

GUÍAS 5 y 6 - Destilación Binaria y Multicomponentes

Problema 7

Pérdida de calor

1° Cuatrimestre - 2025

Enunciado

Se desea recuperar el 90 % de la propanona de 100 kmol/h de una solución propanona-etanol (líquido saturado) al 50 % molar de propanona. El recuperado deberá tener una composición de 90% molar de propanona. contenida en la alimentación. La torre con la que se va a operar tiene un condensador total que elimina 7200 kJ/h ($\lambda_A = \lambda_B = 40 \text{ kJ/kmol}$) y un reboiler total.

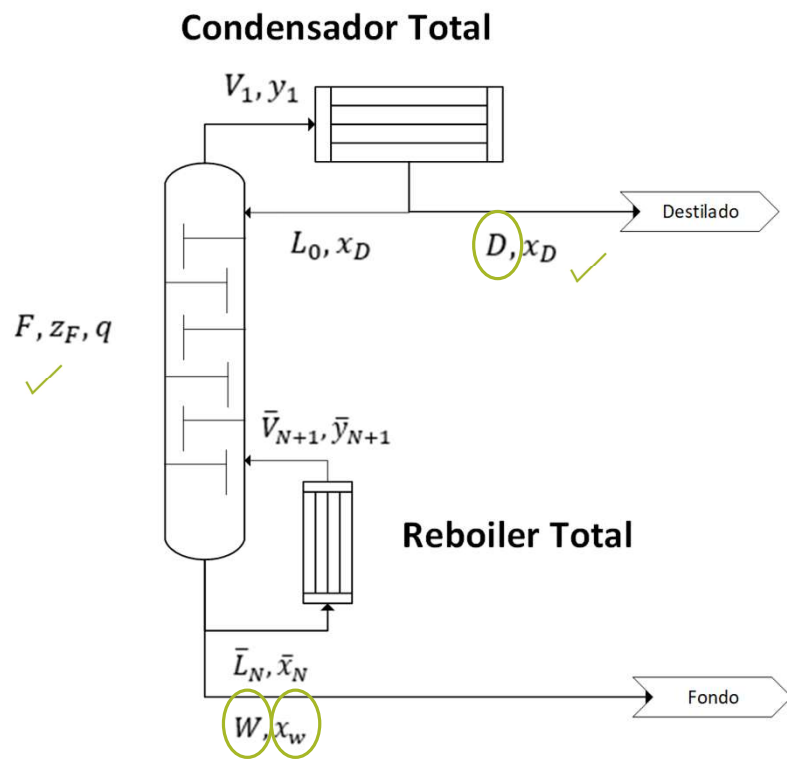
Calcular

1. D, W, x_w, R, Q_b (entregado en el reboiler), caudales internos de la torre y el número de platos totales.
2. Cómo se ven alterados los resultados anteriores si hay una pérdida de calor de 3200 kJ/h entre el 8º y el 9º plato contando desde el tope.

Datos

| x | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| y_{eq} | 0 | 0,155 | 0,262 | 0,348 | 0,417 | 0,478 | 0,524 | 0,566 | 0,674 | 0,739 | 0,802 | 0,865 | 0,929 | 1 |

Resolución – Ítem 1



Calcular: D, W, x_W, R, Q_b (entregado en el *reboiler*), caudales internos de la torre y el número de platos totales.

- Planteando el BM con las especificaciones del enunciado:

$$x_D = 0,9 \quad \text{Spec. 1}$$

$$\frac{x_D \cdot D}{z_F \cdot F} = R_{ecup} = 0,9 \quad \text{Spec. 2}$$

De la *Spec 2*, se tiene:

$$D = \frac{R_{ecup} \cdot z_F \cdot F}{x_D} = \frac{0,9 \cdot 0,5 \cdot 100 \text{ kmol/h}}{0,9} = 50 \text{ kmol/h}$$

- Planteando un BM Global:

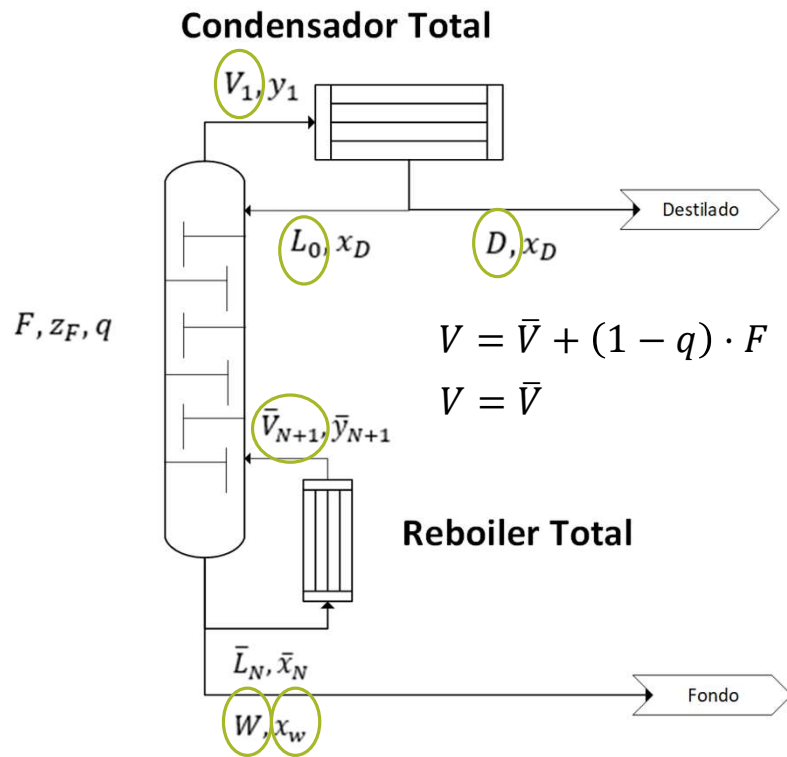
$$W = F - D = 100 \text{ kmol/h} - 50 \text{ kmol/h} = 50 \text{ kmol/h}$$

- Planteando un BM Parcial:

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

$$x_W = \frac{z_F \cdot F - x_D \cdot D}{W} = \frac{0,5 \cdot 100 \text{ kmol/h} - 0,9 \cdot 50 \text{ kmol/h}}{50 \text{ kmol/h}} = 0,1$$

Resolución – Ítem 1



Seguimos:

- Se supone que el condensador será TOTAL:

$$V_1 = \frac{Q_{cond}}{\lambda} = \frac{7200 \text{ kJ/h}}{40 \text{ kJ/kmol}} = \mathbf{180 \text{ kmol/h}}$$

- Del BM del condensador:

$$L_0 = V_1 - D = 180 \text{ kmol/h} - 50 \text{ kmol/h} = \mathbf{130 \text{ kmol/h}}$$

- Calculamos la relación de reflujo: $R = \frac{L_0}{D} = \frac{130 \text{ kmol/h}}{50 \text{ kmol/h}} = \mathbf{2,6}$

- La alimentación es líquido saturado \rightarrow el vapor de fondo es igual al vapor de tope; y como los λ de condensación y vaporización son iguales, los calores también:

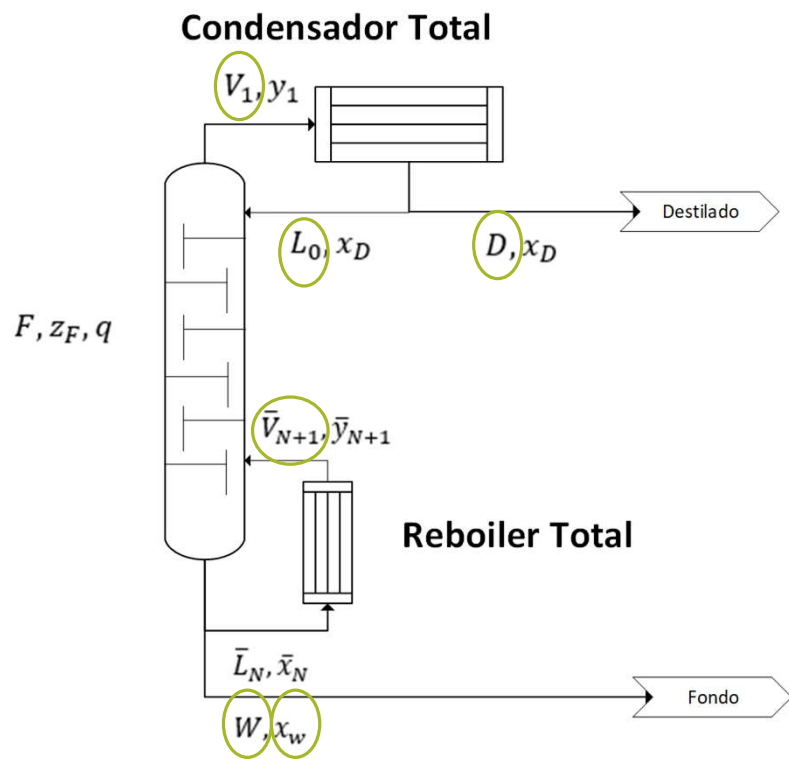
$$Q_b = Q_{cond} = \mathbf{7200 \text{ kJ/h}}$$

Por lo tanto: $V_1 = \bar{V} = \mathbf{180 \text{ kmol/h}}$

Finalmente: $\bar{L} = L_0 + q \cdot F$

$$\bar{L} = 130 \text{ kmol/h} + 1 \cdot 100 \text{ kmol/h} = \mathbf{230 \text{ kmol/h}}$$

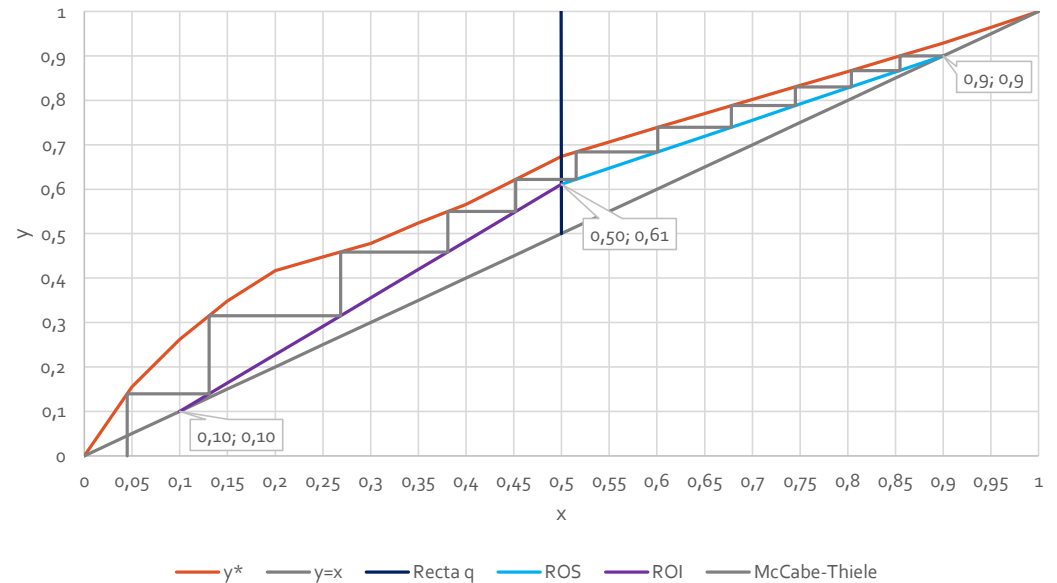
Resolución – Ítem 1



¿Y el gráfico?

$$N = 11$$

Se obtiene: $N_{\text{rectificación}} = 6$
 $N_{\text{agotamiento}} = 5$



Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor

Se desea recuperar el 90 % de la propanona de 100 kmol/h de una solución propanona-etanol (liquido saturado) al 50 % molar de propanona. El recuperado deberá tener una composición de 90% molar de propanona. contenida en la alimentación. La torre con la que se va a operar tiene un condensador total que elimina 7200 kJ/h ($\lambda_A = \lambda_B = 40 \text{ kJ/kmol}$) y un reboiler total.

Calcular

1. D, W, x_w, R, Q_b (entregado en el reboiler), caudales internos de la torre y el número de platos totales.
2. Cómo se ven alterados los resultados anteriores si hay una pérdida de calor de 3200 kJ/h entre el 8º y el 9º plato contando desde el tope.

Datos: Equilibrio

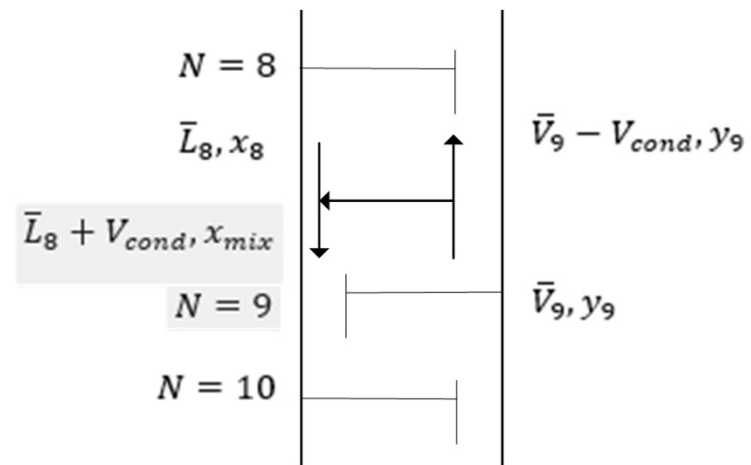
Resolución

- Teniendo en cuenta los resultados del punto anterior...

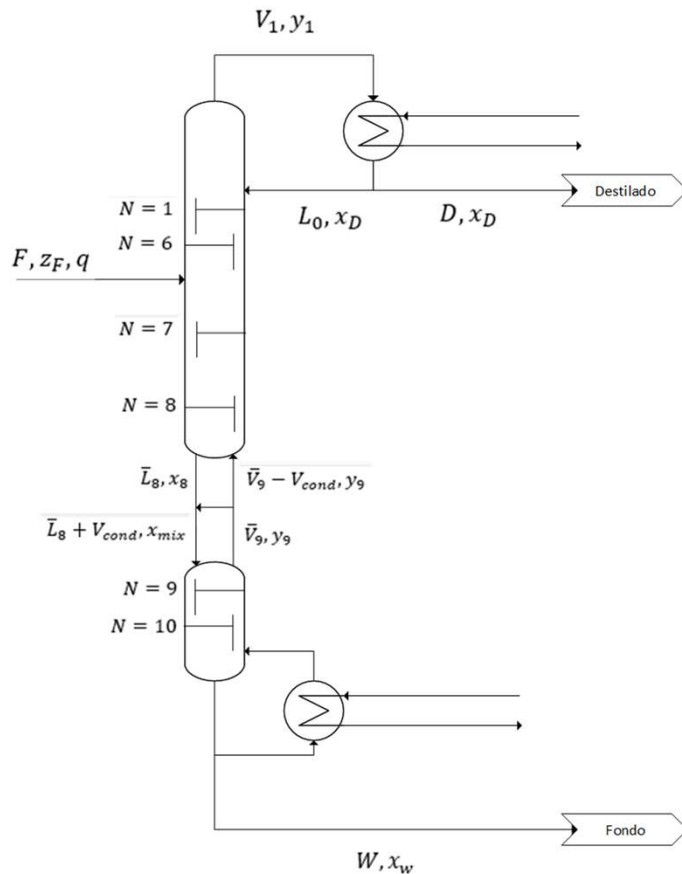
$$N = 11 \quad N_{\text{rectificación}} = 6 \quad N_{\text{agotamiento}} = 5$$

... la pérdida de calor se dará en la **zona de agotamiento**.

- Se tendrá el siguiente esquema dentro de la torre:



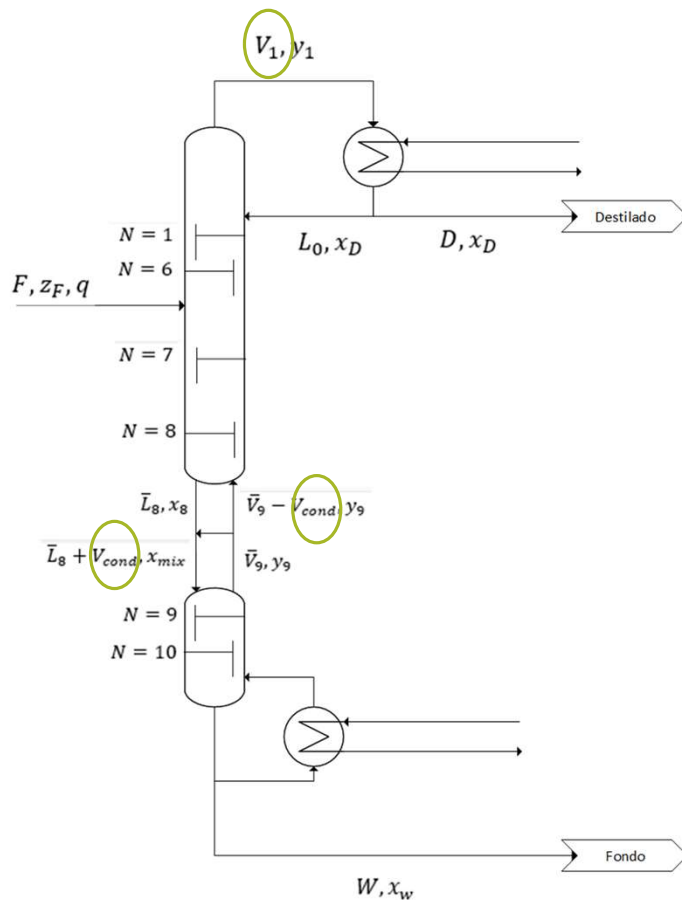
Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



¿Qué implica perder calor?

- Tendremos condensación de parte del caudal de vapor que está subiendo por la torre.
- Es decir que habrá un cambio en los caudales internos de la torre: la recta **ROI se dividirá en dos** y habrá una mezcla “no óptima” por el caudal de vapor condensado y la mezcla con el líquido que viene descendiendo.
- Una vez alcanzado el estado estacionario, se debe tener en cuenta tanto el caudal de mezcla como la composición de mezcla. Se puede representar la situación como si fueran dos torres distintas.

Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



Continuando con la idea...

- El caudal condensado por el calor perdido será:

$$V_{cond} = \frac{Q_{p\acute{e}rdida}}{\lambda} = \frac{3200 \text{ kJ/h}}{40 \text{ kJ/k mol}} = 80 \text{ kmol/h}$$

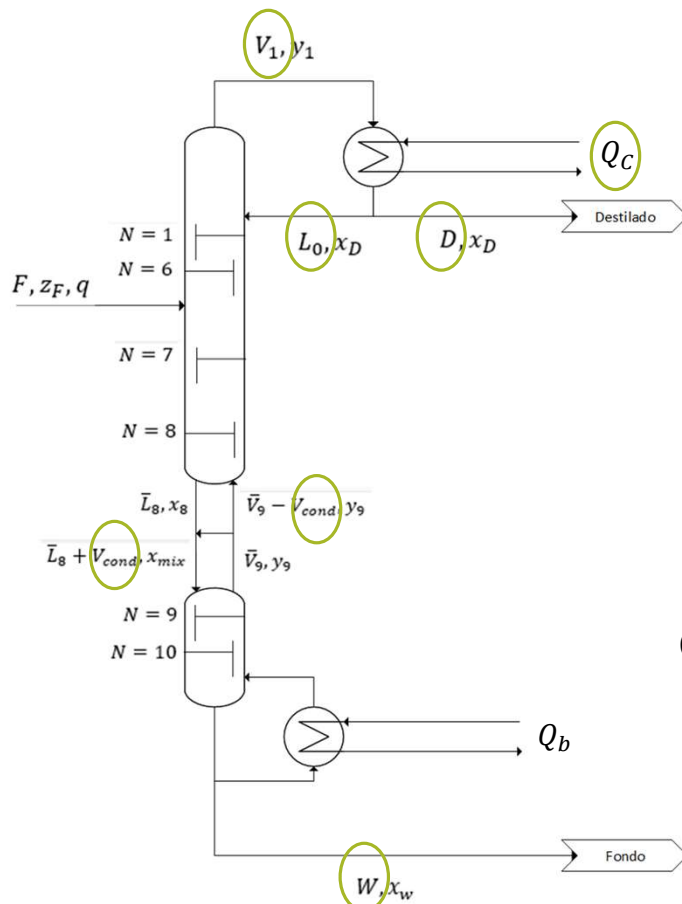
- Luego, el caudal de vapor que sigue a la “torre superior” es:

$$V_1 = \bar{V} - V_{cond} + (1 - q) \cdot F$$

$$V_1 = 180 \text{ kmol/h} - 80 \text{ kmol/h} = 100 \text{ kmol/h}$$

- Acá es cuando se complica la cuestión, y tenemos que empezar a suponer qué variables se mantienen constantes...

Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



Relación de Reflujo constante:

Veremos cómo evoluciona el sistema inicialmente, cuando “aún no se enteró” de la perturbación.

➤ Queremos ver qué pasa con la composición de destilado si no hacemos nada. Es decir:

VEREMOS CÓMO CAMBIA EL SISTEMA
MANTENIENDO LA RELACIÓN DE REFLUJO CONSTANTE

Caudales internos de la columna: $R \stackrel{\text{def}}{=} \frac{L_0}{D} \rightarrow D \cdot R = L_0$

• Del BM en el condensador: $V = L_0 + D = D \cdot R + D = D \cdot (R + 1)$

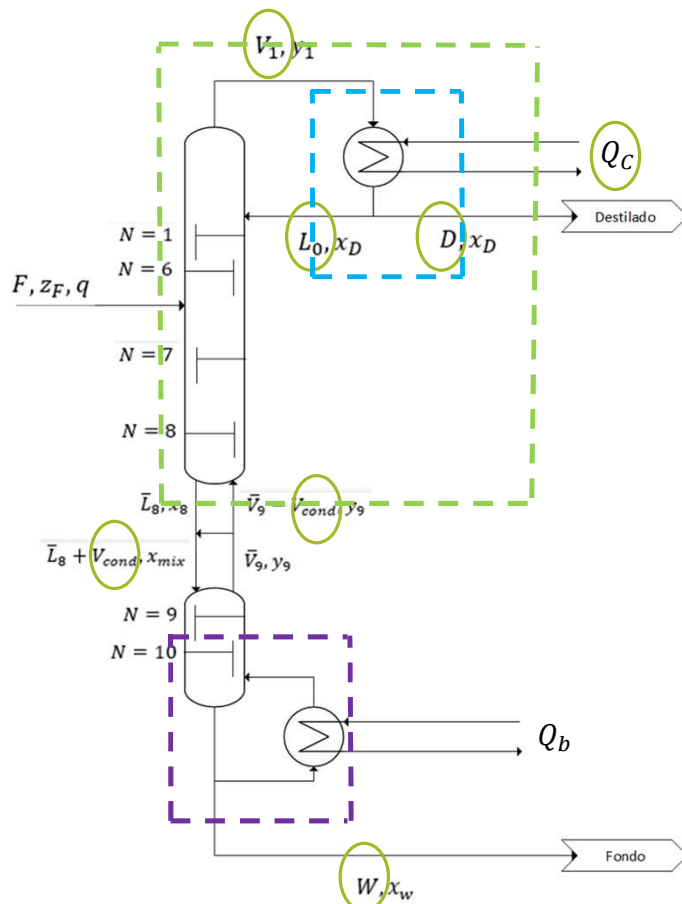
Obteniendo:
$$\begin{cases} D = \frac{V}{R + 1} = \frac{100 \text{ kmol/h}}{2,6 + 1} = 27,8 \text{ kmol/h} \\ L_0 = V - D = 100 \text{ kmol/h} - 27,8 \text{ kmol/h} = 72,2 \text{ kmol/h} \end{cases}$$

• El nuevo caudal de fondo será: $W = F - D = 72,2 \text{ kmol/h}$

• El cambio en el *duty* del condensador será: $Q_{cond} = (\bar{V} - V_{cond}) \cdot \lambda$

$$Q = (180 \text{ kmol/h} - 80 \text{ kmol/h}) \cdot 40 \text{ kJ/kmol} = \mathbf{4000 \text{ kJ/h}}$$

Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



Relación de Reflujo constante. Análisis de Rectas de Operación

Considerando el esquema de “dos torres”, tendremos 3 rectas de operación, una por cada modificación en los caudales internos:

- Dos estarán determinadas por el ingreso de la alimentación: **ROS** y **ROI_{int}** (Recta de operación Inferior intermedia).
- La tercera, estará determinada por la condensación (**ROI**).

1. **ROS**: BM en el condensador:
$$y_{ROS} = \frac{R}{R+1} \cdot x_{ROS} + \frac{x_D}{R+1}$$

2. **ROI_{int}**: BM entre condensador y un plato de esta sección:

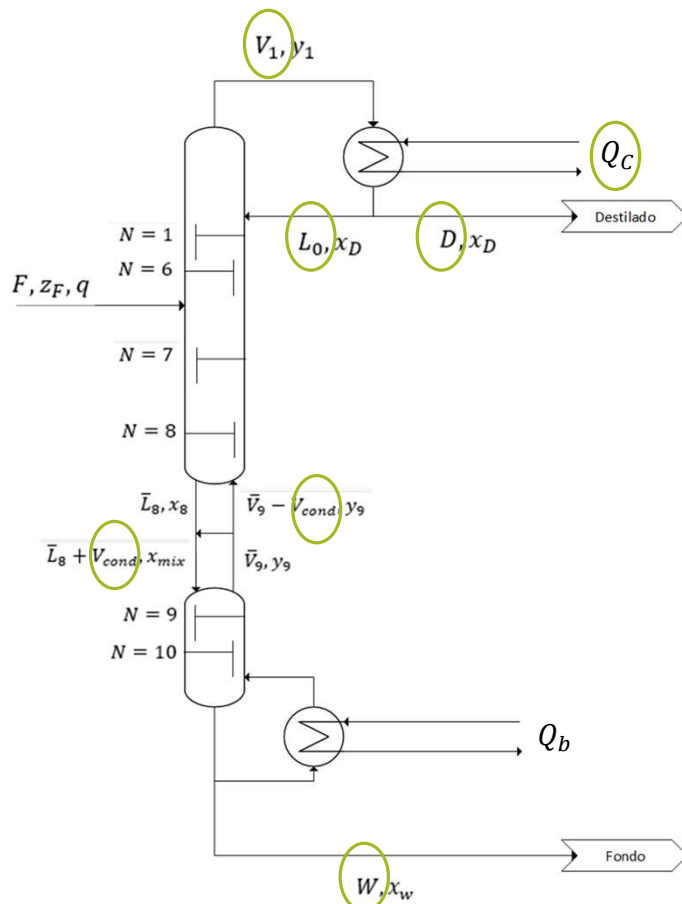
$$z_F \cdot F + (\bar{V} - V_{cond}) \cdot y_{ROIint} = x_D \cdot D + (L_0 + q \cdot F) \cdot x_{ROIint}$$

$$y_{ROIint} = \frac{x_D \cdot D}{\bar{V} - V_{cond}} - \frac{z_F \cdot F}{\bar{V} - V_{cond}} + \left(\frac{L_0 + q \cdot F}{\bar{V} - V_{cond}} \right) \cdot x_{ROIint}$$

3. **ROI**: BM en el *reboiler*:

$$y_{ROI} = \frac{L_0 + q \cdot F + V_{cond}}{\bar{V}} \cdot x_{ROI} - \frac{W}{\bar{V}} \cdot x_w$$

Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



Relación de Reflujo constante. Análisis de Rectas de Operación

- La conveniencia de tomar estos volúmenes de control es que ahora sabemos que el rango de validez (dominio) de cada recta estará determinado por platos. Esto es:

$$N_{ROS} = 6$$

$$N_{ROIint} = 2$$

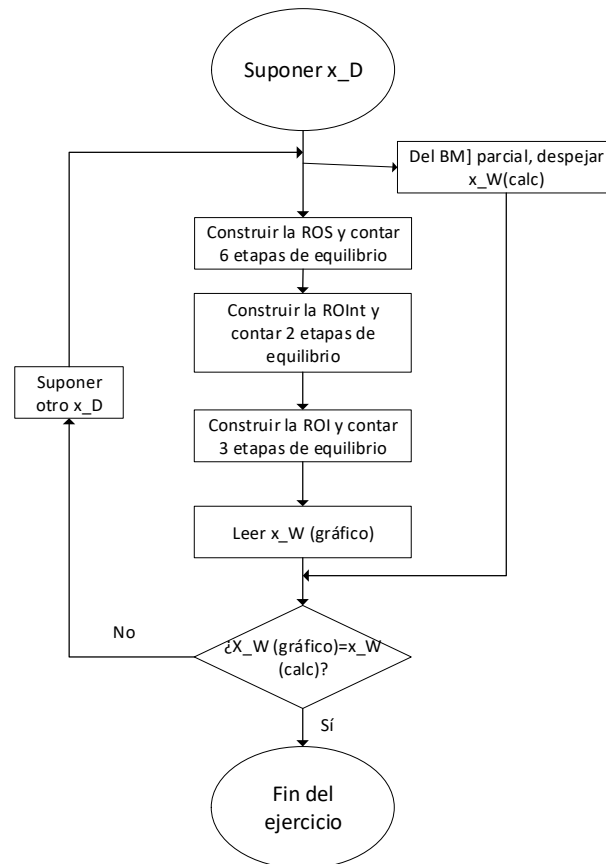
$$N_{ROI} = 3$$

$$y_{ROS} = \frac{R}{R+1} \cdot x_{ROS} + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y_{ROIint} = \frac{x_D \cdot D}{\bar{V} - V_{cond}} - \frac{z_F \cdot F}{\bar{V} - V_{cond}} + \left(\frac{L_0 + q \cdot F}{\bar{V} - V_{cond}} \right) \cdot x_{ROIint}$$

$$y_{ROI} = \frac{L_0 + q \cdot F + V_{cond}}{\bar{V}} \cdot x_{ROI} - \frac{W}{\bar{V}} \cdot x_w$$

Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



Relación de Reflujo constante. Análisis de Rectas de Operación

- Aún falta averiguar las composiciones de tope y fondo. Estas deben coincidir con el BM parcial de toda la torre, con la composición que indique el conteo de platos:

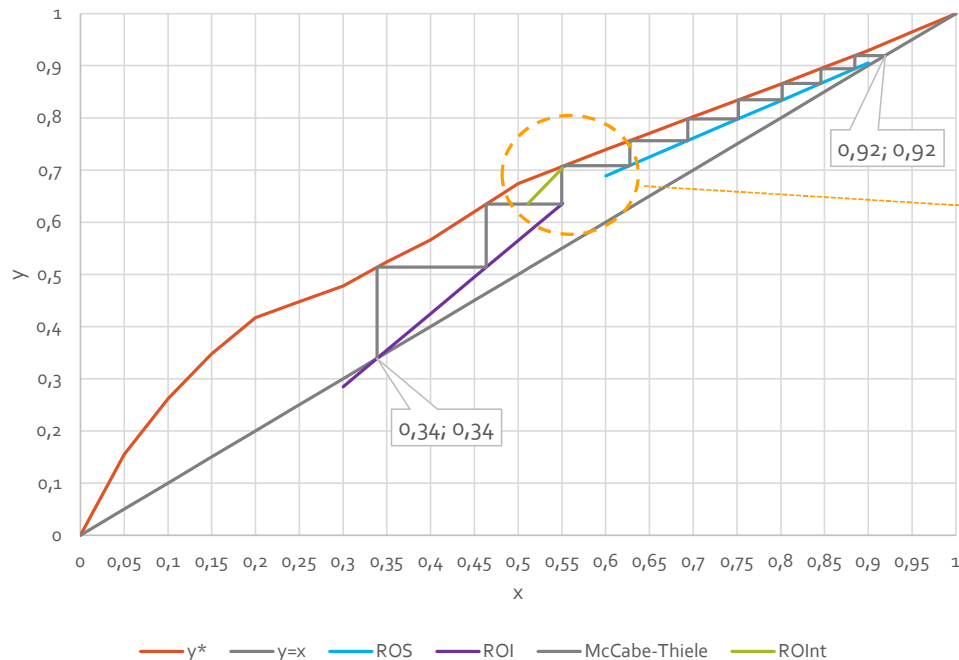
$$x_W^{calc} = \frac{z_F \cdot F - x_D^{propuesto} \cdot D}{W} = x_W^{N=11}$$

$$y_{ROS} = \frac{R}{R+1} \cdot x_{ROS} + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y_{ROIint} = \frac{x_D \cdot D}{\bar{V} - V_{cond}} - \frac{z_F \cdot F}{\bar{V} - V_{cond}} + \left(\frac{L_0 + q \cdot F}{\bar{V} - V_{cond}} \right) \cdot x_{ROIint}$$

$$y_{ROI} = \frac{L_0 + q \cdot F + V_{cond}}{\bar{V}} \cdot x_{ROI} - \frac{W}{\bar{V}} \cdot x_w$$

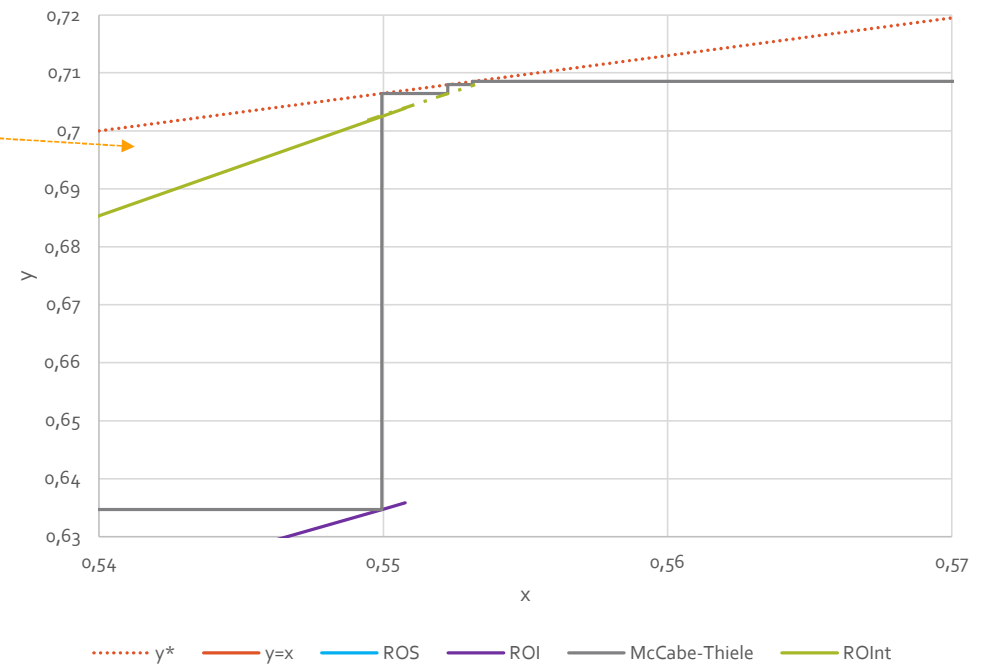
Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



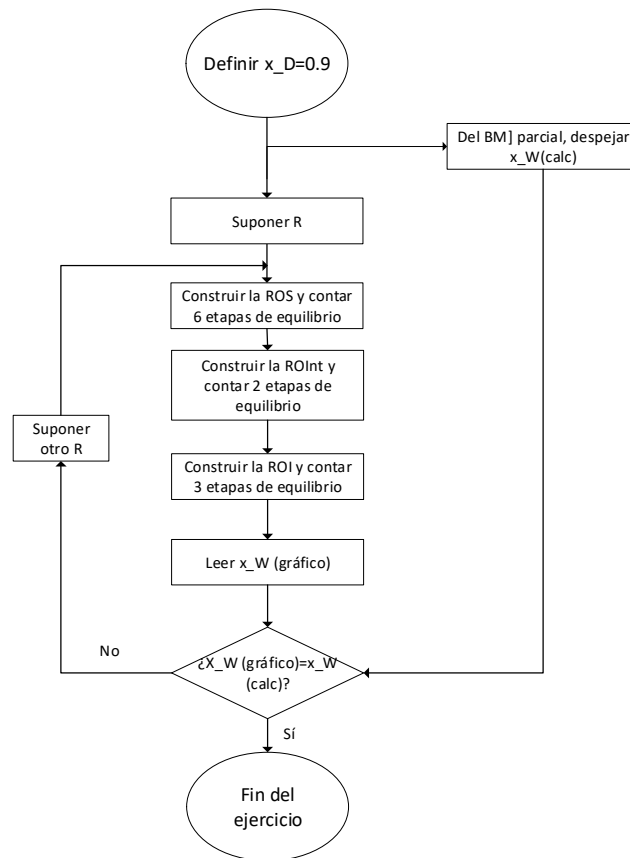
$$\begin{cases} x_D = 0,92 \\ x_W = 0,34 \end{cases}$$

Relación de Reflujo constante. Análisis de Rectas de Operación

- Los resultados se pueden ver a continuación:



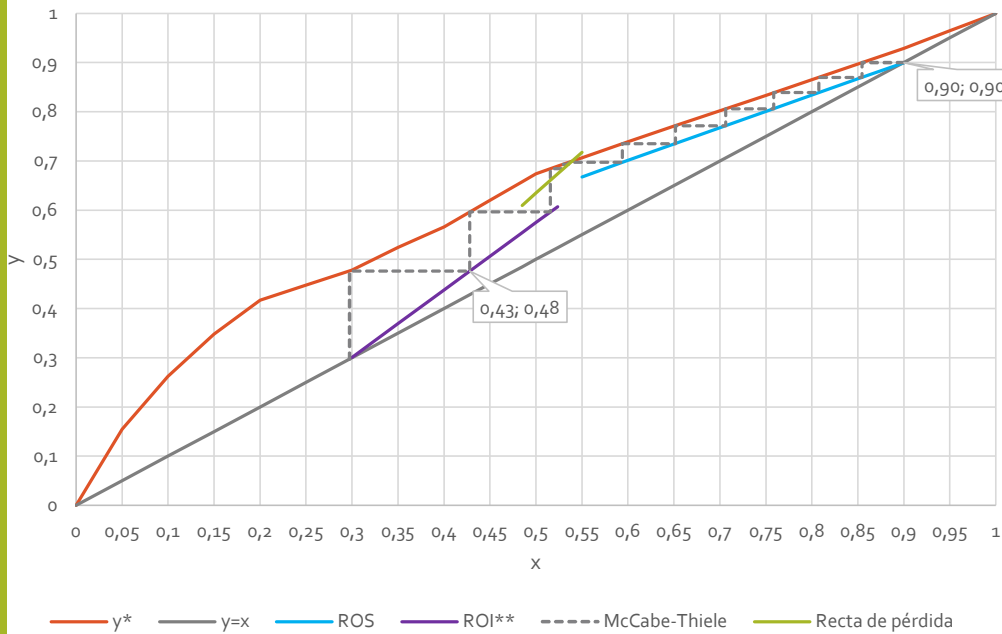
Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



Pureza de Destilado constante

- Ahora, como ya sabemos que la pureza se modifica, analizaremos cómo debería ser modificado el reflujo para mantener la pureza deseada del destilado (la original).
- Este tipo de análisis se los considera “reactivos”: luego de evaluar un instante inicial (pseudoestacionario), vimos que el sistema evolucionaría hacia un escenario que no nos conviene, por lo que decidimos “actuar” en consecuencia.
- Proponemos un nuevo ciclo iterativo, esta vez fijando la pureza del destilado y averiguando la relación de reflujo que necesitamos.

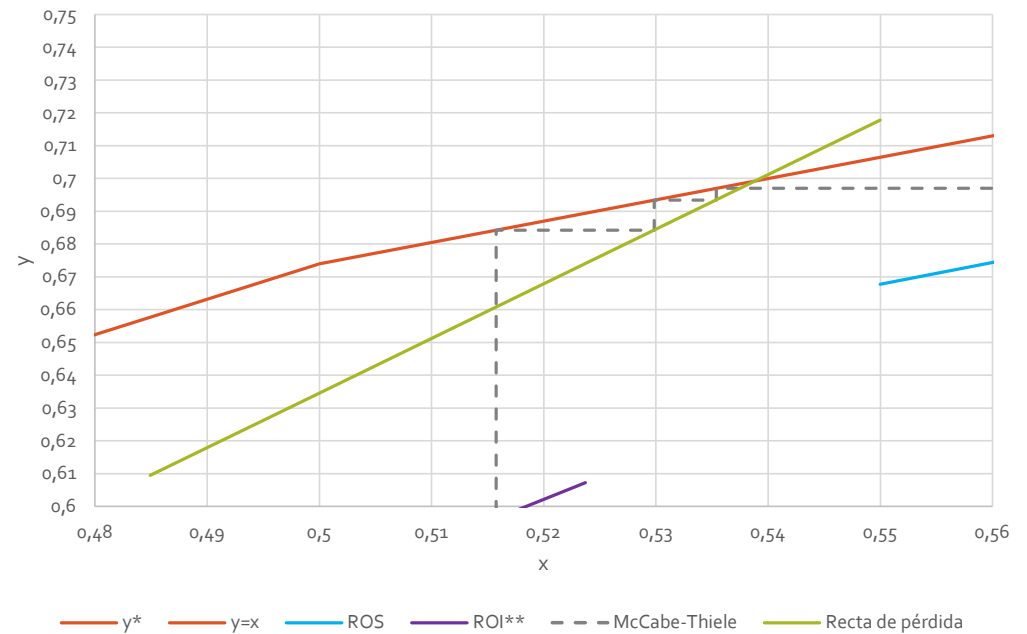
Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor



$$\begin{cases} x_D = 0,90 \\ x_W = 0,30 \\ R = 1,97 \end{cases}$$

Pureza de Destilado constante. Resultados

• Se obtiene:



Resolución – Ítem 2 – Pérdida de calor

| Parámetro | Unidades | Caso operativo | Pérdida de calor ($R = 2,6$) | Pérdida de calor ($x_D = 0,9$) |
|------------|----------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| D | kmol/h | 50 | 27,8 | 33,6 |
| W | kmol/h | 50 | 72,2 | 66,4 |
| x_D | N/A | 0,90 | 0,92 | ,90 |
| x_W | N/A | ,10 | 0,34 | 0,30 |
| x_{mix} | N/A | N/A | 0,60 | 0,58 |
| N | N/A | | 11 | |
| R | N/A | 2,6 | 2,6 | 1,97 |
| Q_{cond} | kJ/h | 7200 | 4000 | |
| Q_b | kJ/h | | 7200 | |
| L_0 | kmol/h | 130 | 72,2 | 66,4 |
| V | kmol/h | 180 | 100 | |
| \bar{L} | kmol/h | 230 | RInt: 172,2 ROI: 252,2 | RInt: 166,4 ROI: 246,4 |
| \bar{V} | kmol/h | 180 | RInt: 100 ROI: 180 | |

Tarea

- Realizar el mismo análisis, pero considerando que ahora se aumenta el *duty* del *reboiler* para compensar las pérdidas de calor.
- Comparar los resultados con los de las tablas anteriores y sacar sus conclusiones sobre si “convino” o no perder calor en esa zona.
- Analizar los resultados si la pérdida de calor se encontrara entre el tercer y cuarto plato contando desde el tope.