

# Introducción a Destilación

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

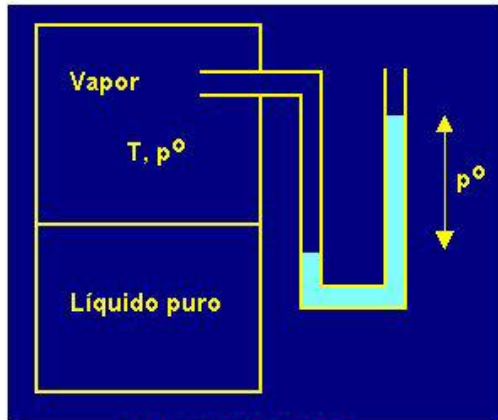
18 de Marzo de 2021



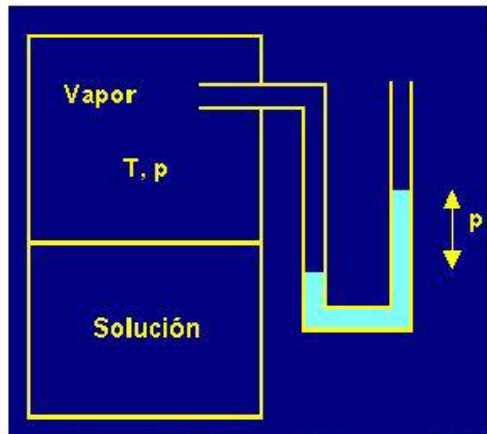
- Objetivos de la Clase
- Introducción de Conceptos Claves
  - Presión Parcial
  - Diagrama de Temperatura - Composición
  - Volatilidad relativa
- Destilación Flash o de Equilibrio
  - Balances en la Operación Unitaria

- Recordar los principios de la destilación.
- Comprender cómo la destilación en una sola etapa restringe la posibilidad de separación, a través del análisis de la **destilación flash**.

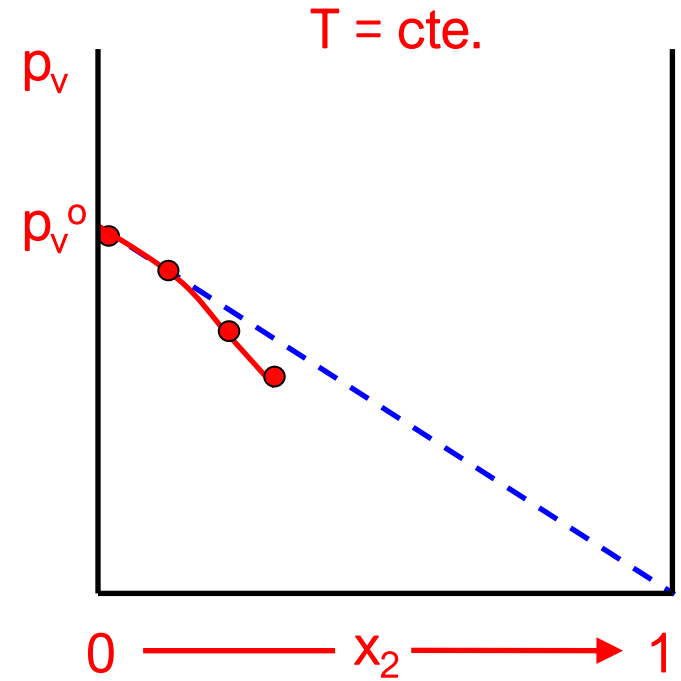
# Efecto de Mezclar un compuesto volátil con uno NO volátil



**Solvente volátil**



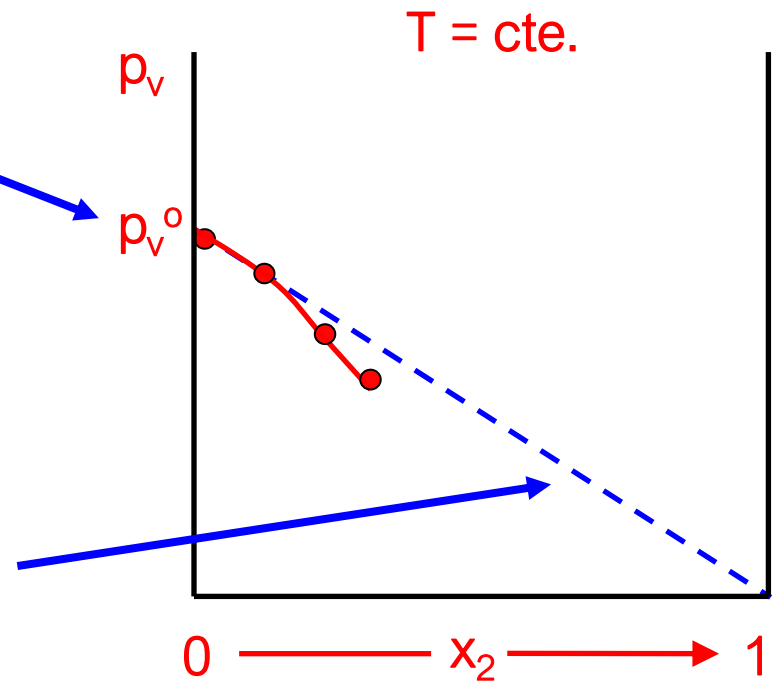
**Solvente volátil + soluto no volátil**



Presión de vapor como  
función de fracción molar  
de soluto no volátil  $x_2$

# Solución Ideal

- La presión de vapor de la solución diluida ( $x_2 \rightarrow 0$ ) se aproxima a la línea recta. Esto se cumple  $\forall$  solución diluida.
- Una solución ideal es aquella en la cual la presión de vapor disminuye en forma lineal cuando aumenta la  $[c]$  de soluto, en todo el intervalo de  $[c]$  y se obtiene:



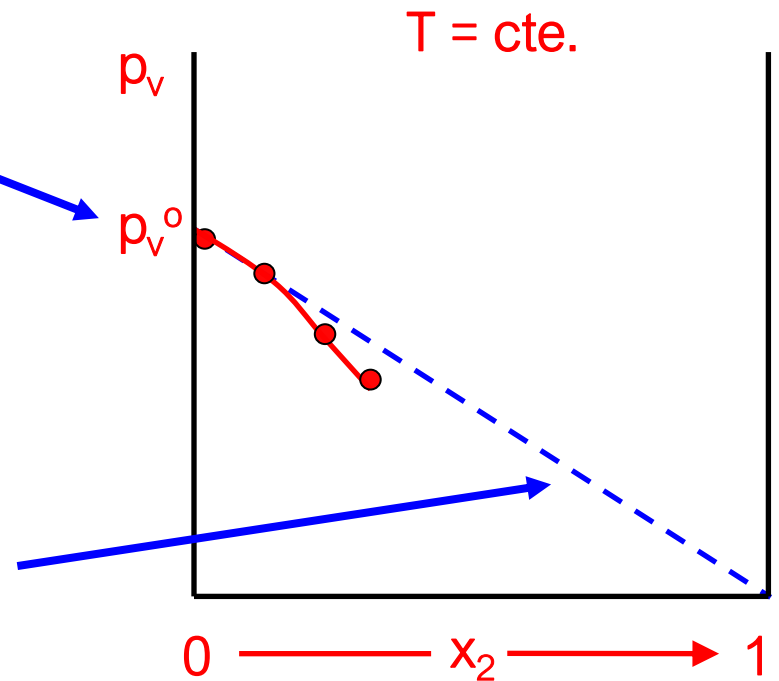
Presión de vapor como  
función de fracción molar  
de soluto no volátil  $x_2$

# Solución Ideal

- La presión de vapor de la solución diluida ( $x_2 \rightarrow 0$ ) se aproxima a la línea recta. Esto se cumple  $\forall$  solución diluida.
- Una solución ideal es aquella en la cual la presión de vapor disminuye en forma lineal cuando aumenta la  $[c]$  de soluto, en todo el intervalo de  $[c]$  y se obtiene:

## Ley de Raoult

$$p_v = x \cdot p_v^o$$

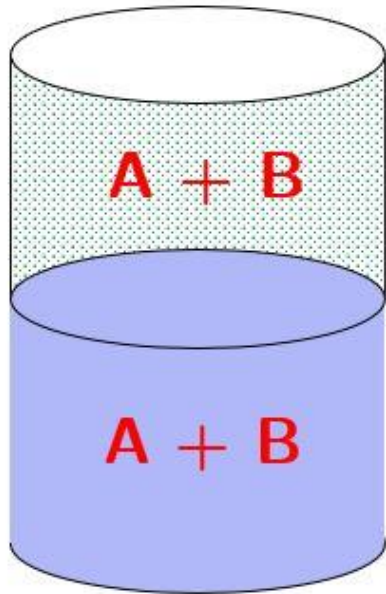


Presión de vapor como función de fracción molar de soluto no volátil  $x_2$

# Solución ideal de Múltiples Componentes

El concepto de solución ideal se extiende a una solución binaria en la que ambos constituyentes son volátiles.

$T = \text{cte.}$



Ley de Dalton

$$p_{total} = p_A + p_B$$

Donde  $p_i$  = Presión parcial del compuesto  $i$  en el gas

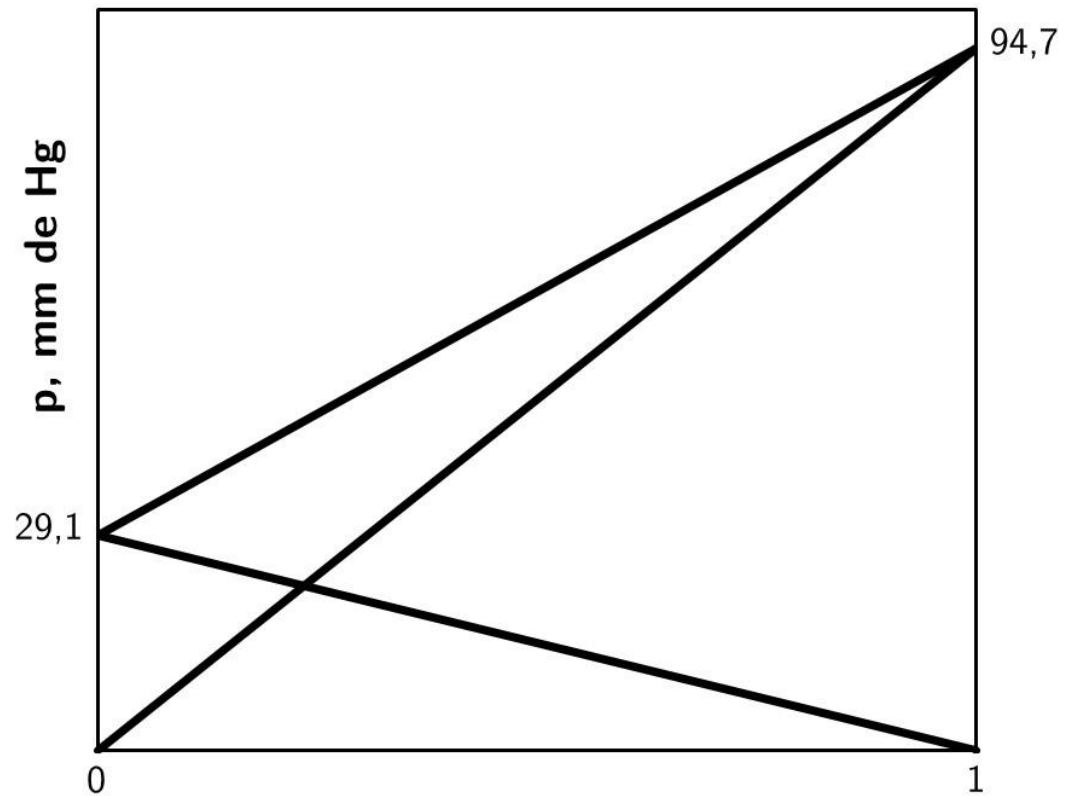
Entonces para soluciones diluidas en equilibrio:

$$p_i = x_{ig} \cdot p_{vi}^0$$

Donde  $x_{ig}$  corresponde a la fracción molar del compuesto  $i$  en el gas.

# Ejemplo de Solución ideal de Múltiples Componentes

La solución ideal es aquella en que se cumple lo anterior para todo el intervalo de concentraciones y para ambas sustancias:



$$p_t = x_t \cdot p_{vt}^o$$

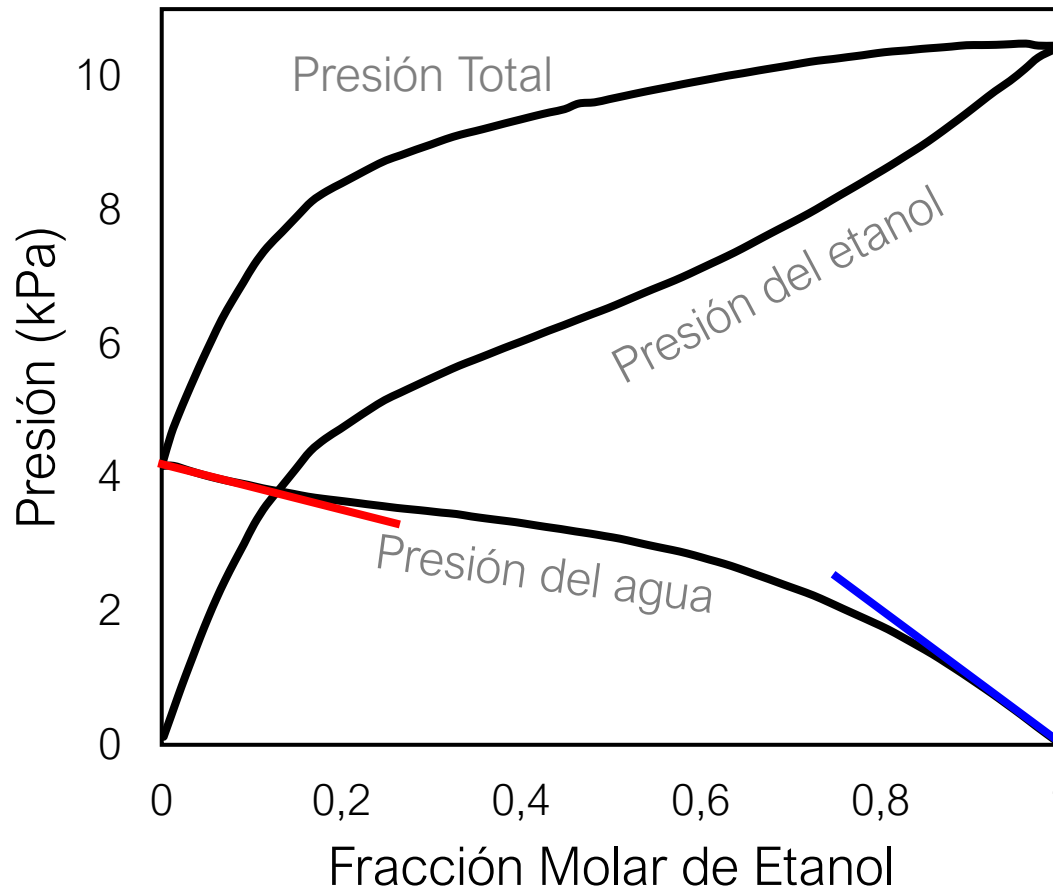
y

$$p_t = x_t \cdot p_{vt}^o$$



# ¿Qué pasa en solución reales (no ideales)?

**Ley de Raoult**  
Aplica para  
compuesto A en  
bajas  
concentraciones



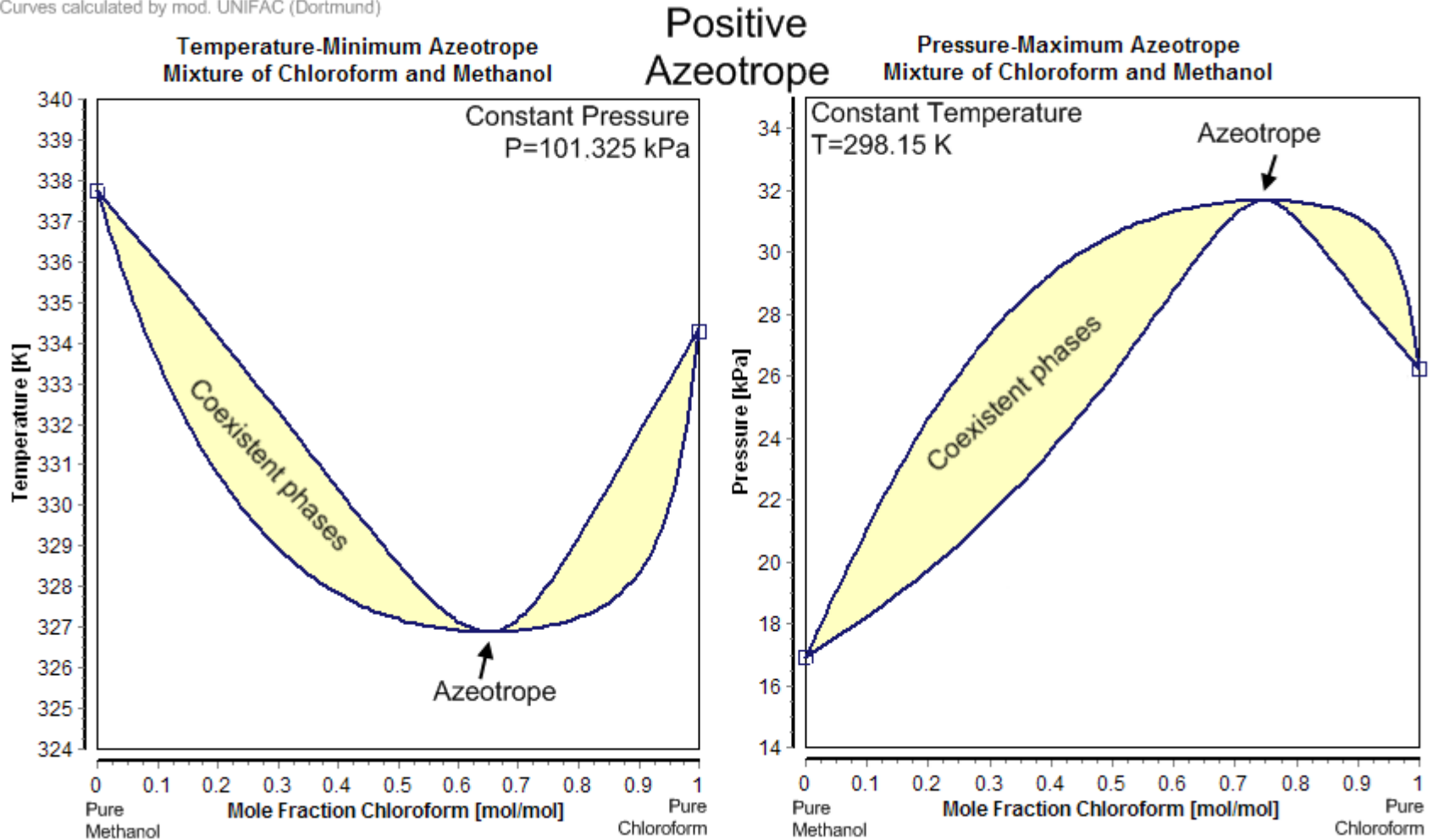
**Ley de Henry**

Aplica para  
compuesto A en  
altas  
concentraciones

$$p_A = H_A \cdot x_A$$

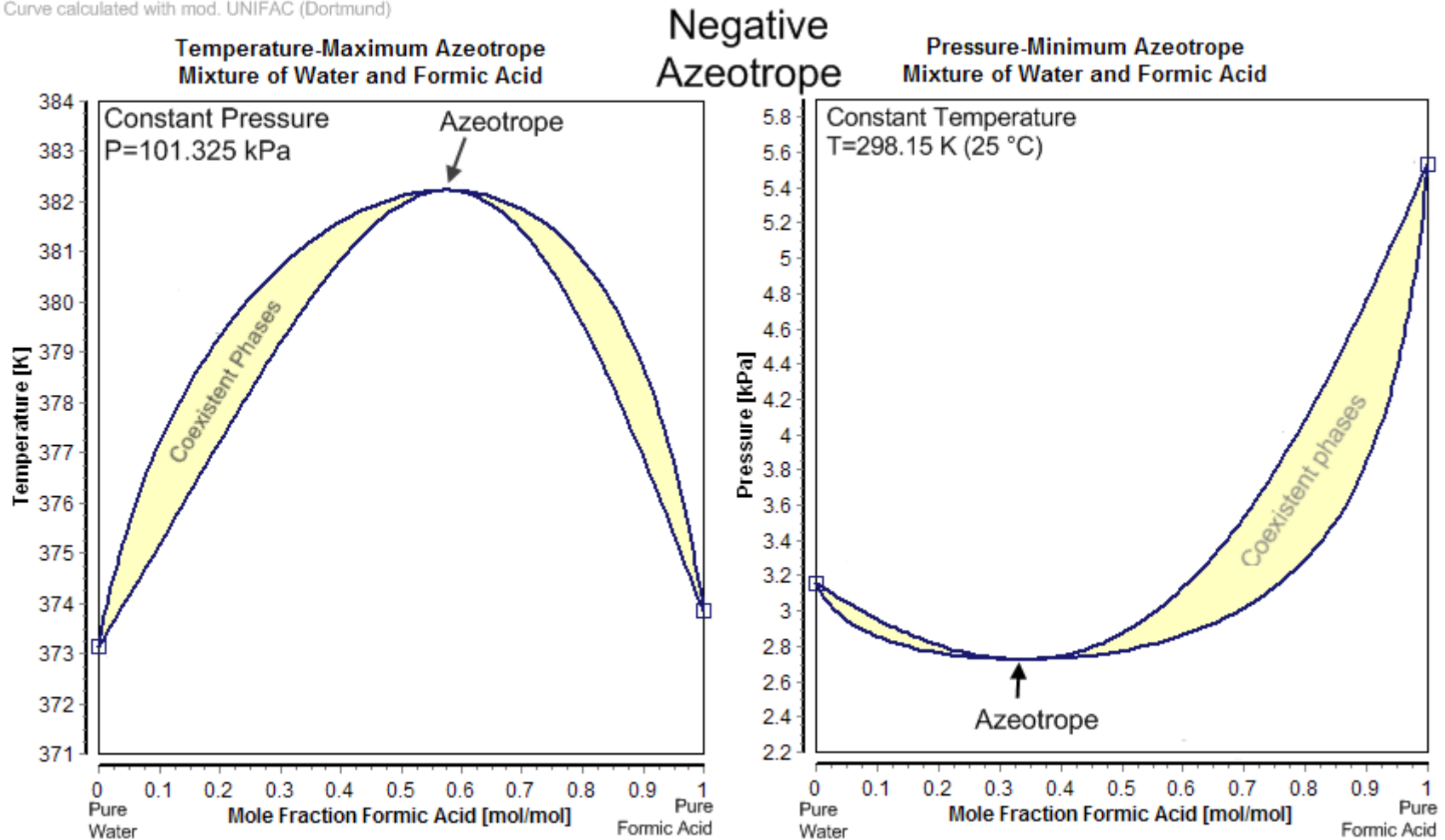
# ¿Qué pasa en solución reales (no ideales)?

Curves calculated by mod. UNIFAC (Dortmund)



# ¿Qué pasa en solución reales (no ideales)?

Curve calculated with mod. UNIFAC (Dortmund)



# Diagrama de Temperatura - Composición

Para una mezcla binaria de A y B que se comporta idealmente, la composición de una fase líquida (l) y otra gaseosa (g) que se encuentran en equilibrio a una presión P y temperatura T está dada por:

$$X_{A,l} = \frac{1 - K_B}{K_A - K_B}$$

$$X_{A,g} = K_A \cdot X_{A,l}$$

donde:

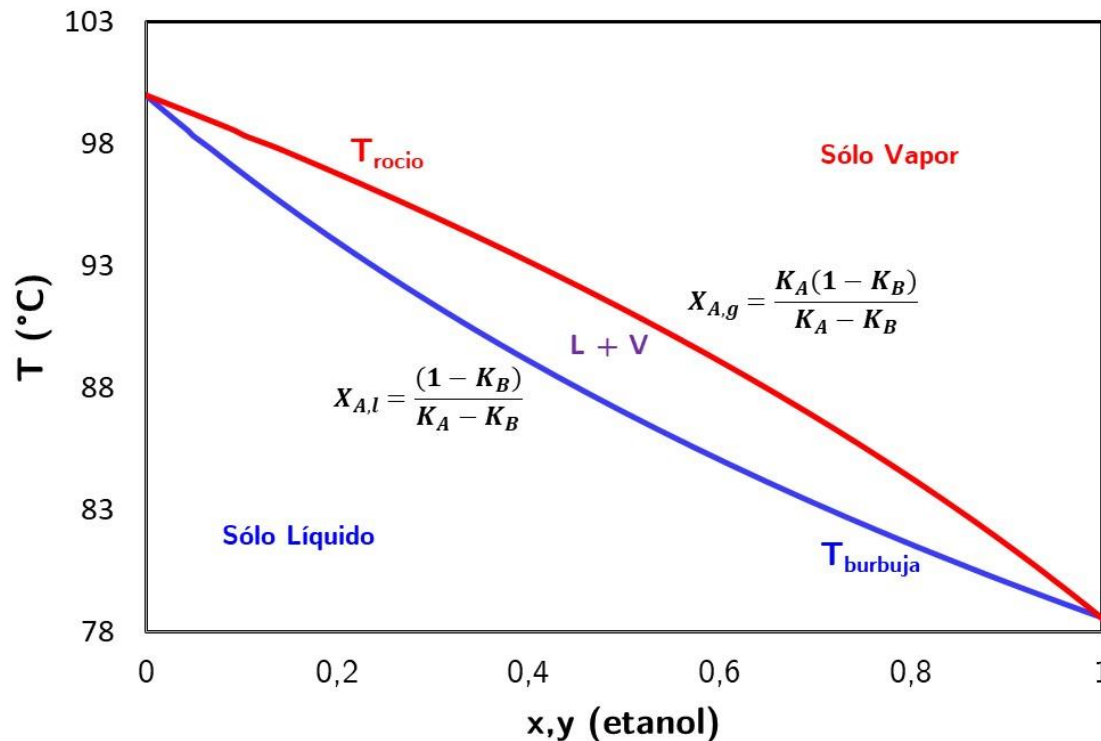
$$K_A = \frac{1}{P} \cdot \exp \left( A_A - \frac{B_A}{T + C_A} \right)$$

$$K_B = \frac{1}{P} \cdot \exp \left( A_B - \frac{B_B}{T + C_B} \right)$$

# Ejercicio: Diagrama de Temperatura - Composición

Identifique en el gráfico los siguiente:

1. ¿A que fases corresponden cada una de las regiones?
2. Indique a que corresponde cada una de las curvas y a través de qué expresión matemática se determinan



# Volatilidad relativa

La volatilidad relativa de dos componentes es una medida de la facilidad con que estas sustancias pueden separarse por destilación.

Se define por medio de la ecuación:

$$\alpha_{i,j} = \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j}$$

donde  $\alpha_{i,j}$  es la volatilidad relativa del componente i con respecto al componente j , x e y son las fracciones molares en el líquido y en el vapor respectivamente.

En el proceso de destilación hace uso de que la volatilidad relativa de 2 compuestos es  $> 1$ .

# Relación entre Volatilidad y Presión Parcial

En una mezcla líquida que se comporta idealmente, bajo condiciones de equilibrio fisicoquímico con una fase gaseosa, se cumple que:

$$P \cdot y_i = p_i^o(T) \cdot x_i$$

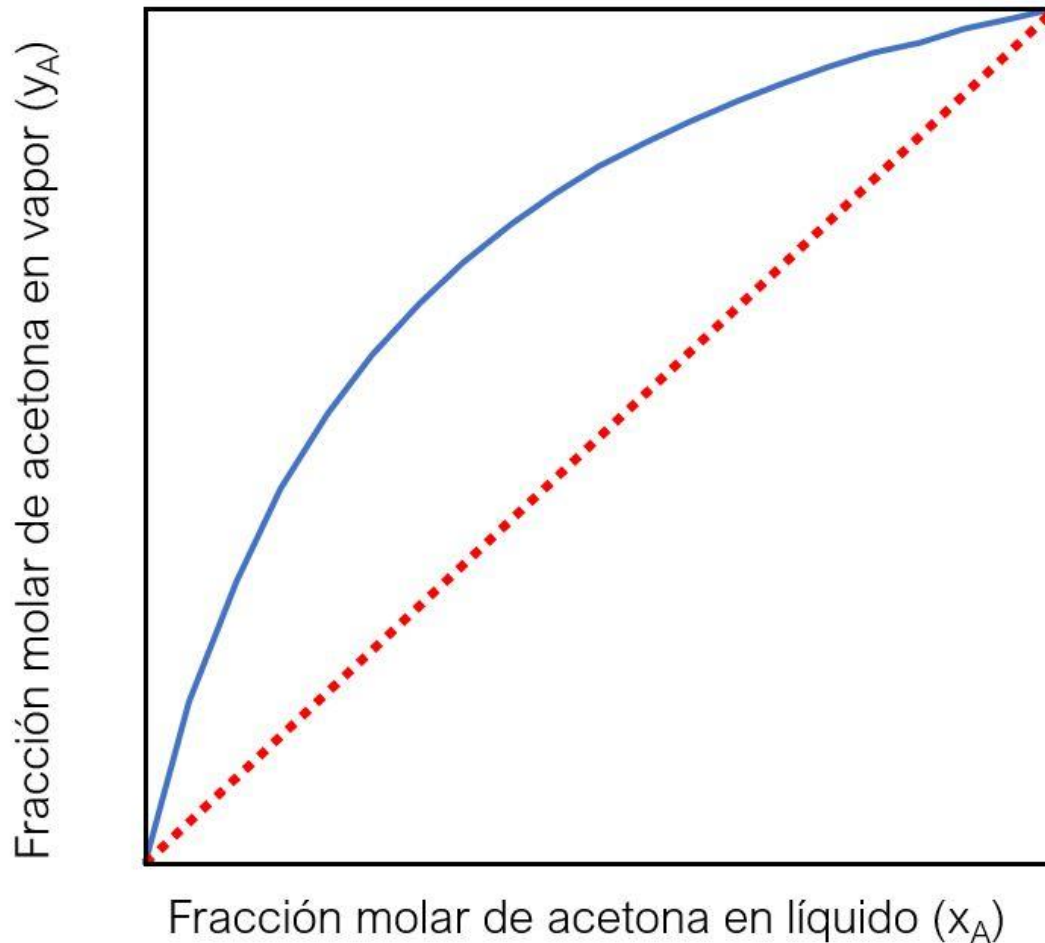
Reemplazando en la definición se obtiene que:

$$\alpha_{i,j} = \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j} = \frac{K_i}{K_j} = \frac{p_i^o(T)}{p_j^o(T)}$$

Por otro lado, un reordenamiento de la ecuación resulta en:

$$\alpha_{i,j} = \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j} = \frac{y_i/x_i}{(1 - y_i)/(1 - x_i)} \Leftrightarrow y_i = \frac{\alpha_{i,j} \cdot x_i}{1 + (\alpha_{i,j} - 1) \cdot x_i}$$

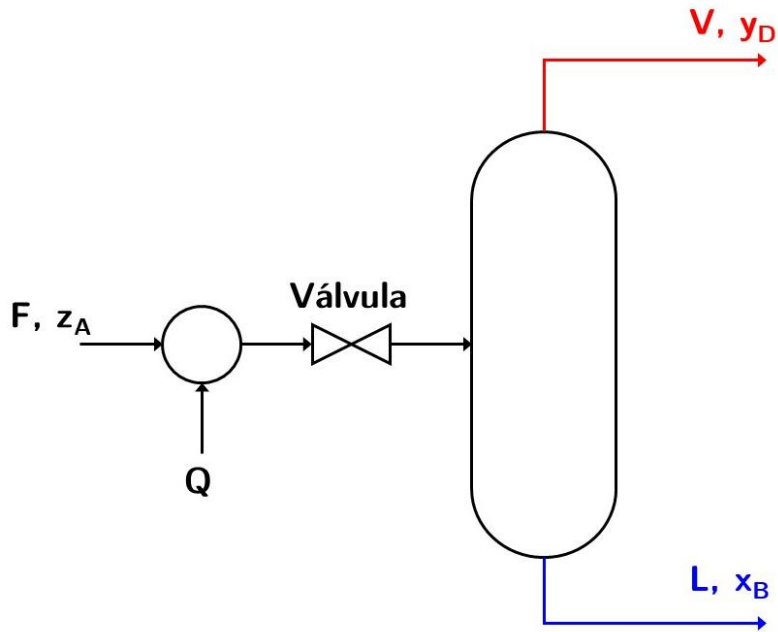
$$\alpha_{A,B} = \frac{\exp\left(14,7171 - \frac{2975,95}{T - 34,5228}\right)}{\exp\left(16,5362 - \frac{3985,44}{T - 38,9974}\right)} \begin{cases} \text{Desde } 329,3 \text{ K} \\ \text{Hasta } 373,2 \text{ K} \end{cases} \quad \alpha_{A,B} = 4,788$$



Compuesto más  
volátil sobre la línea de  
45°



# Destilación Flash o de Equilibrio



$F$  = flujo molar de la alimentación

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

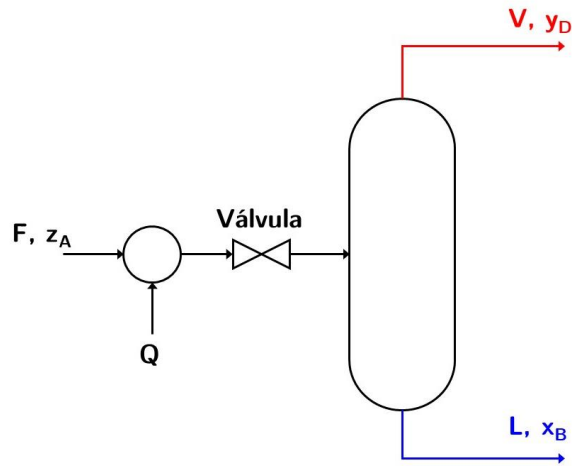
$V$  = flujo molar del vapor

$y_D$  = 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

$$F = V + L$$

## 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:

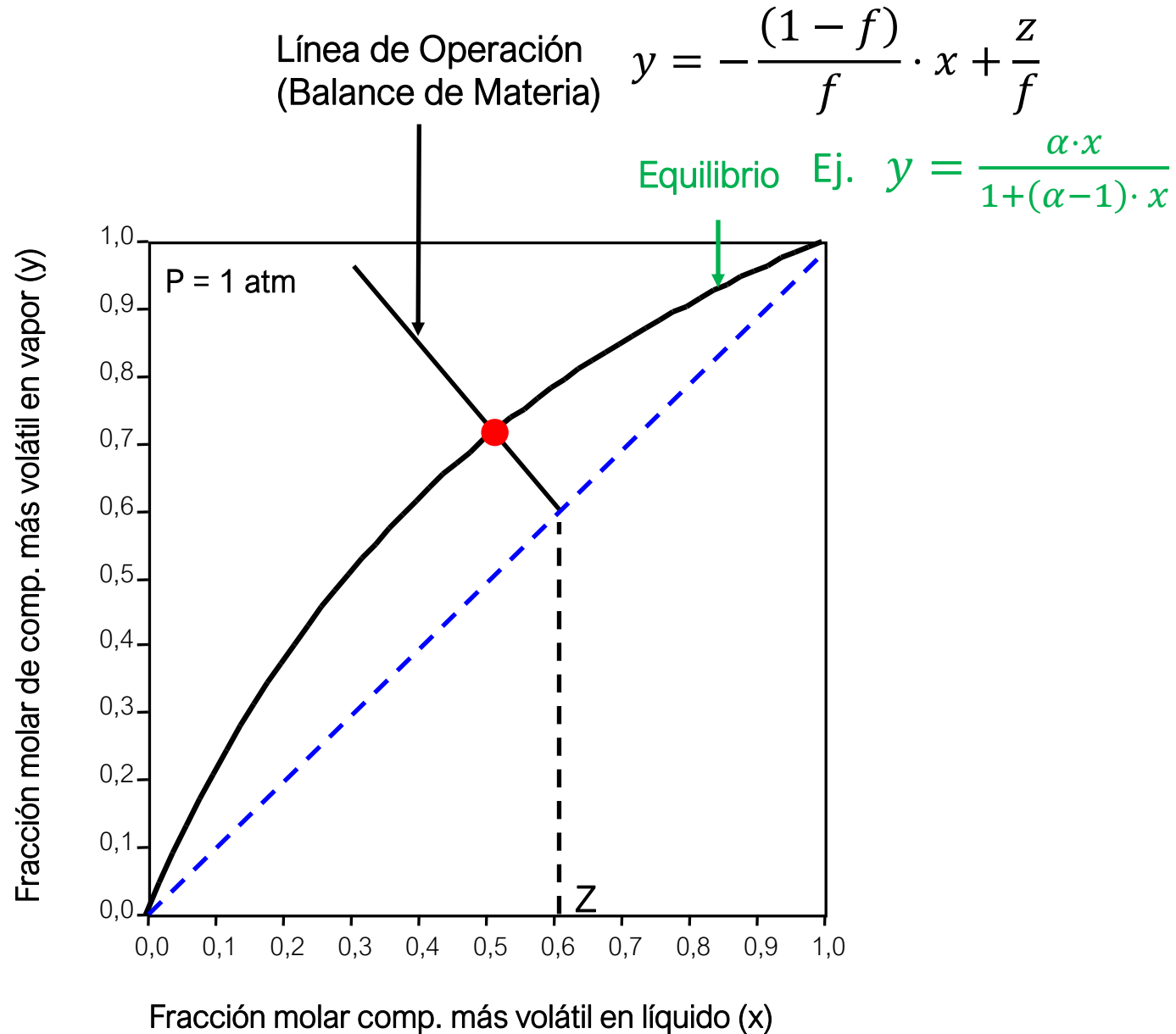
$$y = -\frac{(1-f)}{f} \cdot x + \frac{z}{f}$$

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

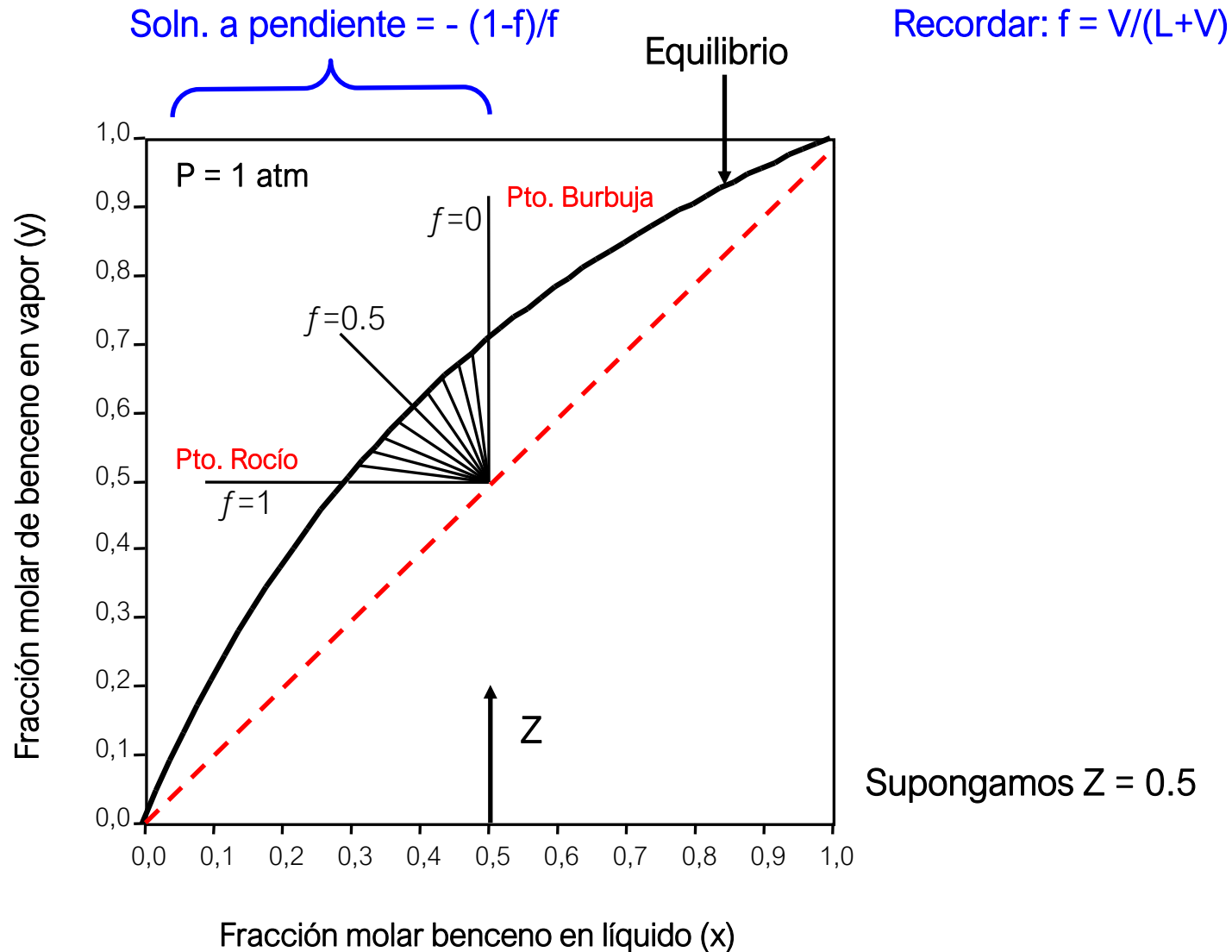
$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + (\alpha - 1) \cdot x}$$

∃ 2 ecuaciones con 2 incógnitas

# Gráficamente ...



# Ejemplo: Sistema Benceno-Tolueno



- Recordaron los principios de la destilación.
- Comprendieron las restricciones de la destilación flash en una sola etapa.

# Introducción a Destilación

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

18 de Marzo de 2021

