GUÍA 7 – Extracción Líquido-Líquido
Problema 3

2° Cuatrimestre - 2024

.UBAfiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA

Enunciado

Se desea extraer con éter iso-propílico el ácido acético de una solución acuosa al 30%.

Determinar:

a) La máxima concentración de ácido que se puede obtener en el extracto con una operación de una sola etapa.

b) Para una alimentación de 100 kg/h, calcule caudales y composiciones de extracto y refinado si la cantidad de solvente es **10 veces** la usada en a).

c) El empleo de múltiples etapas ¿mejoraría la operación?

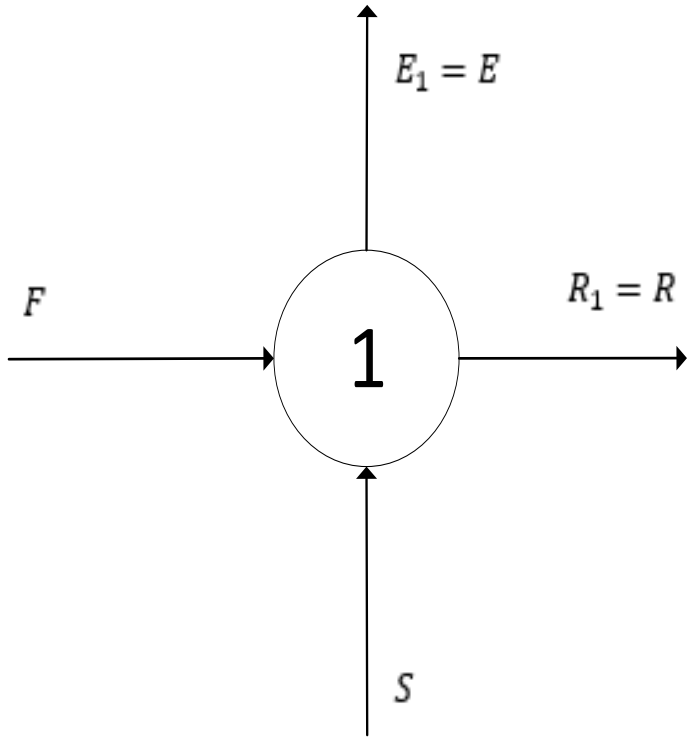
Datos:

Concentración de Equilibrio en el REFINADO		Concentración de Equilibrio en el EXTRACTO	
Ácido Acético [%]	Éter isopropílico [%]	Ácido Acético [%]	Éter isopropílico [%]
1.40	1.50	0.37	98.90
6.40	1.90	1.93	97.10
13.20	2.30	4.80	93.30
25.50	3.40	11.40	84.70
36.70	4.40	21.60	71.50

Resolución – Ítem *a)*

a) La máxima concentración de ácido que se puede obtener en el extracto con una operación de una sola etapa.

El esquema simplificado de la operación es:



Realizando el BMG y BMP:

$$F + S = E + R \overset{\text{def}}{=} M$$

$$F \cdot x_i^F + S \cdot x_i^S = M \cdot x_i^M \Longrightarrow \boxed{\frac{F}{S} = \frac{x_i^M - x_i^S}{x_i^F - x_i^M} = \frac{\overline{MS}}{\overline{FM}}}$$

$$E \cdot x_i^E + R \cdot x_i^R = M \cdot x_i^M \Longrightarrow \boxed{\frac{E}{R} = \frac{x_i^M - x_i^R}{x_i^E - x_i^M} = \frac{\overline{MR}}{\overline{EM}}}$$

Podemos aplicar la regla de la palanca para obtener información gráficamente.

Recordemos que el punto "M" estará más cerca de "S" cuanta mayor cantidad de solvente agreguemos, y más cerca de "F" cuanto menos…

¿Cuán cerca de "F" podemos estar? ⟹ **Solvente mínimo**

Resolución – Ítem *a)*

a) La máxima concentración de ácido que se puede obtener en el extracto con una operación de una sola etapa.

Gráficamente ubicamos “F”, “S” y los puntos del equilibrio.

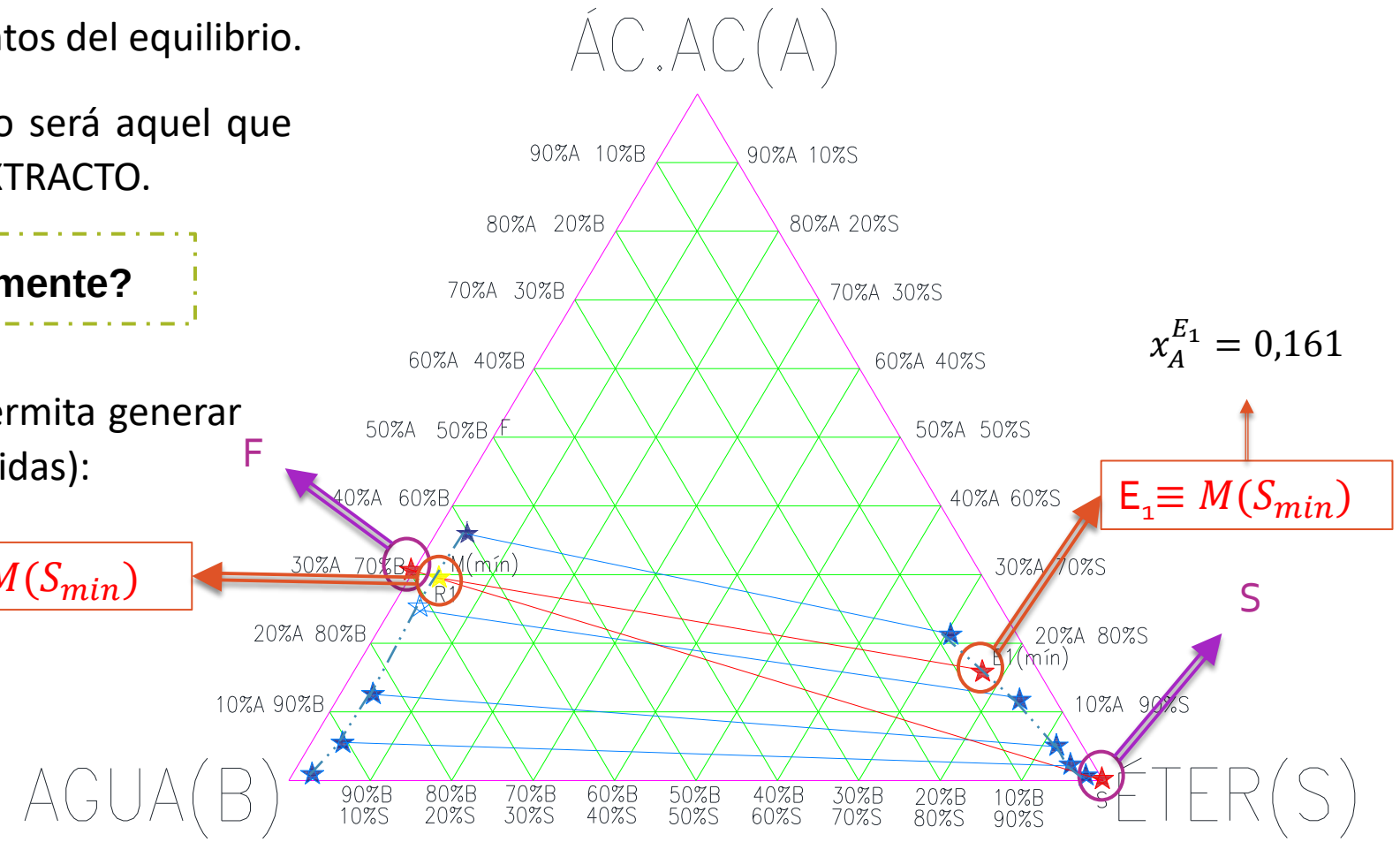
Para **una sola etapa**, el solvente mínimo será aquel que permita separar al menos una gota de EXTRACTO.

¿cómo lo encontramos gráficamente?

Partiendo de “F”, será el primero que permita generar una solución heterogénea (dos fases líquidas):

$x_A^{R_1} = 0{,}295$ ← $R_1 \equiv M(S_{min})$

¿Cómo obtenemos el caudal de Solvente mínimo?



Resolución – Ítem *b)*

b) Para una alimentación de 100 kg/h, calcule caudales y composiciones de extracto y refinado si la cantidad de solvente es 10 veces la usada en a).

El punto M se trasladará sobre el segmento $\overline{FS}$ en dirección a *S*.

Conociendo *F*, podemos calcular el valor de S_{min} a partir de la relación geométrica del esquema anterior :

$$\frac{F}{S_{mín}} = \frac{\overline{M_{Smín}\ S}}{\overline{F\ M_{Smín}}}$$

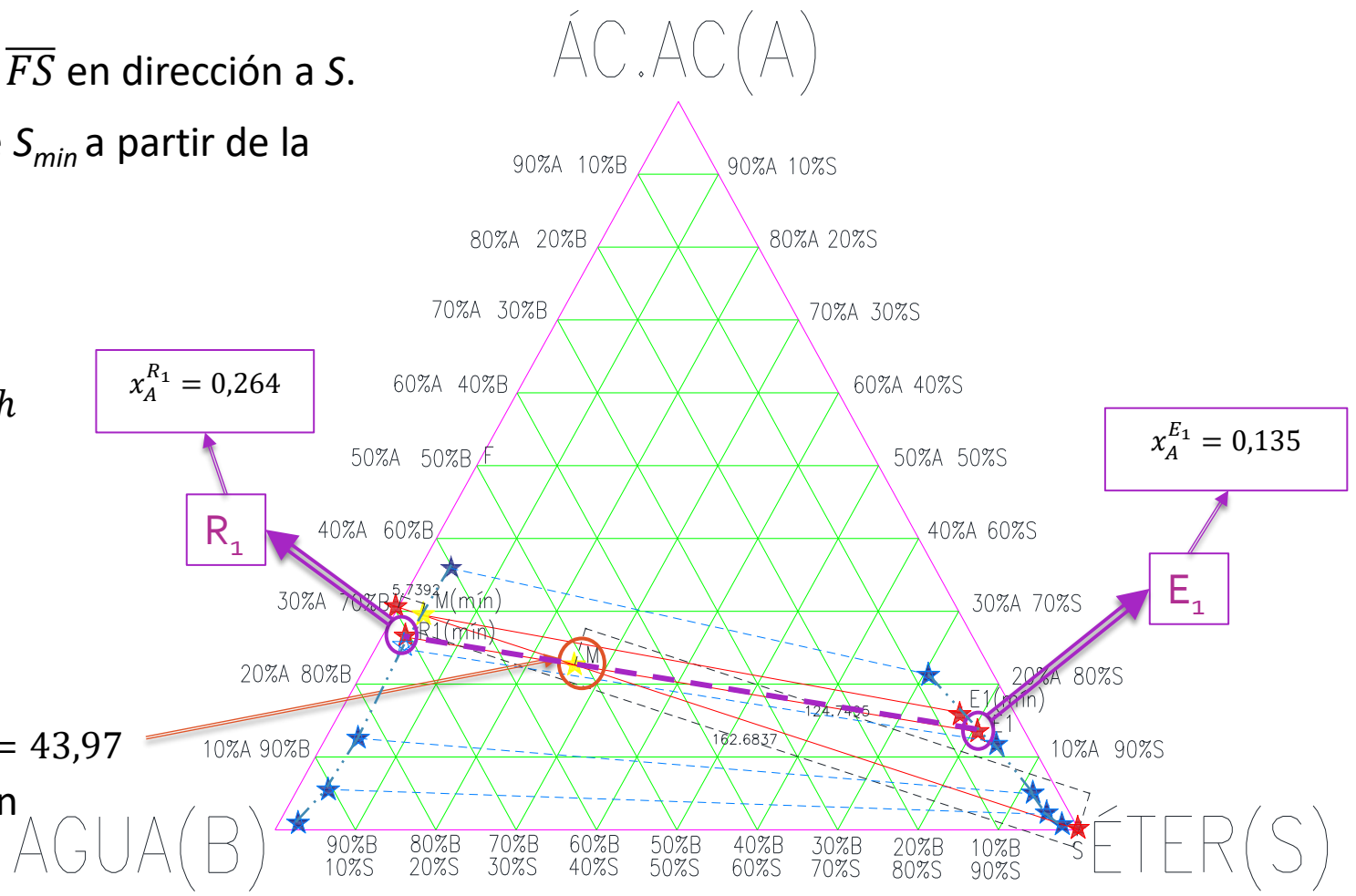
$$S_{mín} = 100\,kg/h \cdot \frac{\overline{F\ M_{Smín}}}{\overline{M_{Smín}\ S}} = 3{,}53\,kg/h$$

$$S_{OP} = 10 \cdot S_{mín} = 35{,}3\,kg/h$$

Aplicando regla de la palanca:

$$\begin{cases} \dfrac{F}{S} = \dfrac{\overline{SM}}{\overline{MF}} = \dfrac{100\,kg/h}{35{,}3\,kg/h} = 2{,}83 \\ \overline{SM} + \overline{MF} = \overline{FS} = 3{,}83 \cdot \overline{MF} \end{cases} \longrightarrow \quad \overline{MF} = 43{,}97$$

Sabemos que las corrientes que abandonan el equipo lo hacen en equilibrio:



Resolución – Ítem *b)*

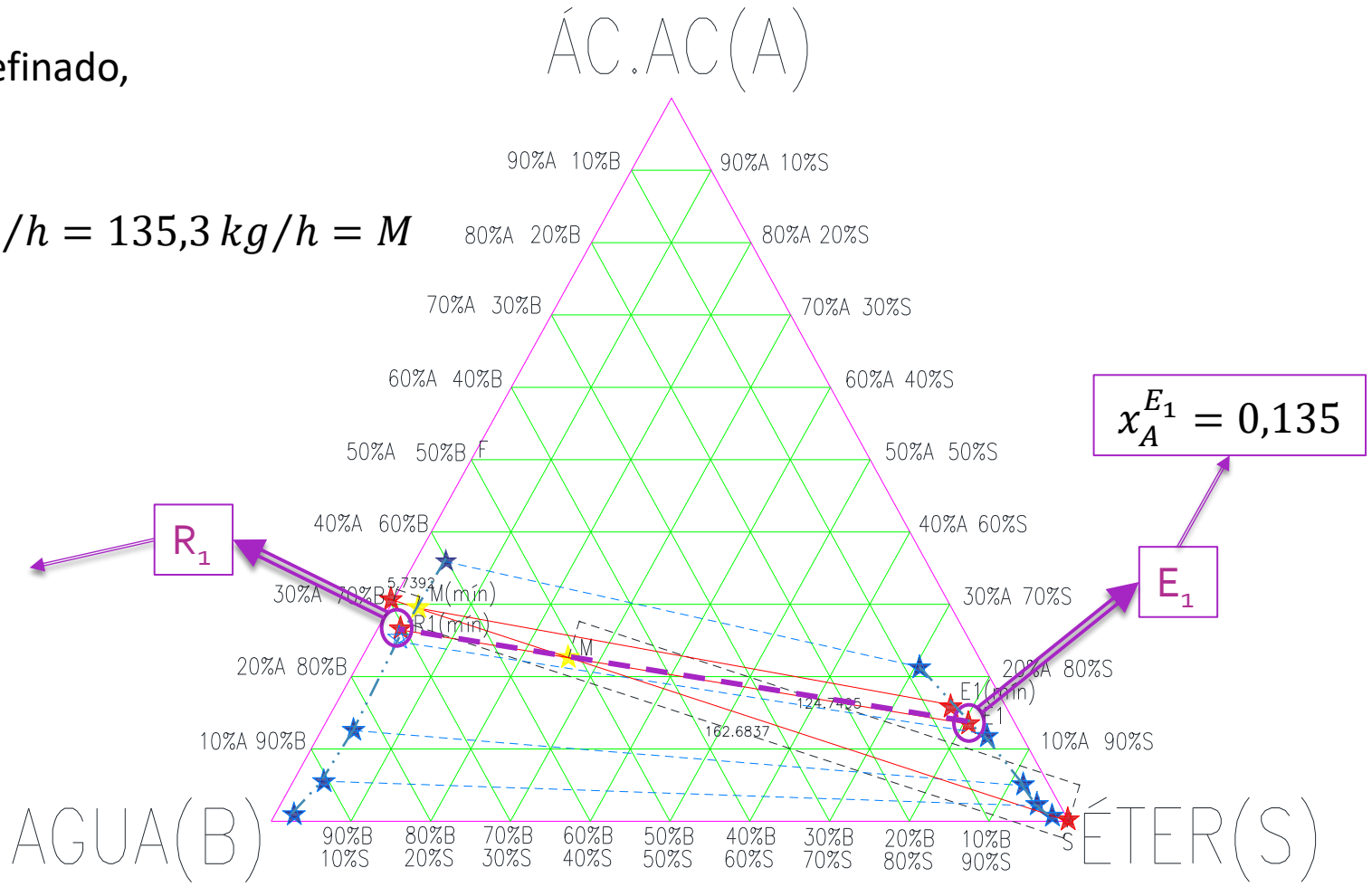
b) Para una alimentación de 100 kg/h, calcule caudales y composiciones de extracto y refinado si la cantidad de solvente es 10 veces la usada en a).

Para obtener los caudales de extracto y refinado, volvemos a acudir a la regla de la palanca:

$$\begin{cases} R_1 + E_1 = F + S = 100\,kg/h + 35{,}3\,kg/h = 135{,}3\,kg/h = M \\ \dfrac{E_1}{R_1} = \dfrac{\overline{MR_1}}{\overline{E_1M}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_1 = 40{,}01\,kg/h \\ R_1 = 95{,}29\,kg/h \end{cases}$$

$$x_A^{R_1} = 0{,}264$$

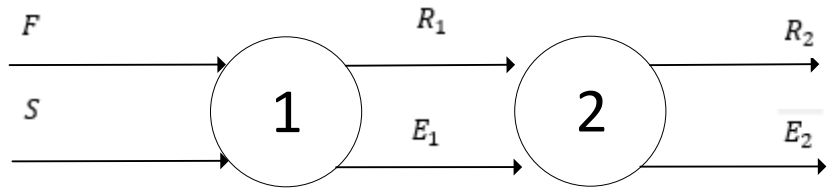


Resolución – Ítem *c)*

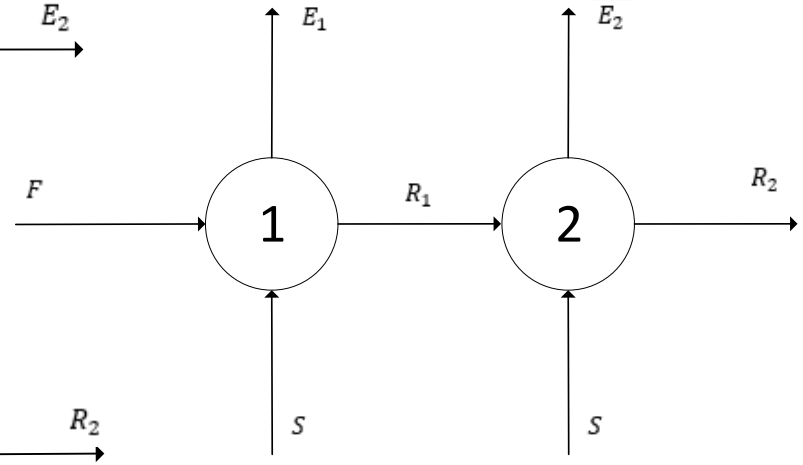
c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

¿Qué opciones tenemos?

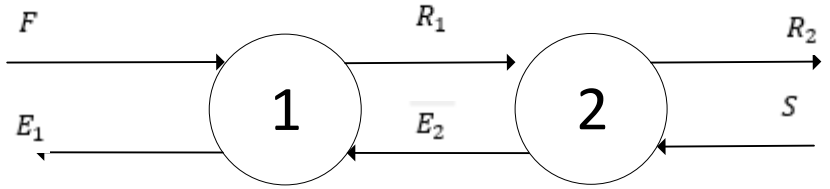
1. Co-corriente



2. Corrientes Cruzadas



3. Contracorriente



Vamos a analizar cada caso con **dos etapas** de equilibrio.

Resolución – Ítem *c) Co-corriente*

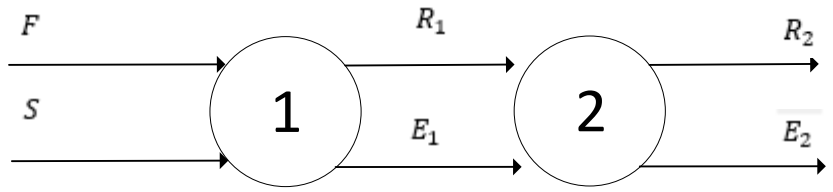
c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

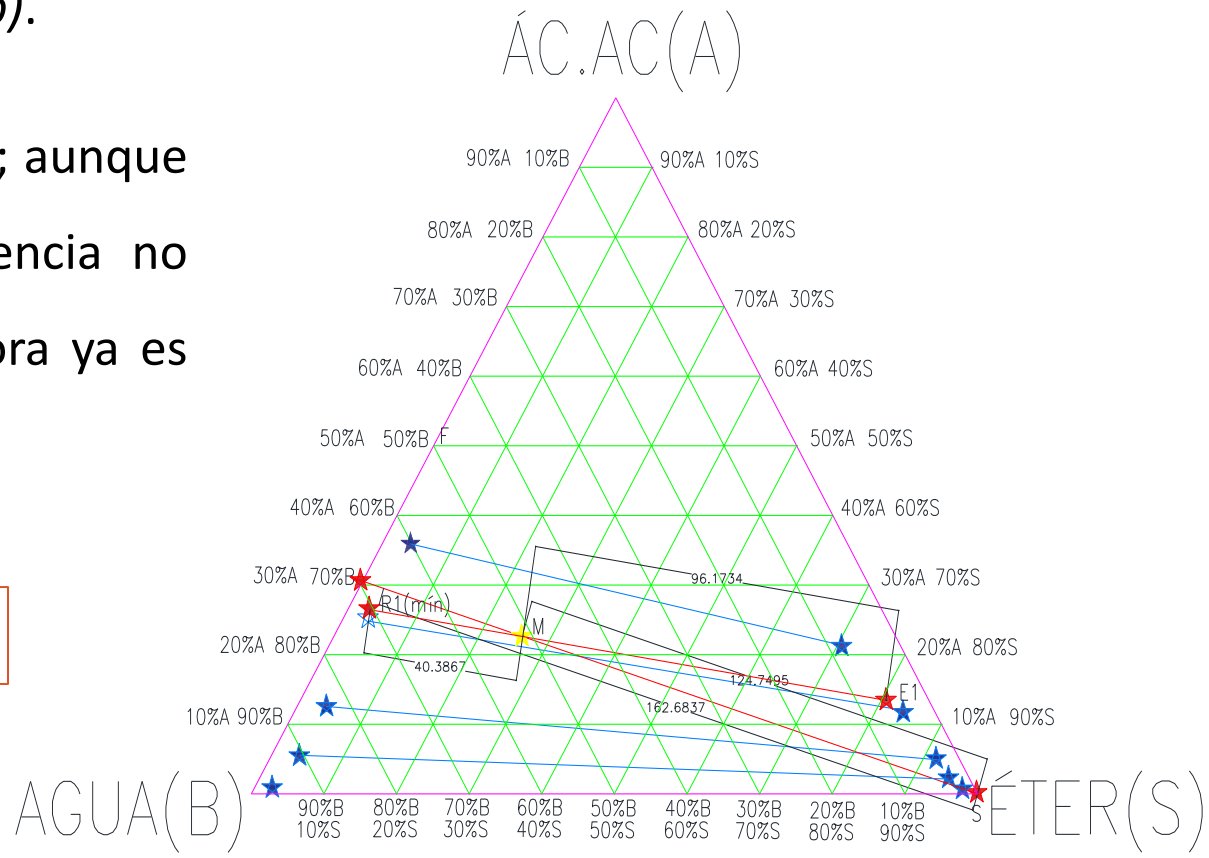
1. **Co-corriente**

La etapa 1 es idéntica a la del ítem *a)* y *b)*.

E_1 y R_1 salen en equilibrio de la Etapa 1; aunque agregue múltiples etapas, la transferencia no mejorará puesto que la fuerza impulsora ya es nula al salir de la primera etapa.

No mejora la operación





Resolución – Ítem *c) Corrientes Cruzadas*

c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

2. Corrientes Cruzadas

Nuevamente la etapa 1 es idéntica a la del ítem a) y b).

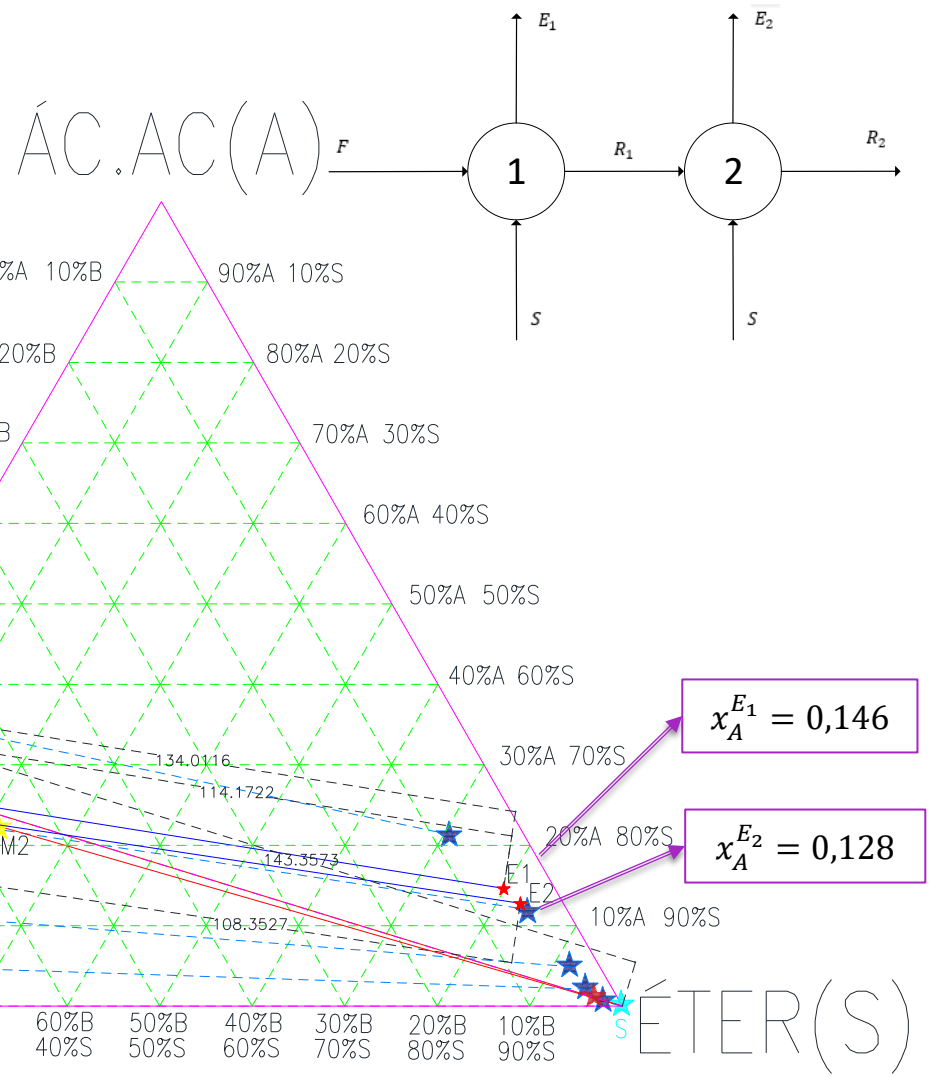
La etapa 2 verá un ingreso de R_1 y S, por lo cual, existe una fuerza impulsora para la transferencia

¿ R1 es el obtenido en el item b)?

$$\begin{cases} \boldsymbol{R_1 + E_1 = F + S_1} = 100\,kg/h + \dfrac{35{,}3\,kg/h}{2} = 117{,}65\,kg/h = \boldsymbol{M} \\ \dfrac{\boldsymbol{E_1}}{\boldsymbol{M}} = \dfrac{\overline{\boldsymbol{MR_1}}}{\overline{\boldsymbol{E_1R_1}}} = \dfrac{19{,}83}{134{,}01} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E_1 = 17{,}4\,kg/h \\ R_1 = 100{,}25\,kg/h \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_A^{E_1} = 0{,}146 \\ x_A^{R_1} = 0{,}274 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{R_2 + E_2 = R_1 + S_2} = 100{,}25\,kg/h + \dfrac{35{,}3\,kg/h}{2} = 117{,}9\,kg/h = M_2 \\ \dfrac{\boldsymbol{E_2}}{\boldsymbol{M_2}} = \dfrac{\overline{\boldsymbol{M_2R_2}}}{\overline{\boldsymbol{E_2R_2}}} = \dfrac{31{,}02}{139{,}36} \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_2 = 26{,}24\,kg/h \\ R_2 = 91{,}66\,kg/h \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_A^{E_2} = 0{,}128 \\ x_A^{R_2} = 0{,}253 \end{cases}$$



$x_A^{E_1} = 0{,}146$

$x_A^{E_2} = 0{,}128$

Resolución – Ítem *c) Corrientes Cruzadas*

c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

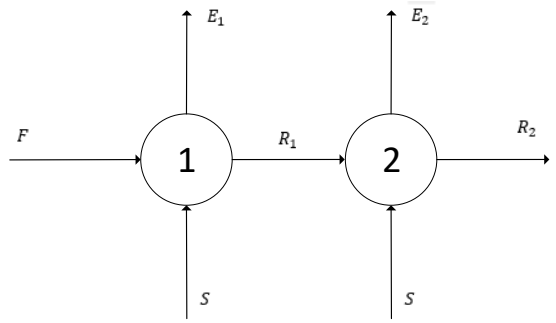
2. Corrientes Cruzadas

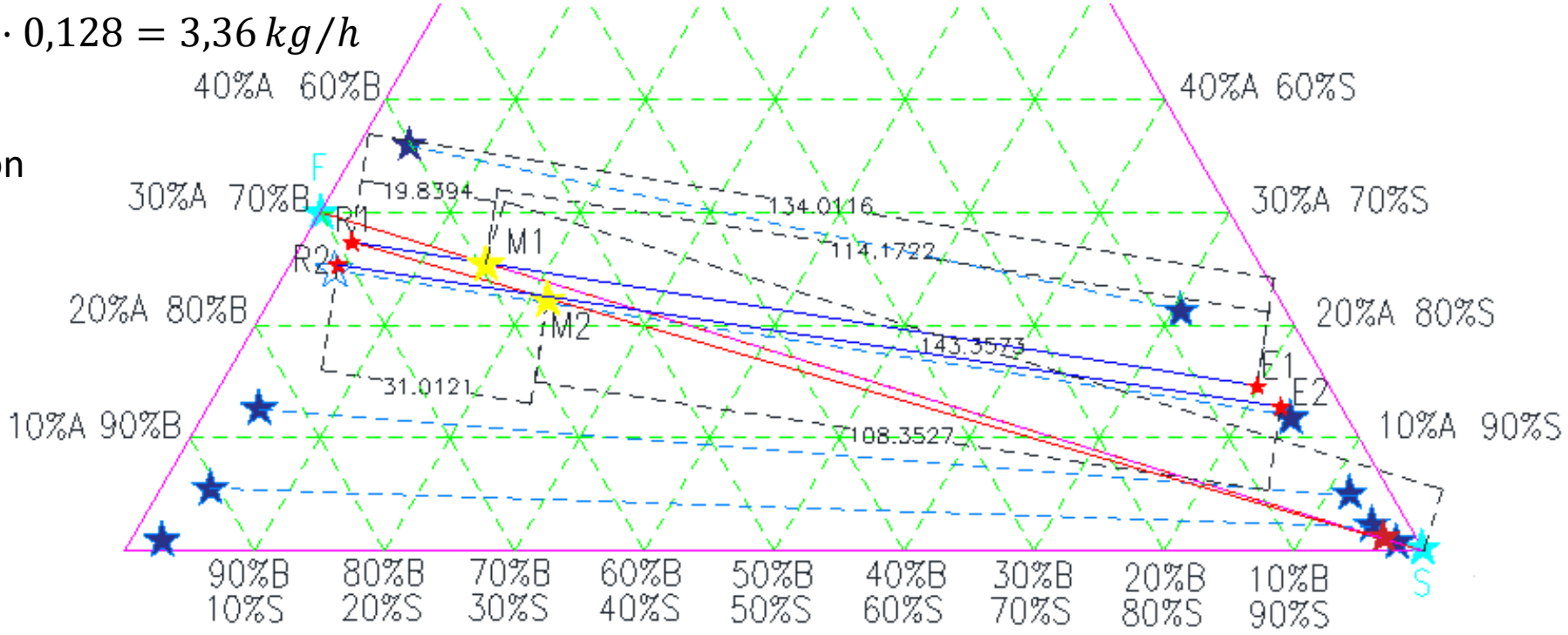
En resumen, se recupera:

$$\begin{cases} E_1 \cdot x_A^{E_1} = 17{,}4\,kg/h \cdot 0{,}146 = 2{,}54\,kg/h \\ E_2 \cdot x_A^{E_2} = 26{,}24\,kg/h \cdot 0{,}128 = 3{,}36\,kg/h \end{cases}$$

Y se obtiene un Refinado con
25,3% de A

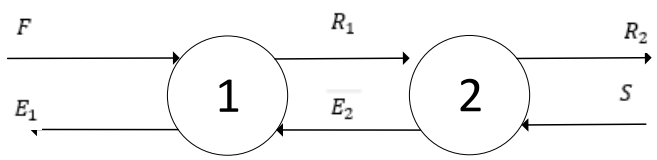
Mejora la operación





Resolución – Ítem *c) Contracorriente*

c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?



3. Contracorriente

En este caso, a la etapa 1 no le ingresa solvente puro sino la corriente de extracto proveniente de la etapa 2 (E_2) que sí opera con ingreso de solvente puro (y alimentación de la corriente de refinado proveniente de la etapa 1).

Para poder trabajar con este tipo de operaciones, incorporamos el concepto de **POLO**:

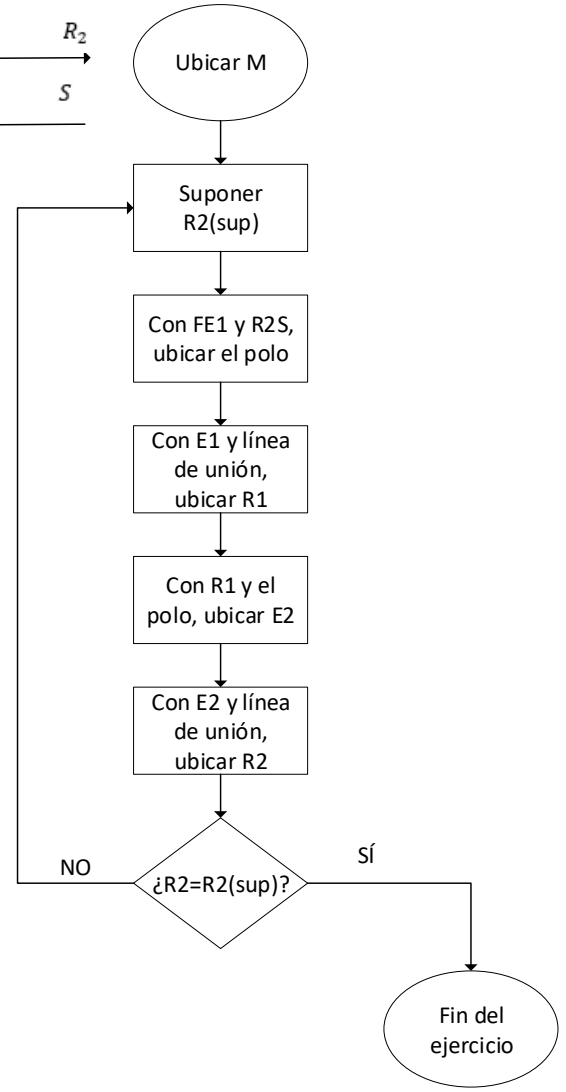
$$F - E_1 = R_1 - E_2 = R_2 - S \overset{\text{def}}{=} \mathbf{Q}$$

De un balance en cualquiera de las etapas, se puede incorporar este concepto:

$$\begin{cases} F + E_2 = R_1 + E_1 = M_1 \\ F - E_1 = Q = R_1 - E_2 \end{cases} \qquad \begin{cases} R_1 + S = R_2 + E_2 = M_1 \\ R_1 - E_2 = Q = R_2 - S \end{cases}$$

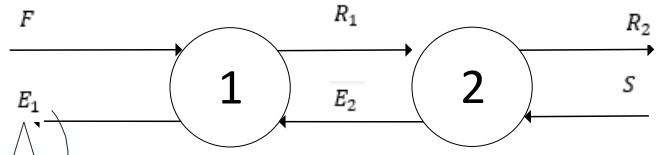
De esta manera, al igual que operamos con el punto mezcla, podemos operar con el polo a través de los balances de masa y la regla de la palanca.

La resolución de este tipo de ejercicios será de forma iterativa:



Resolución – Ítem *c) Contracorriente*

c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

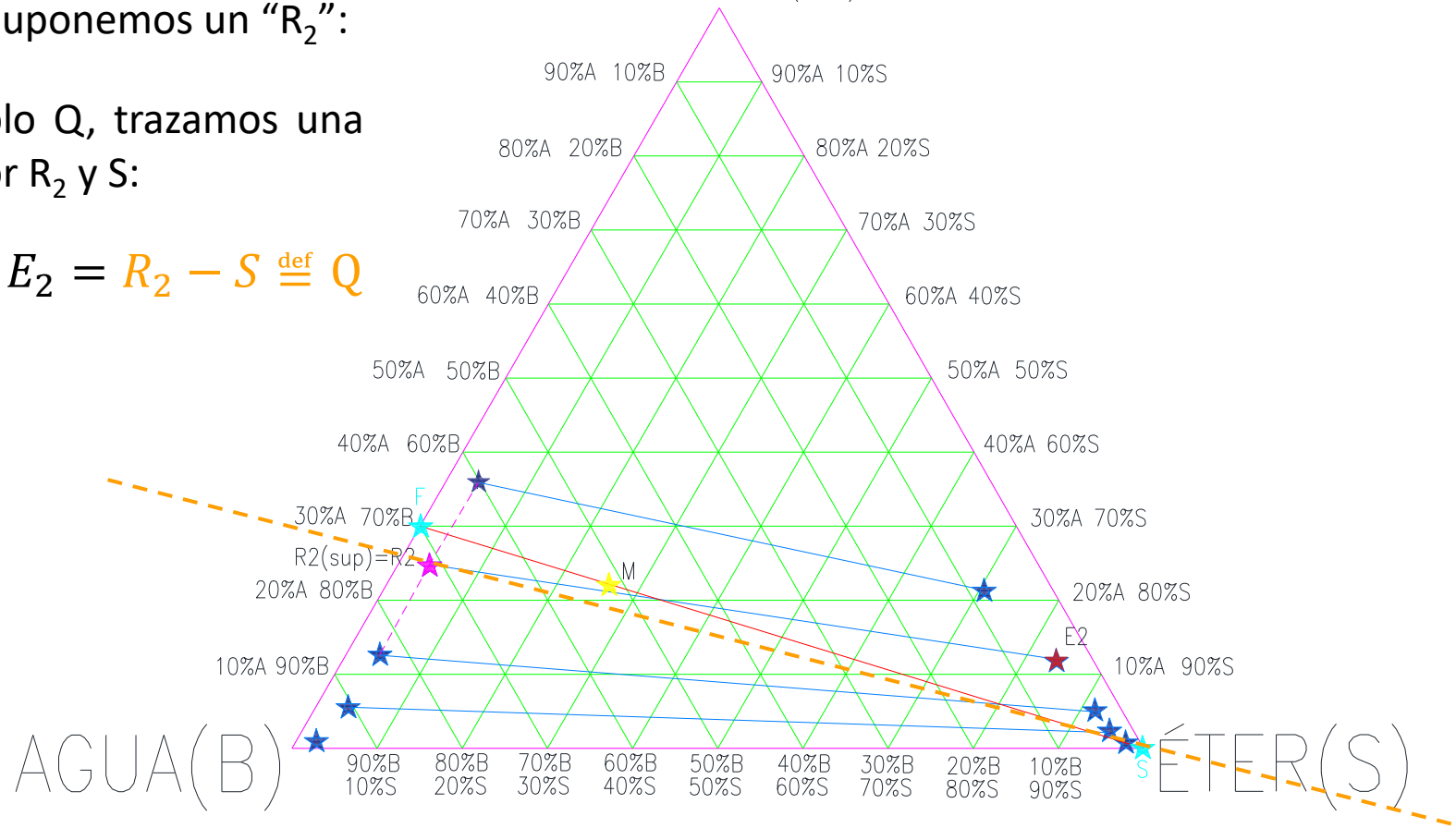


3. Contracorriente

Ubicamos "M" y suponemos un "R_2":

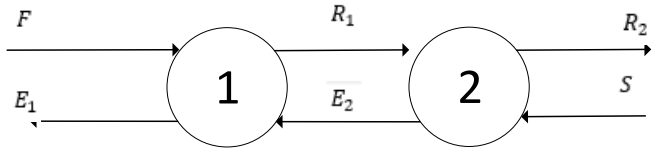
Para ubicar el polo Q, trazamos una recta que pase por R_2 y S:

$$F - E_1 = R_1 - E_2 = R_2 - S \stackrel{\text{def}}{=} Q$$



Resolución – Ítem *c) Contracorriente*

c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

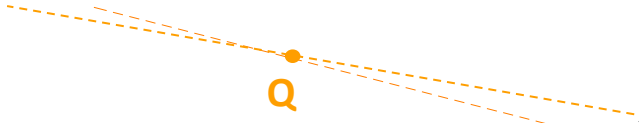


3. Contracorriente

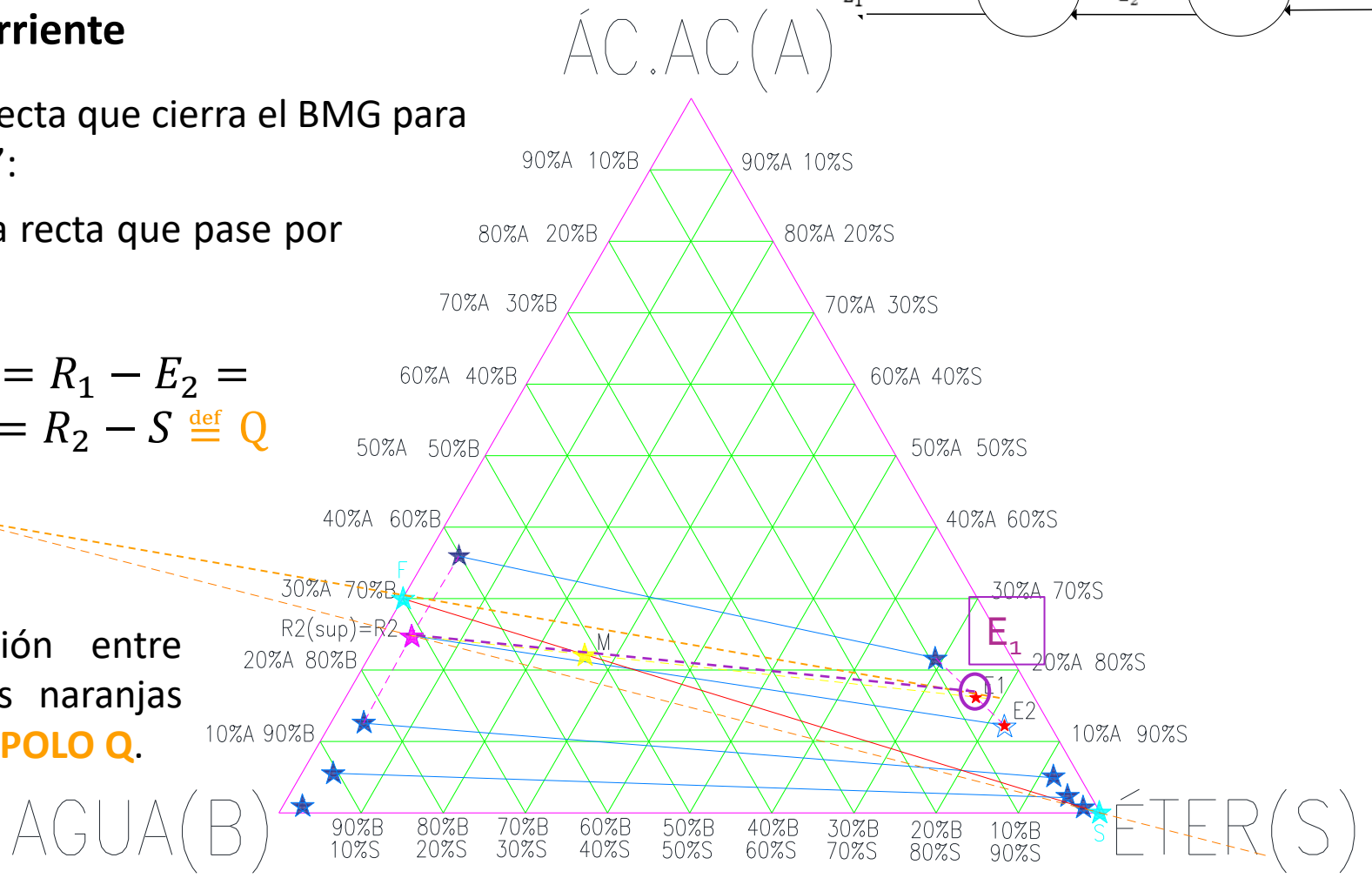
Trazamos la recta que cierra el BMG para obtener ""E_1":

Trazamos una recta que pase por "F" y "E_1":

$$F - E_1 = R_1 - E_2 = \\ = R_2 - S \overset{\text{def}}{=} Q$$

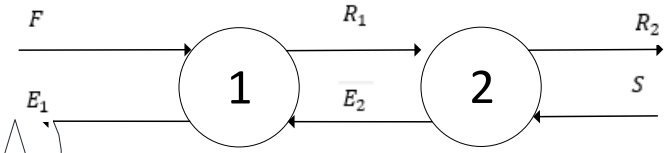


La intersección entre ambas rectas naranjas determina el **POLO Q**.



Resolución – Ítem *c) Contracorriente*

c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

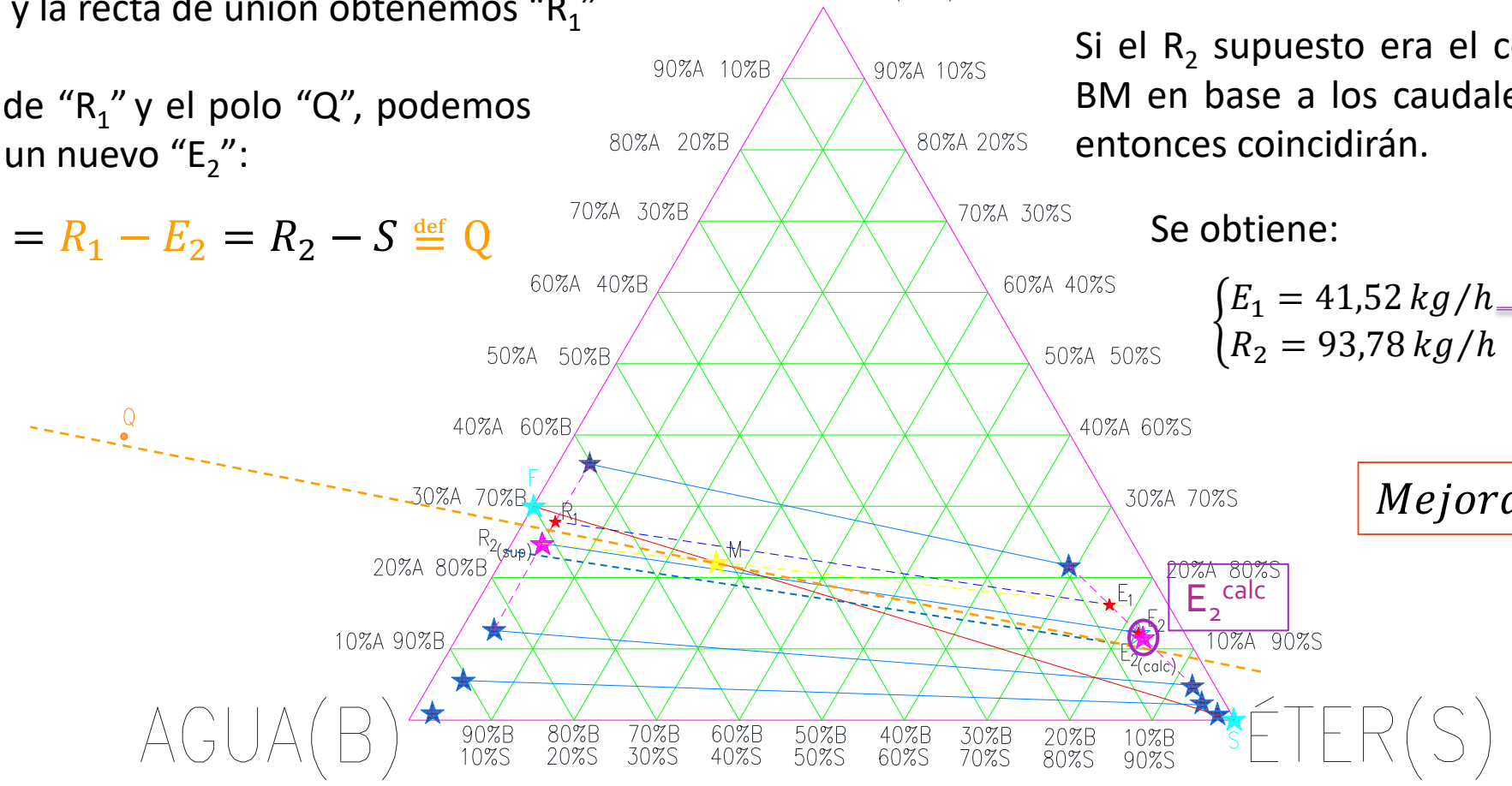


3. Contracorriente

Con "E_1" y la recta de unión obtenemos "R_1"

A partir de "R_1" y el polo "Q", podemos obtener un nuevo "E_2":

$$F - E_1 = R_1 - E_2 = R_2 - S \overset{\text{def}}{=} Q$$



Si el R_2 supuesto era el correcto (cierra el BM en base a los caudales especificados), entonces coincidirán.

Se obtiene:

$$\begin{cases} E_1 = 41{,}52\ kg/h \\ R_2 = 93{,}78\ kg/h \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} x_A^{E_1} = 0{,}123 \\ x_A^{R_2} = 0{,}248 \end{cases}$$

Mejora la operación

Conclusiones

c) El empleo de múltiples etapas, ¿mejoraría la operación?

En resumen:

Parámetro	1 etapa	Co-corriente	Corrientes Cruzadas	Contra-corriente
N° etapas	1	2	2	2
S [kg/h]	35,3			
R [kg/h]	95,29		91,66	93,78
x_R [%]	26,4		25,3	24,8
A_{transf} [kg/h]	4,84		6,81	6,74
E [kg/h]	40,01		17,4 / 26,24	41,52
x_E [%]	13,5		14,6 / 12,8	12,3

.UBAfiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA

¿PREGUNTAS?