

# GUÍA 7

## Extracción Líquido- Líquido

### Problema 2

2° Cuatrimestre - 2024

# Enunciado

Se trata de separar por extracción un componente A de una mezcla que contiene A+B de composición 0,3 (fracción en peso de A) y 0,7 de B. Se usa para tal fin un solvente C que es totalmente inmisible con B.

Se deben tratar 100 kg/h de mezcla disponiéndose de 100 kg/h de solvente C. **La zona de inmiscibilidad se ubica por debajo del 60% de la composición de A. En cualquier otra composición la mezcla es miscible.**

Se pide:

1. Determinar gráficamente la recuperación de A (del contenido en la alimentación) que se logra extraer al usar tres etapas de equilibrio:
  - a) En co-corriente
  - b) En corrientes cruzadas
  - c) En contra-corriente
2. Determinar la cantidad mínima de solvente requerida para cada caso.

Datos:

- Mediciones de la constante de reparto de A indican que ambas fases tienen la misma fracción en peso; es decir  $k_A = 1$

# Análisis del Diagrama Ternario

- ❖ Los solventes B y C son inmiscibles entre sí; supondremos que es así en todo el rango de composiciones dado que el enunciado no aclara.
- ❖ B y C no pueden formar una solución, pero sí lo pueden hacer los pares A - B y A - C por separado.
- ❖ Si se tuviera una mezcla con las tres sustancias, se separarían en dos fases: la primera con A y B exclusivamente y, la segunda, con A y C exclusivamente. De aquí se deduce que las curvas de extracto y refinado estarán sobre los lados del triángulo.
- El segundo dato es para ver cómo se distribuyen las líneas de unión. Para eso, usamos el dato de la constante de reparto. Esta se define como:

$$k_A = \frac{\text{Fracción en peso de A en el refinado}}{\text{Fracción en peso de A en el extracto}} = \frac{x_A^{Rj}}{x_A^{Ej}} \longrightarrow x_A^{Rj} = x_A^{Ej}$$

Como  $k_A = 1$ , la fracción en peso de A en el refinado y en el extracto son iguales; las líneas de unión serán horizontales

*Notar que en este caso es indistinto, pero en cualquier otra situación se debe aclarar si la constante de reparto es respecto de refinado/extracto o de extracto/refinado.*

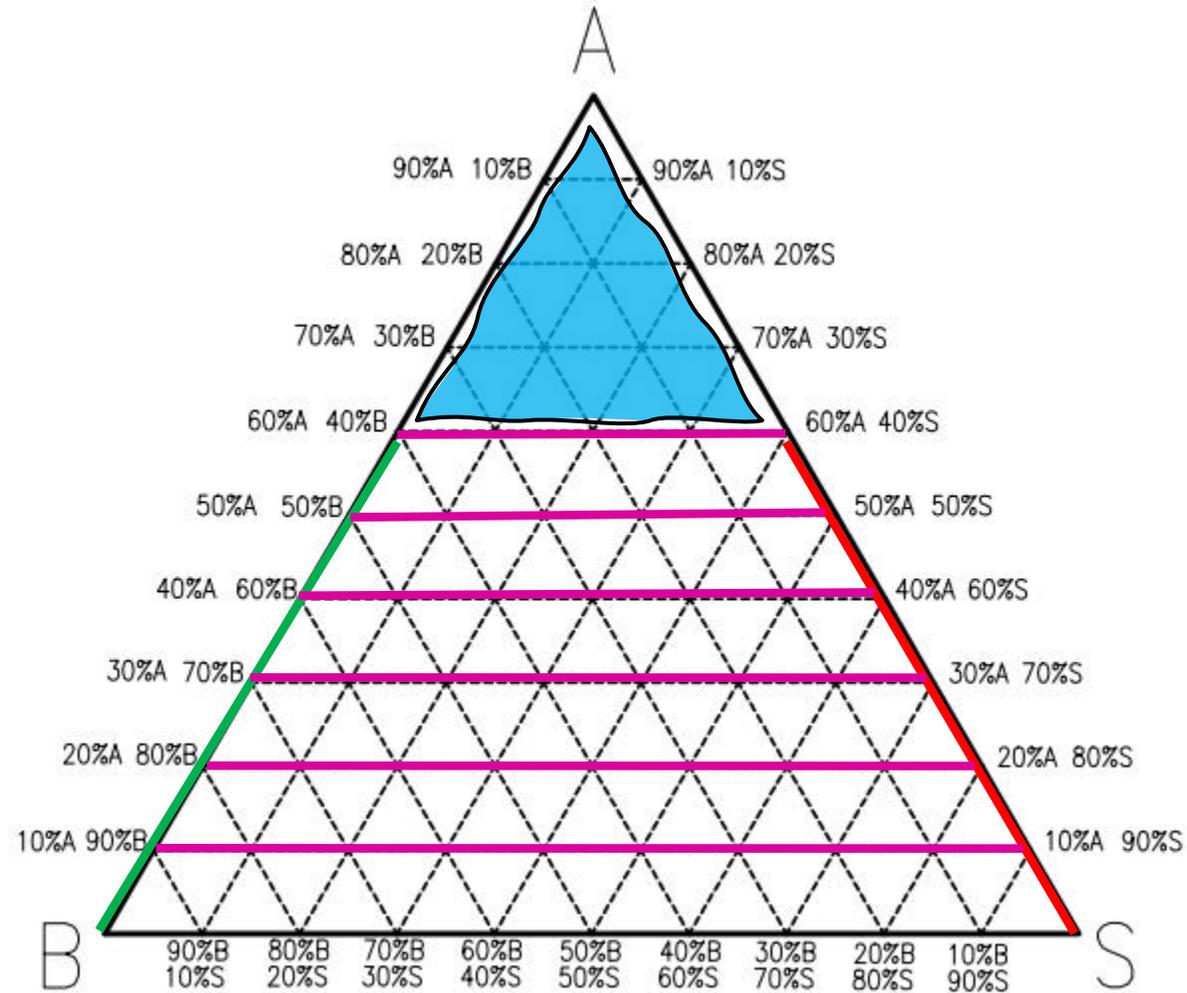
# Diagrama Ternario

CURVA DE EXTRACTO

CURVA DE REFINADO

LÍNEAS DE UNIÓN

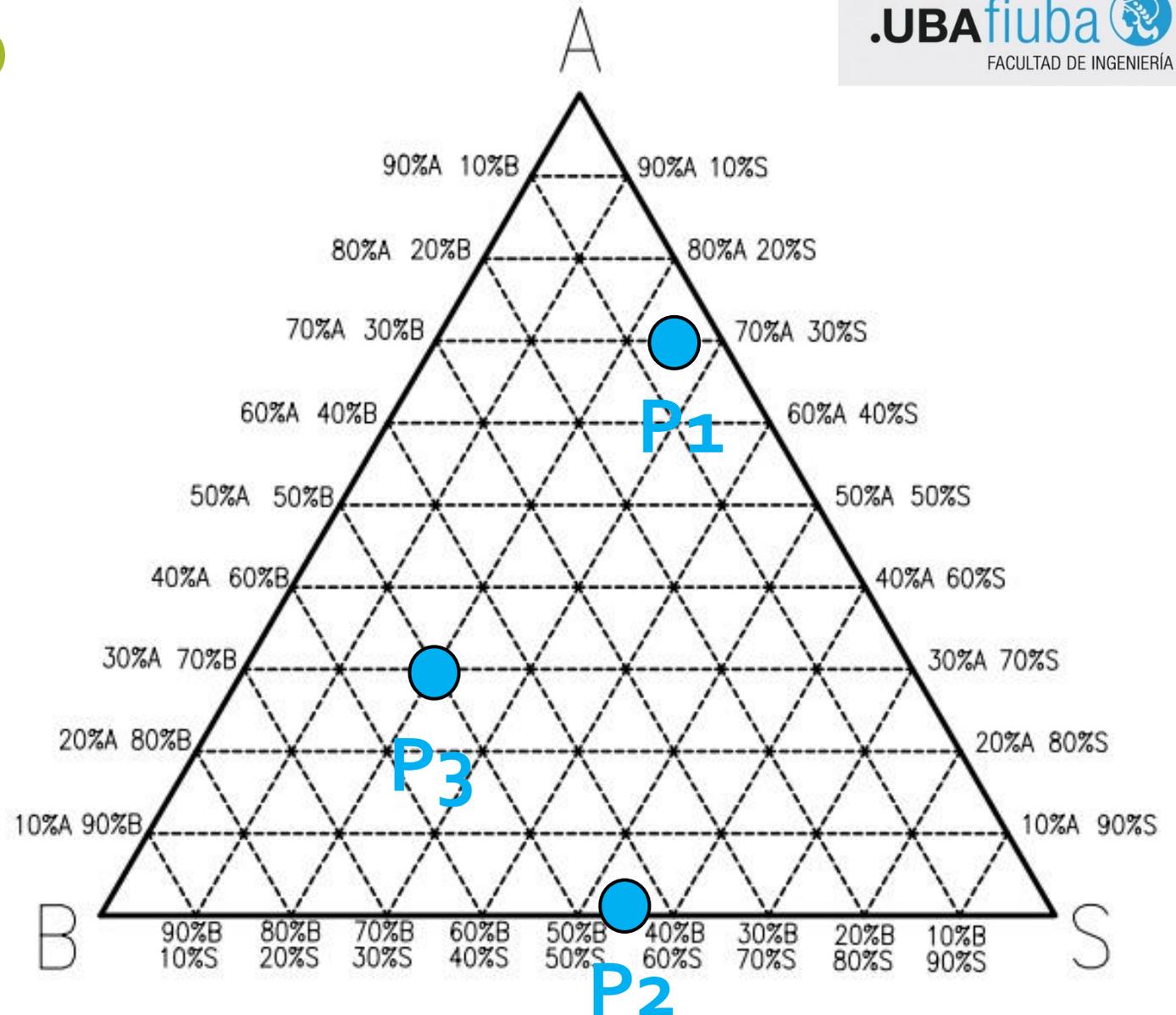
ZONA DE MISCIBILIDAD  
(una sola fase)



# Ejercicio intermedio

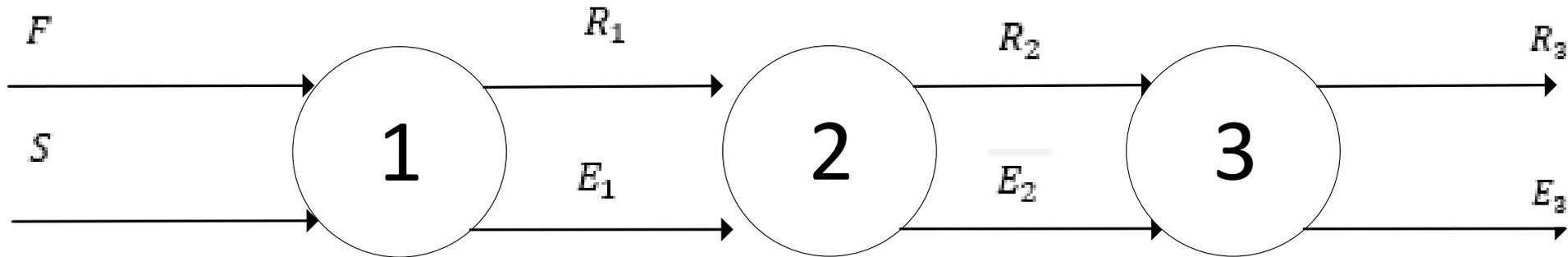


	[A]	[B]	[S]
	%m/m	%m/m	%m/m
P <sub>1</sub>	70	5	25
P <sub>2</sub>	-	45	55
P <sub>3</sub>	30	50	



# Configuración: CO-CORRIENTE

## Esquema



Recordar que las corrientes a la salida de una etapa están en equilibrio.

Si vuelven a ingresar a una etapa, se verán inalteradas (si se mantienen las condiciones de presión y temperatura).

→ Las etapas 2 y 3 están de más en esta configuración de flujo.

# Balances de Masa

## Balance de Masa Global

$$F + S = R_1 + E_1 \stackrel{\text{def}}{=} M_1$$

Se define a M como un “punto mezcla”, tiene el sentido físico de la masa que entra (o sale) por unidad de tiempo al sistema.

## Balance de Masa Parcial

Regla de la Palanca

$$x_i^F F + x_i^S S = x_i^{M_1} M_1$$

$$x_i^F F + x_i^S S = x_i^{M_1} (F + S)$$

$$F(x_i^F - x_i^{M_1}) = S(x_i^{M_1} - x_i^S)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_i^F F + x_i^S S = x_i^{M_1} M_1 \\ x_i^F F + x_i^S S = x_i^{M_1} (F + S) \\ F(x_i^F - x_i^{M_1}) = S(x_i^{M_1} - x_i^S) \end{array} \right\} \frac{F}{S} = \frac{x_i^{M_1} - x_i^S}{x_i^F - x_i^{M_1}} = \frac{\overline{M_1 S}}{\overline{F M_1}}$$



# Regla de la Palanca Diagrama Ternario

$$\frac{F}{S} = \frac{x_i^{M_1} - x_i^S}{x_i^F - x_i^{M_1}} = \frac{\overline{M_1 S}}{\overline{F M_1}}$$

Las puedo medir

Con la regla de la palanca la diferencia de composiciones la podemos transformar en relación de longitudes en un diagrama ternario.

El punto mezcla estará sobre el segmento que une en el diagrama ternario a **F** y a **S**. Su ubicación precisa dependerá de las cantidades relativas de estas corrientes.

Análogamente se realiza lo mismo para el extracto y refinado:

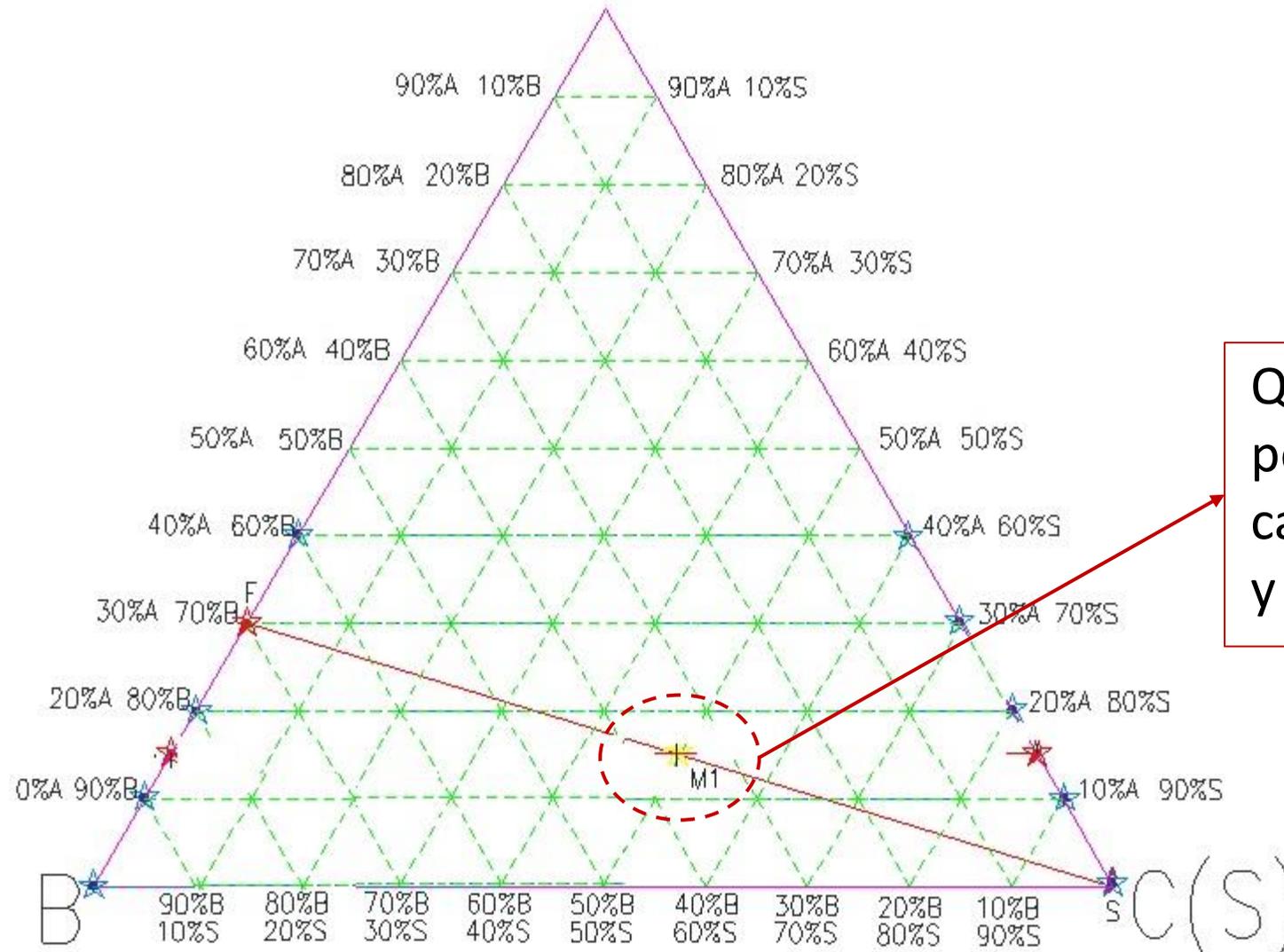
$$\frac{E_1}{R_1} = \frac{x_i^{R_1} - x_i^{M_1}}{x_i^{M_1} - x_i^{E_1}} = \frac{\overline{R_1 M_1}}{\overline{M_1 E_1}}$$

Las puedo medir

# Conclusiones

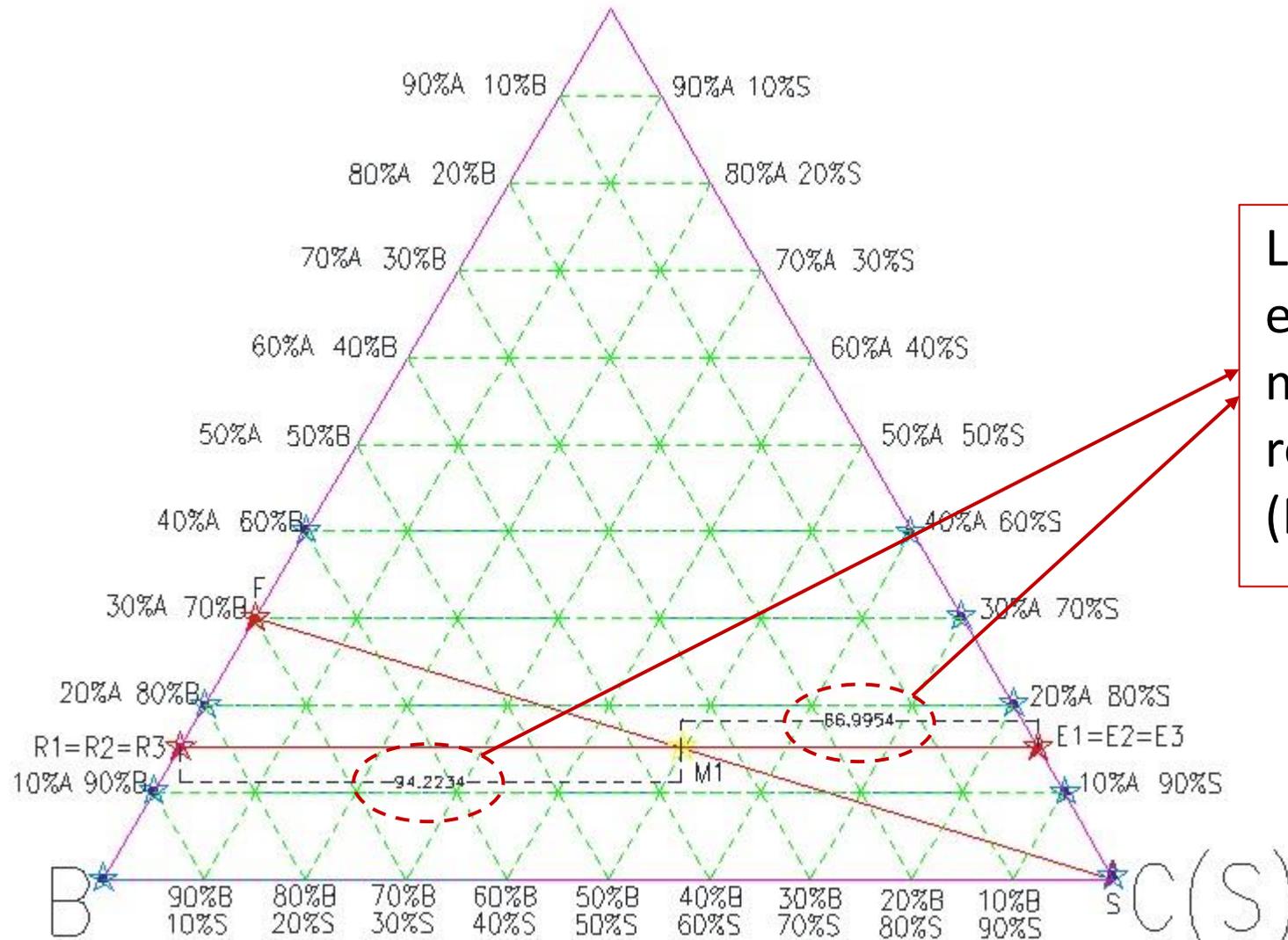
- ❖ El punto M se encuentra sobre la recta que une los punto **F** y **S** en el diagrama ternario.
- ❖ Como los caudales F y S son iguales, el punto mezcla estará en la mitad del segmento que los une.
- ❖ El punto M también pertenece al segmento  $\overline{E_1R_1}$
- ❖ Se sabe que las corrientes de extracto y refinado están conectadas por el equilibrio. Es decir que por la única línea de unión que pasa por M, en los extremos estarán  $R_1$  y  $E_1$  .

# Diagrama Ternario CO-CORRIENTE



Queda definido por la relación de caudales  $F (M_1-S)$  y  $S (F-M_1)$

# Diagrama Ternario CO-CORRIENTE



La relación entre estas longitudes me determina la relación entre E ( $R-M_1$ ) y R ( $M_1-E$ )

# Resultados CO-CORRIENTE

Se obtiene que la concentración del refinado luego de 3 etapas es:

$$x_A^{R_1} = x_A^{R_2} = x_A^{R_3} = 0.15$$

Para saber los caudales de refinado y extracto,

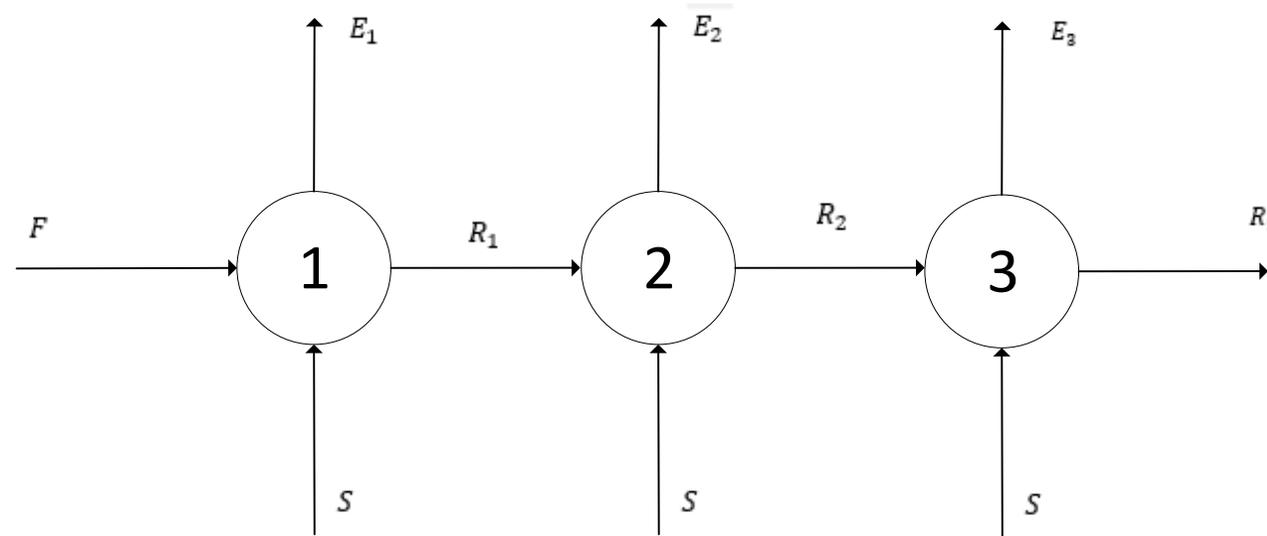
$$F + S = 100 \text{ kg/h} + 100 \text{ kg/h} = 200 \text{ kg/h} = E_1 + R_1$$

$$\frac{E_1}{R_1} = \frac{\overline{R_1 M_1}}{\overline{M_1 E_1}} = \frac{94.22 \text{ UA}}{67.00 \text{ UA}}$$

$$\begin{cases} E_1 = E_2 = E_3 = 116.88 \text{ kg/h} \\ R_1 = R_2 = R_3 = 83.12 \text{ kg/h} \end{cases}$$

# Configuración: CORRIENTES CRUZADAS

## Esquema



OBS 1: Se supondrá que a cada etapa ingresan  $S = 100 \text{ kg/h}$  de solvente.

OBS 2: La primera etapa es idéntica a la primera etapa hecha anteriormente.

Nos concentraremos exclusivamente en la segunda y la tercera.

# Análisis CORRIENTES CRUZADAS

Debido a la configuración actual, en cada etapa tendremos un nuevo punto de mezcla. Recordar que, en la etapa anterior, el caudal de extracto era mayor al del refinado. Por esta razón es esperable que disminuya el valor del punto de mezcla.

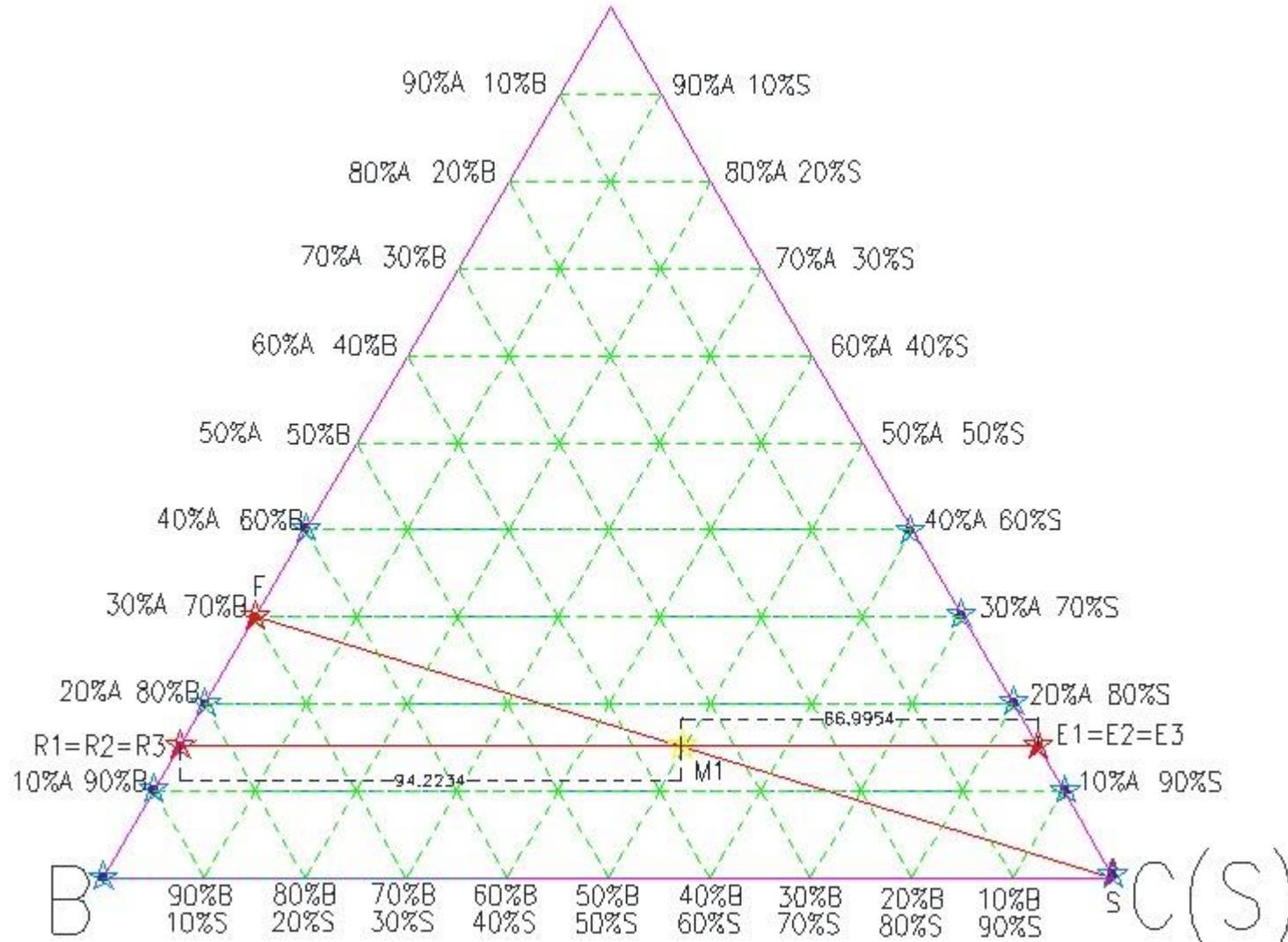
$$R_1 + S = 83.12 \text{ kg/h} + 100 \text{ kg/h} = 183.12 \text{ kg/h} = M_2$$

Por este segundo punto de mezcla pasará la línea de unión que separa a  $E_2$  y  $R_2$ .

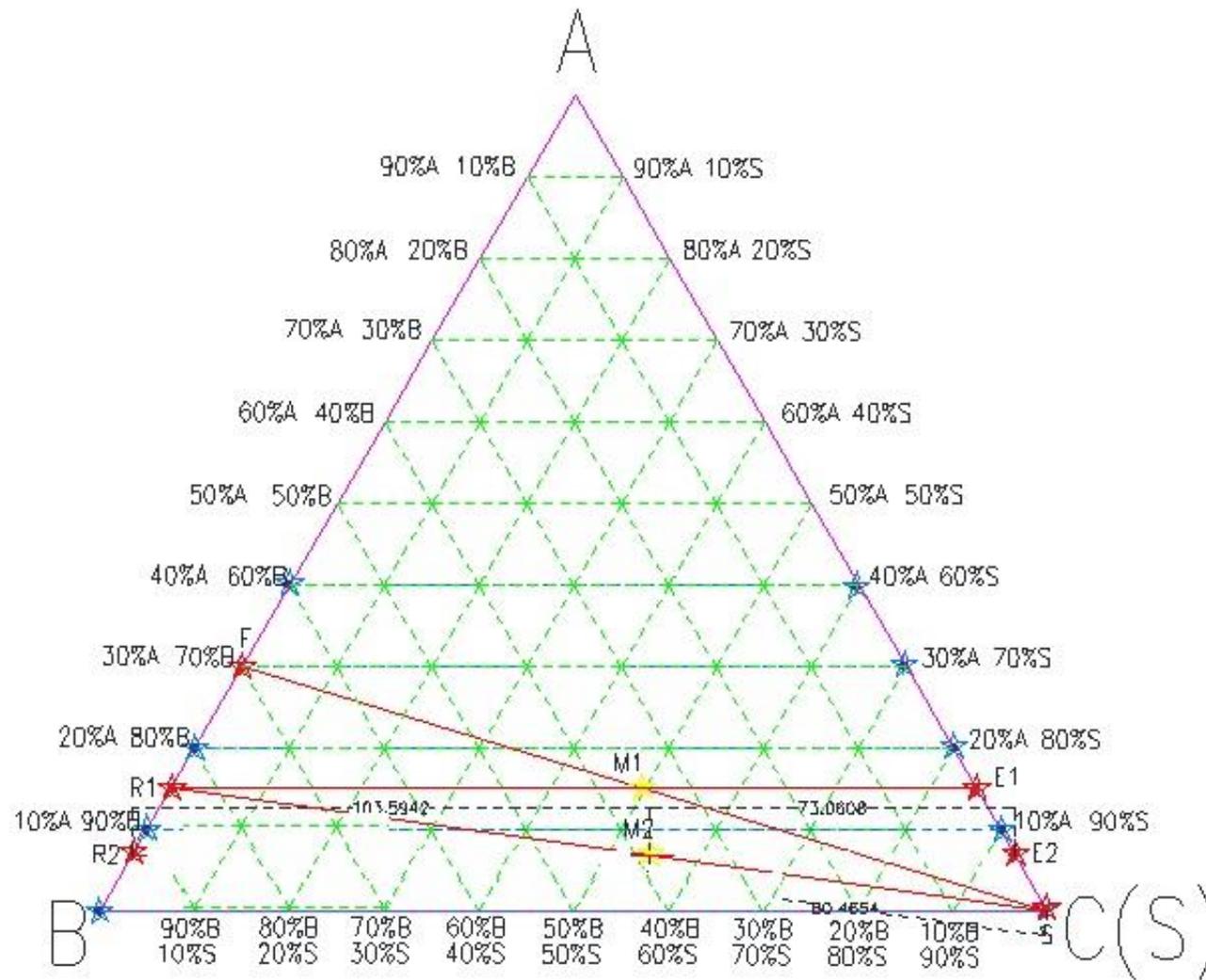
$$\left. \begin{aligned} \frac{R_1}{S} &= \frac{83.12 \text{ kg/h}}{100 \text{ kg/h}} = \frac{\overline{SM_2}}{\overline{M_2R_1}} \\ \overline{SM_2} + \overline{M_2R_1} &= 177.26 \text{ UA} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \overline{SM_2} &= 80.46 \text{ UA} \\ \overline{M_2R_1} &= 96.80 \text{ UA} \end{aligned}$$

Ya podemos ubicar en el diagrama el punto de mezcla al conocer:  $\overline{SM_2}$  y  $\overline{M_2R_1}$

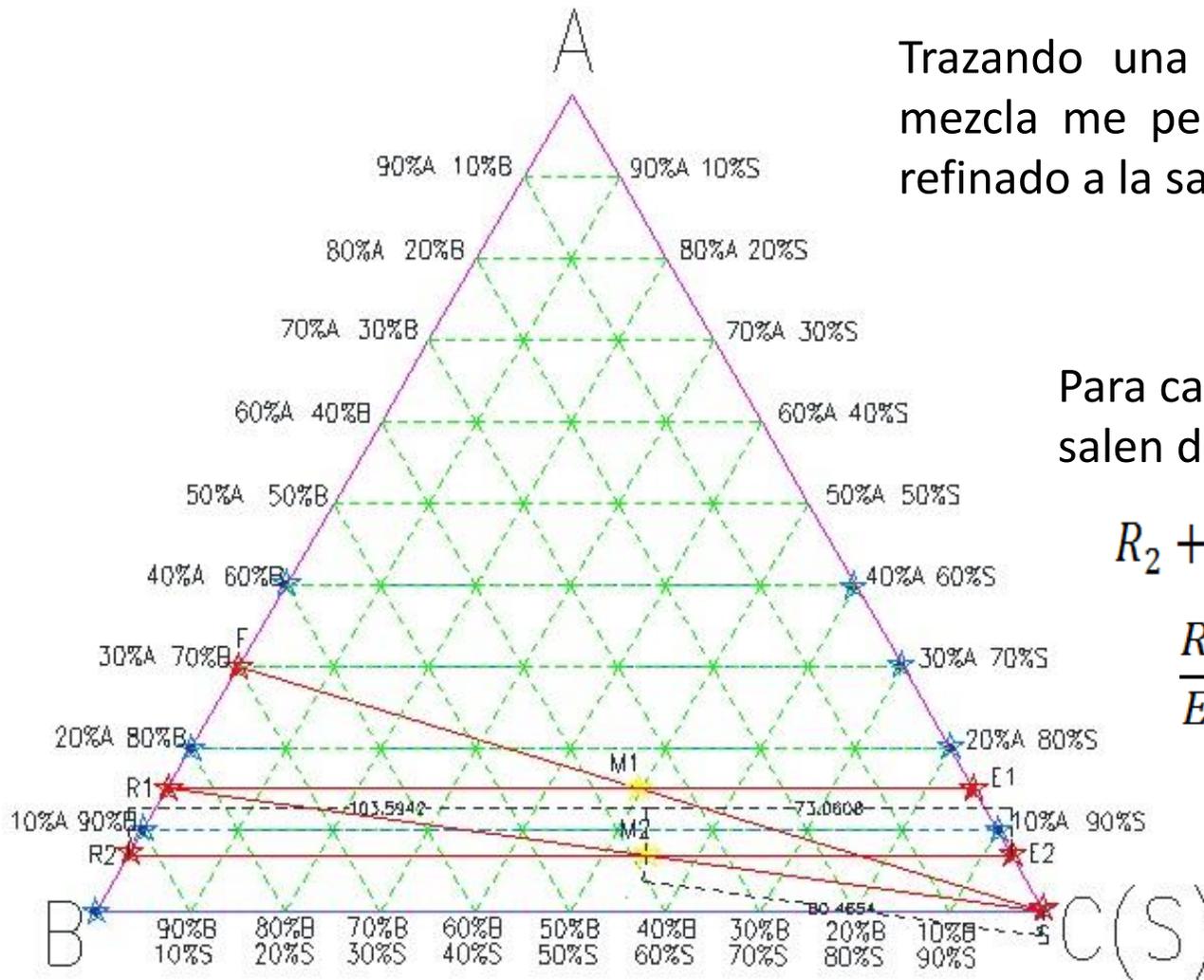
# Diagrama Ternario CORRIENTES CRUZADAS



# Diagrama Ternario CORRIENTES CRUZADAS



# Diagrama Ternario CORRIENTES CRUZADAS



Trazando una recta horizontal que incluya al punto de mezcla me permite leer las composiciones de extracto y refinado a la salida de la etapa 2:

$$x_A^{R_2} = 0.08$$

Para calcular los caudales de extracto y refinado que salen de la segunda etapa, se tiene:

$$\left. \begin{aligned} R_2 + E_2 &= M_2 = 183.12 \text{ kg/h} \\ \frac{R_2}{E_2} &= \frac{E_2 M_2}{M_2 R_2} = \frac{73.06 \text{ UA}}{103.59 \text{ UA}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} R_2 &= 75.74 \text{ kg/h} \\ E_2 &= 107.38 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

# Etapa 3 CORRIENTES CRUZADAS

La resolución de esta etapa es análoga a la de la etapa 2.  
Nuevamente tendremos un nuevo punto de mezcla:

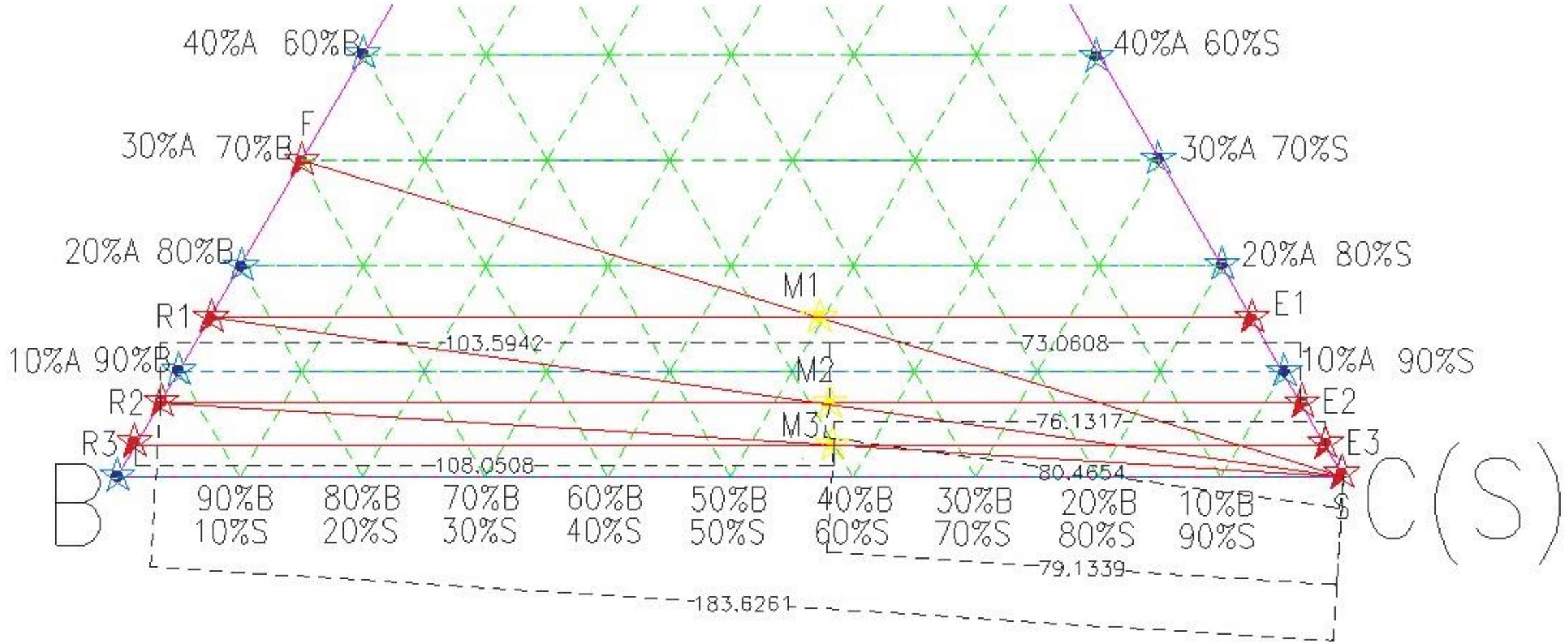
$$R_2 + S = 75.74 \text{ kg/h} + 100 \text{ kg/h} = 175.74 \text{ kg/h} = M_3$$

Por este tercer punto de mezcla pasará la línea de unión que separa a  $R_3$  y  $E_3$ .

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_2}{S} &= \frac{75.74 \text{ kg/h}}{100 \text{ kg/h}} = \frac{\overline{SM}_3}{\overline{M}_3 R_2} \\ \overline{SM}_3 + \overline{M}_3 R_2 &= 183.63 \text{ UA} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \overline{SM}_3 &= 79.14 \text{ UA} \\ \overline{M}_3 R_2 &= 104.49 \text{ UA} \end{aligned}$$

Ya podemos ubicar en el diagrama el punto de mezcla al conocer:  $\overline{SM}_3$  y  $\overline{M}_3 R_2$

# Diagrama Ternario CORRIENTES CRUZADAS



# Resultados CORRIENTES CRUZADAS

Trazando una recta horizontal que incluya al punto M3 me permite leer las composiciones de extracto y refinado a la salida de la etapa 3:

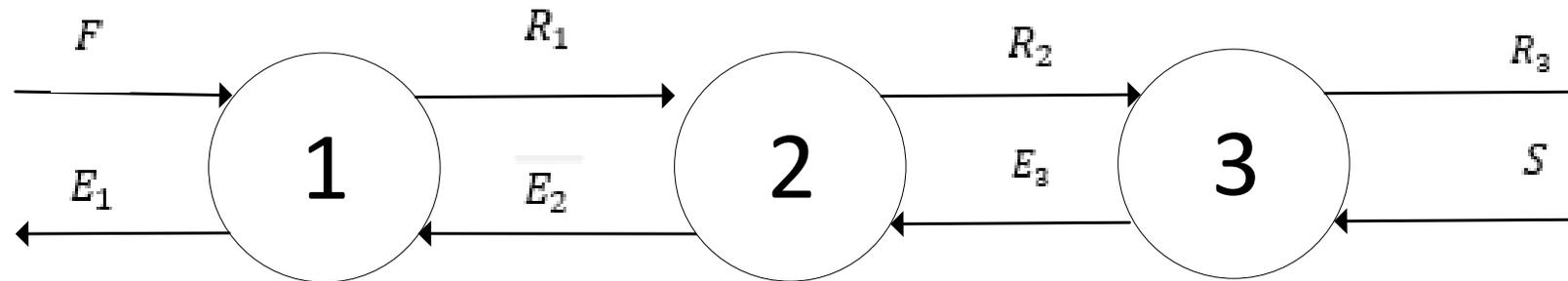
$$x_A^{R_3} = 0.03$$

Para calcular los caudales de extracto y refinado que salen de la tercera etapa, se tiene:

$$\left. \begin{aligned} R_3 + E_3 &= M_3 = 175.74 \text{ kg/h} \\ \frac{R_3}{E_3} &= \frac{\overline{E_3 M_3}}{\overline{M_3 R_3}} = \frac{76.14 \text{ UA}}{108.05 \text{ UA}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} R_3 &= 72.65 \text{ kg/h} \\ E_3 &= 103.09 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

# Configuración: CONTRA-CORRIENTE

## Esquema



Este caso difiere de los anteriores porque al primer equipo no le está entrando una corriente “fresca” del solvente. Es necesario definir un nuevo punto para poder resolverlos.

El balance de masa global queda:  $F + S = E_1 + R_3 = M$

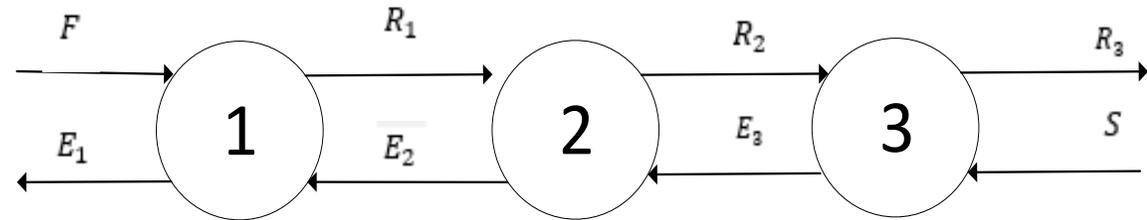
Se introduce el concepto de **polo** y se define como:  $F - E_1 = R_3 - S \stackrel{\text{def}}{=} Q$

# Balances de Masa

## BM 1° Etapa

$$F + E_2 = R_1 + E_1 = M_1$$

$$F - E_1 = Q = R_1 - E_2$$



Ahora es posible ver que el polo es una medida de la masa que se transfiere etapa a etapa.

Se plantea lo mismo para las otras dos etapas

## BM 2° Etapa

$$R_2 + E_2 = R_1 + E_3 = M_2$$

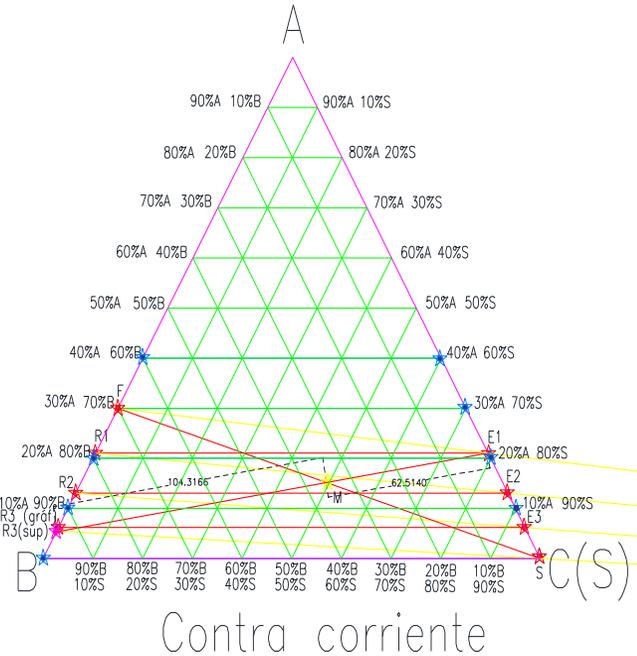
$$R_2 - E_3 = Q = R_1 - E_2$$

## BM 3° Etapa

$$R_2 + S = R_3 + E_3 = M_2$$

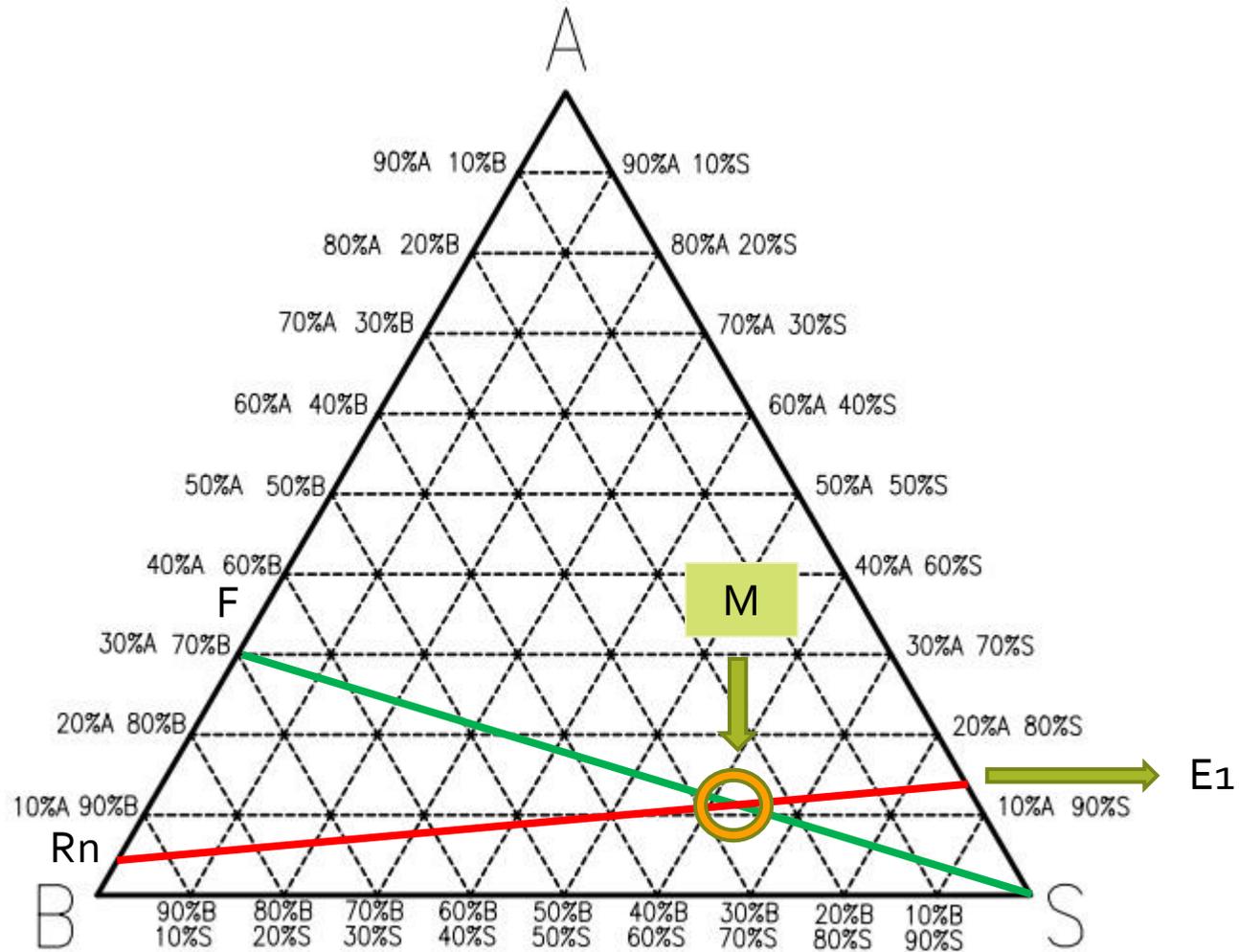
$$R_2 - E_3 = Q = R_3 - S$$

# Diagrama Ternario CONTRA-CORRIENTE

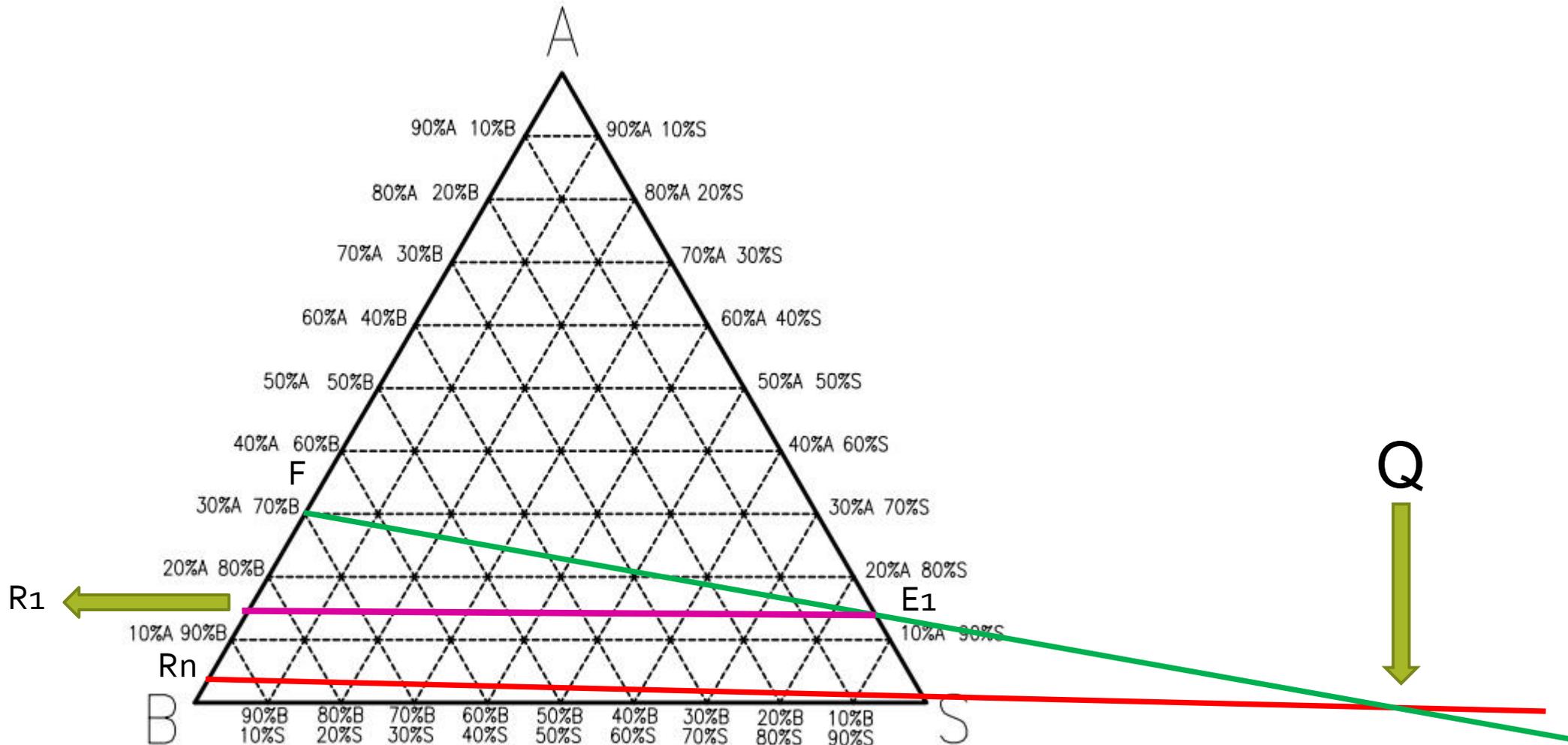


0

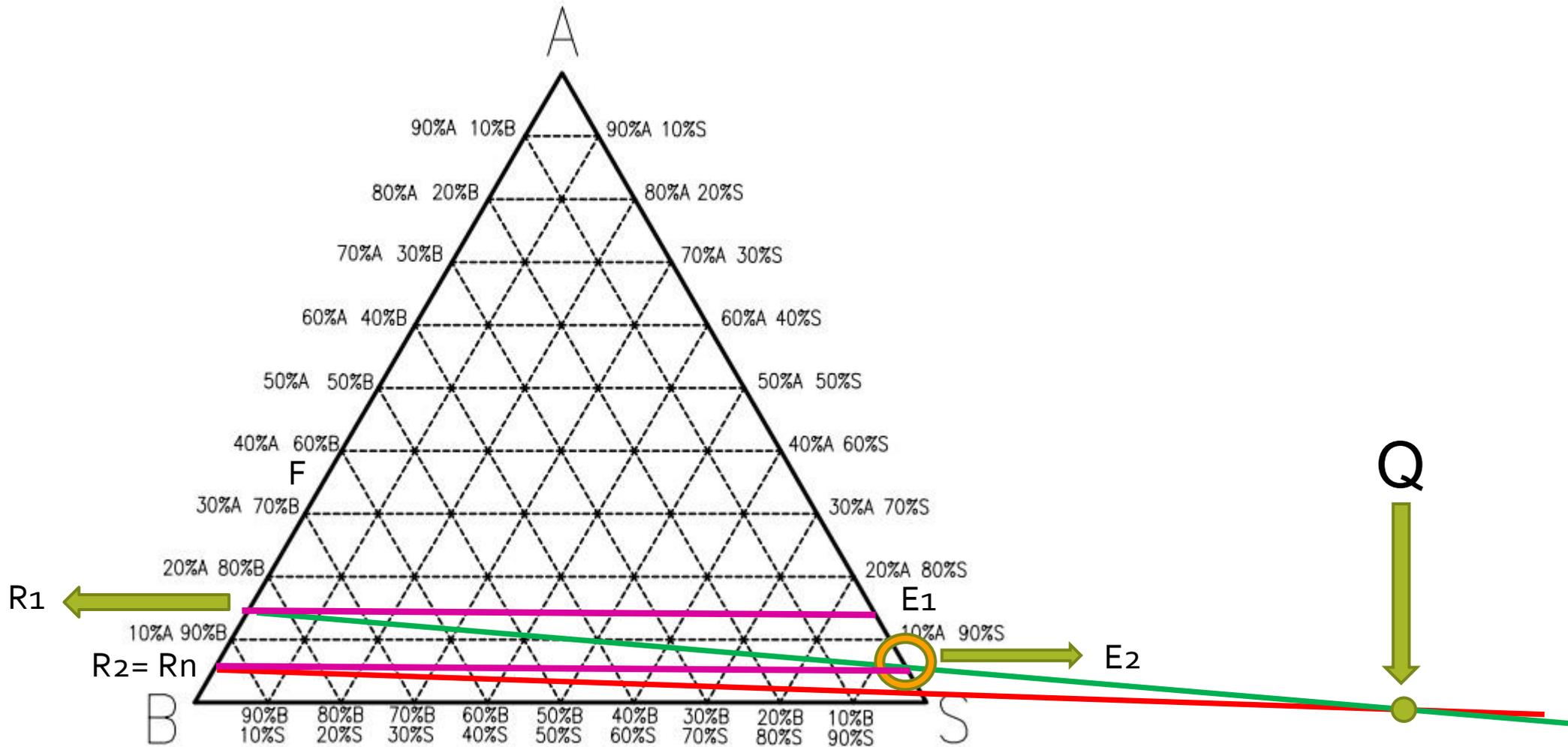
# Diagrama Ternario CONTRA-CORRIENTE



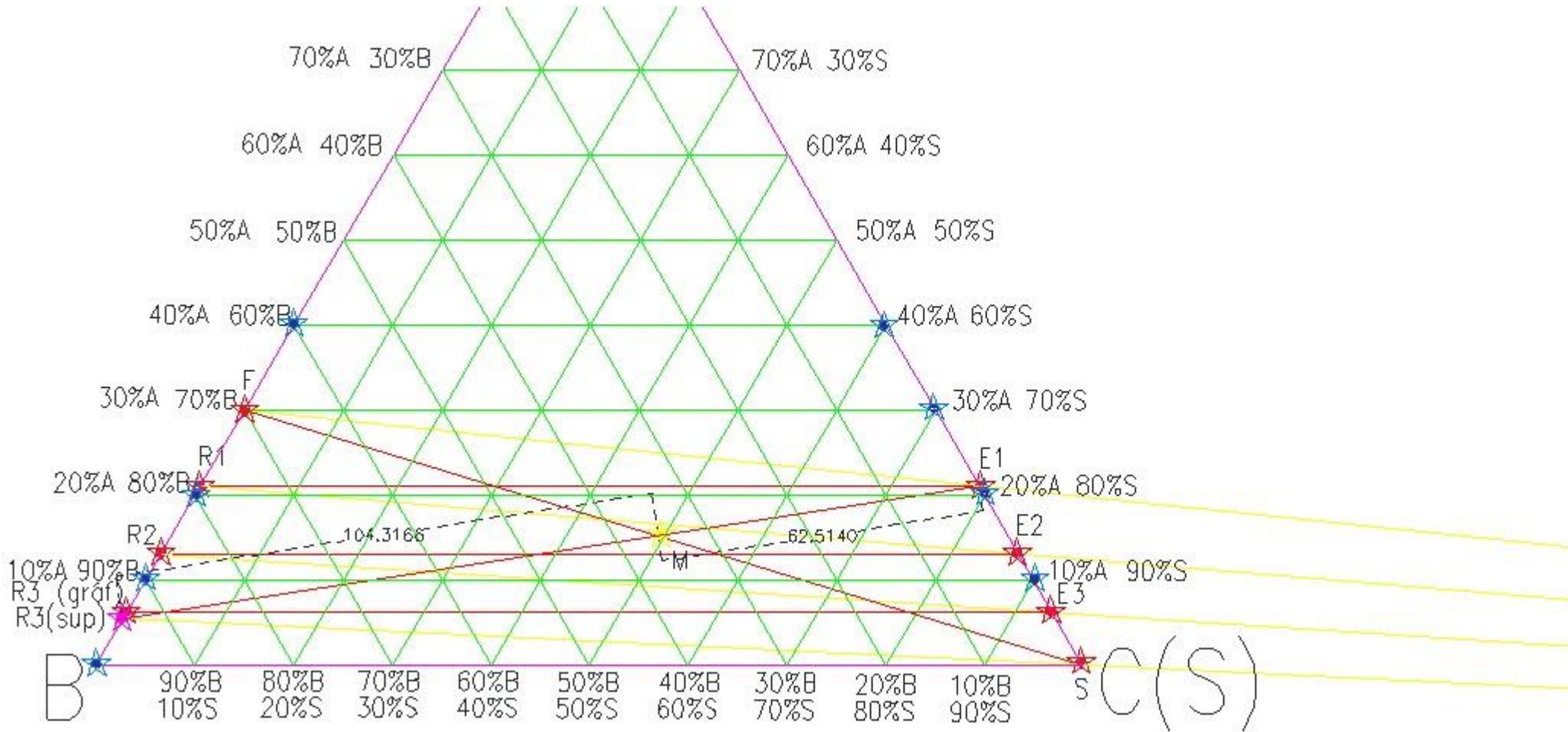
# Diagrama Ternario CONTRA-CORRIENTE



# Diagrama Ternario CONTRA-CORRIENTE



# Diagrama Ternario CONTRA-CORRIENTE



# Planteo CONTRA-CORRIENTE

El proceso que se propone para resolver **el sistema es iterativo**, pues se desconocen las dos salidas  $R_2$  y  $E_1$ , no se las puede relacionar con un equilibrio que las vincule directamente.

Se ubica el punto mezcla M.

## Ciclo Iterativo

1. Se supone la corriente del refinado que sale de la etapa 3 ( $R3_{sup}$ ).
2. Con FE1 y SR3 se trazan las rectas y su intersección es el polo Q.
3. Se ubica R1 mediante la línea de unión con E1 ya que están en equilibrio.
4. Con R1 y el polo Q se ubica E2.
5. Se ubica R2 mediante la línea de unión con E2 ya que están en equilibrio.
6. Con R2 y el polo Q se ubica E3.
7. Se ubica R3 mediante la línea de unión con E3 ya que están en equilibrio.
8. Si  $R3=R3_{sup}$  la iteración terminó, sino se supone nuevamente un R3.

# Resultados CONTRA-CORRIENTE

Según el gráfico, al final de todo, se obtiene:

$$x_A^{R_3} = 0.05$$

Para obtener los caudales de extracto y refinado, se vuelve a usar la regla de la palanca.

$$F + S = E_1 + R_3 = M = 200 \text{ kg/h}$$

$$\frac{E_1}{R_3} = \frac{\overline{R_3 M}}{\overline{M E_1}} = \frac{104.32 \text{ UA}}{62.51 \text{ UA}}$$

$$R_3 = 74.94 \text{ kg/h}$$

$$E_1 = 125.06 \text{ kg/h}$$



REGUNTAS?

# CONTRA-CORRIENTE en Diagrama Binario

La resolución del problema con un diagrama binario es posible porque dos de las sustancias son inmiscibles en todo el rango de composiciones de trabajo. Entonces, el ejercicio puede plantearse como los de absorción y desorción con caudales inertes.

## Balance de Masa Parcial

$$F + S = E_1 + R_N$$

$$x_i^F F + x_i^S S = x_i^{E_1} E_1 + x_i^{R_N} R_N$$

$$X_i^F F_S + X_i^S S_S = X_i^{E_1} S_S + X_i^{R_N} F_S$$

$$\frac{\overbrace{F_S}^{\text{Dato}}}{\underbrace{S_S}_{\text{Dato}}} = \frac{X_i^{E_1} - \overbrace{X_i^S}^{\text{Dato}}}{\underbrace{X_i^F}_{\text{Dato}} - X_i^{R_N}}$$

# CONTRA-CORRIENTE en Diagrama Binario

Tenemos dos incógnitas, pero solo una ecuación:

➡ EQUILIBRIO

Para el equilibrio, se usará la constante de reparto:  $x_A^{Rj} = k_A x_A^{Ej}$

Debe convertirse a relación másica para poder usar la recta de operación

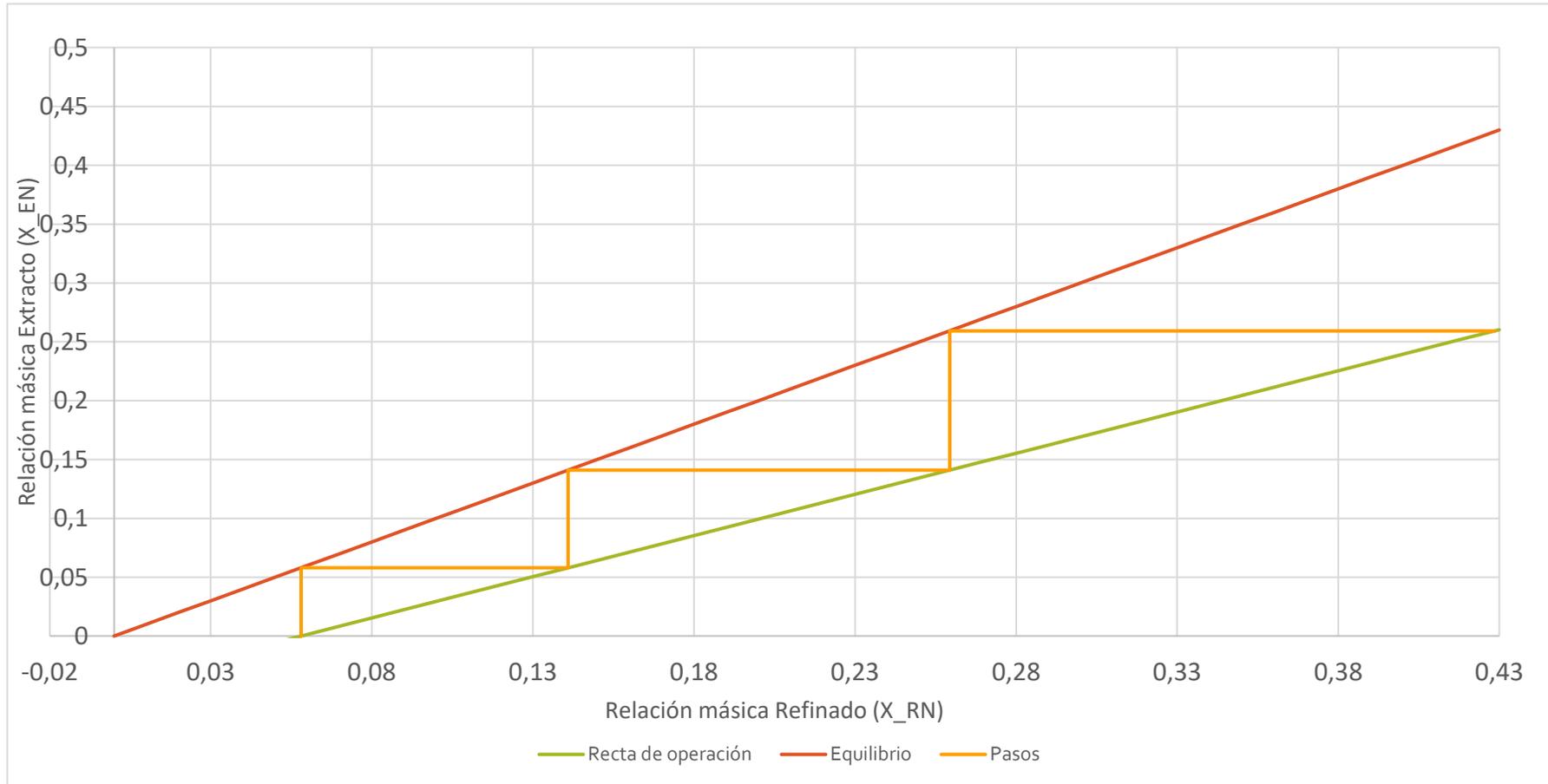
$$X_A^{Rj} = \frac{k_A X_A^{Ej}}{1 + X_A^{Ej} (1 - k_A)} \quad \longrightarrow \quad \boxed{X_A^{Rj} = X_A^{Ej}}$$

# Diagrama Binario

Sabemos:  $N = 3$   Iterar con McCabe - Thiele

Obtenemos:

$$x_A^{R_N} = 0.055$$
$$R_N = 74.06 \text{ kg/h}$$





**¿PREGUNTAS?**