

# GUÍA 5y6 - Destilación Binaria y Multicomponentes Problema 2

2° Cuatrimestre - 2024

# Enunciado

Una mezcla que contiene 50% de n-pentano y 50% de n-hexano a una temperatura de 270 K, se va a separar por destilación continua.

El producto de la parte superior debe contener el 95 % del n-pentano de la alimentación y el producto de fondo se espera que contenga el 97 % del n-hexano de la alimentación.

La columna operará a una presión total de 13,3 kPaa empleando un condensador y reboiler totales.

**Determinar:**

1. a) El mínimo número de etapas que se requerirán en el proceso.  
b) La relación de reflujo mínimo.  
c) Adoptando  $R=1,5 R_{min}$  determinar el número de etapas que se requerirán en la zona de rectificación, en la de agotamiento y el plato óptimo donde debe ingresar la alimentación.  
d) Calcular la carga térmica del condensador y reboiler.
2. Repita el problema utilizando una presión total de operación de 53,2 kPa, compare los resultados obtenidos con la condición anterior.
3. ¿Cómo serán comparativamente los diámetros de las torres especificadas en 1) y 2)?

# Datos

- Calor Molar de vaporización de la solución:

- $\lambda_{P_1}^{mix} = 6886,9 \text{ kcal/kmol}$  ( $P_1 = 13,3 \text{ kPa}$ )
- $\lambda_{P_2}^{mix} = 6490,1 \text{ kcal/kmol}$  ( $P_2 = 53,2 \text{ kPa}$ )

- $z_F = 0,5$

- $T = 270 \text{ K}$

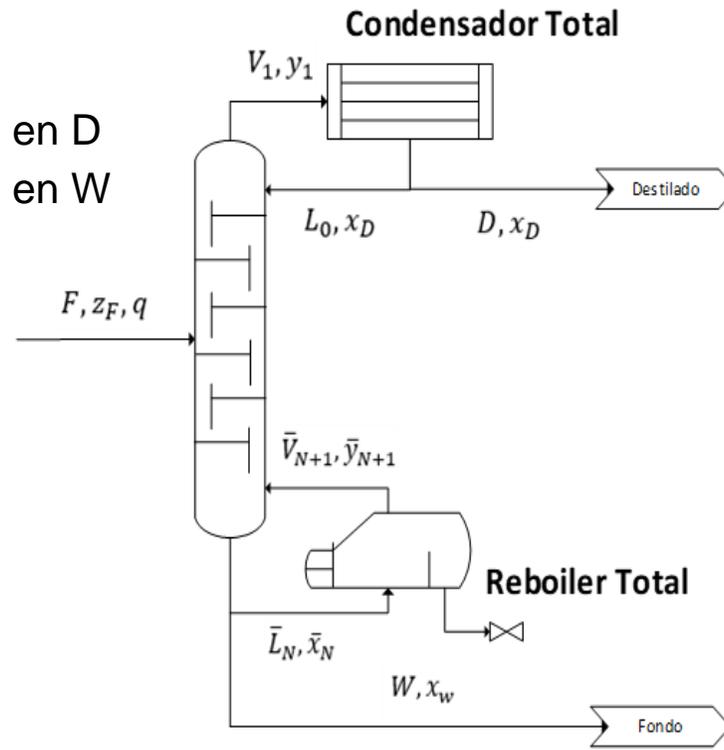
- 95% de C5 se recupera en D

- 97% de C6 se recupera en W

- $P_{OP} = 13,3 \text{ kPa}$

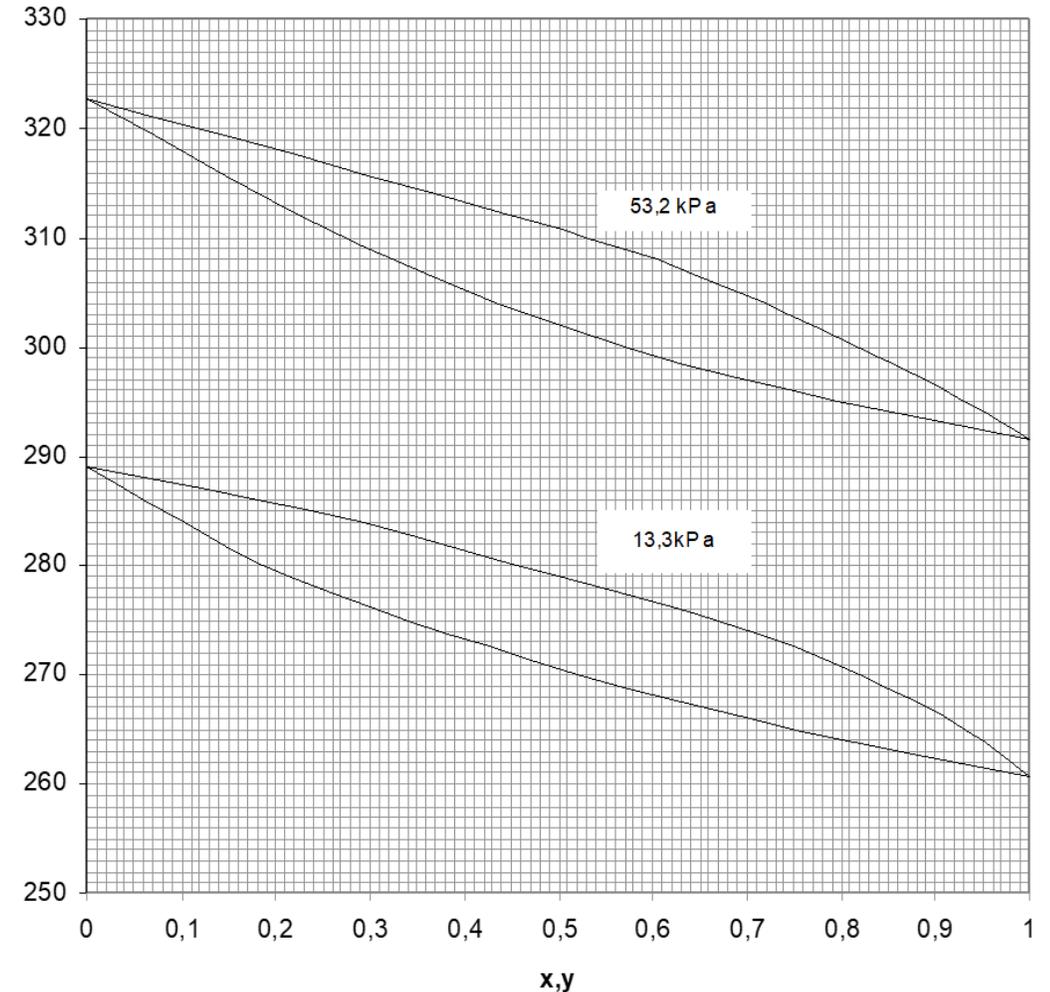
- Condensador total

- Reboiler total

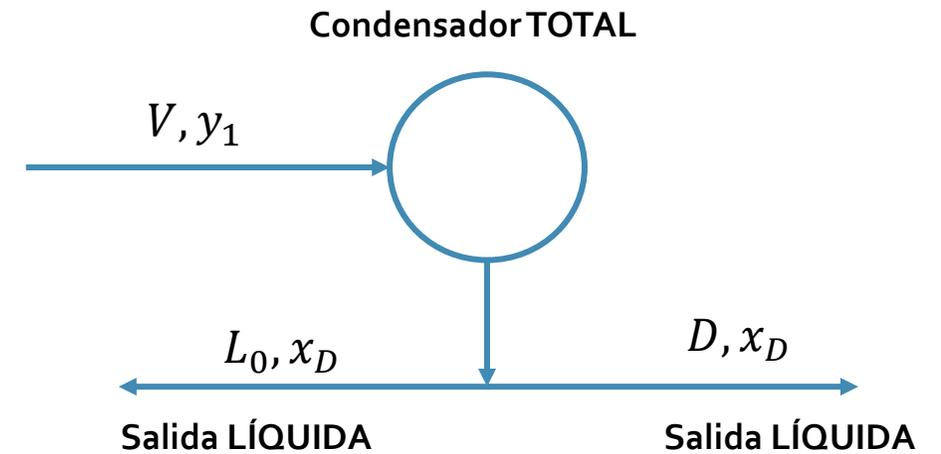
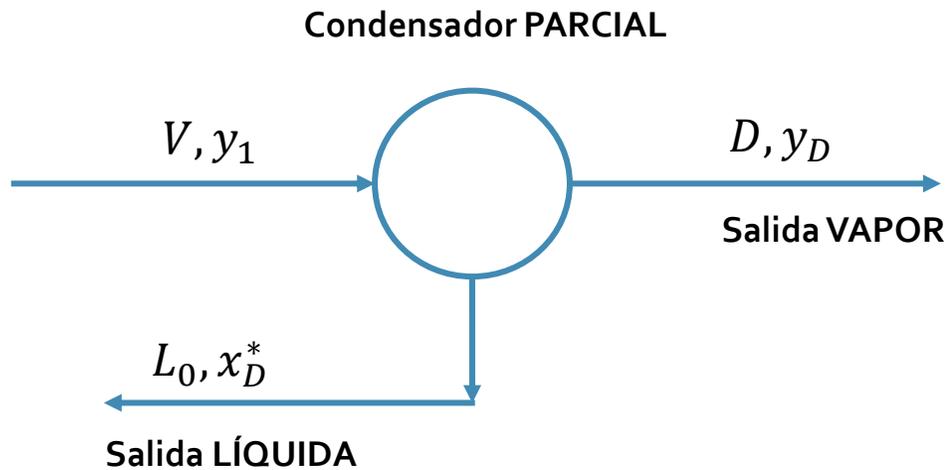


- Gráfico  $T - x$  de la mezcla:

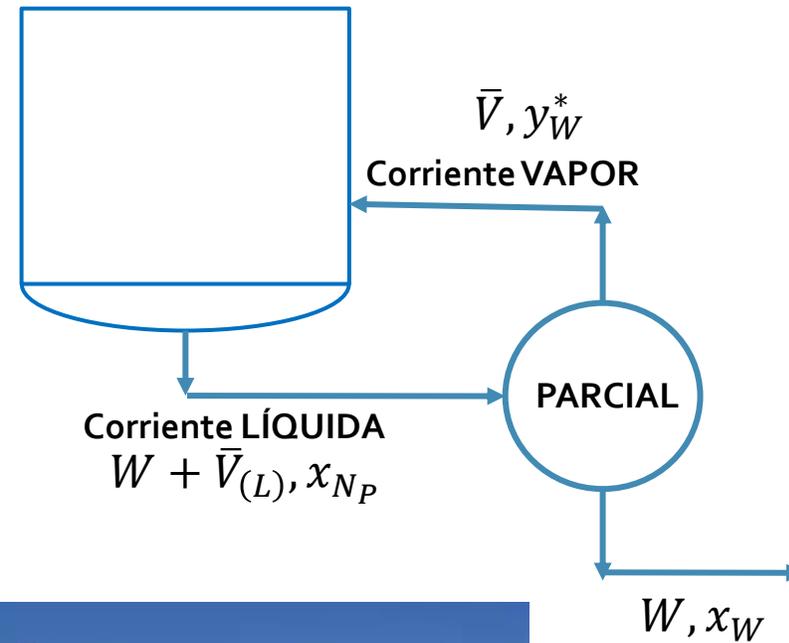
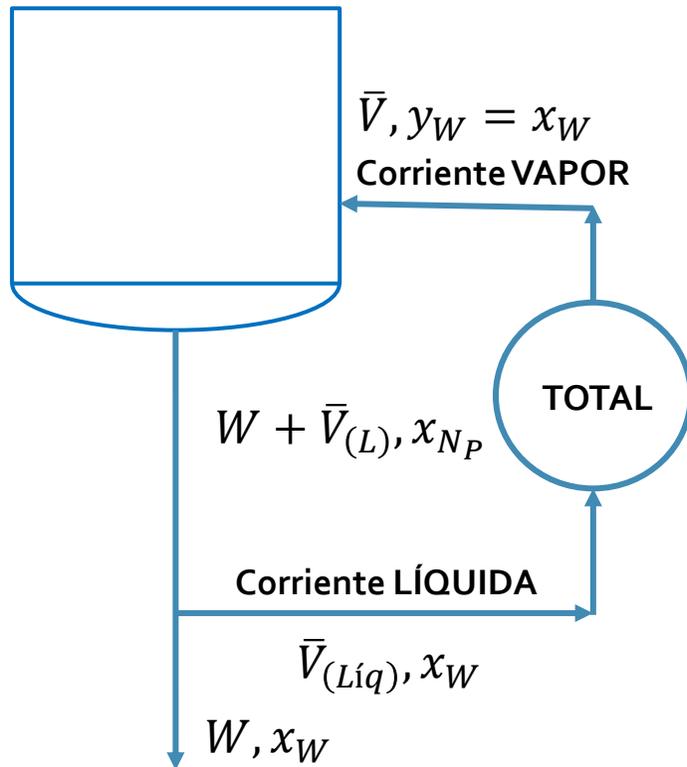
T (K)



# Condensadores parciales y totales

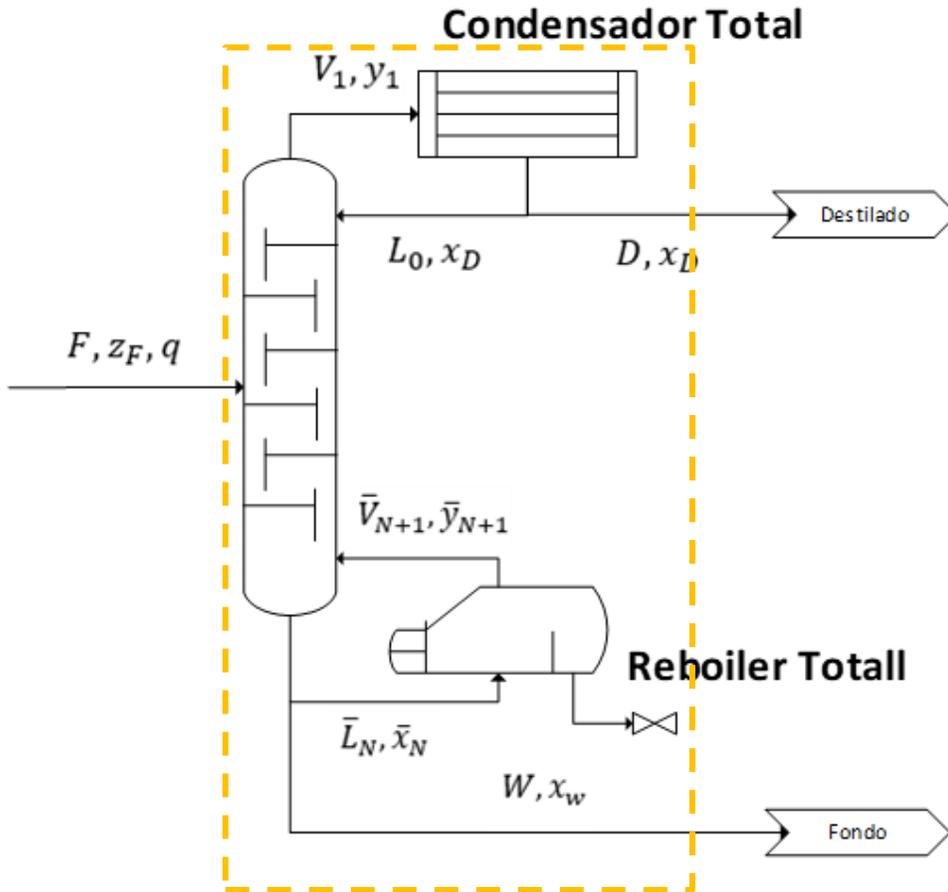


# Reboilers parciales y totales



# Resolución ítem 1-a)

a. Determinar el mínimo número de etapas que se requerirán en el proceso.



Balances de masa:

$$F = D + W$$

$$z_F \cdot F = x_D \cdot D + x_w \cdot W$$

Especificaciones de la torre:

$$\frac{x_D \cdot D}{z_F \cdot F} = 0,95$$

$$\frac{W \cdot (1 - x_w)}{F \cdot (1 - z_F)} = 0,97$$

¿Cuántas incógnitas y ecuaciones tenemos?

$$\begin{cases} \frac{D}{F} = 0,49 \\ x_D = 0,969 \\ x_w = 0,049 \end{cases}$$

# Resolución ítem 1-a)

a. Determinar el mínimo número de etapas que se requerirán en el proceso.

Tenemos prácticamente toda la información de la Torre:

- $\frac{D}{F} = 0,49$
- $\frac{W}{F} = 0,51$
- $x_D = 0,969$
- $x_W = 0,049$

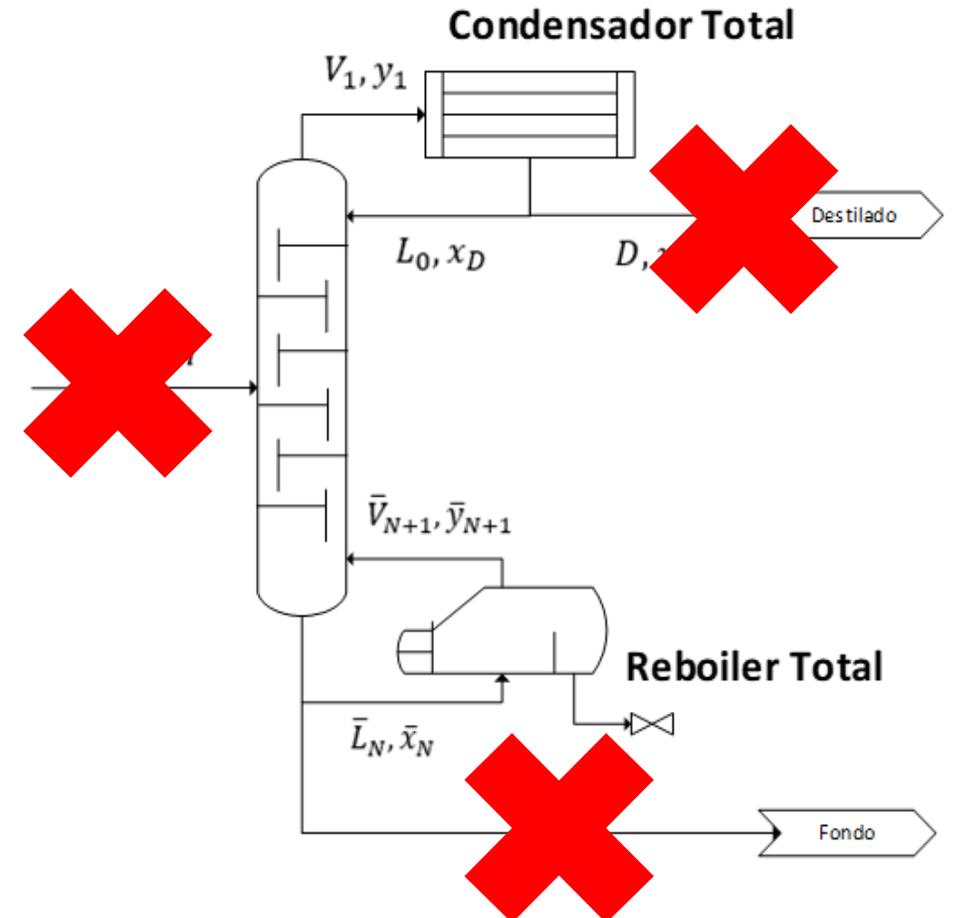
¿Cómo se obtiene el **mínimo** número de etapas?



**Reflujo Total**

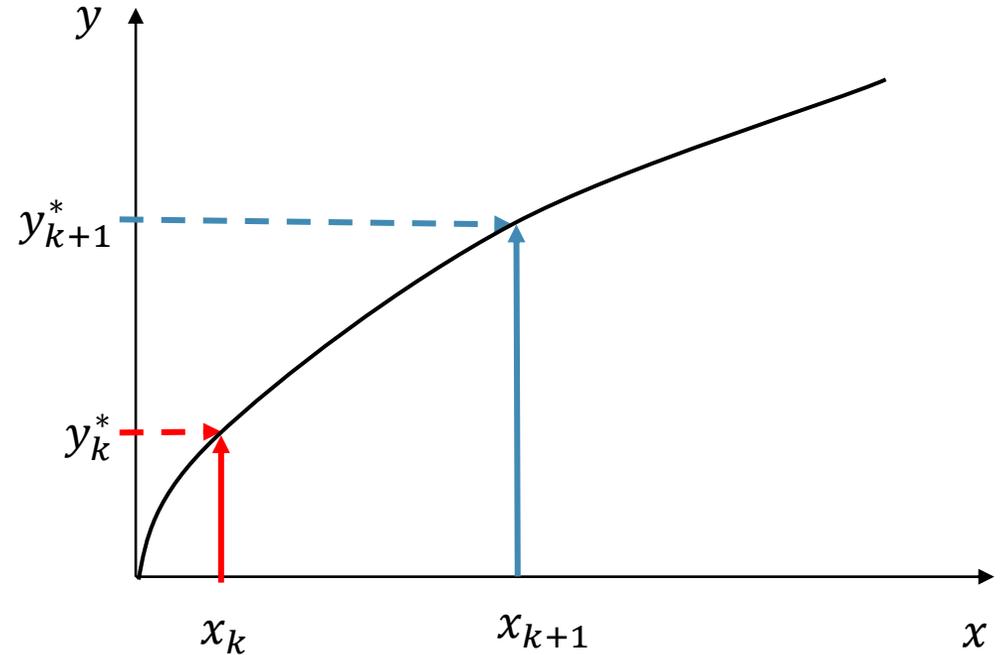
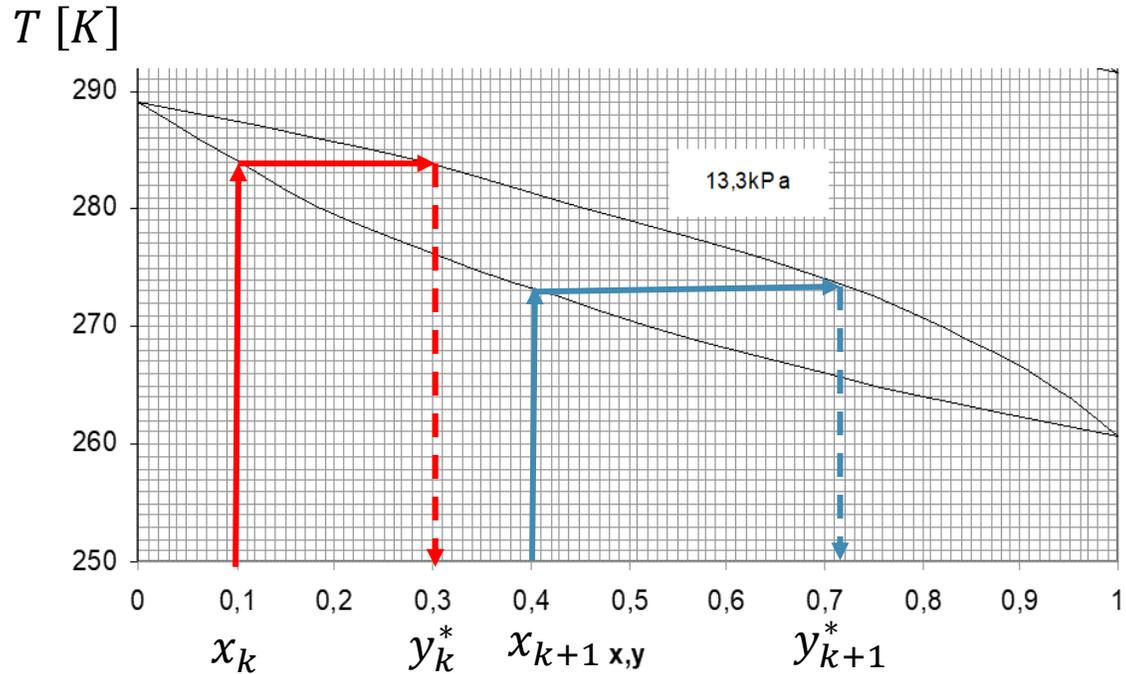
¿Cómo lo vemos gráficamente?

¿Qué información tenemos sobre el equilibrio?



# Resolución ítem 1-a)

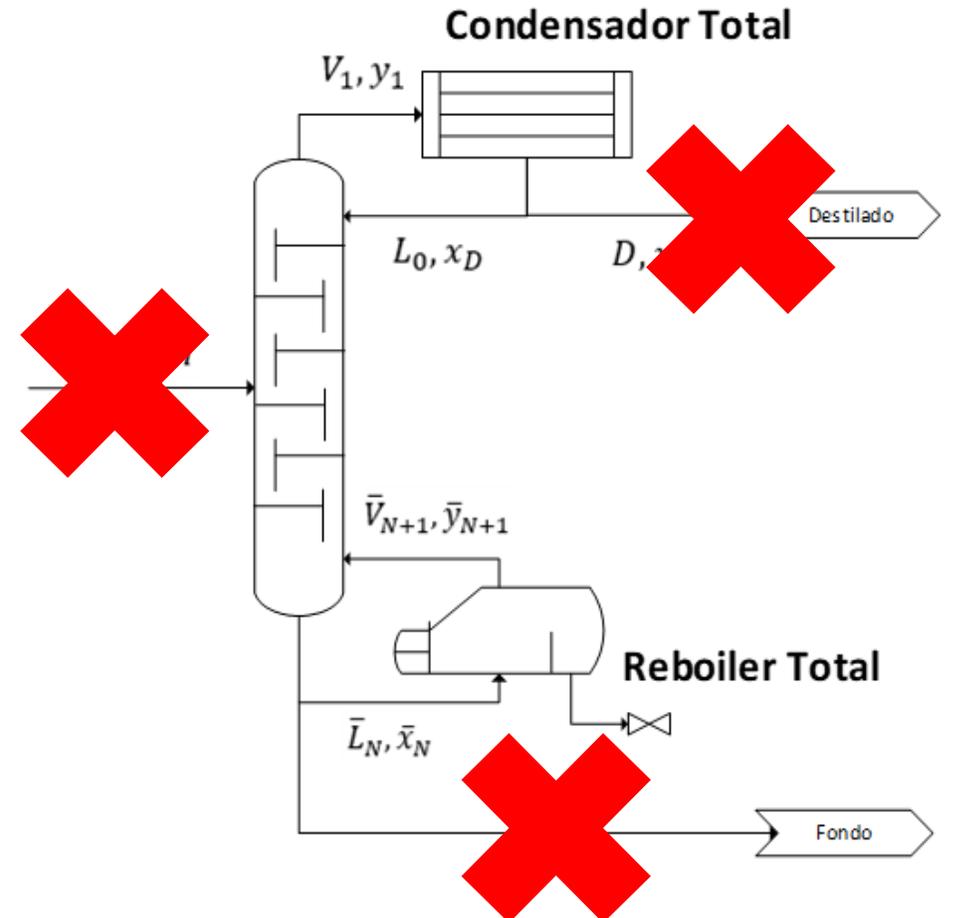
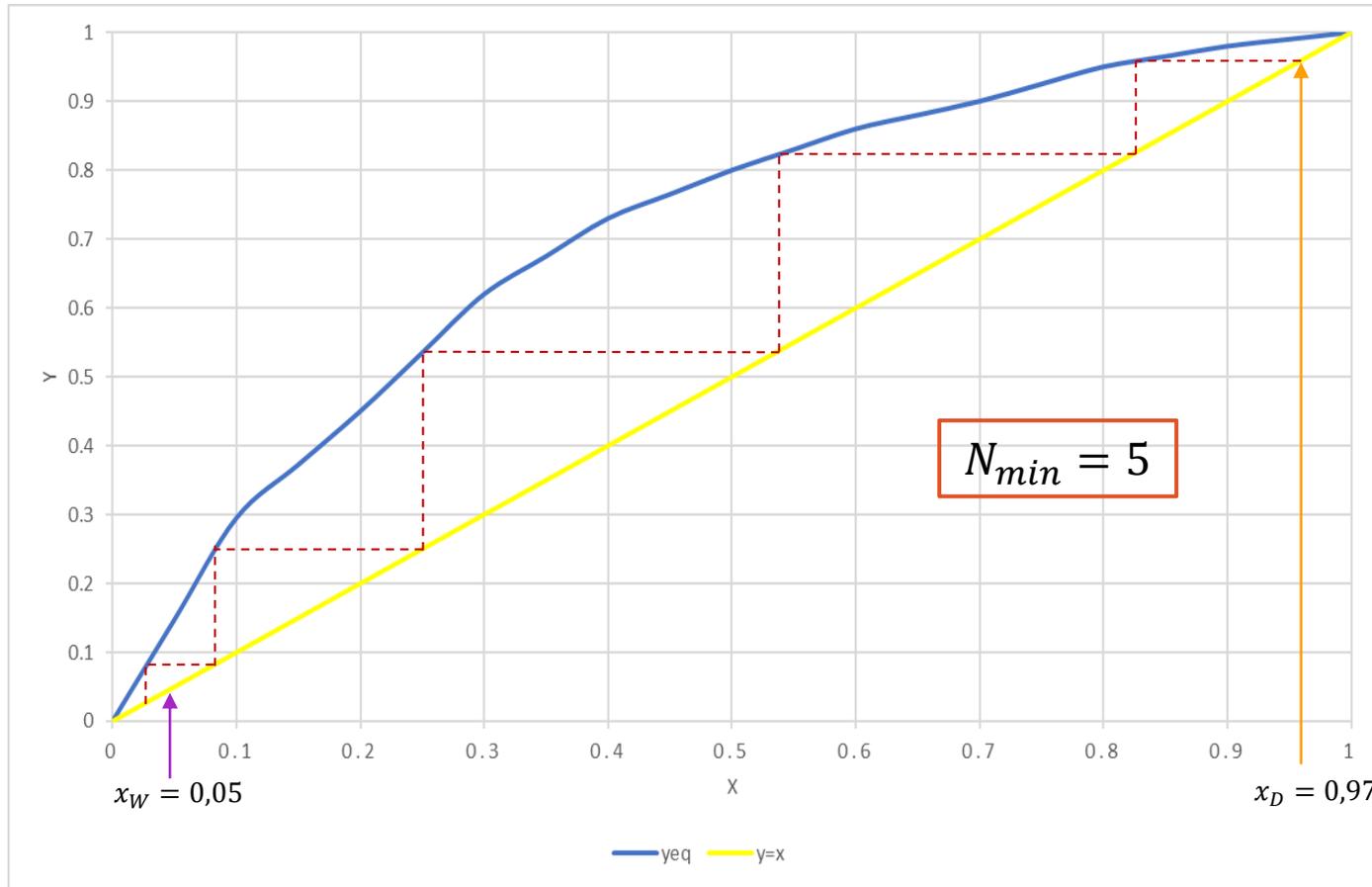
a. Determinar el mínimo número de etapas que se requerirán en el proceso.  
¿Cómo construimos el equilibrio?



# Resolución ítem 1-a)

a. Determinar el mínimo número de etapas que se requerirán en el proceso.

Graficamos el equilibrio y desde los puntos extremos de la torre, contamos etapas:



# Resolución ítem 1-b)

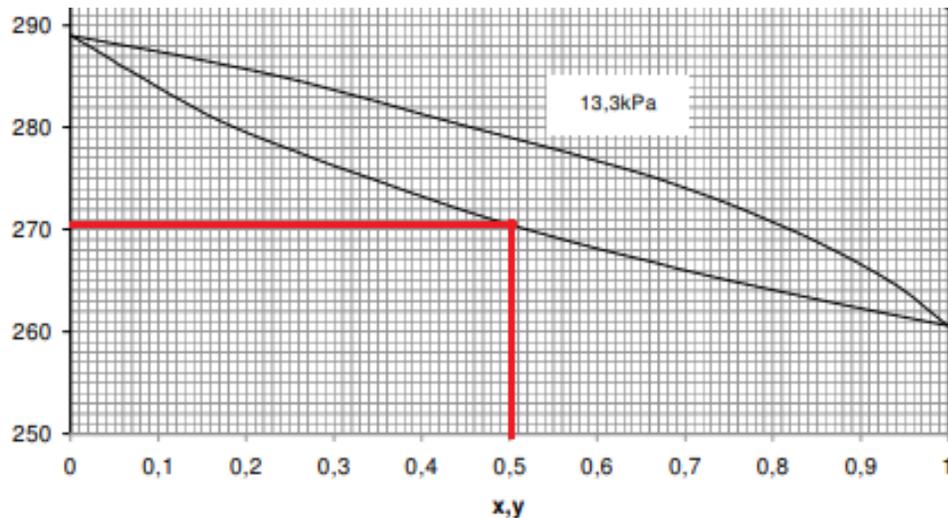
b. Determinar la relación de reflujo mínimo.

Ahora nos piden obtener el otro extremo de la operación: Reflujo mínimo. Es decir, etapas infinitas:

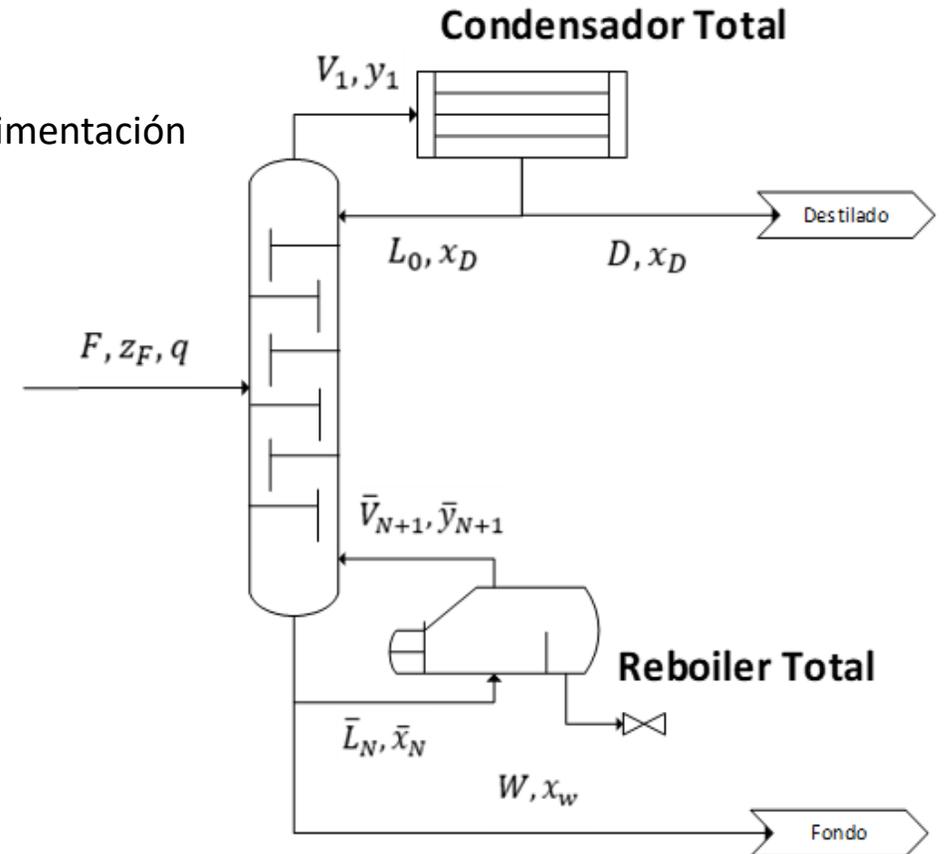
¿Cómo obtenemos el **reflujo mínimo** gráficamente?

Vamos a necesitar graficar la *recta q*, para lo cual necesitamos la condición de alimentación

Con la composición y temperatura de la alimentación, y la Presión operativa:



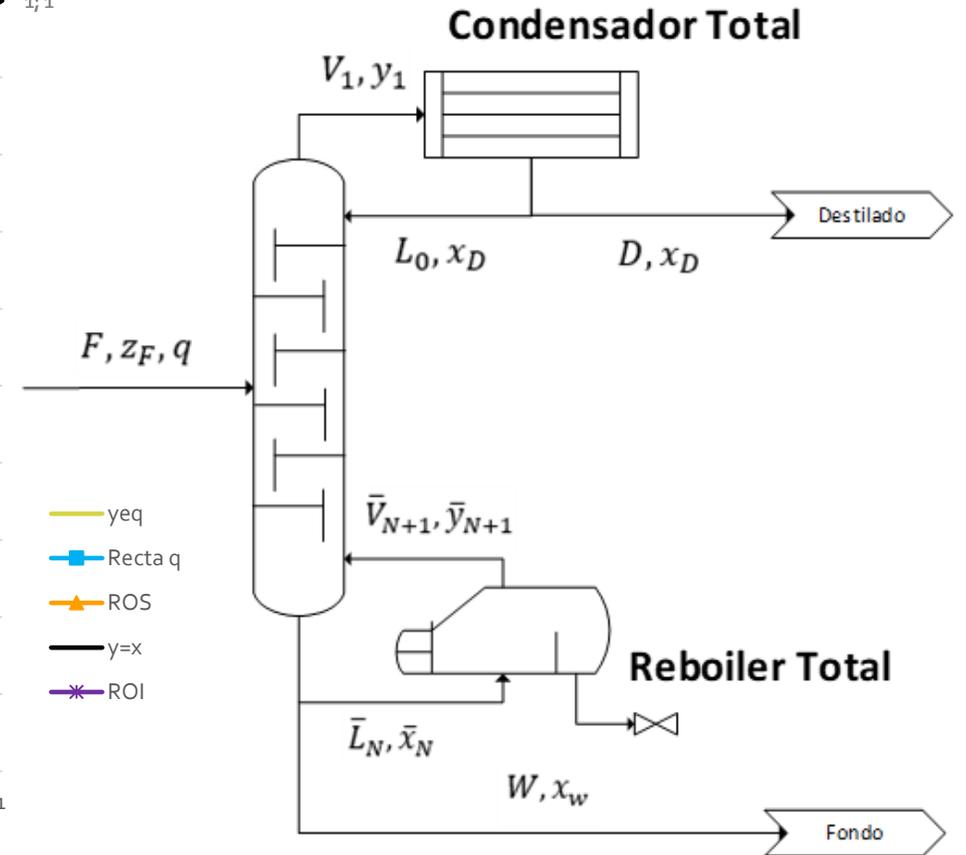
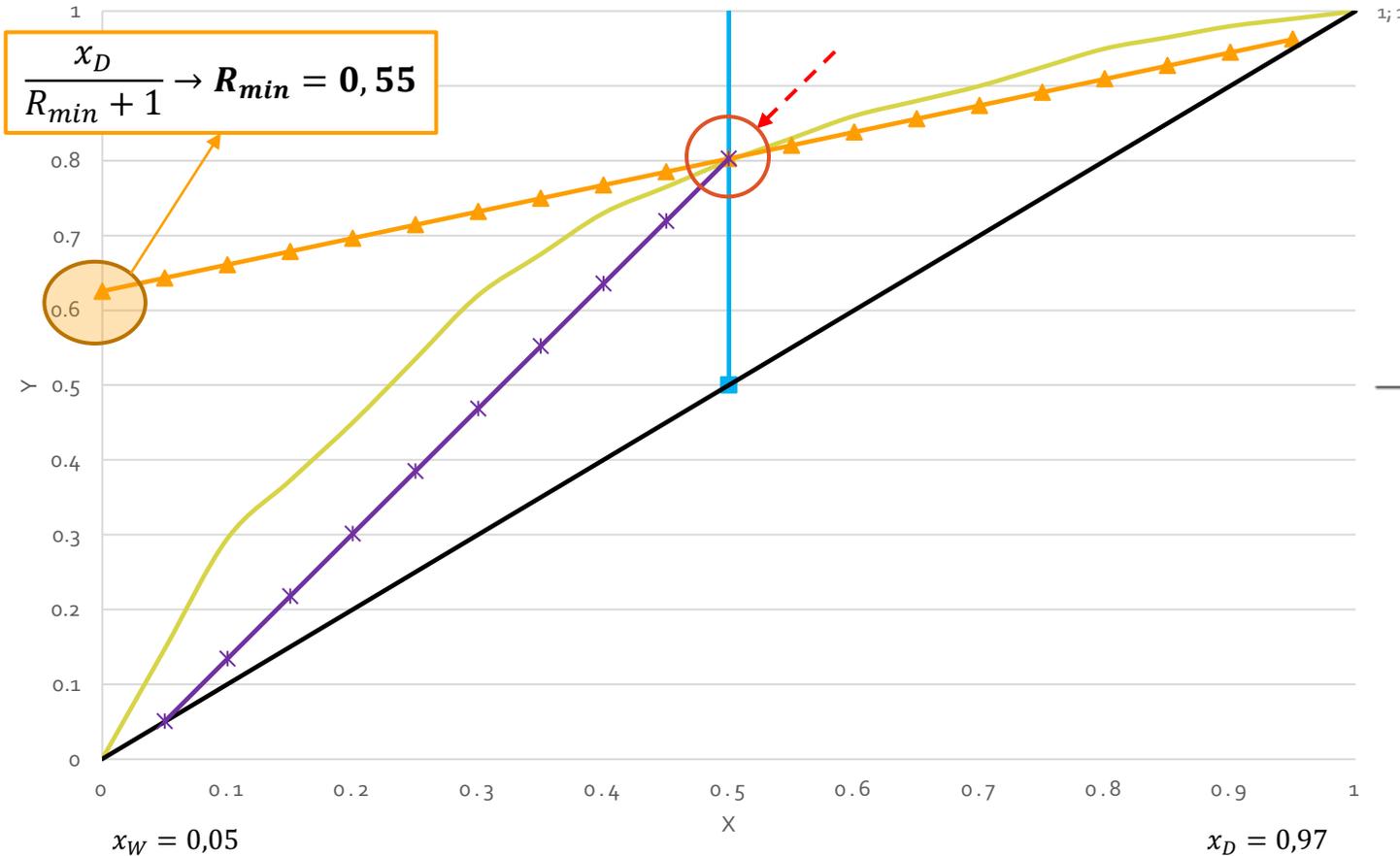
Líquido saturado  $\rightarrow q = \frac{L}{F} = 1$



# Resolución ítem 1-b)

b. Determinar la relación de reflujo mínimo.

Ahora sí, busquemos gráficamente la operación a reflujo mínimo:

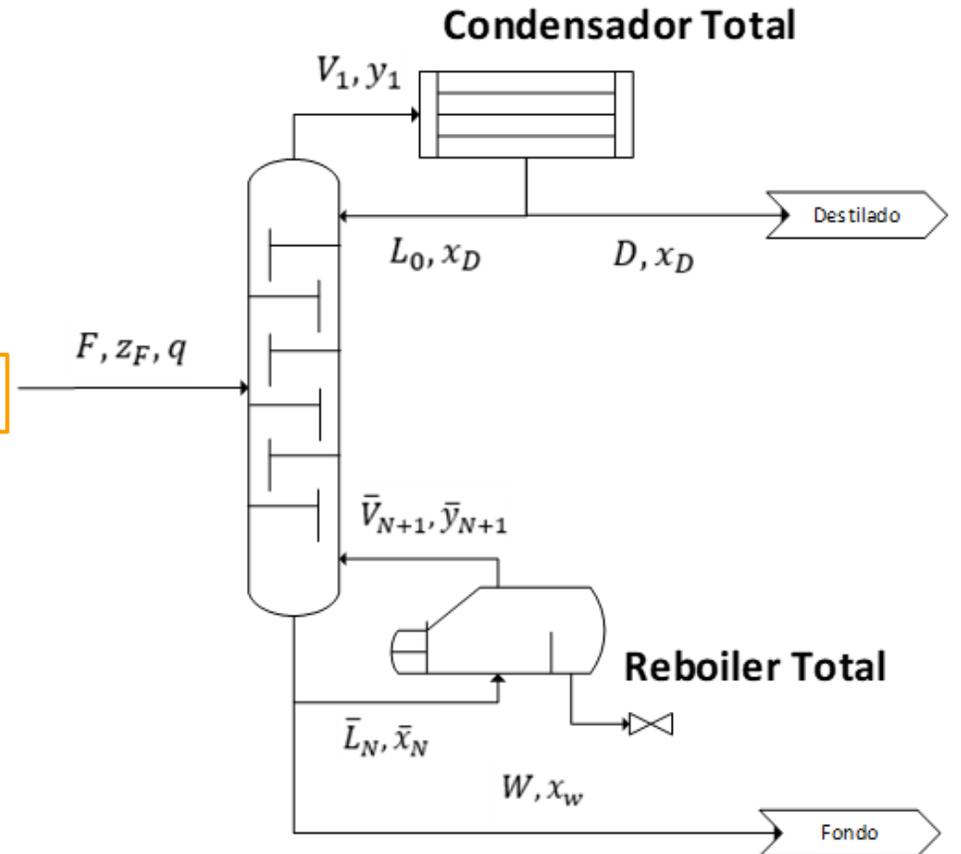
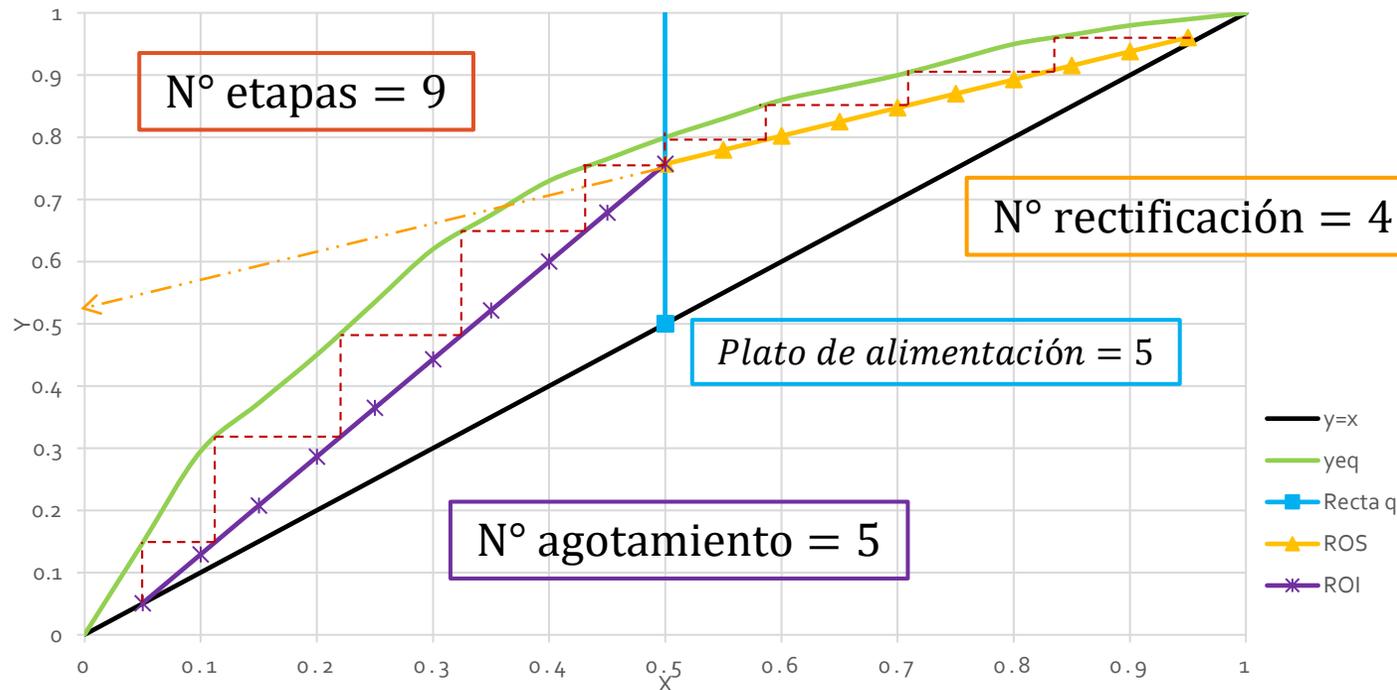


# Resolución ítem 1-c)

c. Adoptando  $R = 1,5 \cdot R_{min}$  determinar el número de etapas que se requerirán en la zona de rectificación, en la de agotamiento y el plato óptimo donde debe ingresar la alimentación

Calculamos el reflujo operativo con el que vamos a trabajar y graficamos:

$$R_{OP} = 1,5 \cdot R_{min} = 0,825 \longrightarrow \frac{x_D}{R_{OP} + 1} = 0,53$$



# Resolución ítem 1-d)

d. Calcular la carga térmica del condensador y el reboiler

Como no tenemos caudales, podremos calcular las cargas térmicas en función del caudal de alimentación:

$$R_{OP} = 0,825 = \frac{L_0}{D} \quad \longrightarrow \quad \frac{L_0}{F} = 0,825 \cdot \frac{D}{F} = 0,404$$

En el condensador:

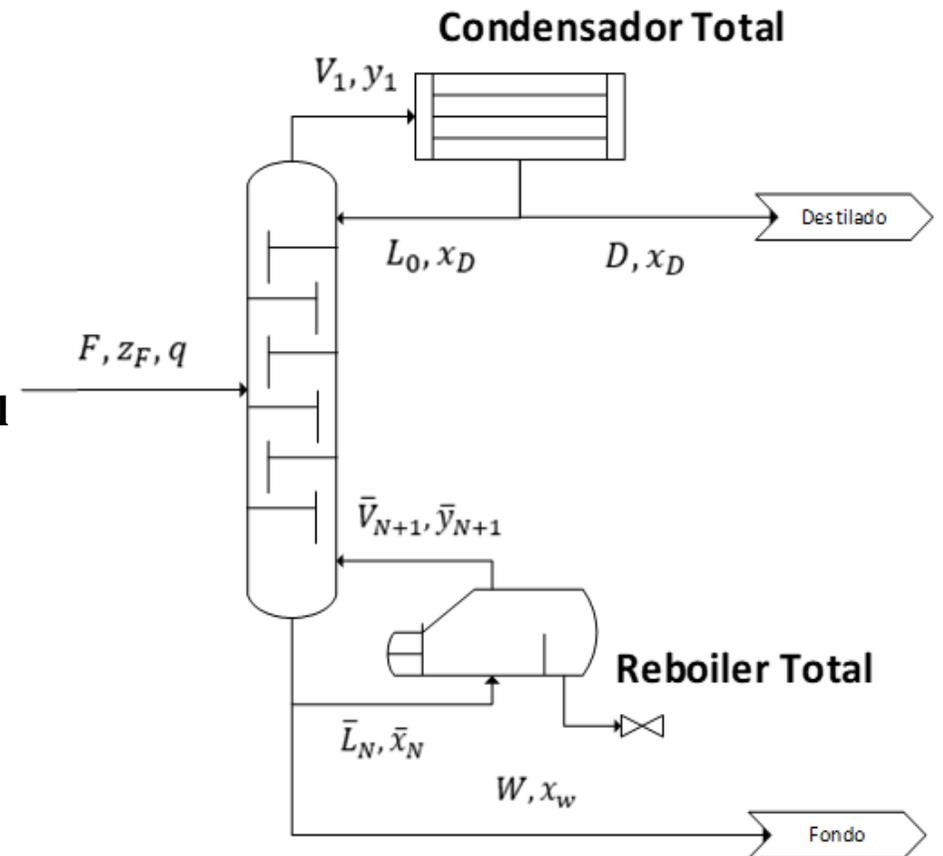
$$\frac{V}{F} = \frac{D}{F} + \frac{L_0}{F} = 0,49 + 0,404 = 0,894$$

$$\frac{Q_{cond}}{F} = -\lambda_{mix}^{P_1} \cdot \frac{V}{F} = -6886,9 \text{ kcal/kmol} \cdot 0,894 = \mathbf{6156,9 \text{ kcal/kmol}}$$

En el reboiler:

$$\frac{Q_{reb}}{F} = -\lambda_{mix}^{P_1} \cdot \frac{\bar{V}}{F} = -6886,9 \text{ kcal/kmol} \cdot 0,894 = \mathbf{6156,9 \text{ kcal/kmol}}$$

$$\bar{V} = V - (1 - q) \cdot F = V$$

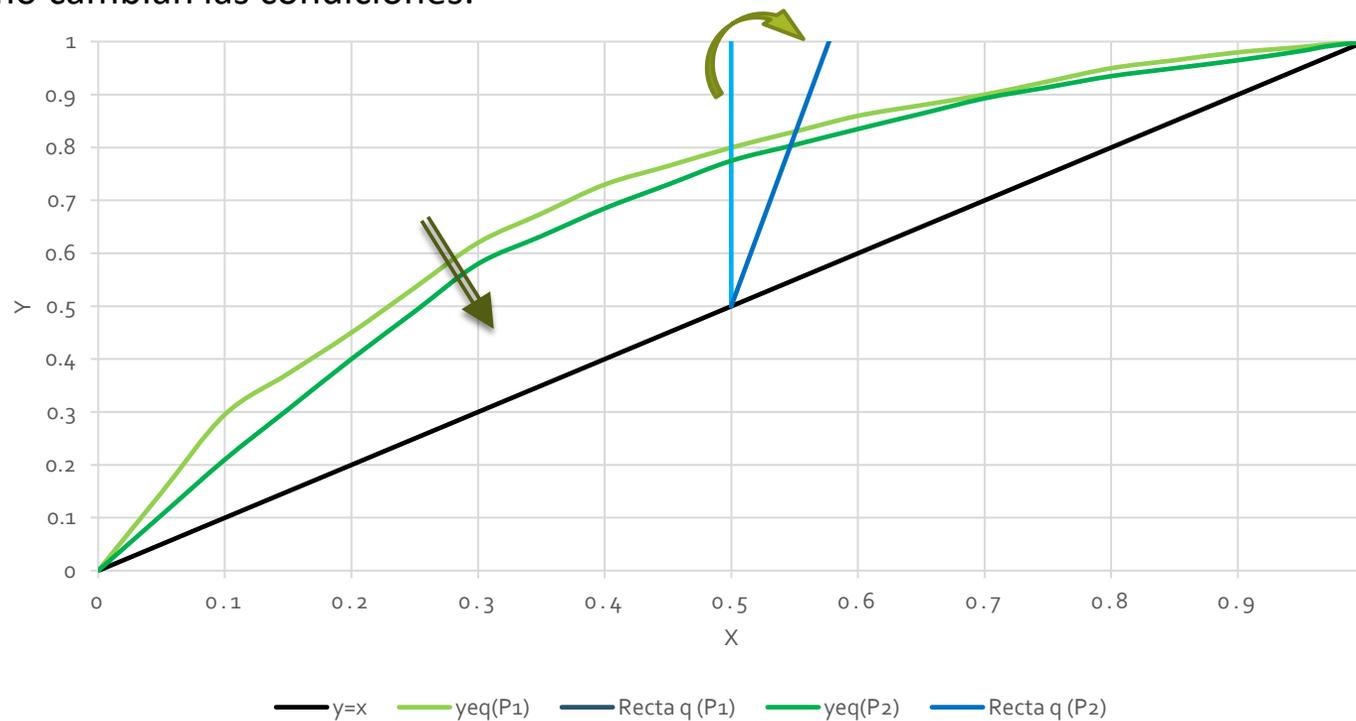


# Resolución ítem 2

2. Repita el problema utilizando una presión total de operación de 53,2 kPa, compare los resultados obtenidos con la condición anterior.

¿¿Qué resultados esperamos obtener??

Para empezar, veamos cómo cambian las condiciones:



# Resolución ítem 2

2. Repita el problema utilizando una presión total de operación de 53,2 kPa, compare los resultados obtenidos con la condición anterior.

Veamos los resultados comparativos:

Parámetro	P <sub>1</sub> =13.3 kPa	P <sub>2</sub> =53.2 kPa
N <sub>min</sub>	5	6
q	1	1,18
R <sub>min</sub>	0,55	0,63
R <sub>OP</sub>	0,825	0,945
N <sub>OP</sub>	9	12
N <sub>rect</sub>	4	4
N <sub>Agot</sub>	5	8
Q <sub>cond</sub> /F [kcal/kmol]	6156,9	6185,4
Q <sub>reb</sub> /F [kcal/kmol]		7369,4

líquido subenfriado

¿Cómo se obtiene?

# Resolución ítem 2

2. Repita el problema utilizando una presión total de operación de 53,2 kPa, compare los resultados obtenidos con la condición anterior.

¿Cómo calcular el  $q$ ?:

$$F \cdot H_F = L \cdot H_L^{sat} + V \cdot H_V^{sat} \longrightarrow H_F = q \cdot H_L^{sat} + (1 - q) \cdot H_V^{sat}$$

$$q = \frac{H_F - H_V^{sat}}{H_L^{sat} - H_V^{sat}} = \frac{H_F - H_V^{sat}}{-\lambda_{P_2}^{mix}}$$

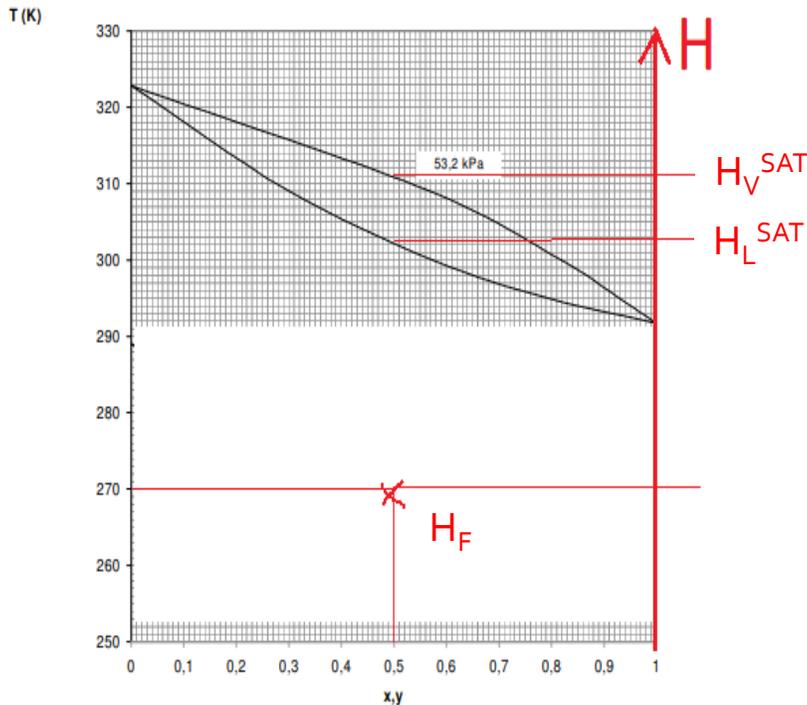
Además: 
$$H_F = H_L^{sat} + C_p^{mix} \cdot (T_F - T_L^{sat})$$

Reemplazando: 
$$q = \frac{H_L^{sat} + C_p^{mix} \cdot (T_F - T_L^{sat}) - H_V^{sat}}{-\lambda_{P_2}^{mix}} = \frac{-\lambda_{P_2}^{mix} + C_p^{mix} \cdot (T_F - T_L^{sat})}{-\lambda_{P_2}^{mix}}$$

$$q = 1 + \frac{C_p^{mix} \cdot (T_L^{sat} - T_F)}{\lambda_{P_2}^{mix}}$$

Tomando un valor promedio: 
$$\begin{cases} C_p^{pentano} = 28,758 \frac{kcal}{kmol \cdot K} \\ C_p^{hexano} = 45,244 \frac{kcal}{kmol \cdot K} \end{cases} \longrightarrow C_p^{mix} = 37 \frac{kcal}{kmol \cdot K}$$

Se obtiene:  $q = 1,18$



# Resolución ítem 3

3. ¿Cómo serán comparativamente los diámetros de las torres especificadas en 1) y 2)?

Parámetro	P <sub>1</sub> =13.3 kPa	P <sub>2</sub> =53.2 kPa
L <sub>0</sub> /F	0,404	0,463
V/F	0,894	0,953
<b>L/V</b>	<b>0,452</b>	<b>0,486</b>
$\bar{L}$ /F	1,404	1,65
$\bar{V}$ /F	0,894	1,14
$\bar{L}/\bar{V}$	<b>1,57</b>	<b>1,45</b>



# ¿PREGUNTAS?