

Resolución Primer Parcial

2° Cuatrimestre - 2024

Problema 1

Se desea purificar una corriente gaseosa proveniente de un proceso de fermentación (prácticamente **atmosférico**) con el objetivo de reducir su contenido de etanol, alcanzando la pureza necesaria para su utilización en un proceso aguas abajo.

Se estima que el contenido máximo de etanol proveniente de la unidad de fermentación es de 2% molar y es necesario **recuperar un 95%**. Se puede considerar que dicha mezcla gaseosa contiene solo dióxido de carbono y etanol.

Para esto, se le solicita que diseñe una columna de **absorción con agua** considerando que el caudal de gas a tratar es de 1500 mol/h. Dadas las características del proceso aguas abajo, puede elegir trabajar con presiones de hasta 15 atm.

Datos:

Presión [atm g]	1	5	10	15
$m [y^* = m \cdot x]$	3	2	1	0,5
Eficiencia Global	0,7	0,7	0,6	0,6

Problema 1

Se le pide:

- a) Dibujar un diagrama del equipo indicando de forma clara los datos con los que cuenta. Explícite las consideraciones que tomará para su diseño.
- b) Calcule el caudal mínimo de agua requerido para llevar a especificación el gas y la composición de etanol de salida.
- c) Considerando un caudal operativo de agua de 2 veces el caudal mínimo, calcular la cantidad de etapas de la torre y recalcular la composición de etanol en agua.

Si por un cambio en el proceso aguas abajo, le solicitaran aumentar la presión hasta 20 atm g:

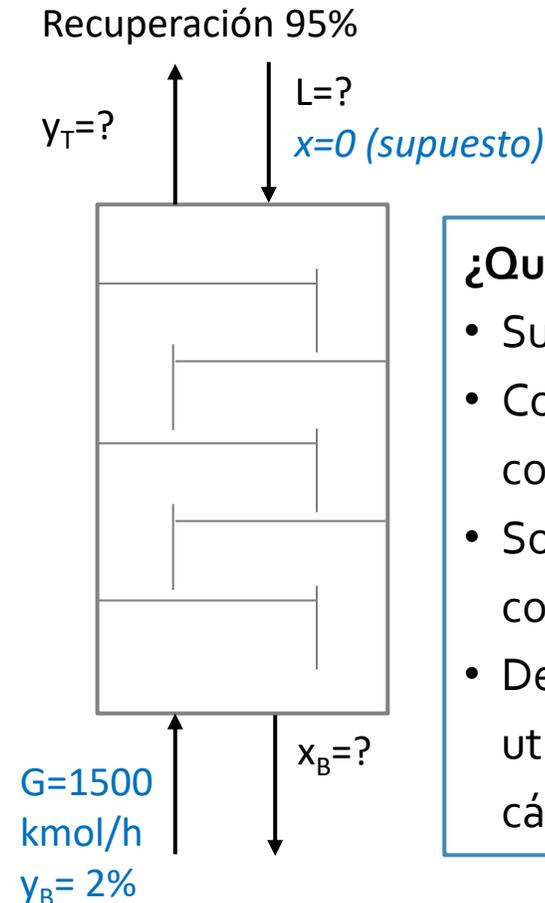
- d) ¿Mejorará la operación frente al diseño que ud. había propuesto? ¿Por qué?
- e) ¿Qué cambios y/o verificaciones realizaría sobre su diseño para optimizar la operación a la nueva presión de trabajo?
- f) Representar el perfil de composiciones de la base de la torre del *ítem c*, sabiendo que la resistencia global a la transferencia del lado líquido es de un 70%.

Problema 1a) Esquema y consideraciones

Se desea purificar una corriente gaseosa proveniente de un proceso de fermentación (prácticamente **atmosférico**) con el objetivo de reducir su contenido de etanol, alcanzando la pureza necesaria para su utilización en un proceso aguas abajo.

Se estima que el contenido máximo de etanol proveniente de la unidad de fermentación es de 2% molar y es necesario **recuperar un 95%**. Se puede considerar que dicha mezcla gaseosa contiene solo dióxido de carbono y etanol.

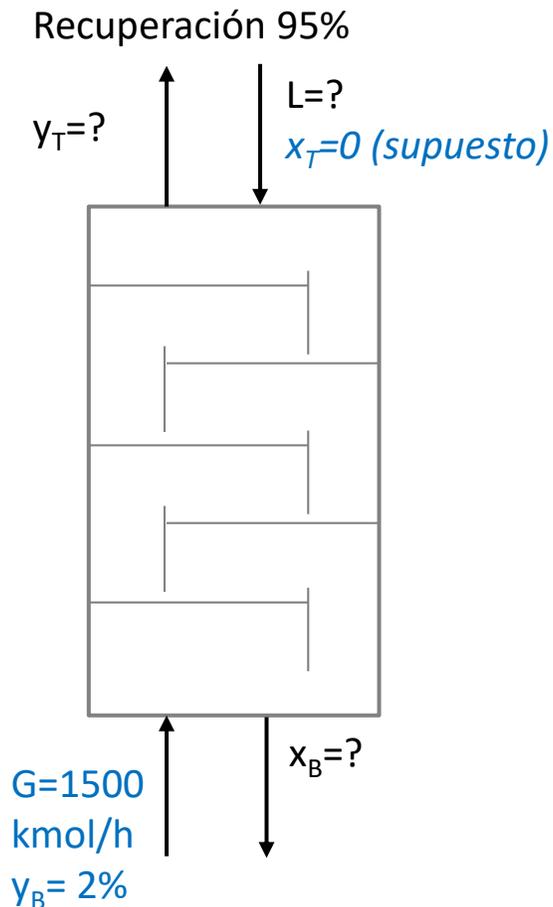
Para esto, se le solicita que diseñe una columna de **absorción con agua** considerando que el caudal de gas a tratar es de 1500 mol/h. Dadas las características del proceso aguas abajo, puede elegir trabajar con presiones de hasta 15 atm.



¿Qué esperábamos?

- Suposiciones de trabajo
- Contracorriente y definición o comentario sobre internos.
- Soluciones diluidas? Y trabajar en consecuencia con lo definido
- Definición de la presión de trabajo a utilizar (no era necesario hacer los cálculos para todas las presiones)

Problema 1 - ítem b) L_{min} y x_B



Consideramos soluciones diluidas y luego verificamos

BMG:

$$L_{min} \cdot x_T + 1500 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 0,02 = L_{min} \cdot x_B + 1500 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot y_T$$

Tomando la información sobre recuperación:

$$\text{Recuperación} = 95\% = \frac{\text{lo que se transfiere de } G \text{ a } L}{\text{lo que ingresa con } G} = \frac{G \cdot (y_B - y_T)}{G \cdot y_B}$$

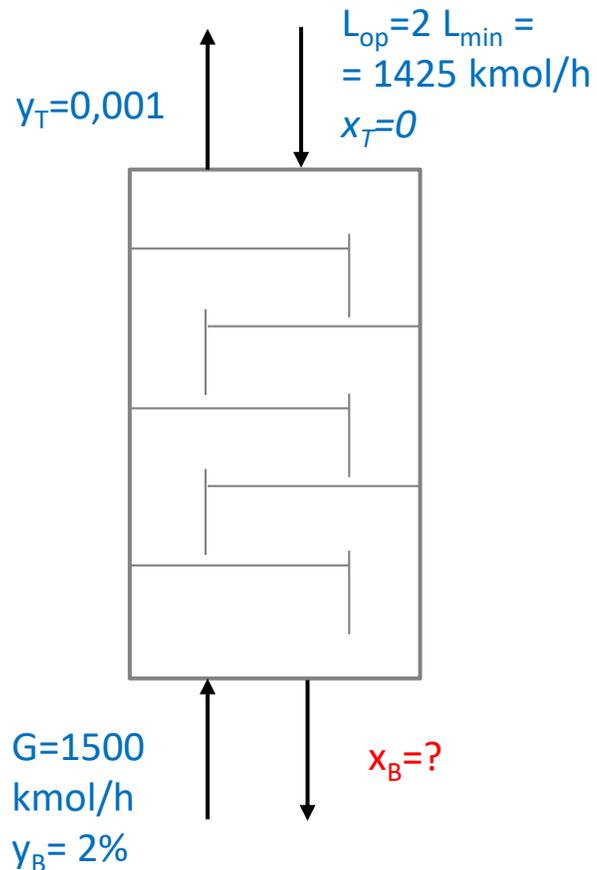
$$y_T = 0,02 - 0,95 \cdot 0,02 = 0,02 \cdot 0,05 = 0,001$$

En función de la presión operativa seleccionada, conocemos el equilibrio.

Sabemos entonces que el caudal mínimo de líquido se obtendrá en el caso límite en el cual el líquido salga en equilibrio con el gas que ingresa:

$$x_B(\text{en equilibrio con } y_B) = \frac{y_B}{m (P = 20 \text{ atm})} = 0,04 \quad L_{min} = 712,5 \text{ kmol/h}$$

Problema 1 - ítem c) NP y x_B para $L=2L_{min}$



BMG:

$$1425 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 0 + 1500 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 0,02 = 1425 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot x_B + 1500 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot 0,001$$

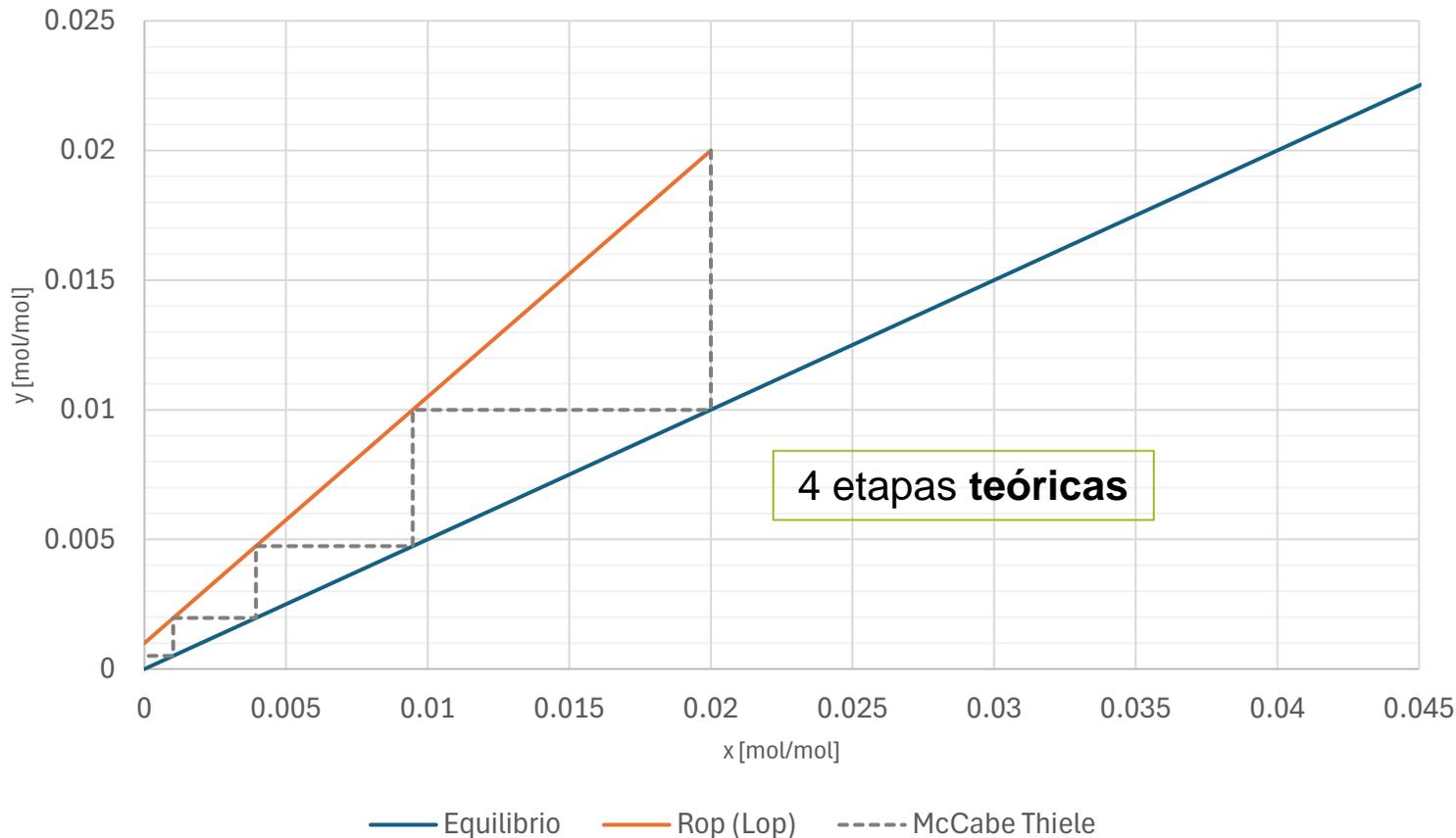
$$x_B = \frac{1500 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}}{1425 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}} \cdot (0,02 - 0,001) = 0,02$$

Ahora verificamos las hipótesis de soluciones diluidas:

- Caudales del mismo orden
- Composiciones (y transferencia de masa) menores al 10%

Para el cálculo de NP, vamos al gráfico...

Problema 1 - ítem c) NP y x_B para $L=2L_{min}$



Aplico eficiencia que corresponde a Pop:

$$NP_{real} = \frac{NP_{teorico}}{Eficiencia\ Global}$$

$$NP_{real} = \frac{4}{0,6} = 6,667$$

OJO!!!! Las etapas reales no pueden ser fraccionarias!!!

$$NP_{real} = 7$$

Problema 1 - ítem d) y e) $P_{op} \rightarrow 20 \text{ atm g}$

d) ¿Mejorará la operación frente al diseño que ud. había propuesto? ¿Por qué?

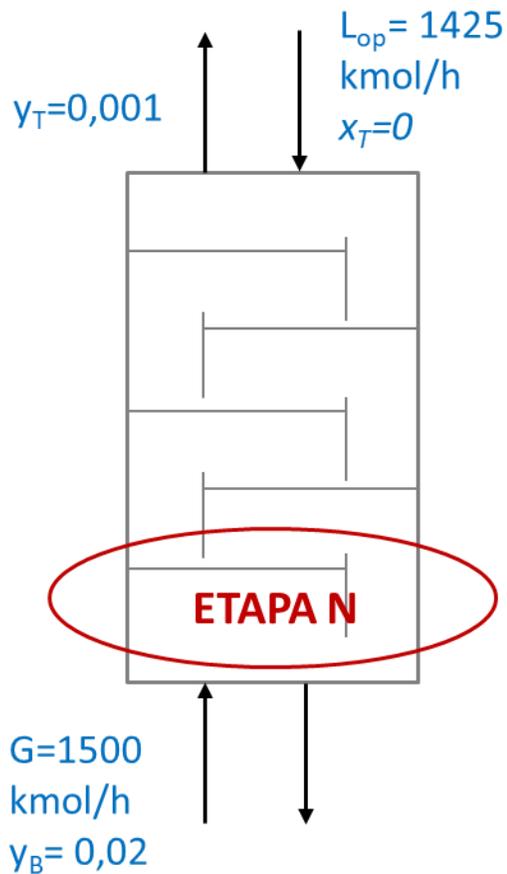
e) ¿Qué cambios y/o verificaciones realizaría sobre su diseño para optimizar la operación a la nueva presión de trabajo?

OJO!! Esto es un cambio OPERATIVO

- Mejorará? Sí! Es una absorción y se ve favorecida por el aumento de presión
- Verificaciones:
 - Hidráulica: se esperaba que mencionaran qué impactos tiene un aumento de presión y por lo tanto qué tipo de problemas (o no) respecto de los efectos de hidráulica tendrían que verificar
 - Podría mencionarse la verificación de alcanzar las 20 atm g con el equipo de compresión existente (teniendo en cuenta que venían de una operación a presión atmosférica)
- Cambios OPERATIVOS:
 - Disminuir el caudal del AGENTE MÁSCICO DE SEPARACIÓN
 - No es una buena decisión aumentar la temperatura para volver a “perjudicar” la absorción. Esto además requeriría otro equipo y costos mayores, mientras que bajar el caudal de líquido es además un ahorro.

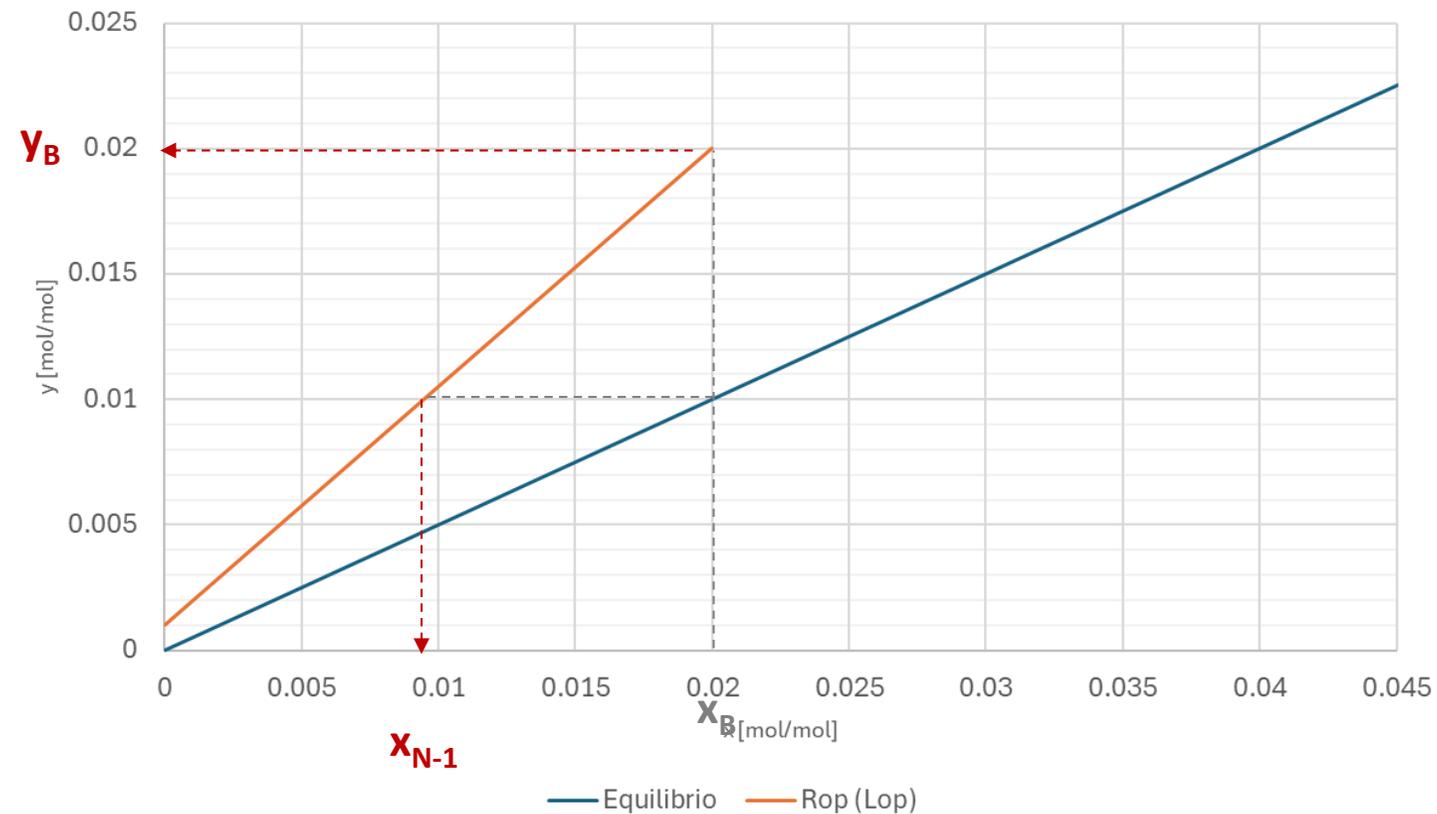
Problema 1 - ítem f) perfiles

Se pide el perfil de composiciones de la base considerando una resistencia global del lado líquido del 70%



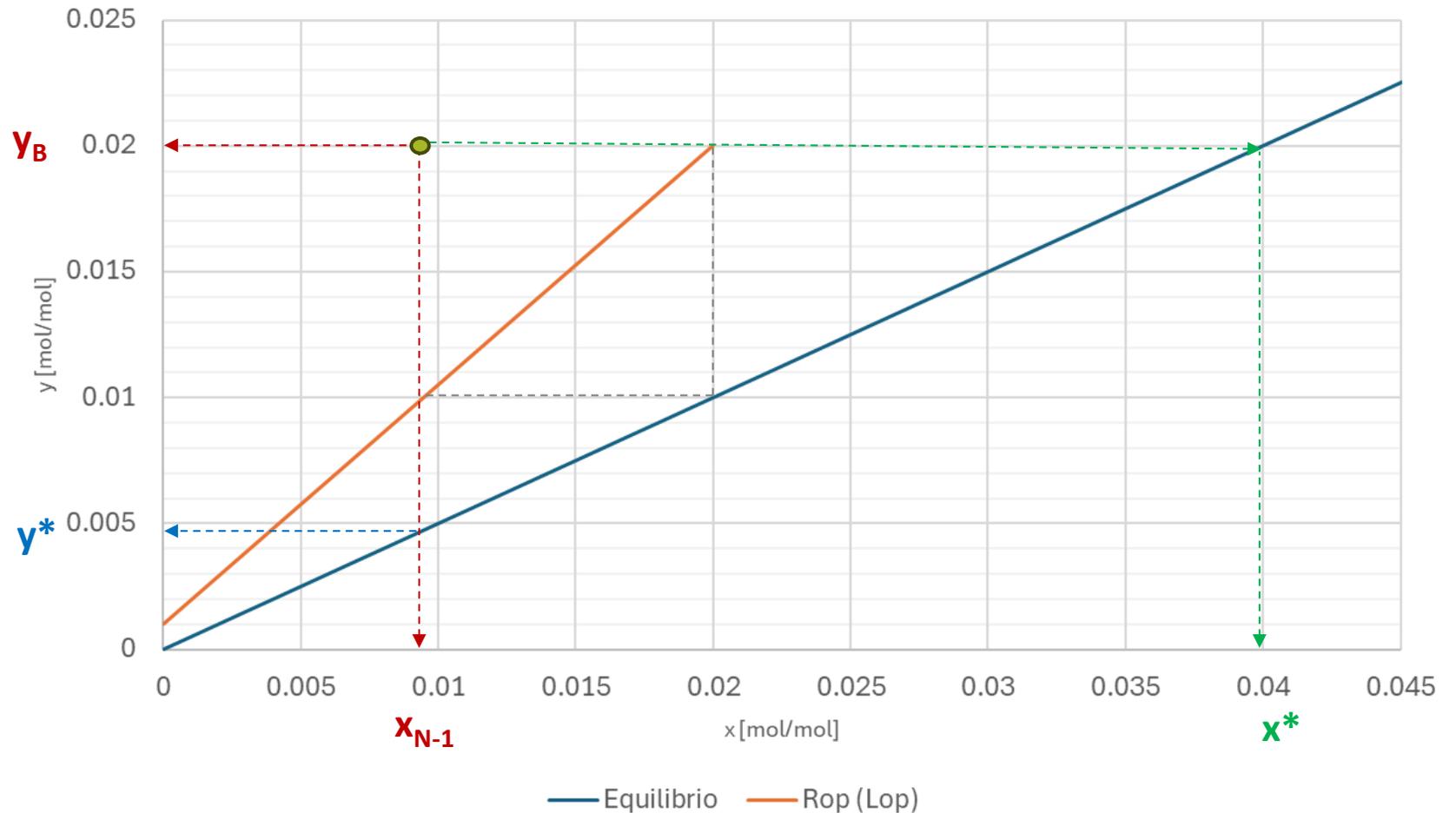
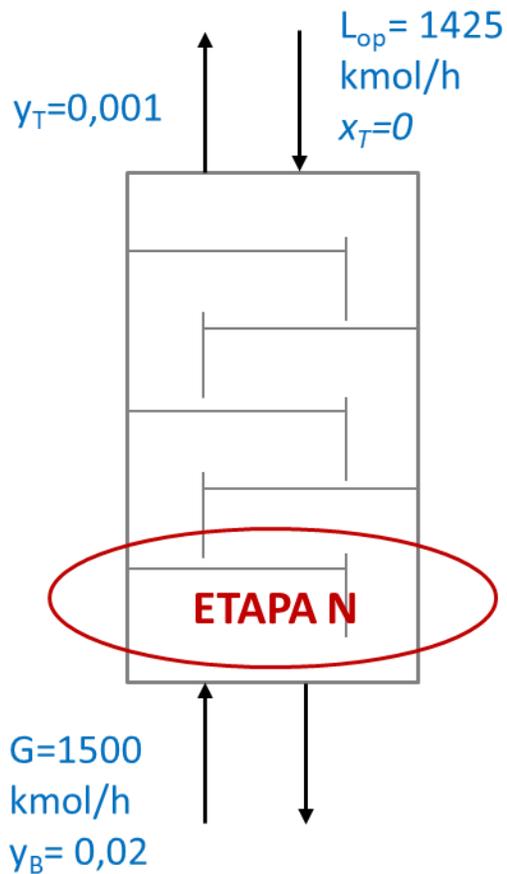
1° WARNING:

¿¿¿Cuáles son las composiciones que entran a la última etapa de la torre???



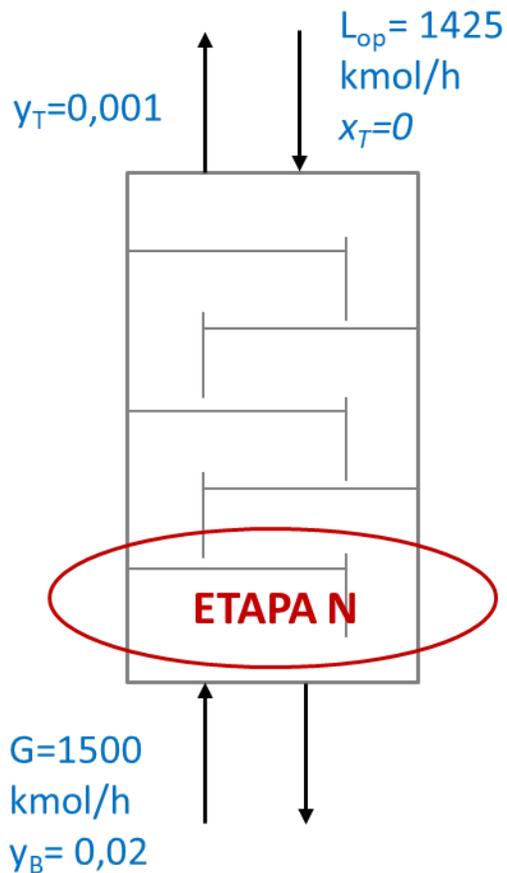
Problema 1 - ítem f) perfiles

Se pide el perfil de composiciones de la base considerando una resistencia global del lado líquido del 70%



Problema 1 - ítem f) perfiles

Se pide el perfil de composiciones de la base considerando una resistencia global del lado líquido del 70%



¿Cómo ubicamos la interfase?

Sabemos que: $\frac{1/k_l}{1/K_L} = 70\%$

Recordando que podemos escribir la relación de resistencias como:

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{k_L} + \frac{1}{m \cdot k_G}$$

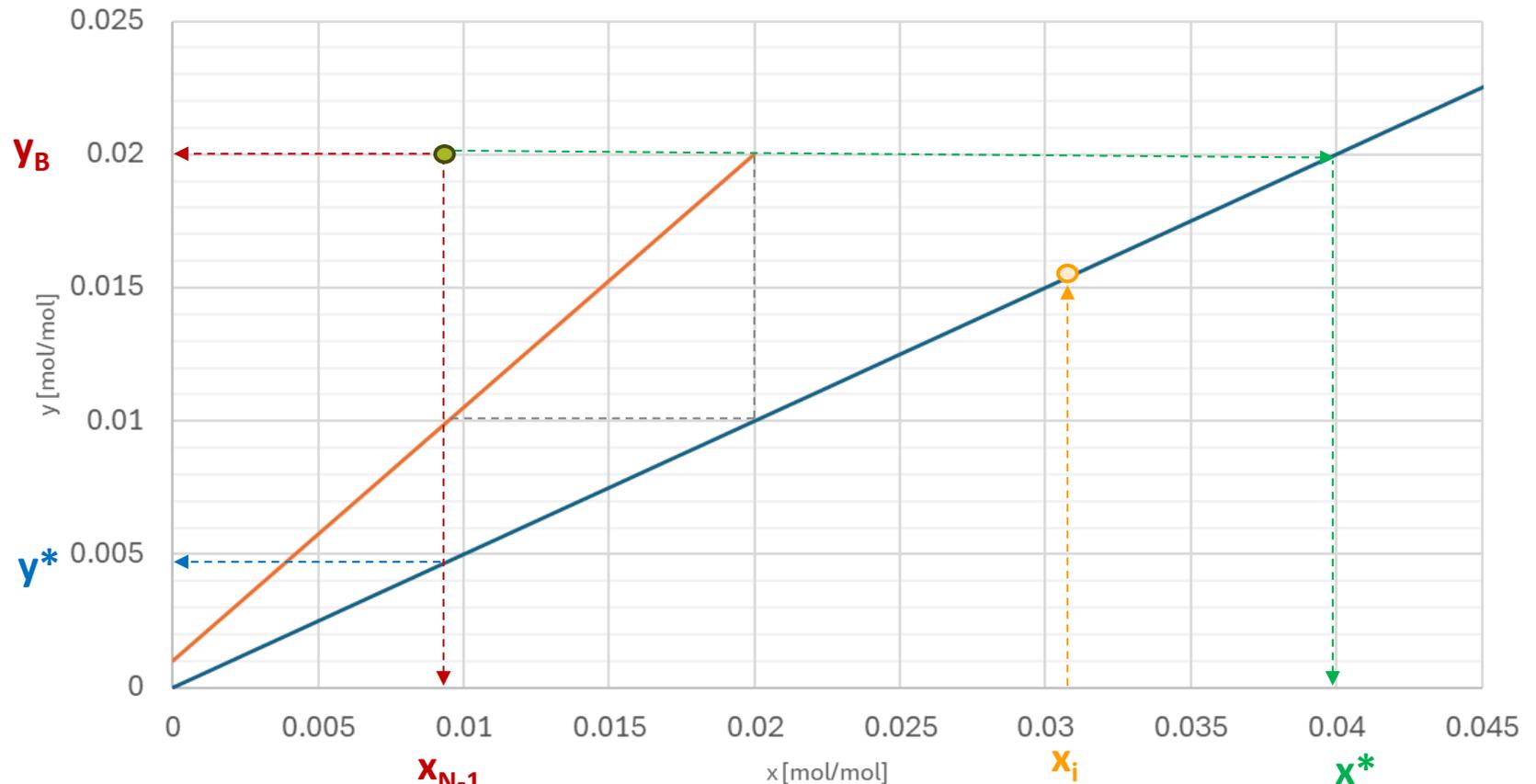
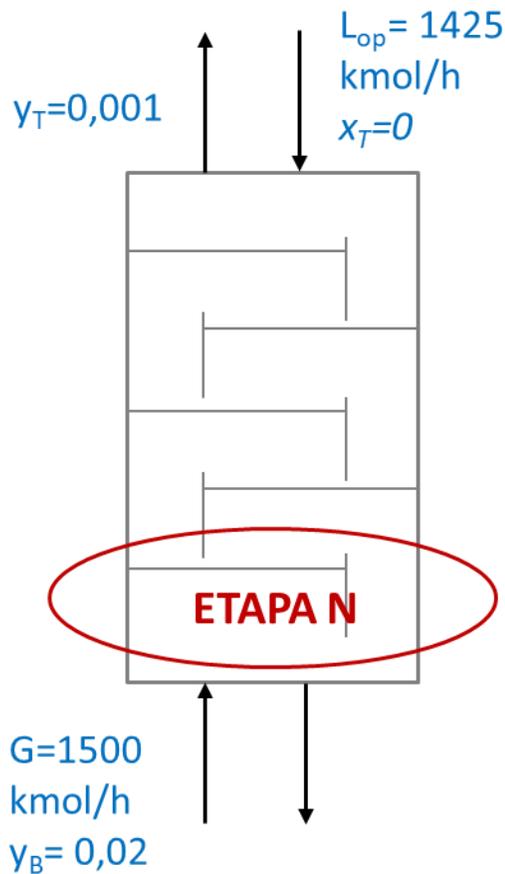
$$(x^* - x_{N-1}) = (x_i - x_{N-1}) + (x^* - x_i)$$

$$\frac{(x_i - x_{N-1})}{(x^* - x_{N-1})} = 70\%$$

Conocemos la distancia entre x^* y x_{N-1} ; medimos y ubicamos x_i tal que $(x_i - x_{N-1})$ represente el 70% del total

Problema 1 - ítem f) perfiles

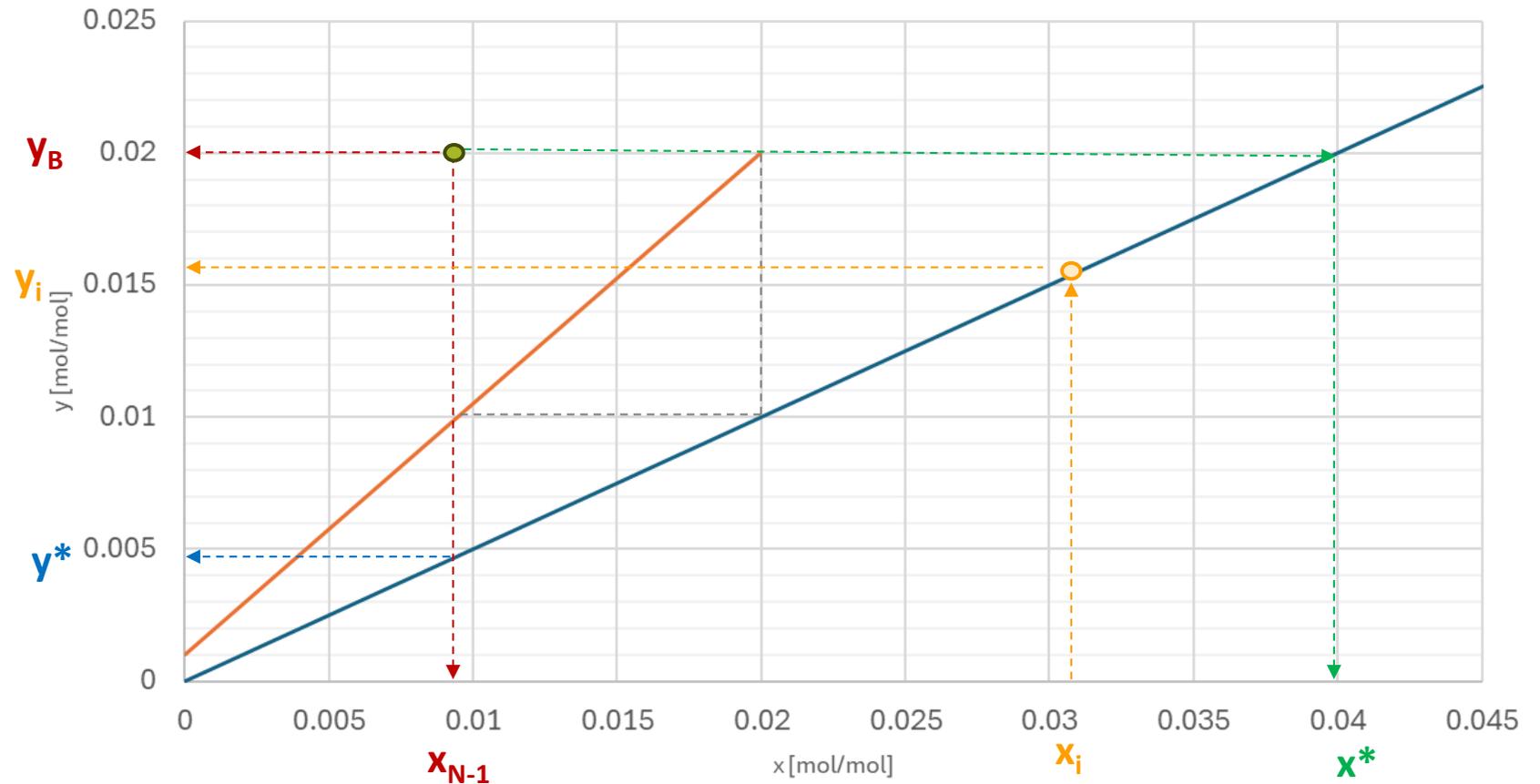
Se pide el perfil de composiciones de la base considerando una resistencia global del lado líquido del 70%



Problema 1 - ítem f) perfiles

Se pide el perfil de composiciones de la base considerando una resistencia global del lado líquido del 70%

Con todos estos puntos, podemos representar el perfil que se pide



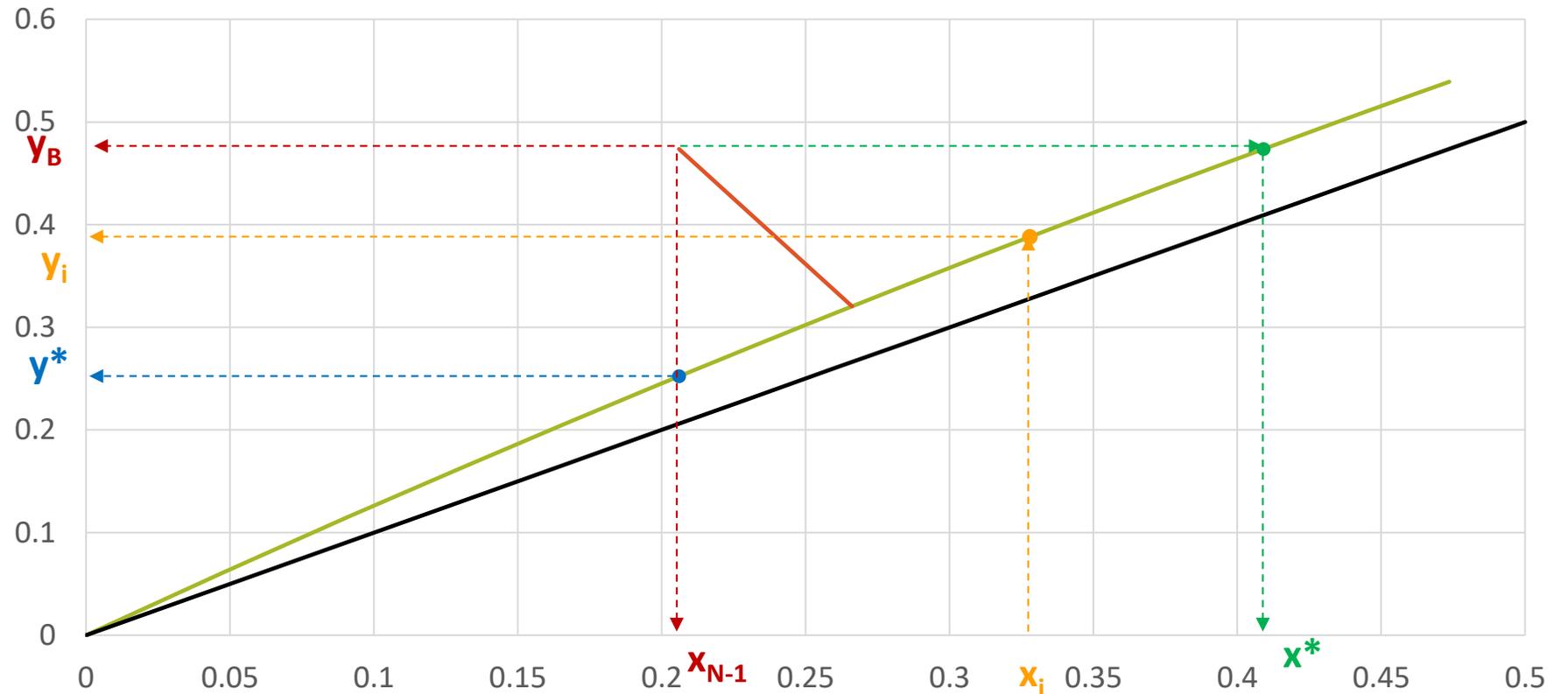
$$(x_i - x_{N-1}) = 70\% \cdot (x^* - x_{N-1})$$

Problema 1 - ítem f) perfiles

Se pide el perfil de composiciones de la base considerando R_{global} del lado líquido del 70%

— Equilibrio — Pto — Interfase — $y=x$ ● x^* ● y^*

Con todos estos puntos, podemos representar el perfil que se pide



Problema 2

En una torre rellena con anillos Raschig de 1" que opera a 1 atm, se requiere fraccionar una solución en su punto de burbuja que contiene 15% molar de metanol en agua. Se desea obtener un destilado con un contenido de metanol del 98% y un contenido de agua en el residuo del mismo valor. La relación de reflujo a utilizar es 0,4 moles por mol de alimentación. Se utilizará un reboiler parcial y condensador total.

Experimentalmente se determinó que para este relleno y el sistema utilizado la HEPT será:

- HETP = 1,5 m para $y_{in} < 0,5$
- HETP = 2,8 m para $y_{in} > 0,5$

Donde y_{in} es la composición del gas en el punto de ingreso a cada plato teórico equivalente.

Datos: Equilibrio

Problema 2

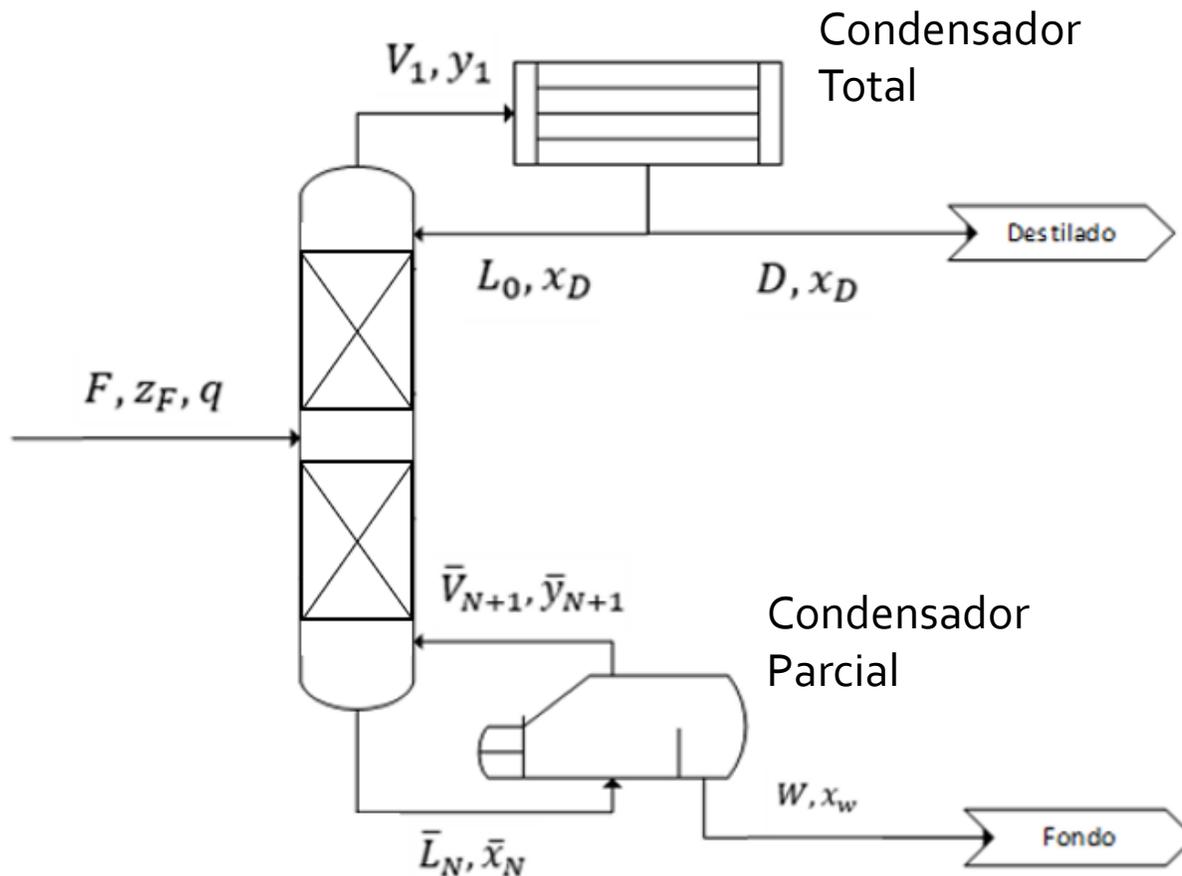
Se pide:

- a) Dibujar un diagrama del proceso indicando de forma clara los datos y las incógnitas. Explícite las consideraciones que tomará para el cálculo.
- b) Determinar el caudal de alimentación de la columna si se requiere un destilado de 1,2 kmol/h
- c) Calcular el número de etapas teóricas necesarias para cumplir con la separación deseada
- d) Determinar la relación de reflujo respecto del mínimo con el que se está trabajando
- e) Definir cuál es la altura de relleno requerida para esta torre

Si por un problema operativo, la corriente de ingreso llegara a la columna con mayor temperatura,

- f) ¿Qué impacto tendrá en las corrientes de salida? Indique de forma clara qué consideraciones toma para hacer el análisis. ¿Qué cambios operativos propondría para acercar la operación a la condición inicial?
- g) ¿Qué impactos tendrá el cambio respecto de la hidráulica de la torre?

Problema 2 – ítem a) Esquema



¿Qué esperábamos?

- Suposiciones de trabajo
- Distinción entre equipos parciales y totales
- Atención con la columna **rellena**: al indicar el interno, debe mostrarse al menos uno por encima de F y otro por debajo; las corrientes no pueden ingresar en medio del relleno

Problema 2 – ítem b), c) y e)

BMG y BMP:

$$F = D + W$$

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

$$F = 8,86 \text{ kmol/h}$$

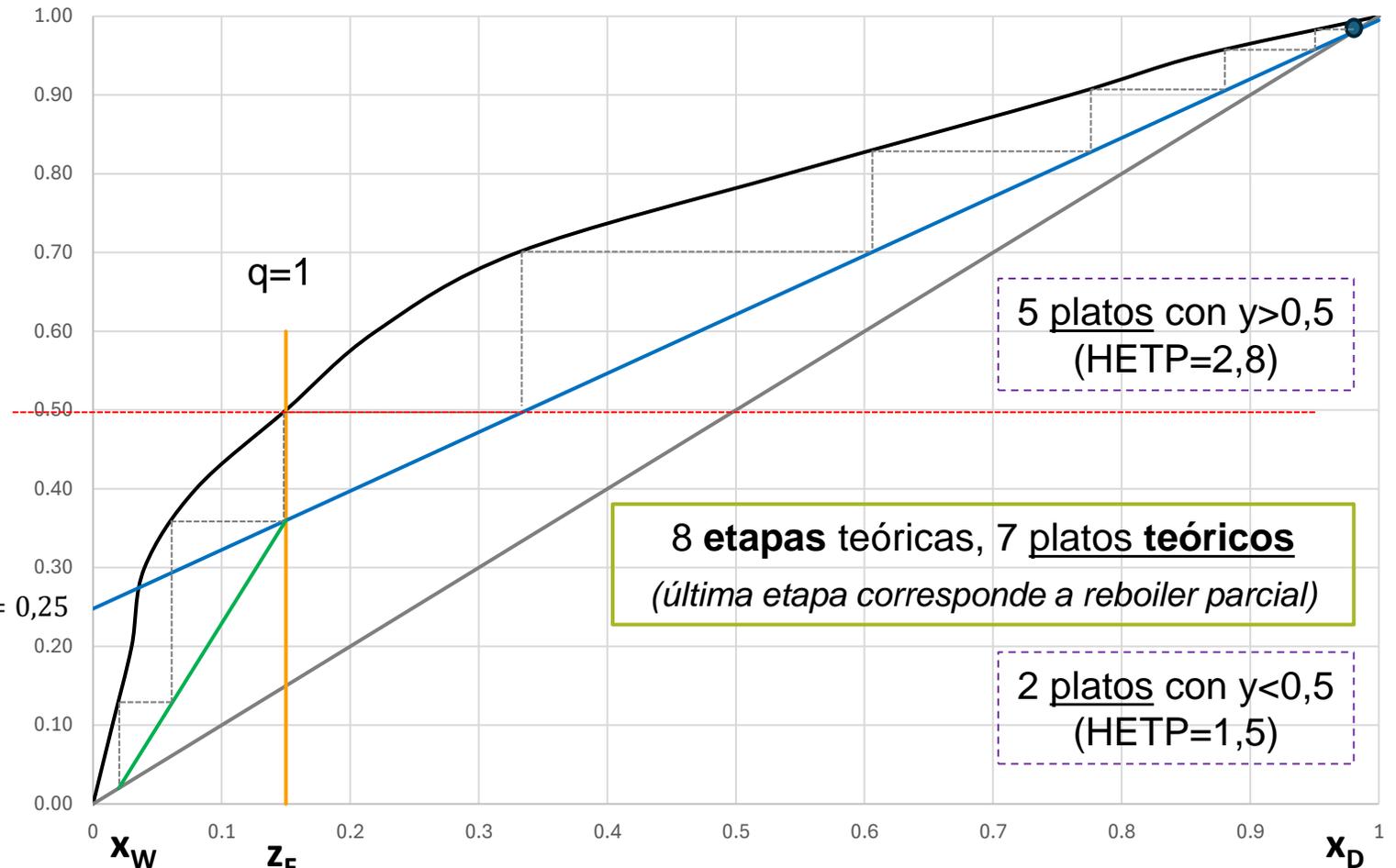
$$W = 7,66 \text{ kmol/h}$$

Calculamos R_{op} :

$$R_{op} = \frac{L_0}{D} = \frac{0,4 \cdot F}{D} = 2,95$$

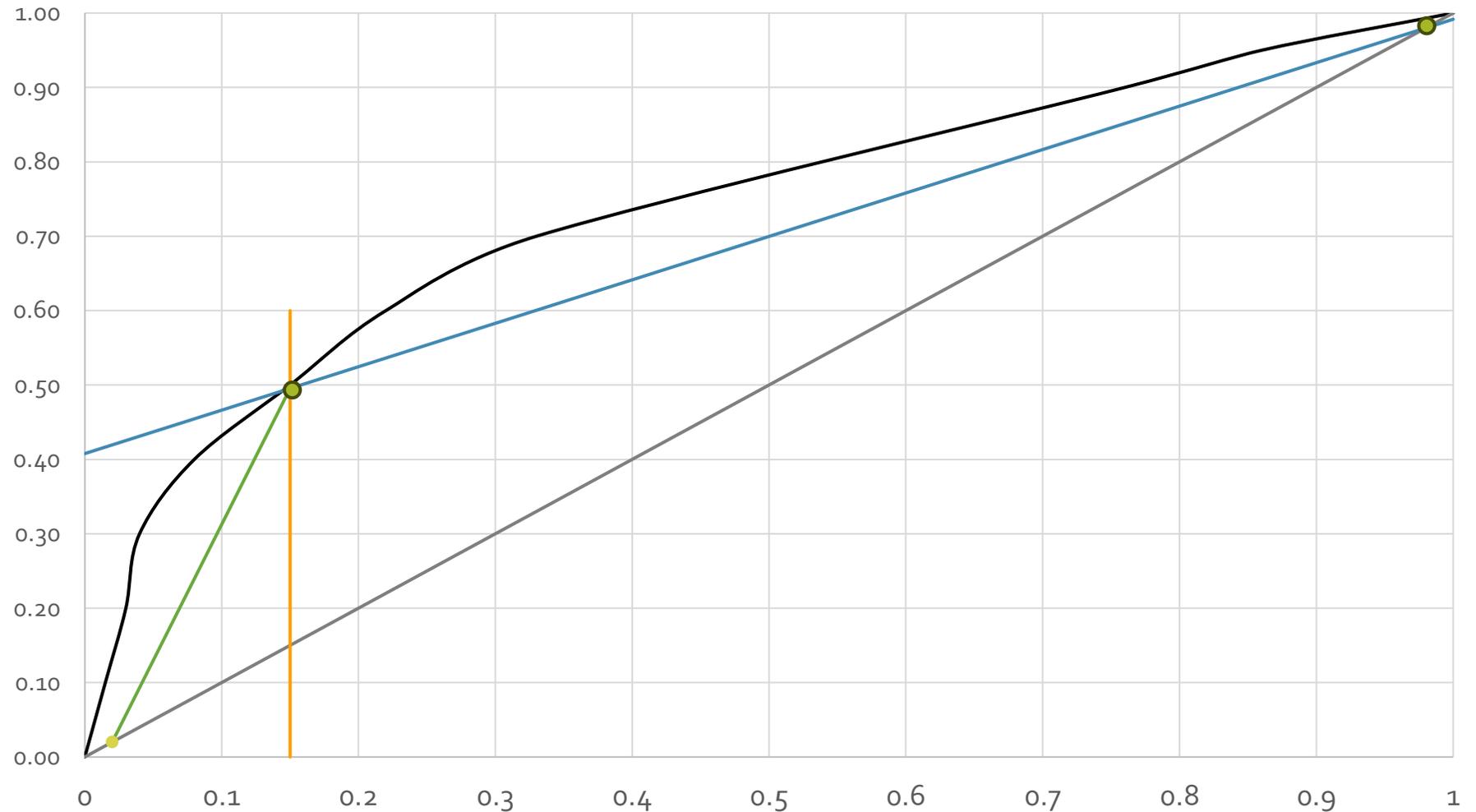
Teníamos de dato $L_0/F=0,4$

$$\frac{x_D}{R_{op} + 1} = 0,25$$



$$H = 5 \text{ plts} \cdot 2,8 \frac{m}{\text{plt}} + 2 \text{ plts} \cdot 1,5 \frac{m}{\text{plt}} = 17 \text{ m}$$

Problema 2 – ítem d) R_{min}/R_{op}



$$\frac{x_D}{R_{min} + 1} = 0,41$$

$$R_{min} = 1,4$$

$$\frac{R_{op}}{R_{min}} = \frac{2,95}{1,4} = 2,1 = 210\%$$

Problema 2 – ítem f) y g) F con $>T$

f) ¿Qué impacto tendrá en las corrientes de salida? Indique de forma clara qué consideraciones toma para hacer el análisis. ¿Qué cambios operativos propondría para acercar la operación a la condición inicial?

g) ¿Qué impactos tendrá el cambio respecto de la hidráulica de la torre?

NOTA IMPORTANTE: La temperatura de la corriente de alimentación **NO CAMBIA EL EQUILIBRIO!!!!**

- La destilación es una operación unitaria de transferencia de masa que se basa en la diferencia de volatilidades de los productos intervinientes.
- Durante toda la cursada hemos visto que la destilación se rige por una presión de operación (que no varía prácticamente entre fondo y tope) y existe un rango de temperaturas definido por la separación deseada (composiciones de producto de fondo y destilado).

Ítem f)

- La idea era que evaluaran el cambio en la recta q (se podía mostrar con un gráfico esquemático), con una torre ya construida. En función de qué parámetros mantuvieran constantes, podían llegar a conclusiones algo distintas, aunque de una manera u otra, se debería ver afectada la separación de forma negativa (ya sea vista desde composiciones de fondo y destilado, o de caudales de productos)

Problema 2 – ítem f) y g) F con $>T$

- f) *¿Qué impacto tendrá en las corrientes de salida? Indique de forma clara qué consideraciones toma para hacer el análisis. ¿Qué cambios operativos propondría para acercar la operación a la condición inicial?*
- g) *¿Qué impactos tendrá el cambio respecto de la hidráulica de la torre?*

Ítem f) (continuación)

- En cuanto a cambios operativos, el hecho de tener ahora una alimentación con $q < 1$, implica un mayor aporte de vapor a la columna (y menos líquido). Como propuesta operativa para intentar acercar la operación a la original, es bajar calor del reboiler y aumentar el reflujo.

Ítem g) Hidráulica

- Puede variar en función de la propuesta en el ítem f), pero en líneas generales, con un $q < 1$, habrá mayor vapor en la parte superior de la columna, y es posible que la alimentación ya no ingrese en la etapa óptima.
- Con mayor caudal de gas, se requiere verificar arrastre. Si proponían bajar el calor del reboiler, eso implica mantener la relación L/V en la ROS, pero la ROI operará con menor caudal de vapor y de líquido, por lo cual, será importante verificar lagrimeo.
- Todo esto era fácil de esquematizar en un gráfico de Eckert (columna rellena) para la inundación y en el gráfico de operación “óptima” para el lagrimeo.