tray (1600 mm dia.) constructed from stainless steel

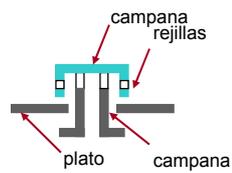


Fujo de líquido en azul. Flujo de vapor en rojo

Platos con válvulas



Platos con campanas de borboteo



Empaques

Estructurado

Con soporte

Aleatorio

Fuente: www.koch-glitsch.com

DESTILACION CONTINUA BINARIA METODO DE Mc CABE THIELE [1,2]

Desarrollado en 1925, es un método de solución gráfico donde se trazan líneas rectas por sección (líneas de operación) en un diagrama y-x para obtener el número de etapas para lograr la separación, es aplicable a mezclas binarias.

Consideraciones del método:

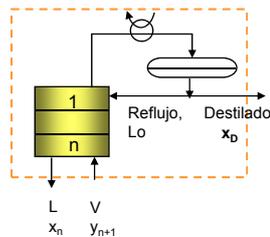
- Operación adiabática.
- No hay efecto de entalpía de mezclado y se desprecia el efecto del calor sensible.
- Existencia de FLUJO MOLAR CONSTANTE en cada sección de la columna.

Calores de vaporización por mol constantes, no dependen de la concentración.

Balance en moles:
 $F = D + B$

Balance en el componente más volátil:
 $Fz_F = x_D D + x_B B$

Balance en la zona de Rectificación o Enriquecimiento



$$V = D + L$$

$$V.Y_{n+1} = L.x_n + D.x_D$$

$$Y_{n+1} = \frac{L}{V}.x_n + \frac{D}{V}.x_D$$

Definiendo la Relación de Reflujo R:

$$R = \frac{L}{D}$$

$$\frac{L}{V} = \frac{L}{L+D} = \frac{L/D}{L/D+D/D} = \frac{R}{R+1}$$

$$\frac{D}{V} = \frac{D}{L+D} = \frac{1}{R+1}$$

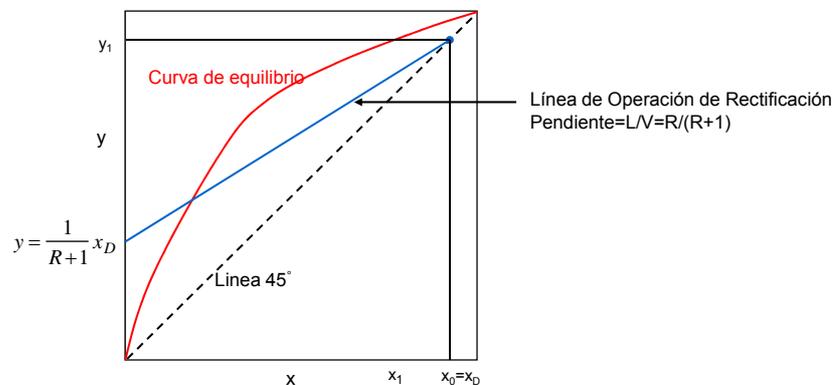
Poniendo todo en función del reflujo

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{1}{R+1}x_D$$

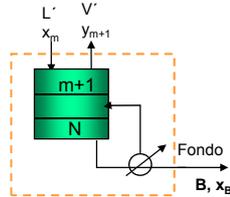
Recta de Operación de la zona de Rectificación.
Intercepta a línea auxiliar $Y=X$ en el punto $x=X_D$

Balance en la zona de Rectificación o Enriquecimiento

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{1}{R+1}x_D$$



Balance en la zona de Agotamiento o Despojamiento



$$L' = V' + B$$

$$L' \cdot x_m = V' \cdot y_{m+1} + B \cdot x_B$$

$$Y_{m+1} = \frac{L'}{V'} \cdot x_m - \frac{B}{V'} \cdot x_B$$

Definiendo la Relación de Reflujo R' :

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

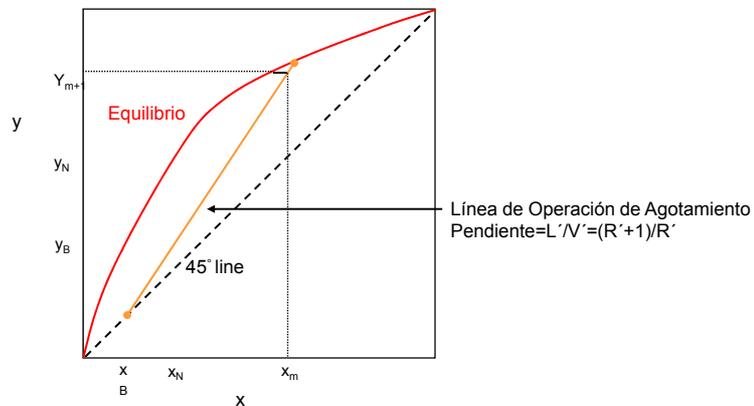
Poniendo todo en función del reflujo

$$y = \frac{R'+1}{R'} x - \frac{1}{R'} x_B$$

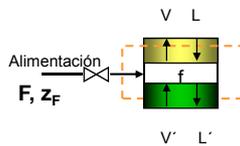
Recta de Operación de la zona de Agotamiento. Intercepta a línea auxiliar $Y=X$ en el punto $x=x_B$

Balance en la zona de Agotamiento o Despojamiento

$$y = \frac{R'+1}{R'} x - \frac{1}{R'} x_B$$



Balance en la zona de Alimentación



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

$$F \cdot h_F + L \cdot h_L + V' \cdot H_{V'} = L' \cdot h_{L'} + V \cdot H_V$$

$$F \cdot h_F + h_L(L - L') = H_V(V - V')$$

Definiendo la Condición Termodinámica q

$$q = \frac{L' - L}{F} \quad \frac{H_V - h_F}{H_V - h_L} = \frac{L' - L}{F} = q$$

Línea de Operación de Alimentación

$$V \cdot Y = L \cdot x + D \cdot x_D \quad \text{Línea de Operación de Rectificación}$$

$$V' \cdot Y = L' \cdot x + B \cdot x_B \quad \text{Línea de Operación de Agotamiento}$$

$$y(V - V') = x(L - L') + z_F \cdot F$$

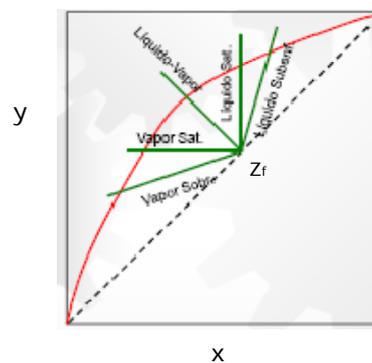
$$y(F + L - L') = x(-q \cdot F) + z_F \cdot F$$

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

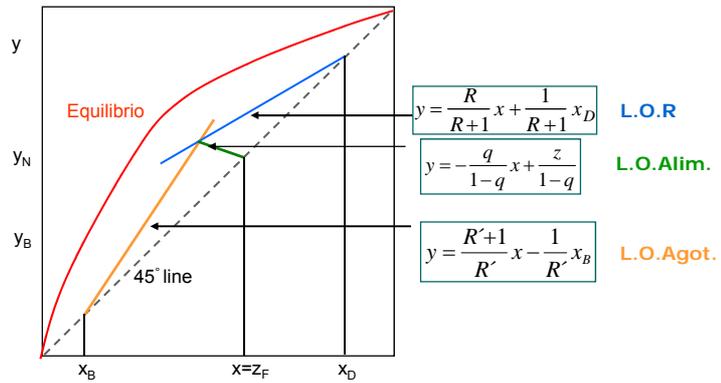
Balance en la zona de Alimentación

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

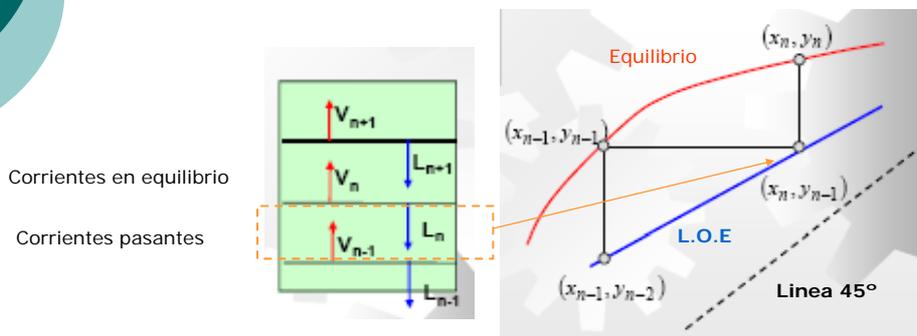
- q > 1 Alimentación Líquido subenfriado
- q = 1 Líquido saturado
- 0 < q < 1 Mezcla Líquido Vapor
- q = 0 Vapor Saturado
- q < 0 Vapor sobrecalentado



Rectas de Operación

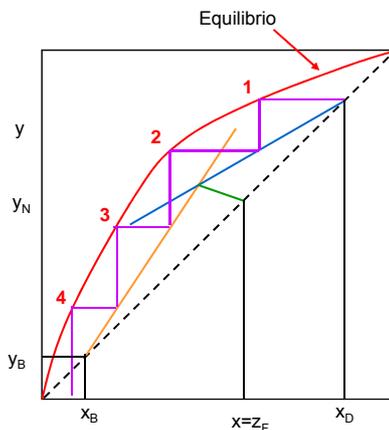


Trazado de etapas.



Unir composiciones de corrientes pasantes con las de equilibrio por medio de escalones

Etapa óptima 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, es la posición que minimice el número de etapas.

En la figura se tiene que la etapa 2 es la etapa óptima de alimentación.

DESTILACION CONTINUA INDUSTRIAL

Mc Cabe-Thiele → Utilidad Pedagógica

Mezclas Multicomponentes → Ecuaciones, Simuladores.



Columna de destilación en Mejorador del Complejo Jose, Estado Anzoátegui

REFERENCIAS

- [1] WANKAT, P. "Ingeniería de procesos de separación". 2da edición. Pearson Educación. México, 2008. Capítulo 3.
- [2] JUDSON KING. C. " Procesos de Separación". Ediciones Repla, S.A. México, 1988. Capítulo 4.
- [3] COULSON J, RICHARDSON J. "Chemical Engineering volume 2: Particles Technology and Separation Processes" 5ta edición. Pág 542.
- [4] SEADER, J; HENLEY E. "Operaciones de Separación por etapas de equilibrio en ingeniería química". Editorial Reverté, S.A. México, 2000.

Fotografías tomadas de imágenes de Google, palabras claves:
distillation column, sieve tray column, packing column.