

# Introducción a Destilación Multietapa

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

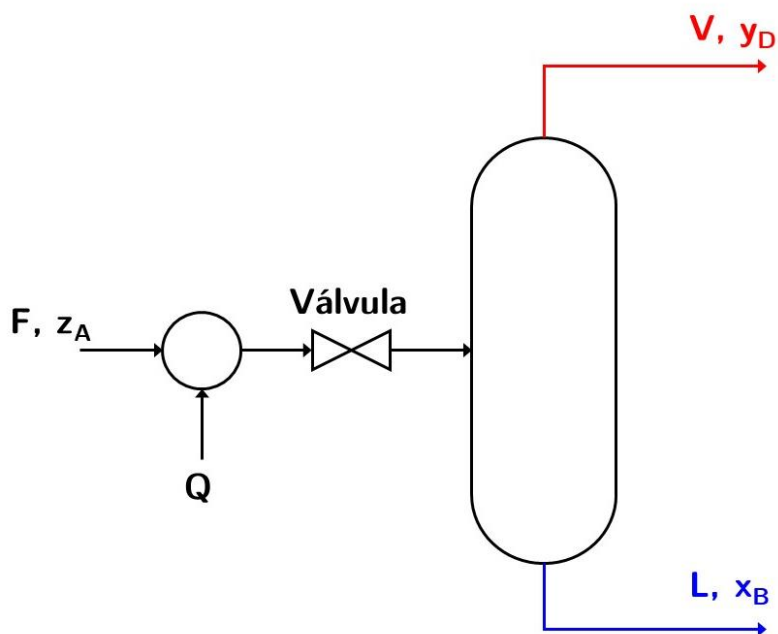
José Rebolledo Oyarce

23 de Marzo de 2021



- Recordatorio de Clase Anterior
  - Balances en la Operación Unitaria
- Objetivos de la Clase
- Introducción a destilación multietapas

# Destilación Flash o de Equilibrio



$F$  = flujo molar de la alimentación

$z_A$  = fracción molar del componente volátil (A) en la alimentación

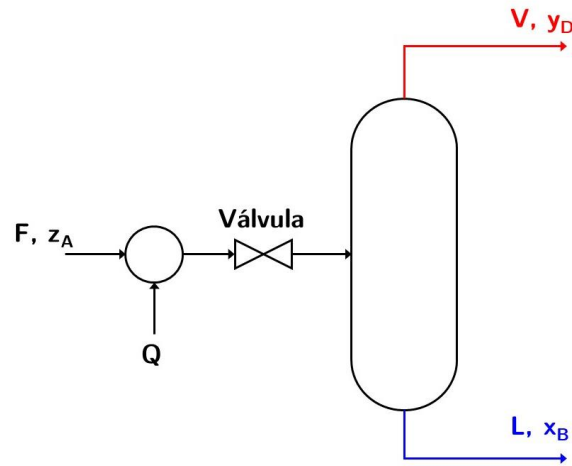
$V$  = flujo molar del vapor

$y_D$  = fracción molar de A en el vapor

$L$  = flujo molar de líquido

$x_B$  = fracción molar de A en el líquido

Proceso continuo, en estado estacionario, de una etapa, en que el vapor generado esta en equilibrio fisicoquímico con el líquido generado, i.e.  $y_D$  y  $x_B$  están en equilibrio (existe gran contacto entre el líquido y el vapor antes de separación)



## Balance General de Flujo

Flujos Entrantes = Flujos Salientes

$$F = L + V$$

## Balance de Masa del Compuesto A

$$F \cdot z_A = V \cdot y_D + L \cdot x_B \Leftrightarrow z_A = \frac{V}{L + V} \cdot y_D + \frac{L}{L + V} \cdot x_B \quad (1)$$

Pero si definimos lo siguiente:

$$f = \frac{V}{L+V} \quad (\text{fracción vaporizada})$$

$$\therefore \frac{L}{L+V} = 1 - f$$

Reemplazando en la ecuación (1):

$$z_A = f \cdot y_D + (1 - f) \cdot x_B$$

$$y = -\frac{(1-f)}{f} \cdot x + \frac{z}{f}$$

Ecuación de una recta con pendiente  $-(1-f)/f$  que corta a  $x=y$  en  $x = y = z$

Entonces por balance de materia tenemos que:

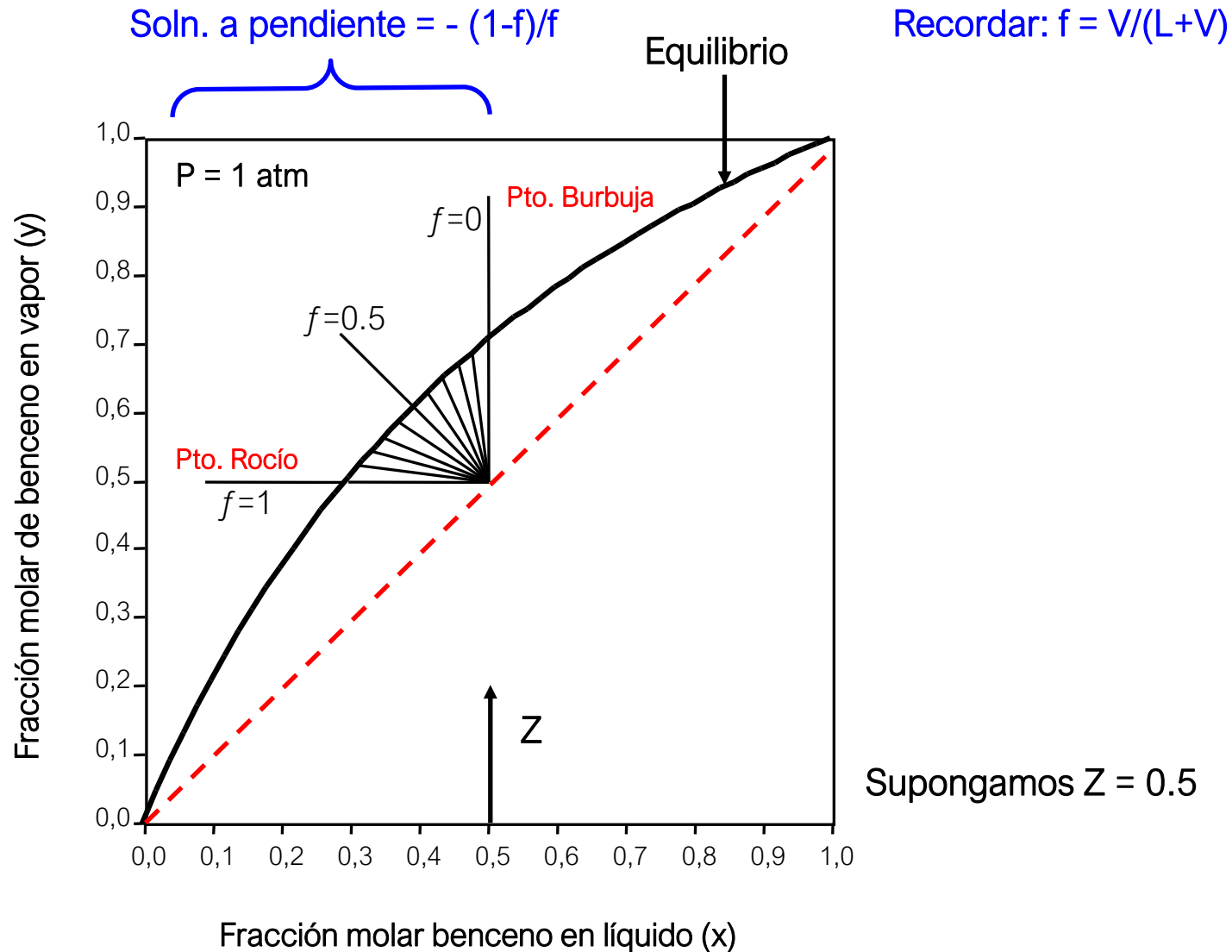
$$y = -\frac{(1-f)}{f} \cdot x + \frac{z}{f}$$

Además,  $x_B$  e  $y_D$  (incógnitas) se pueden relacionar por la ecuación de equilibrio (por definición), por ejemplo:

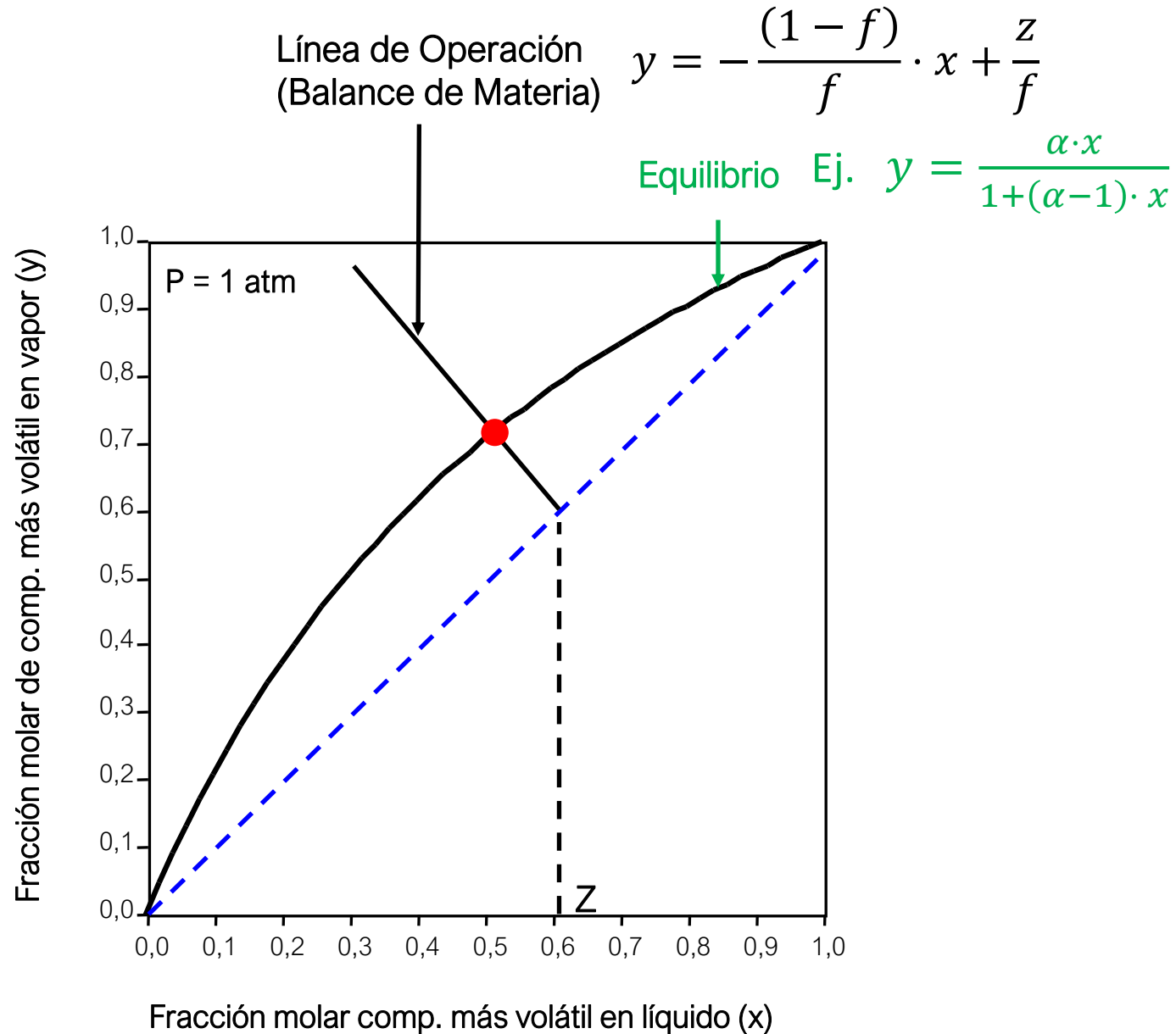
$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + (\alpha - 1) \cdot x}$$

∃ 2 ecuaciones con 2 incógnitas

# Ejemplo: Sistema Benceno-Tolueno



# Gráficamente ...

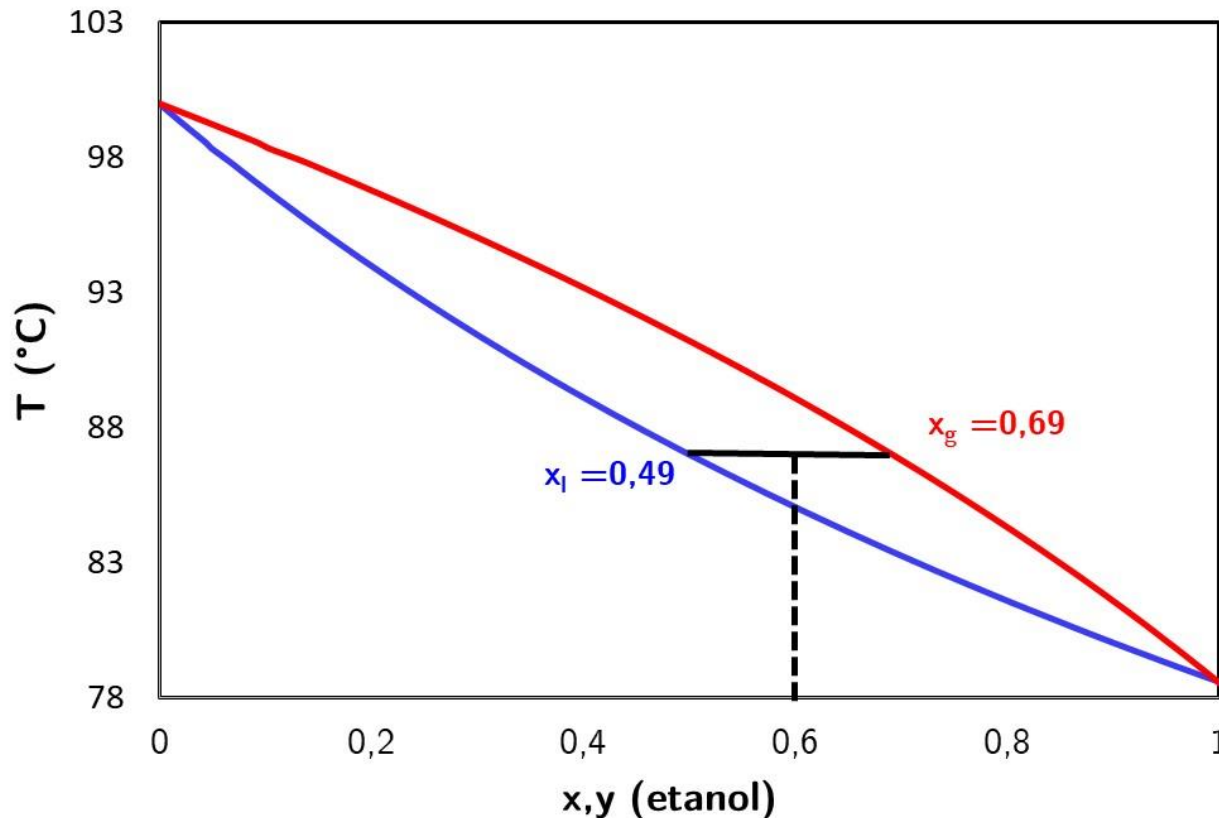




- Comprender como la destilación en una sola etapa restringe la posibilidad de separación, a través del análisis de la destilación flash.
- Entender los principios de la conceptualización de los procesos de múltiples etapas.

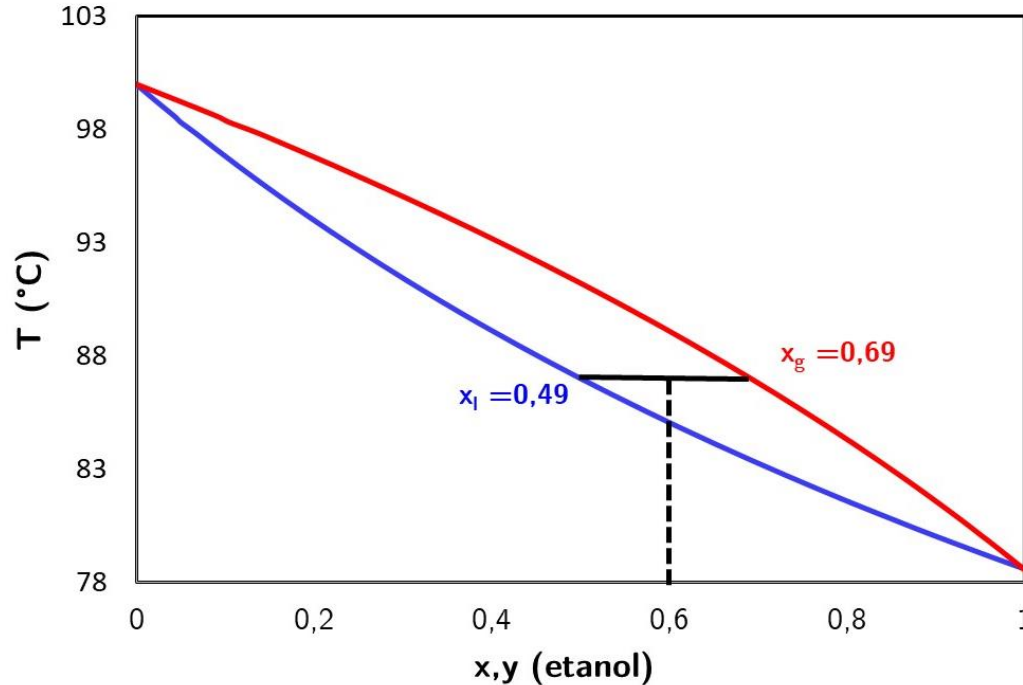
# ¿Cuál es el principal problema de la Destilación Flash?

Supongamos una mezcla de Agua y Etanol en un destilador flash alimentado con una mezcla con un 60% de Etanol. En el destilador se alcanza la temperatura de salida de 87 °C ( $f = 0.55$ )



# ¿Cuál es el principal problema de la Destilación Flash?

Supongamos una mezcla de Agua y Etanol en un destilador flash alimentado con una mezcla con un 60% de Etanol. En el destilador se alcanza la temperatura de salida de 87 °C ( $f = 0.55$ )



Si suponemos un flujo de alimentación de 100 mol/h:

Vapor

- Etanol:  $V_{etanol} = 0.55 \cdot 100 \cdot 0.69$   
 $V_{etanol} = 37.95$
- Agua:  $V_{agua} = 0.55 \cdot 100 \cdot 0.31$   
 $V_{agua} = 17.05$

Líquido

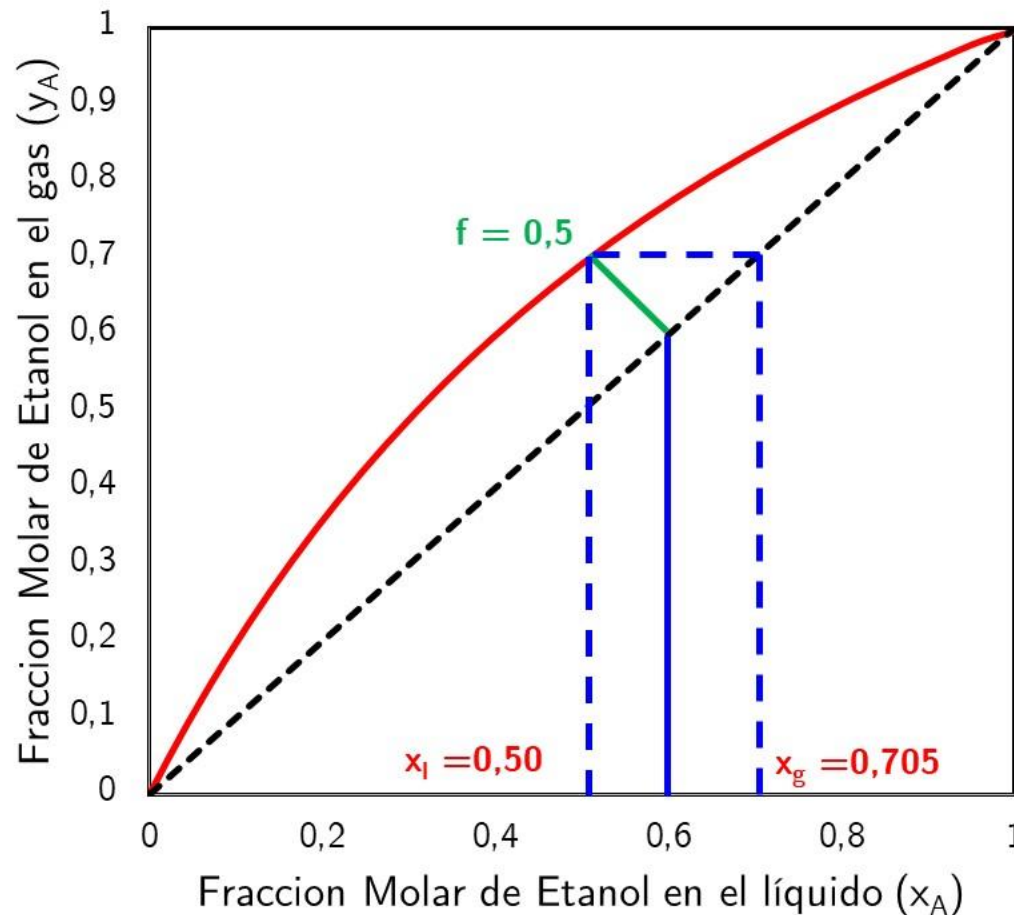
- Etanol:  $L_{etanol} = 0.45 \cdot 100 \cdot 0.49$   
 $L_{etanol} = 22.05$
- Agua:  $L_{agua} = 0.45 \cdot 100 \cdot 0.51$   
 $L_{agua} = 22.95$

El **Principal Problema** de los procesos en **una** etapa es que se producen productos de **baja pureza** y en poca cantidad. Adicionalmente es necesario un alto consumo de agente separador (calor).

**Solución:** Procesos de Múltiples Etapas

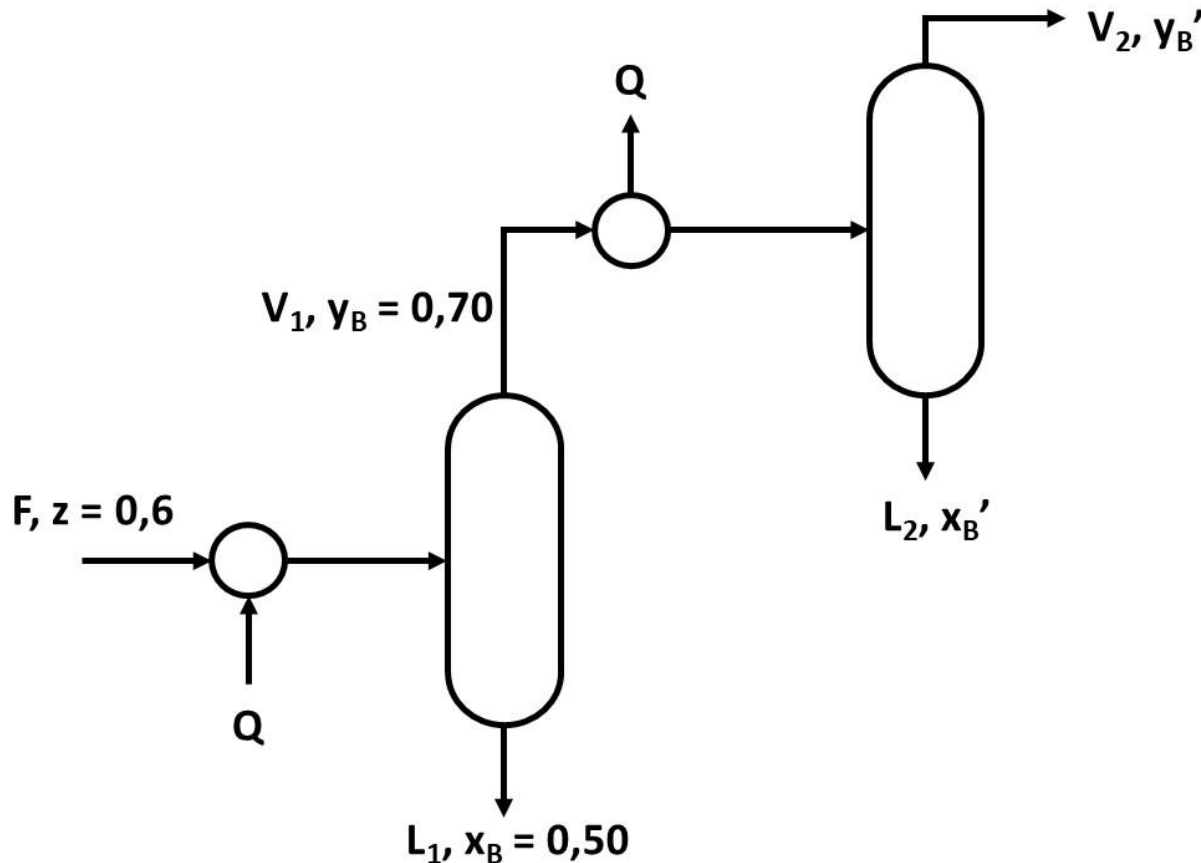
# Destilación Vaporizando la Mitad de la Alimentación

Supongamos la misma situación anterior de Agua y Etanol, pero ahora el destilador esta vaporizando la mitad de la mezcla de alimentación



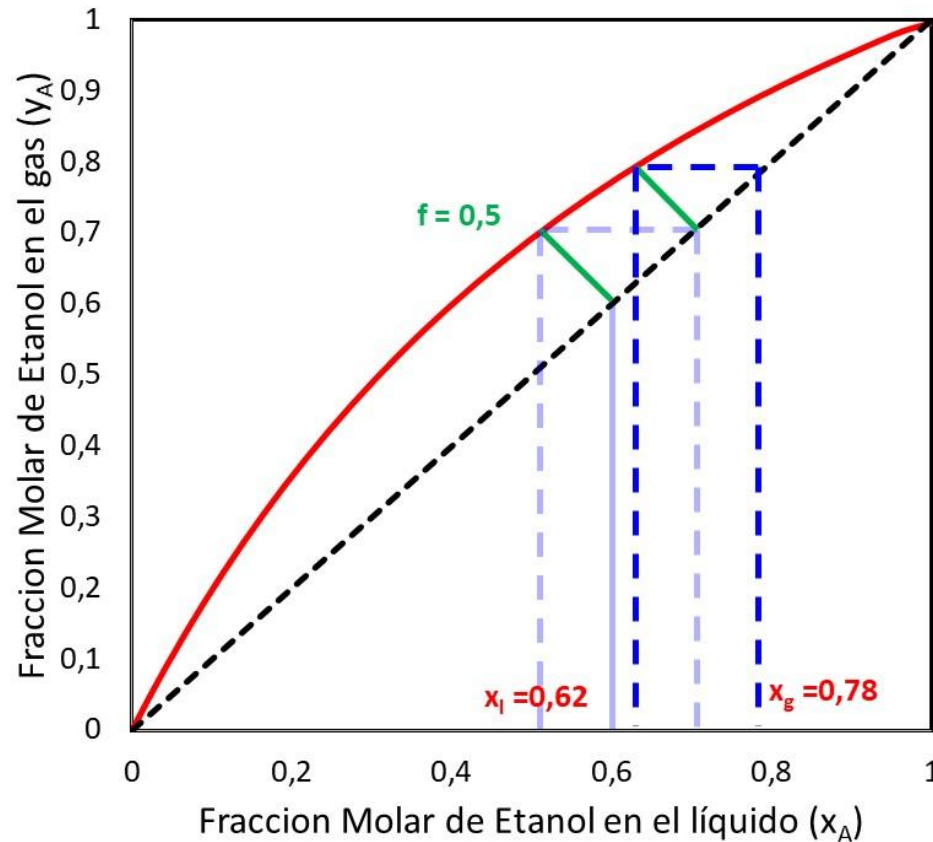
# Destilación Multietapa

Ahora supongamos la misma situación anterior de Agua y Etanol, pero ahora contamos con **2** procesos de destilación flash sucesivos en que en cada uno de ellos se vaporiza la mitad de la alimentación (Dato:  $\alpha_{A,B} = 2,24$ )

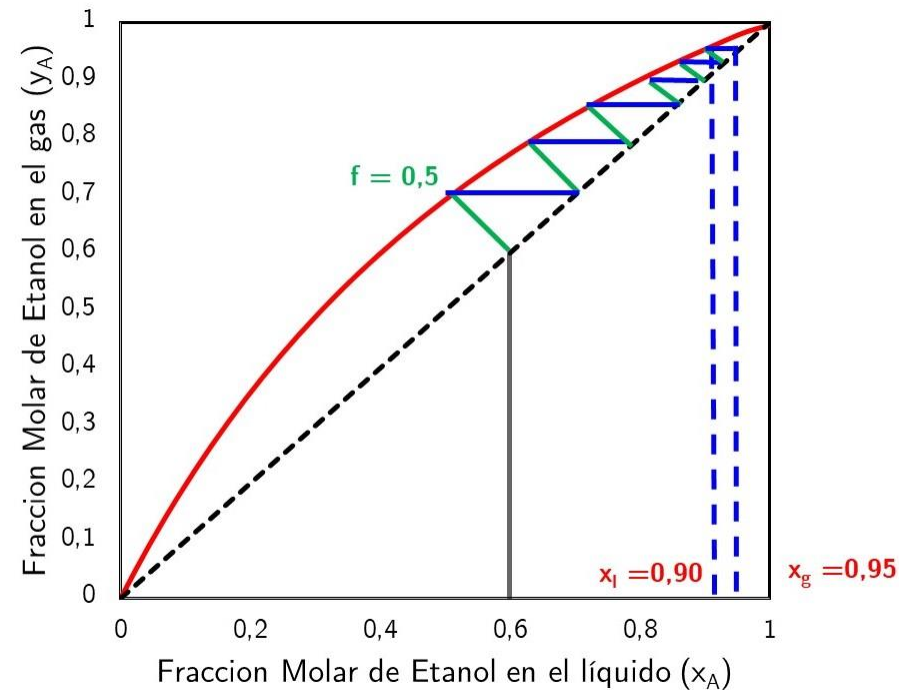
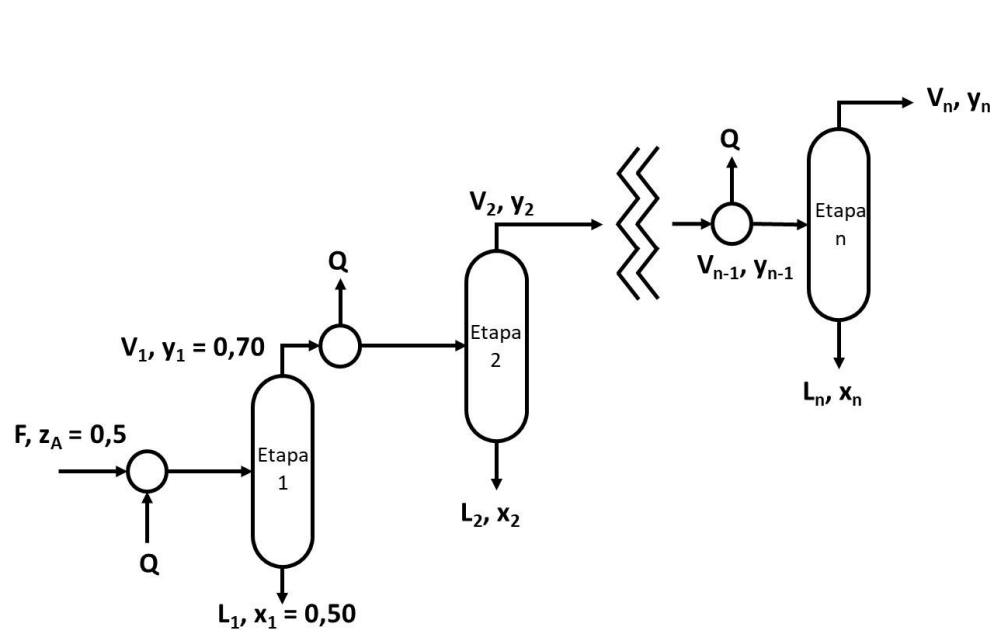


# Destilación Multietapa

Ahora supongamos la misma situación anterior de Agua y Etanol, pero ahora contamos con **2** procesos de destilación flash sucesivos en que en cada uno de ellos se vaporiza la mitad de la alimentación (Dato:  $\alpha_{A,B} = 2,24$ )



Podemos extender este concepto y diseñar un proceso en el que se realicen suficientes condensaciones sucesivas, condensando y eliminando, en cada etapa, el 50% de la mezcla alimentada. Esta operación se conoce como **enriquecimiento** o **rectificación**.

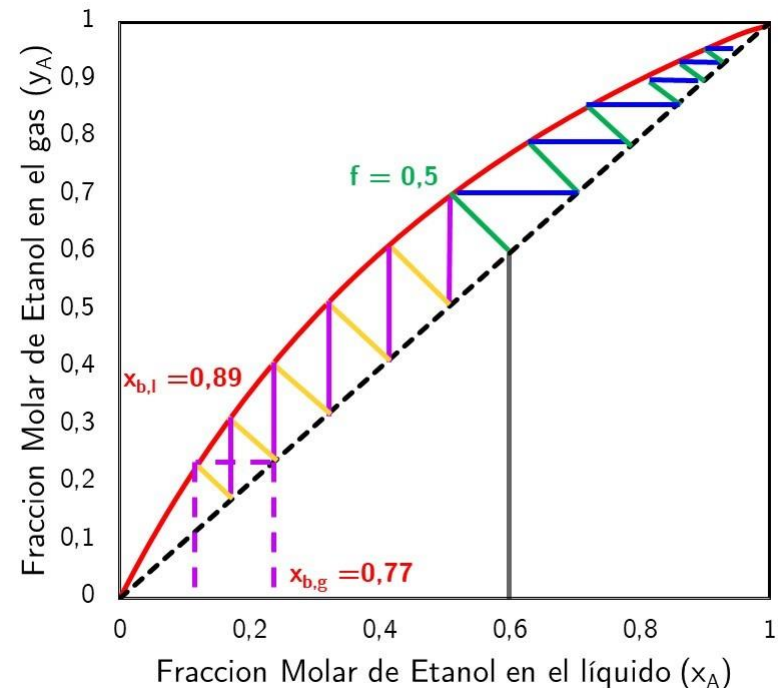
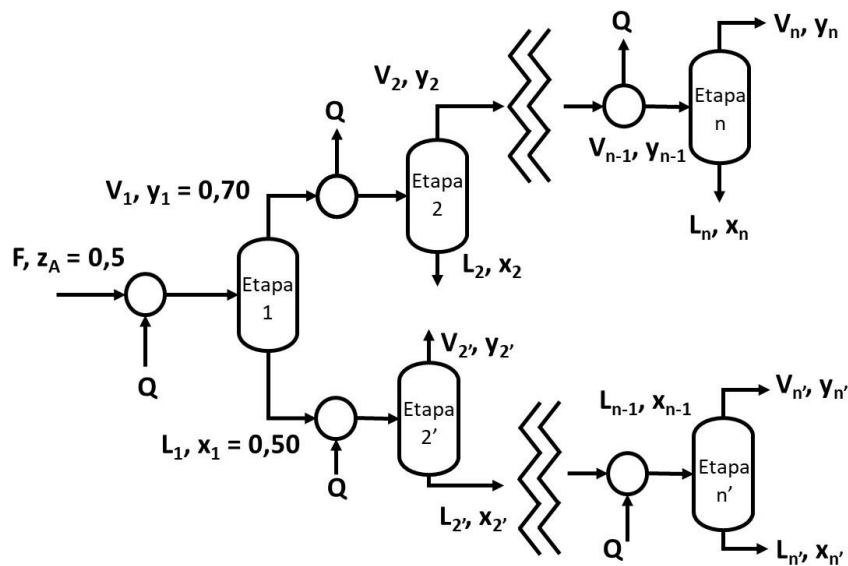


Se puede calcular que después de 6 etapas de rectificación se obtienen, a partir de 100 mol iniciales:

$$\frac{100}{2^6} = 1,5625 \quad \text{mol mezcla con 95\% de etanol}$$



Similarmente, una secuencia de evaporaciones del líquido obtenido en la primera etapa, con una eliminación sucesiva del 50% de la mezcla alimentada, servirá para producir un líquido rico en agua (comp. menos volátil). Esta operación se conoce como **agotamiento**.



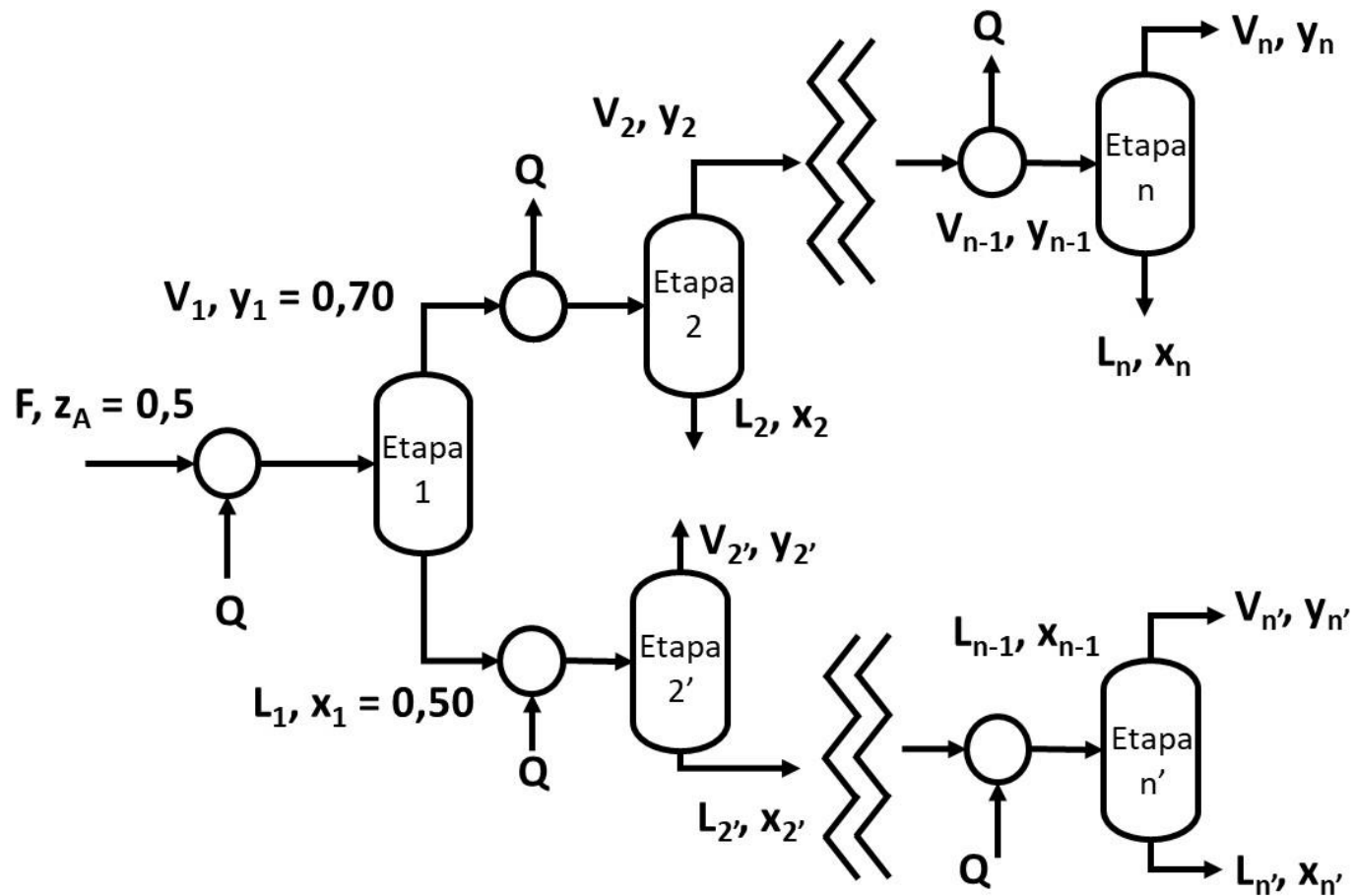
Se puede calcular que después de 6 etapas de agotamiento se obtienen, a partir de 100 mol iniciales:

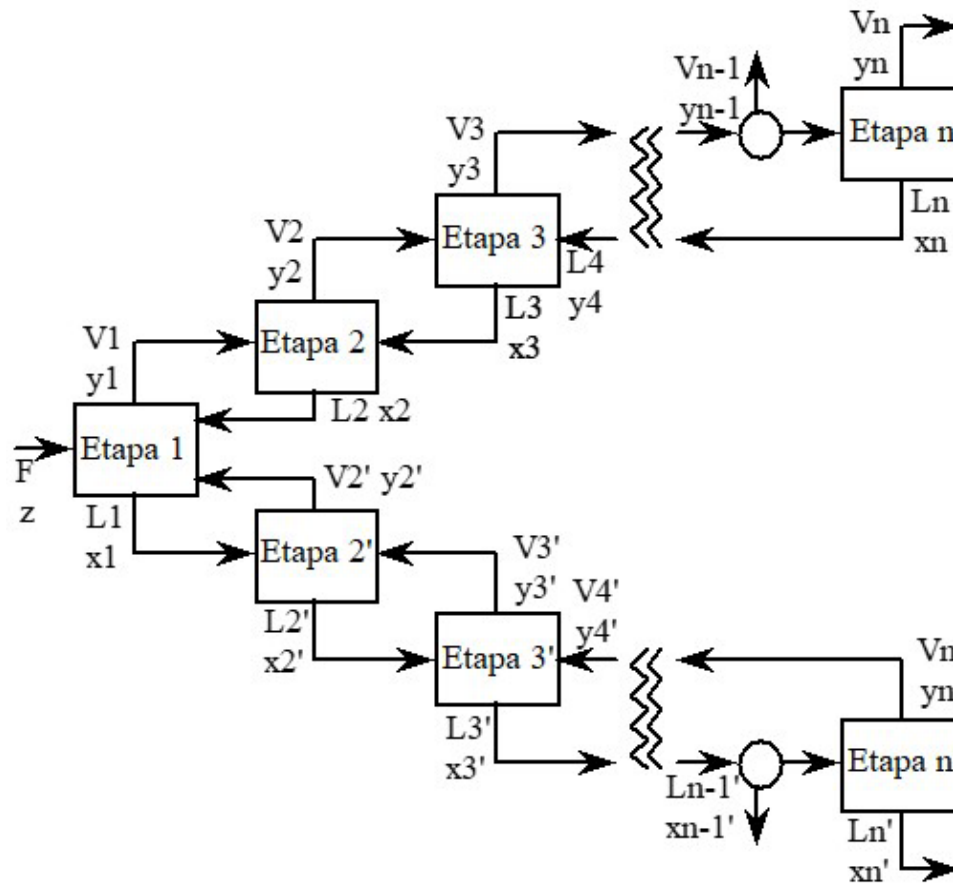
$$\frac{100}{2^6} = 1,5625 \quad \text{mol mezcla con 89\% de agua}$$

El diseño propuesto permite obtener compuestos relativamente puros, pero en pequeñas cantidades. Asimismo, hay una serie de corrientes intermedias que no se han purificado hasta el nivel deseado. Por otro lado, se requieren **grandes cantidades de energía**.

## ¿Qué hacemos?

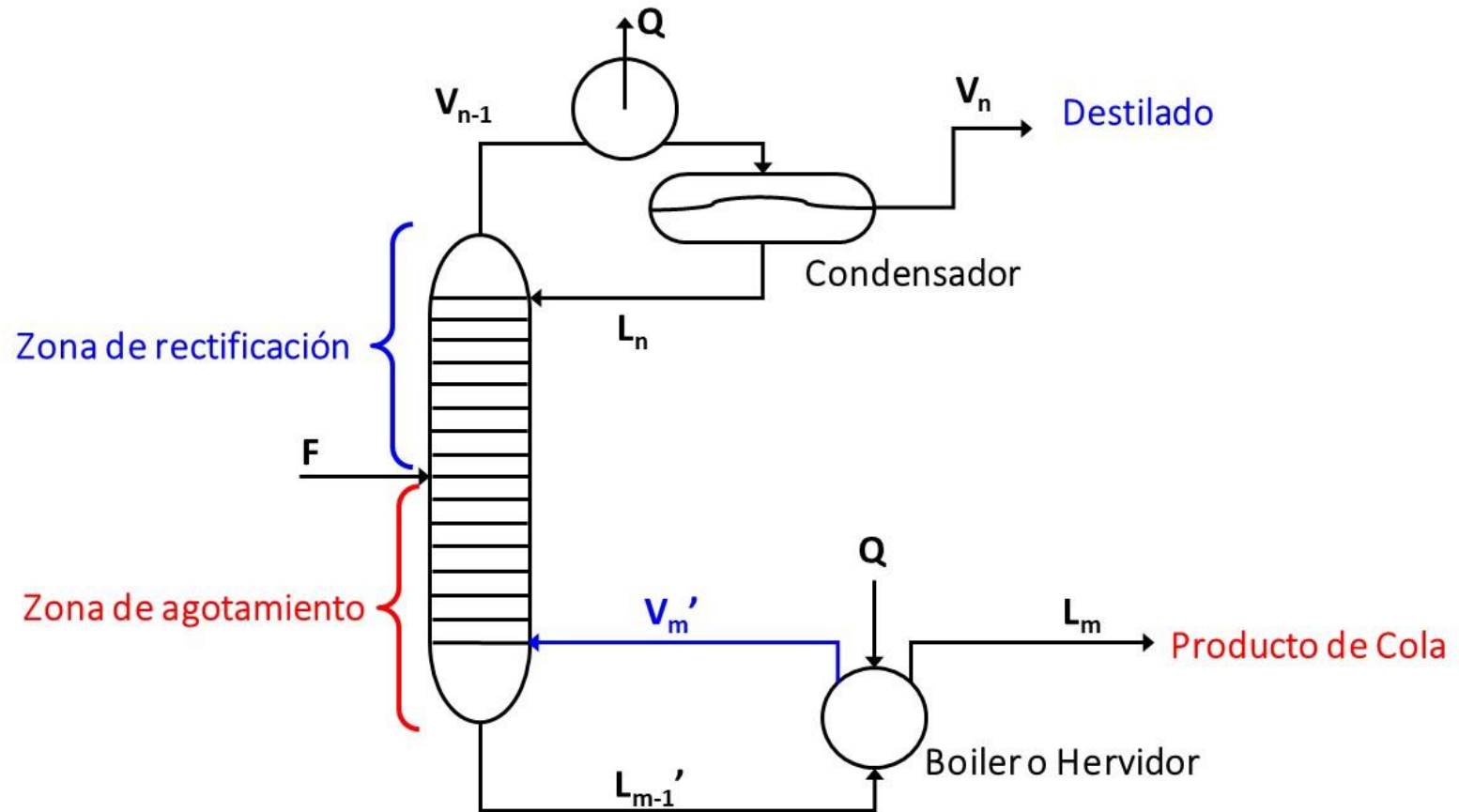
# ¿Qué hacemos?





- Los intercambiadores de calor en los extremos de los arreglos de separación son todavía necesarios, pues no hay ni líquido ni vapor que regrese a cada una de las unidades y la 2<sup>da</sup> fase se debe generar.
- El calentador en la alimentación no es realmente necesario, mientras el vapor que llegue a la unidad sea suficiente para generar la 2<sup>da</sup> fase.

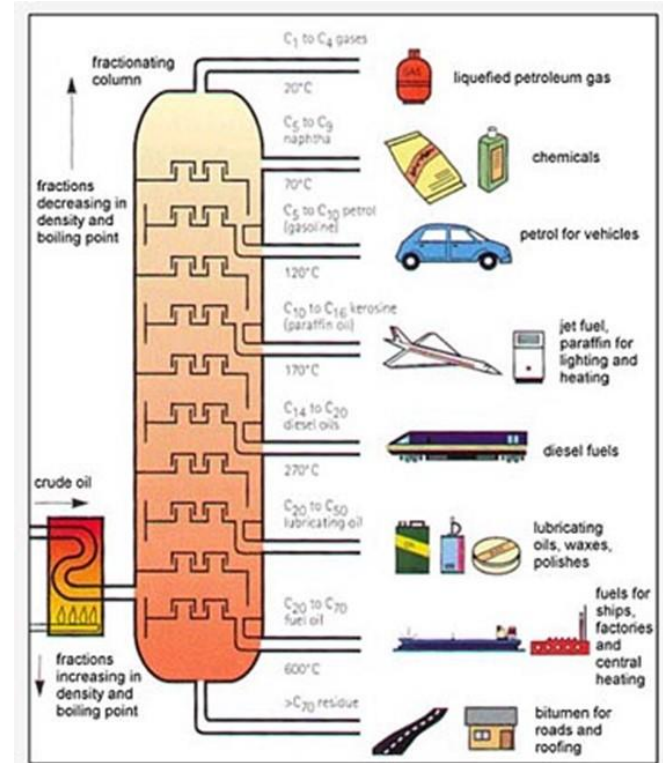
# El proceso resultante se conoce como Destilación Continua con Reflujo



# Refinería de Petróleo Crudo

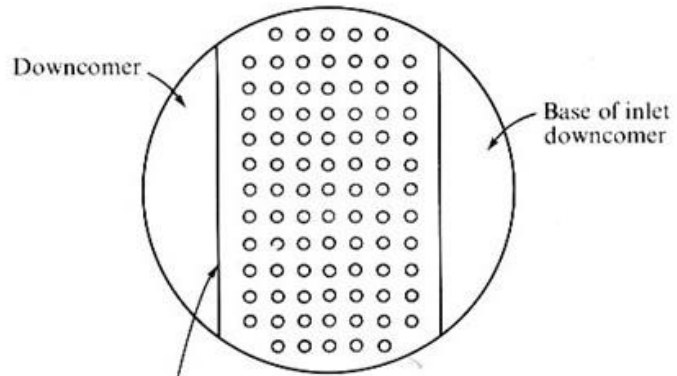
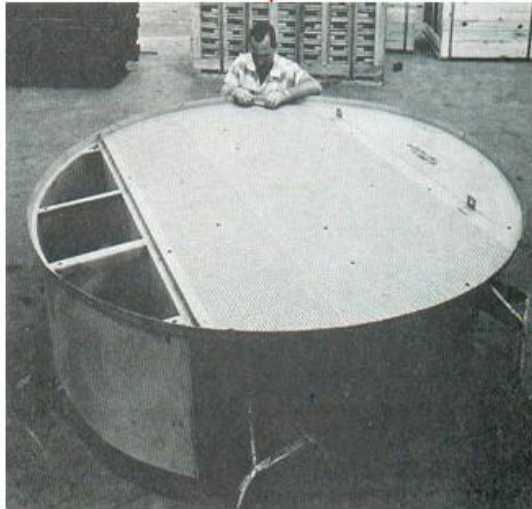


[us.magnetrol.com](http://us.magnetrol.com)

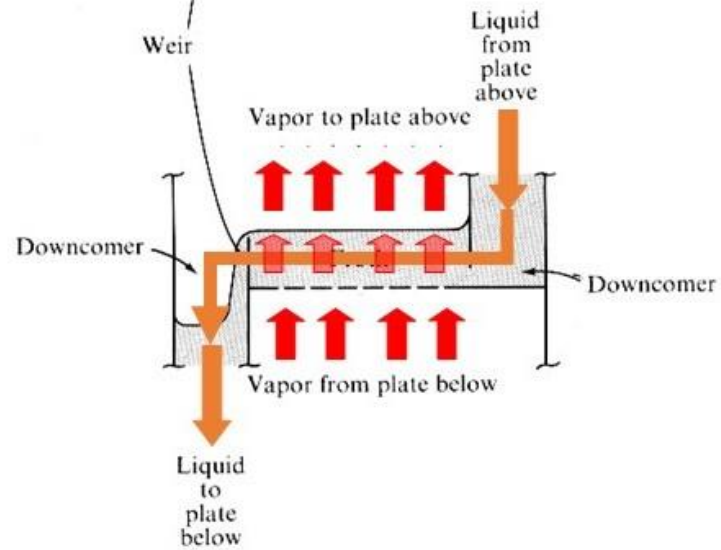


[www.theoil drum.com](http://www.theoil drum.com)

# Plato de una columna de destilación



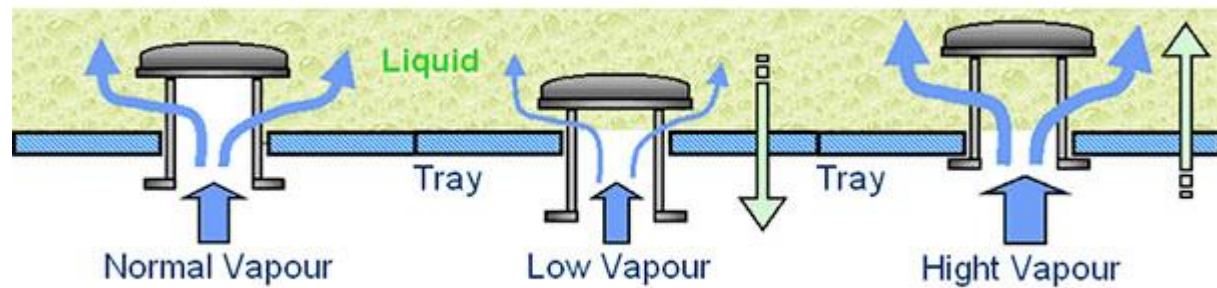
**Vista desde arriba**



**Vista lateral**



# Plato de una columna de destilación



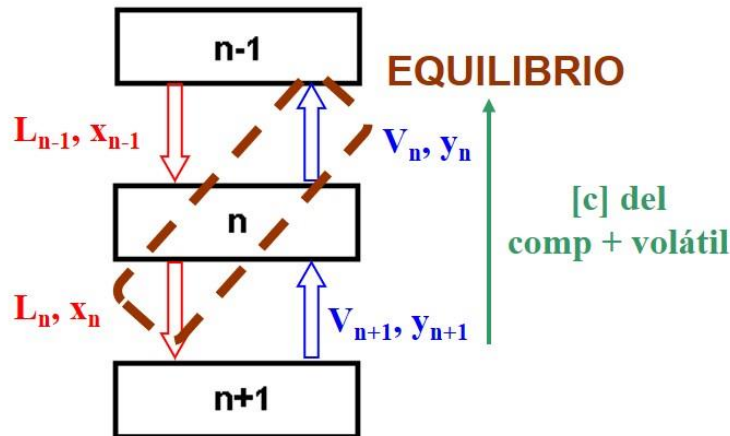


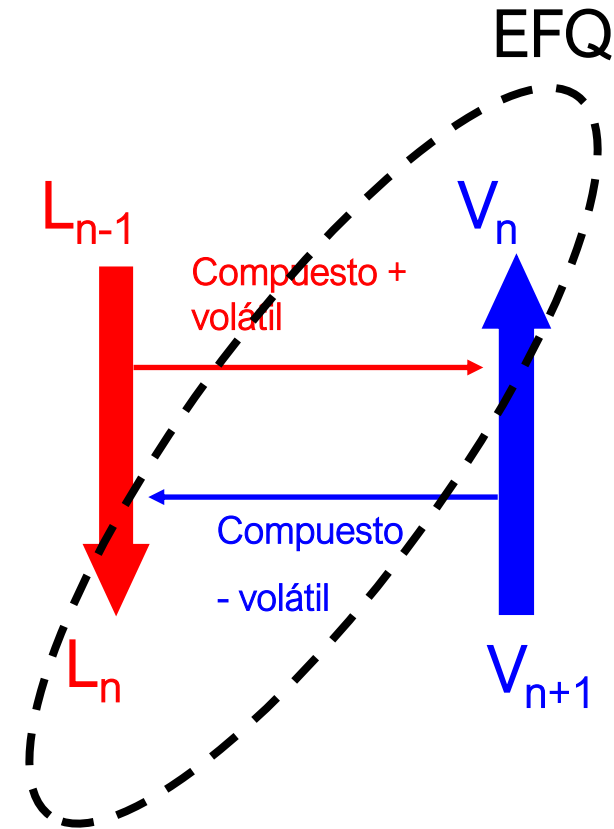
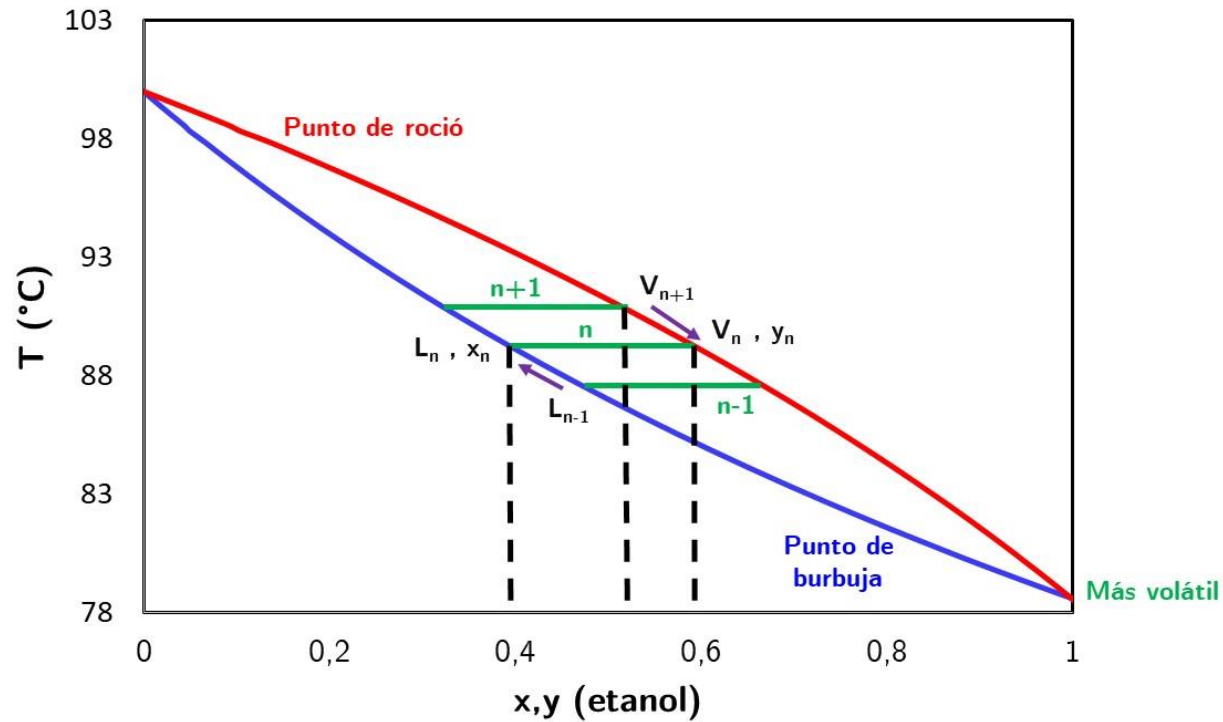
# Concepto de plato o etapa ideal

En la realidad las corrientes que salen de cada plato o etapa no están en equilibrio, pero es mucho más próximas al equilibrio de lo que estaban las corrientes de entrada.

La proximidad al equilibrio depende de la eficacia de la mezcla y de la transferencia de materia entre las fases.

Para simplificar el diseño de la columna se supone que las corrientes salen en equilibrio, lo que por definición conduce al concepto de “etapa ideal”.

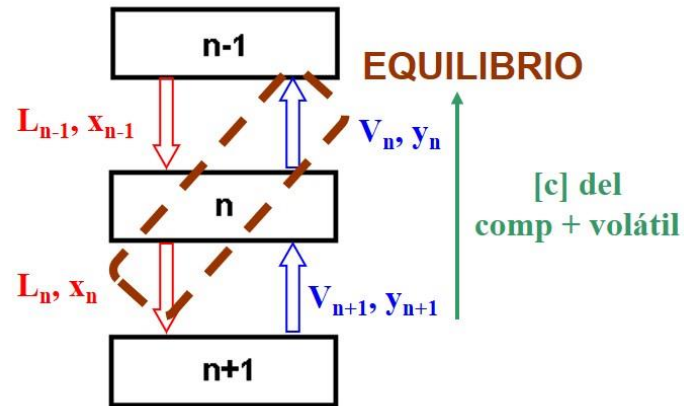




Corrientes líquidas en pto. de burbuja

Corrientes de vapores en pto. de rocío

# Supuesto de flujos molares constantes (mezcla binaria)



Los balances de materia (global) y energía (usando las condiciones de  $L_n$  como estado de referencia) para la etapa ideal son respectivamente:

$$L_{n-1} + V_{n+1} = L_n + V_n$$

$$L_{n-1}\Delta H_{L,n-1}(T_{n,l}) + V_{n+1}\Delta H_{V,n+1}(T_{n,l}) = L_n\Delta H_{L,n}(T_{n,l}) + V_n\Delta H_{V,n}(T_{n,l})$$

- Comprender como la destilación en una sola etapa restringe la posibilidad de separación, a través del análisis de la destilación flash.
- Entender los principios de la conceptualización de los procesos de múltiples etapas.

# Introducción a Destilación Multietapa

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

23 de Marzo de 2021

