Extractor Líquido-Líquido

Prof.: Dr. Alejandro S. M. Santa Cruz

J.T.P.: Dr. Juan Ignacio Manassaldi

J.T.P.: Ing. Amalia Rueda

Extracción Líquido-Líquido

Se puede definir como la transferencia de una sustancia B desde una "fase líquida A" a otra "fase líquida C” inmiscibles entre si. El reparto de esta sustancia entre las fases A y C viene dado por

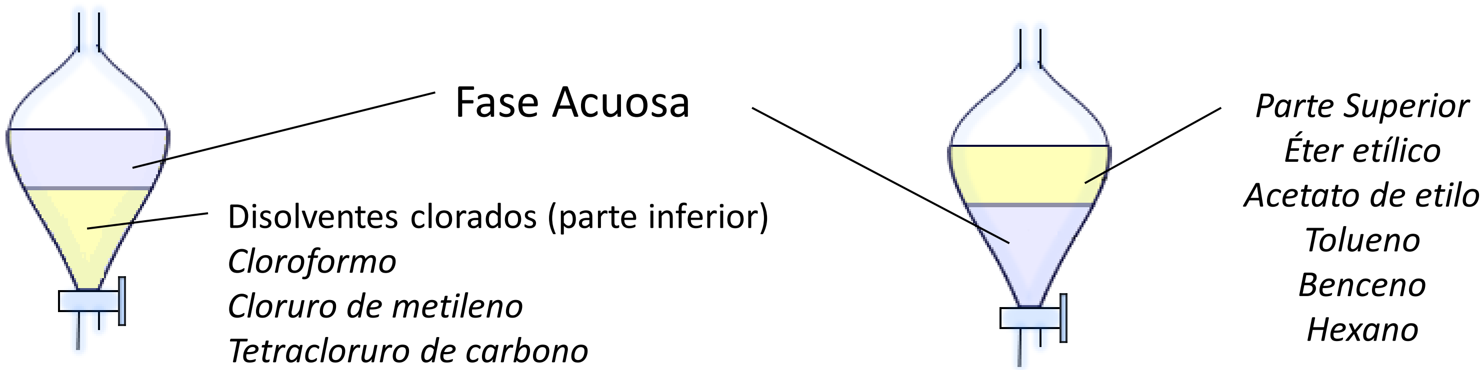
$$K = \frac{C_A}{C_C}$$

Donde:

- C_A y C_C son las concentraciones de B en las respectivas fases.
- K el coeficiente de reparto.
- A y C son dos líquidos inmiscibles.
- B es miscible en ambas fases

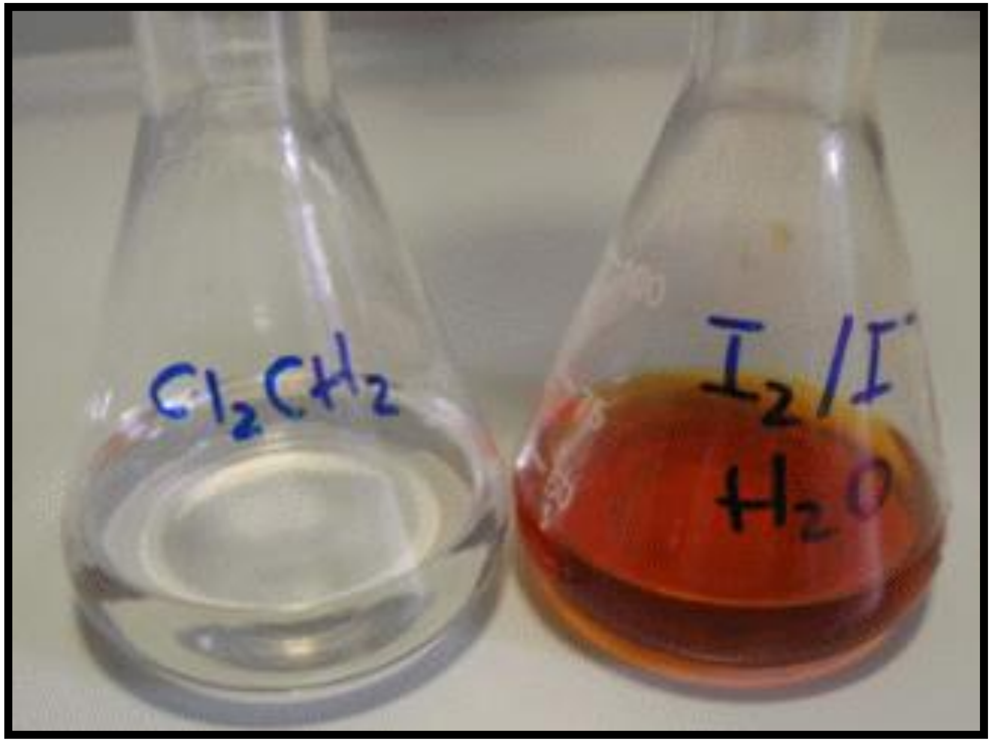
Extracción Líquido-Líquido

En el laboratorio, esta operación se suele realizar entre una disolución acuosa (fase acuosa) y otro disolvente inmiscible con el agua (fase orgánica) con la ayuda de un embudo de decantación. La posición relativa de ambas fases (arriba o abajo) depende de la relación de densidades.



Ejemplo

A continuación se explica como se separan yodo (I_2) del anión yoduro (I^-) que están formando una disolución acuosa (Erlenmeyer de la derecha coloreado), mediante la extracción del yodo (I_2) hacia la fase orgánica de cloruro de metileno (Cl_2CH_2) (Erlenmeyer de la izquierda transparente).

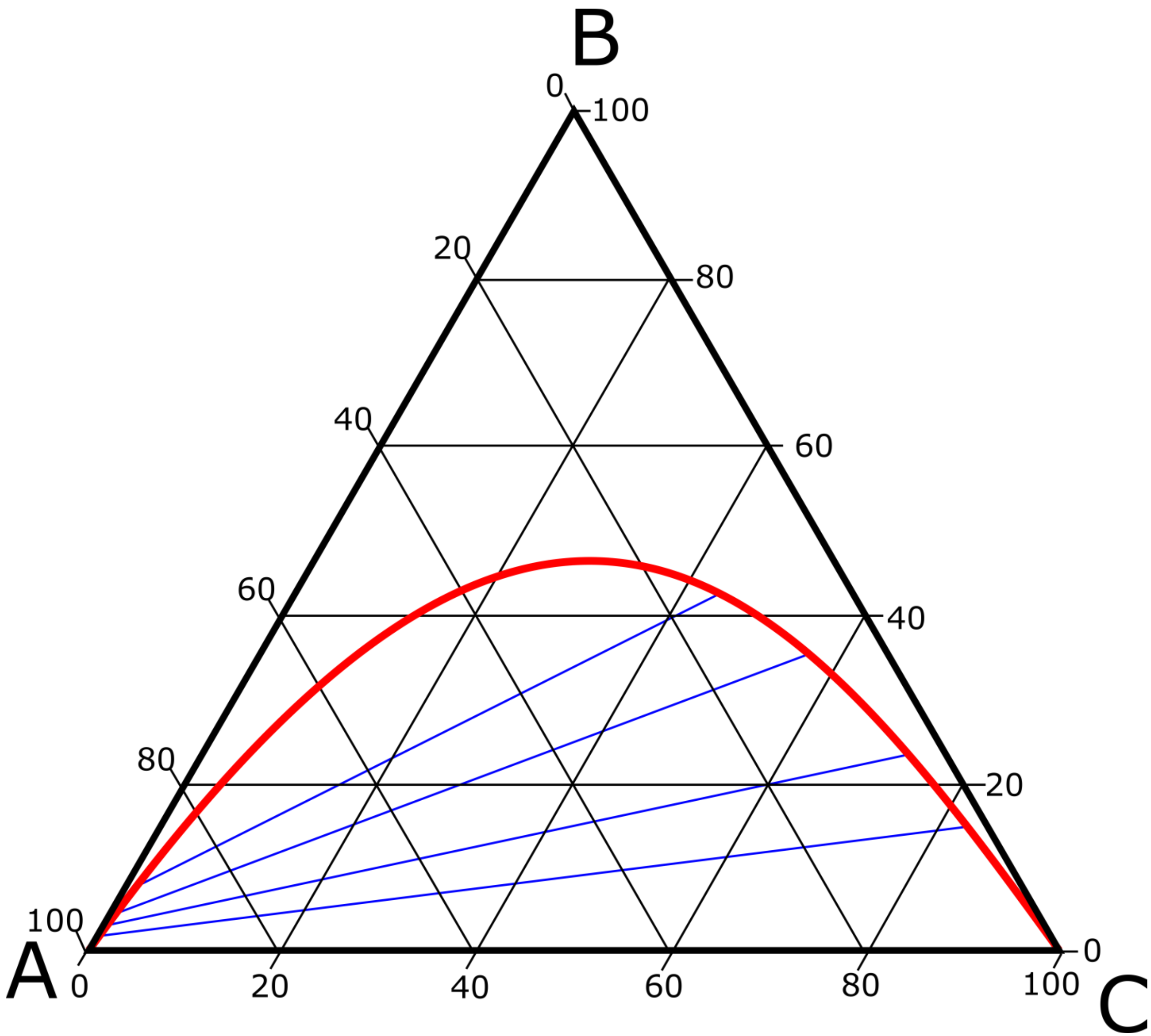


Fuente: http://www.ugr.es/~quiored/lab/oper_bas/ex_li_li.htm

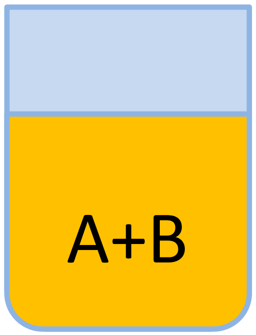
Ejemplo

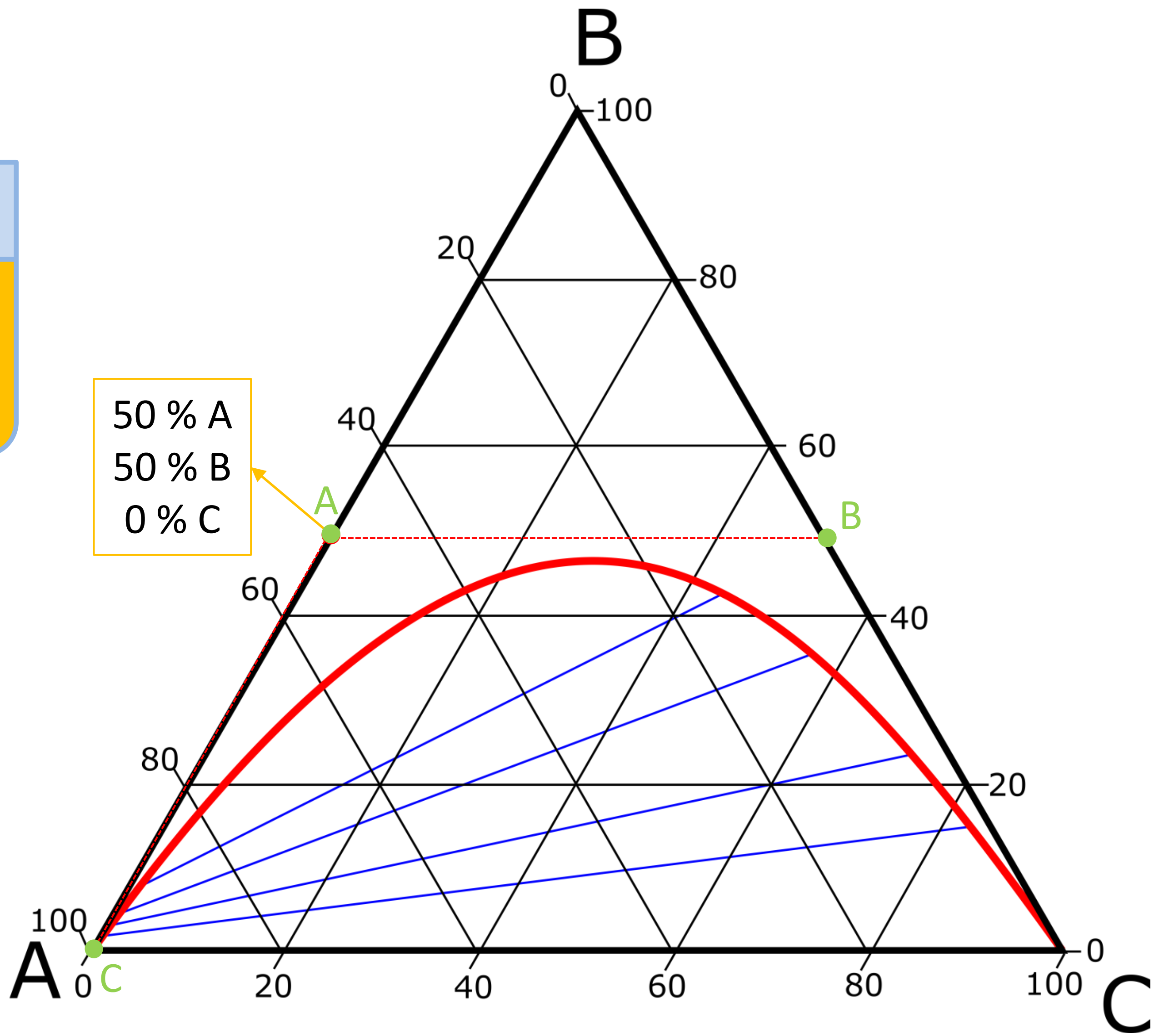
www.ugr.es/~quiored
Extracción
Líquido-
Líquido
Quiored 2004

Diagrama Triangular

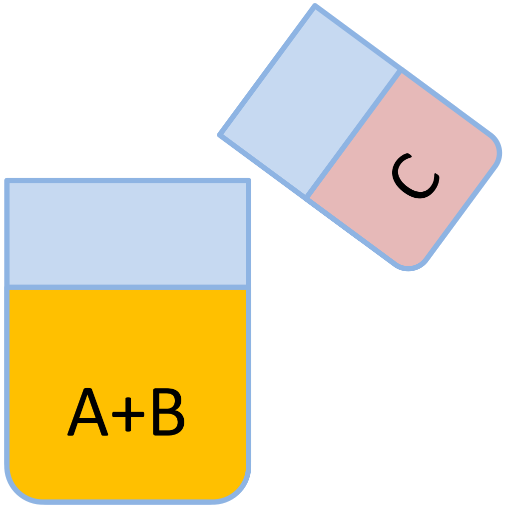


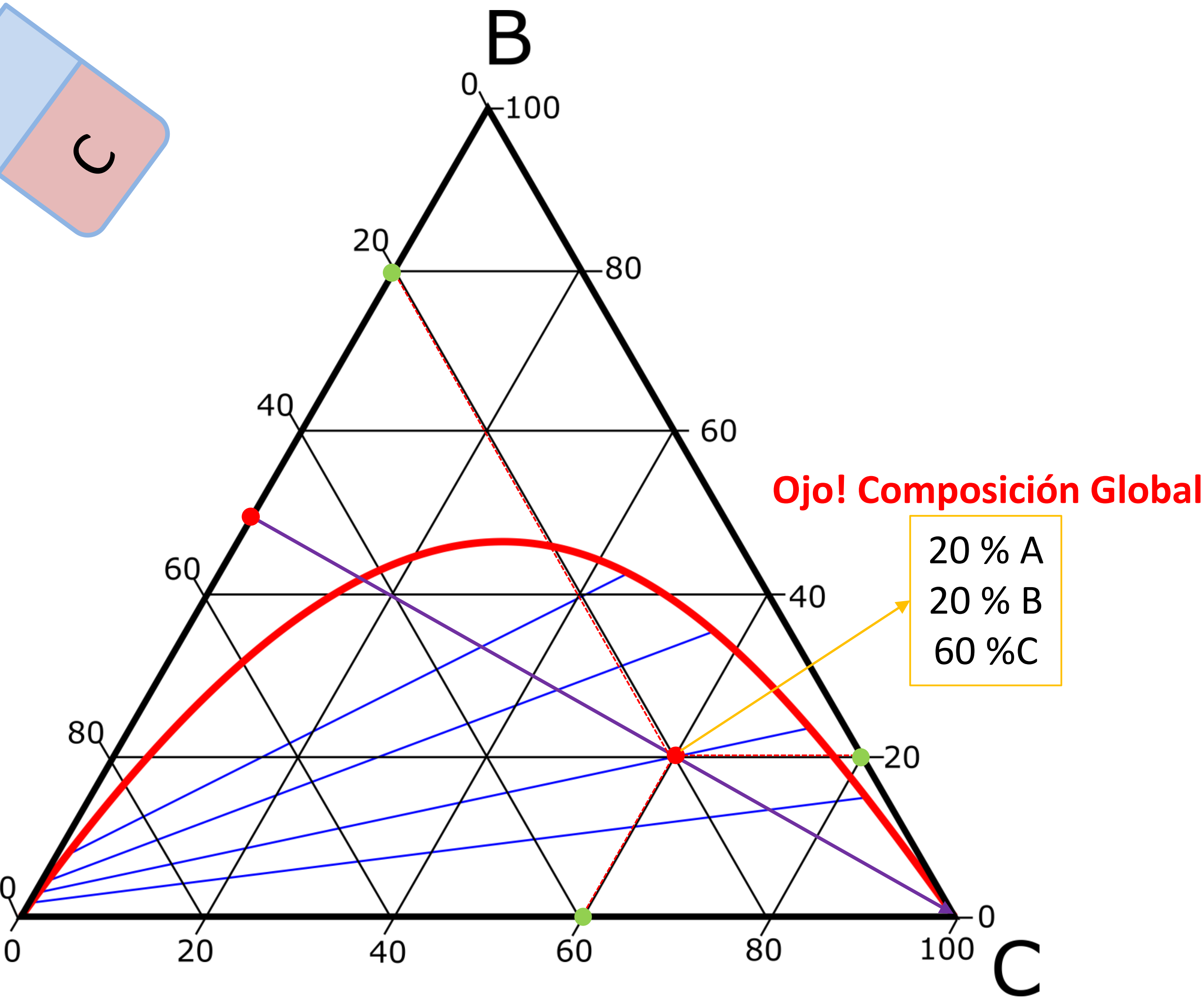
Mezcla A + B (a extraer)



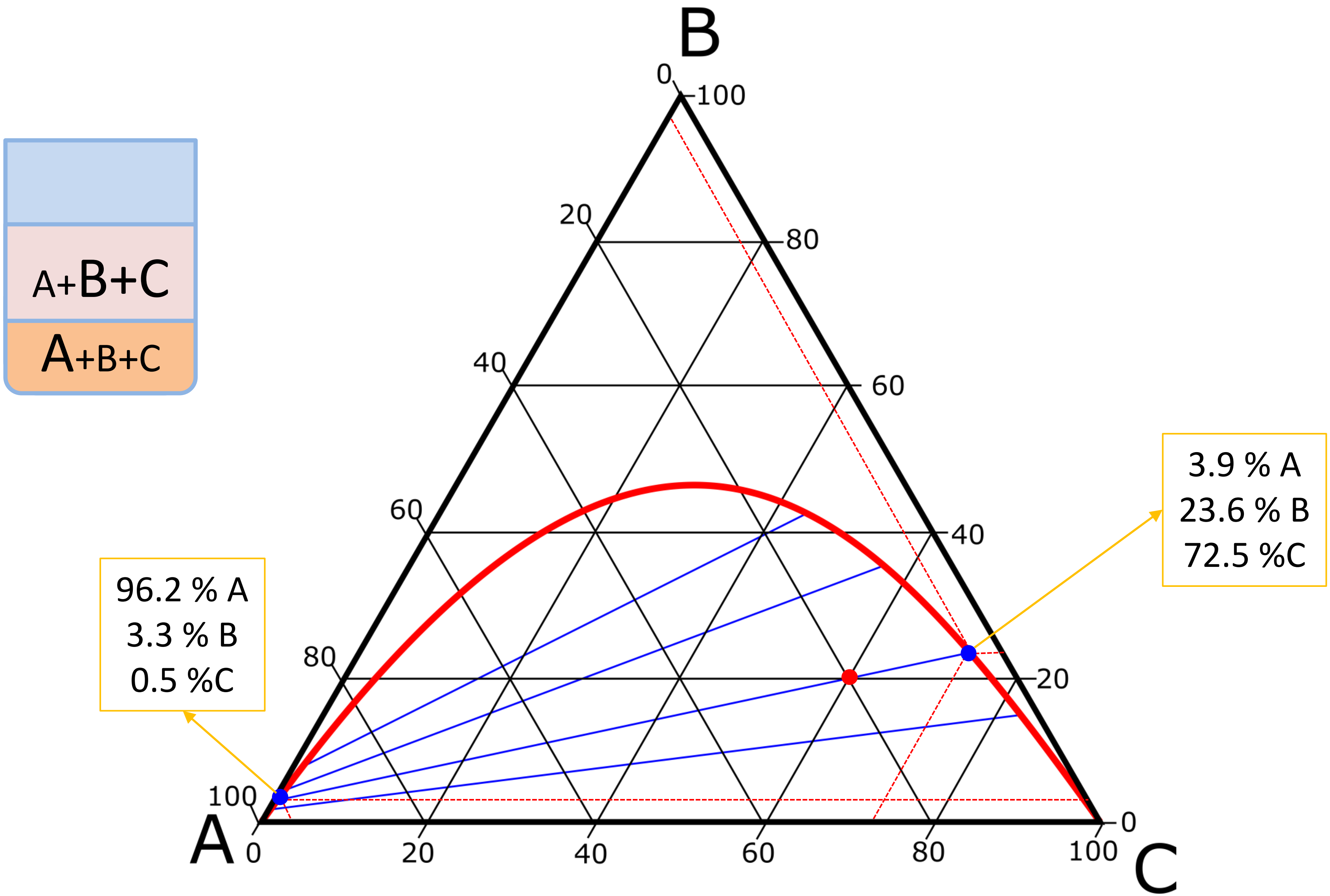


Agrego solamente C

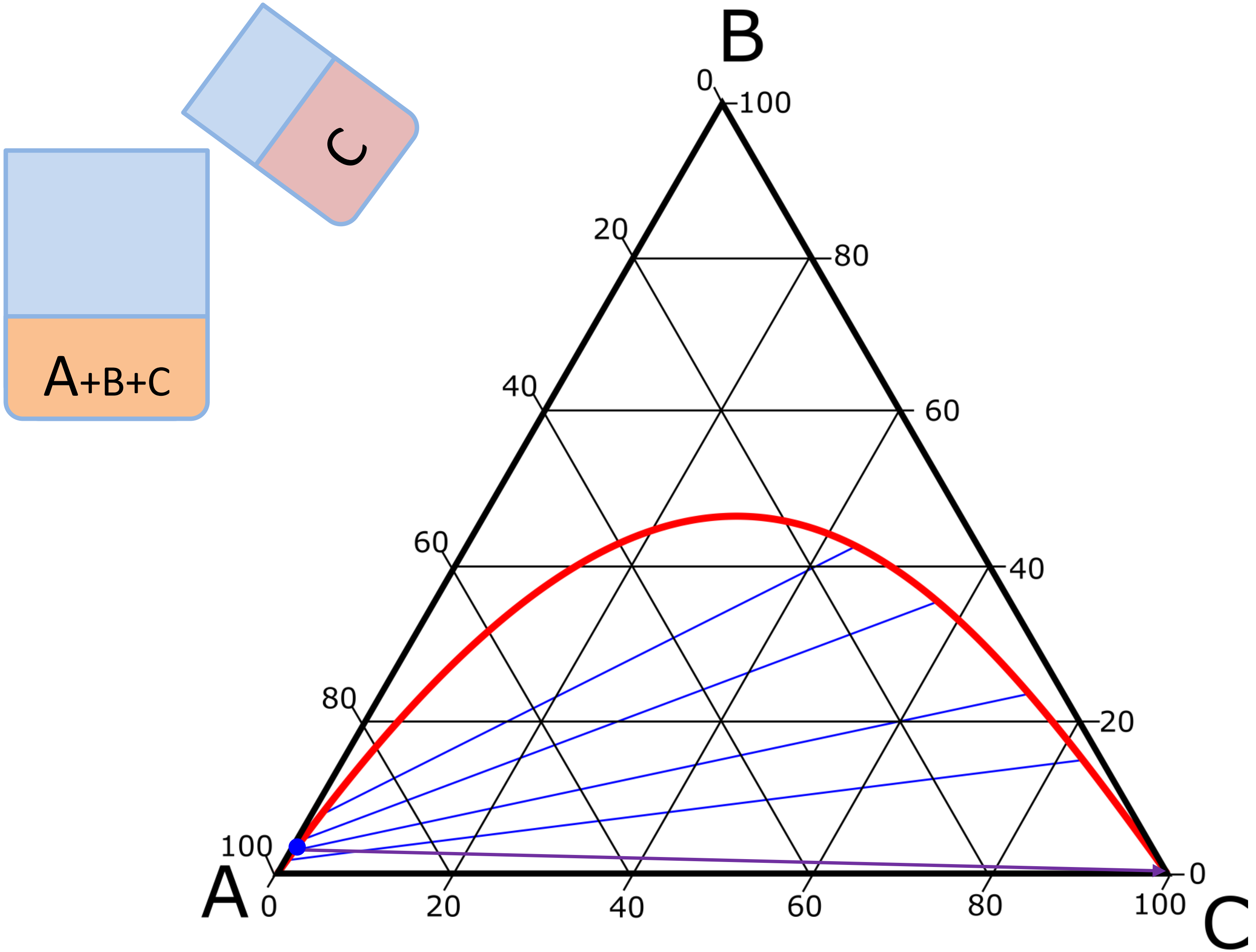




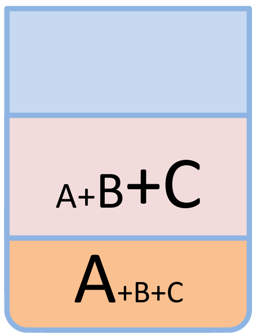
Se forman dos fases

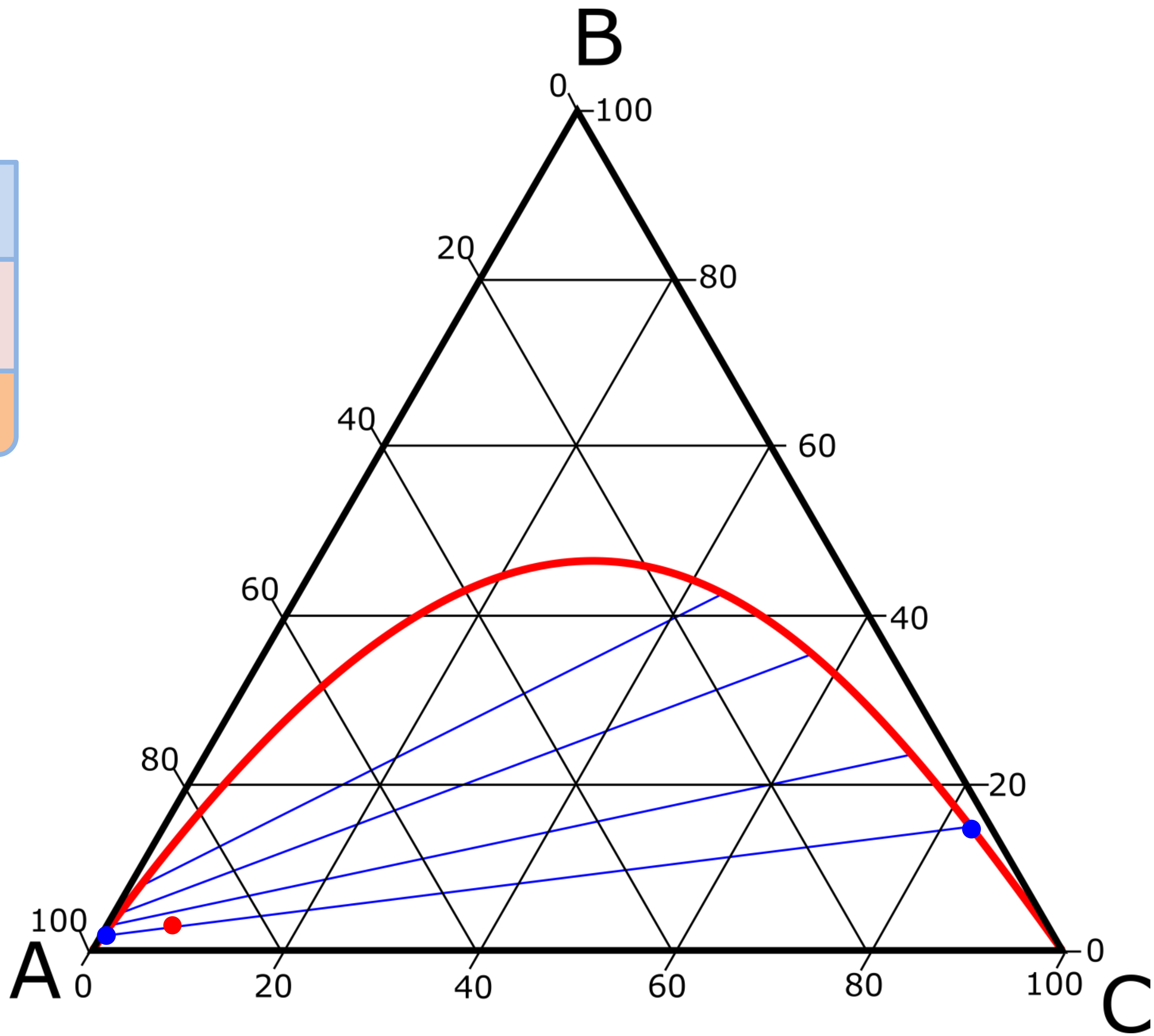


Se forman dos fases

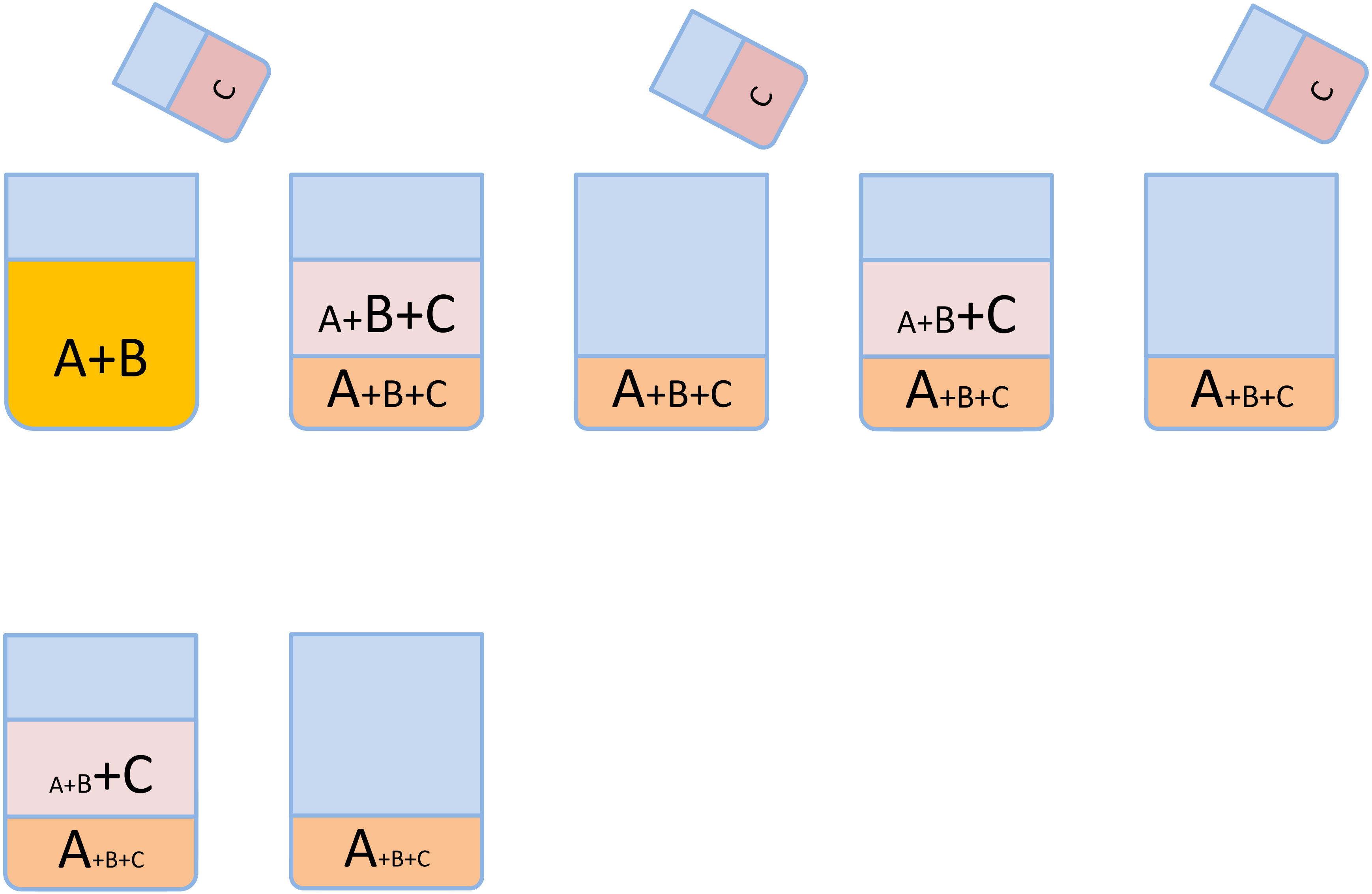


Se forman dos fases

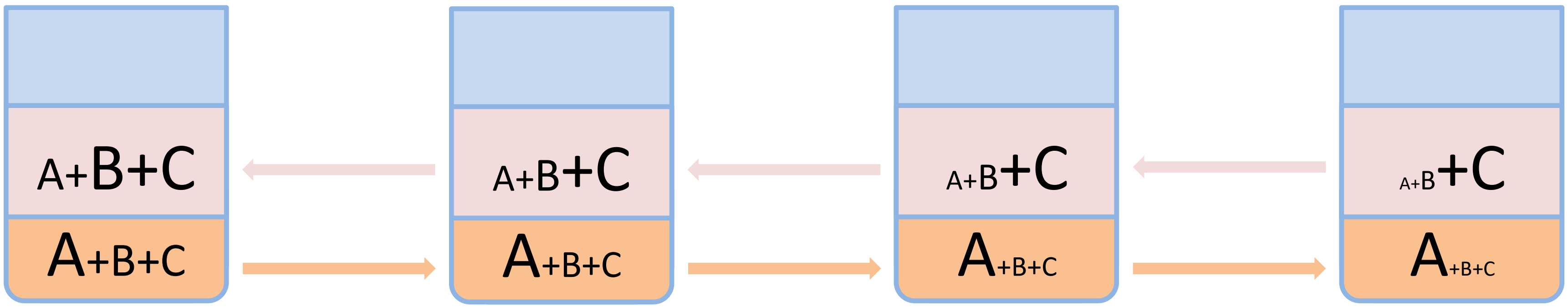




Escala Laboratorio (ineficiente)



Contra Corriente

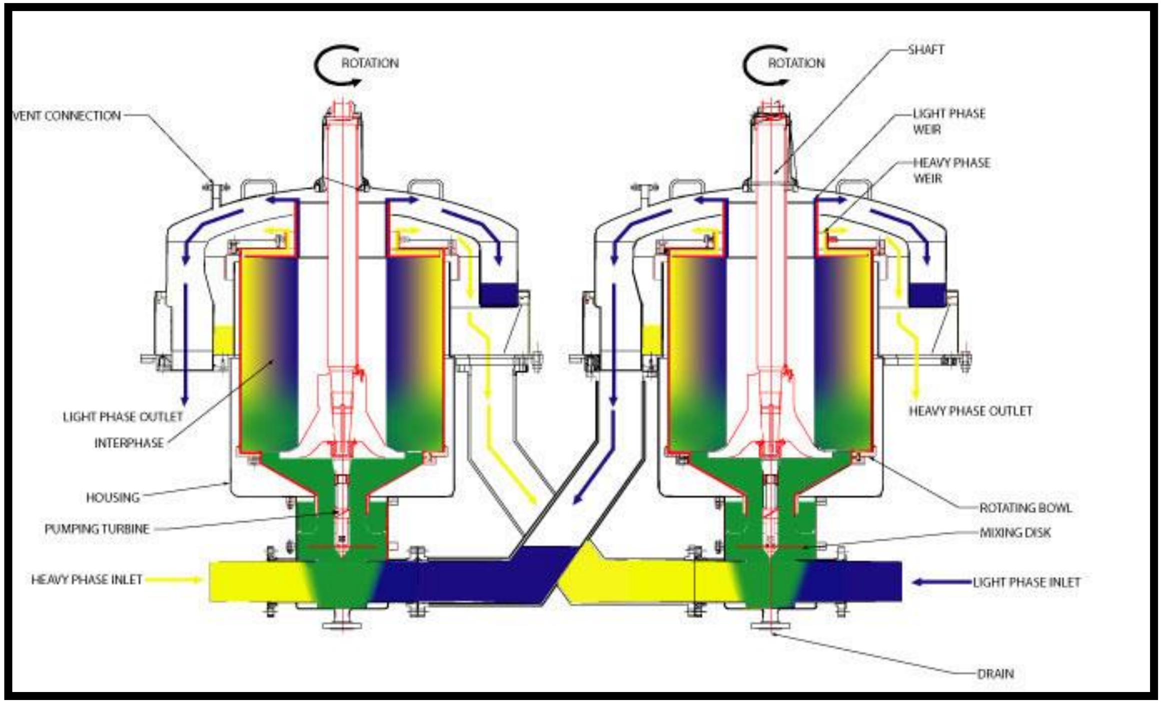


Aplicaciones

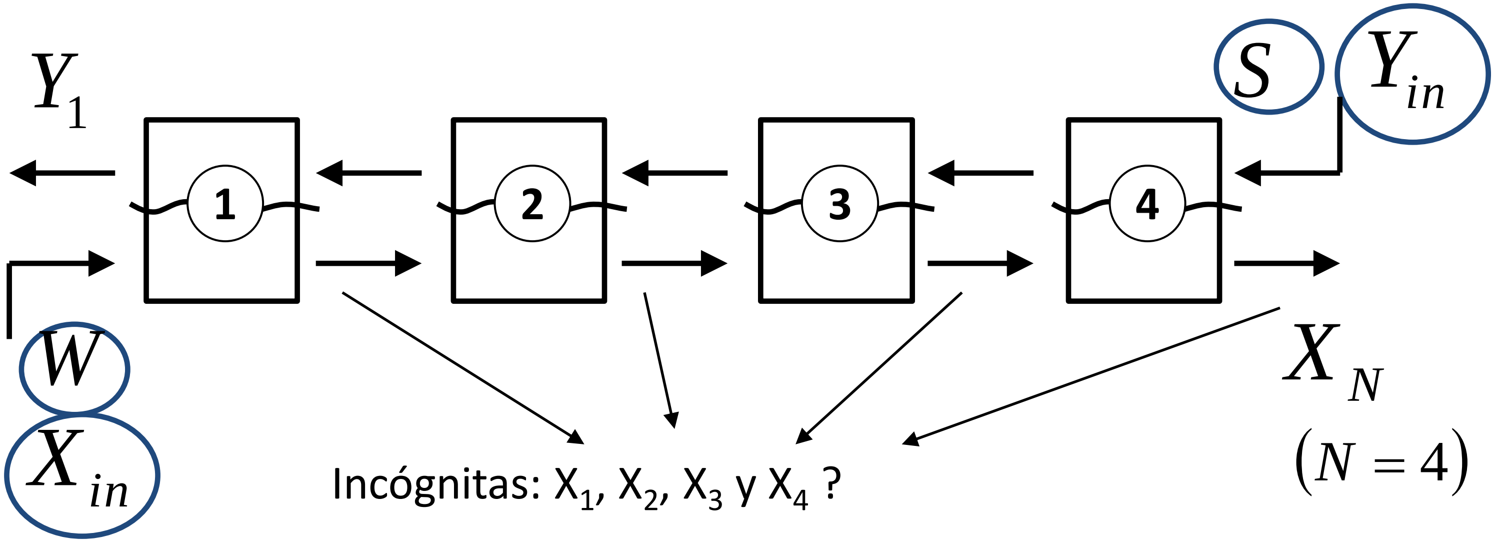
Planta piloto de extracción por solvente a escala de banco, usada para un programa de investigación sobre la extracción a contracorriente continua de metales preciosos.

Fuente: http://www.sxkinetics.com/spanish/index.sp.htm

Escala Industrial

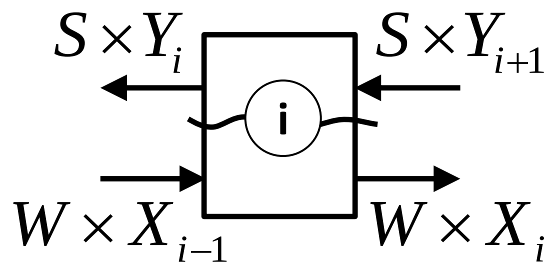


Sistema extracción Líquido-Líquido Multietapa en contracorriente



W [kg/h] = Corriente acuosa que contiene un soluto disuelto de composición X [kgsol/kgw]
S [kg/h] = Corriente de solvente, composición del soluto Y [kgsol/kgs]

Balance de masa en la etapa i:



$$WX_{i-1} + SY_{i+1} = WX_i + SY_i$$

Mediante la relación de equilibrio

$$Y_i = KX_i$$

Combinando estas dos expresiones

$$WX_{i-1} + SKX_{i+1} = WX_i + SKX_i = \left(W + SK\right)X_i$$

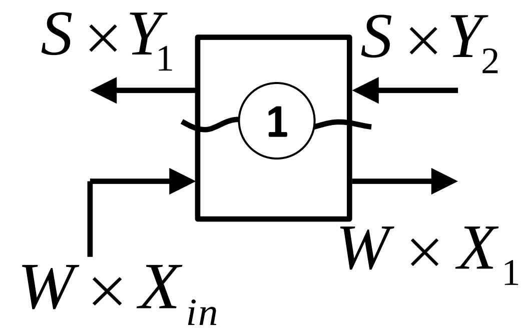
Dividiendo por W y reordenando

$$X_{i-1} - \left(1 + \frac{SK}{W}\right)X_i + \frac{SK}{W}X_{i+1} = 0$$

Modelado Matemático

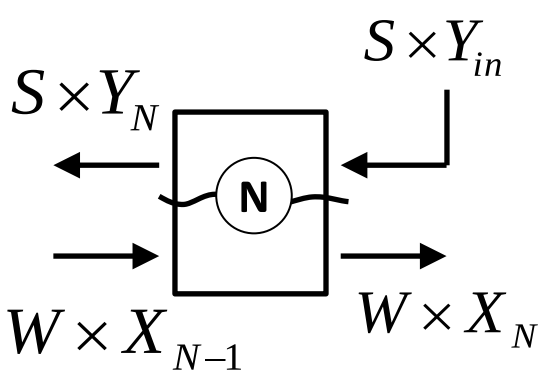
Etapa 1:

$$WX_{in} + SKX_2 = (W + SK)X_1$$



Dividiendo por W y reordenando

$$-\left(1 + \frac{SK}{W}\right)X_1 + \frac{SK}{W}X_2 = -X_{in}$$



Etapa N:

$$WX_{N-1} + SY_{in} = (W + SK)X_N$$

Dividiendo por W y reordenando

$$X_{N-1} - \left(1 + \frac{SK}{W}\right)X_N = -\frac{S}{W}Y_{in}$$

Matemática Superior Aplicada

Modelado Matemático

UTN

Etapa 1:
$$-\left(1+\frac{SK}{W}\right)X_1+\frac{SK}{W}X_2=-X_{in}$$

Etapa i:
$$X_{i-1}-\left(1+\frac{SK}{W}\right)X_i+\frac{SK}{W}X_{i+1}=0$$

Etapa N:
$$X_{N-1}-\left(1+\frac{SK}{W}\right)X_N=-\frac{S}{W}Y_{in}$$

$$\chi\equiv\frac{SK}{W}$$

Modelado Matemático

Etapa 1: $$-(1+\chi)X_1 + \chi X_2 = -X_{in}$$

Etapa i: $$X_{i-1} - (1+\chi)X_i + \chi X_{i+1} = 0$$

Etapa N: $$X_{N-1} - (1+\chi)X_N = -\chi \frac{Y_{in}}{K}$$

Para N=4 (cuatro etapas)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

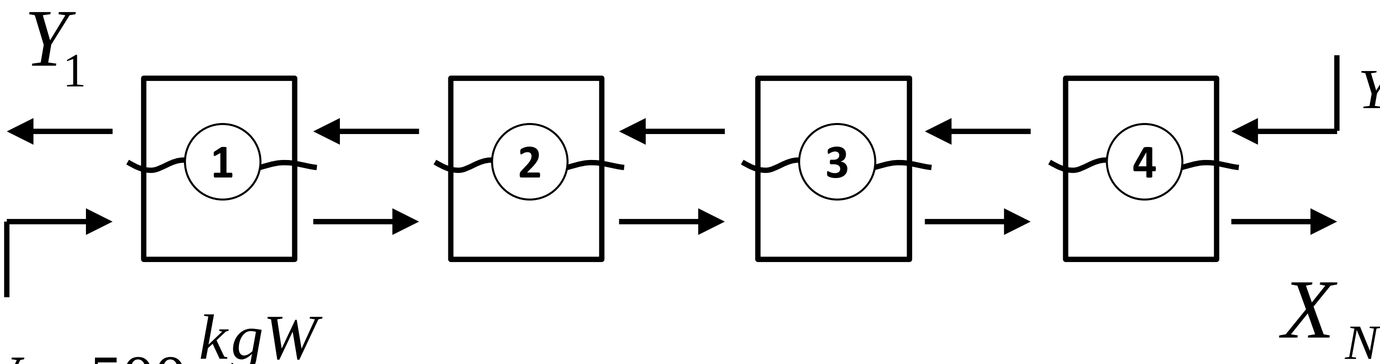
Para N etapas:

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ X_{n-2} \\ X_{n-1} \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \dfrac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

Matriz Tridiagonal

Ejemplo: 4 etapas – K=5

$$S = 50\ \frac{kgS}{h}$$



$$Y_{in} = 0\ \frac{kgsol}{kgS}$$

$$W = 500\frac{kgW}{h}$$

$$X_{in} = 1\frac{kgsol}{kgW}$$

$$\chi \equiv \frac{SK}{W} = \frac{50\ \frac{kgS}{h}\ 5}{500\ \frac{kgW}{h}} = 0.5$$

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \dfrac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

$$\chi = \frac{SK}{W}$$

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=a\b;
```

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=a\b;
```

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=a\b;
```

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=a\b;
```

Código Scilab (n=4)

```
-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
```

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(1+\chi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(1+\chi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(1+\chi) \end{pmatrix}$$

```
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
```

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(1+\chi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(1+\chi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(1+\chi) \end{pmatrix}$$

Código Scilab (n=4)

```
-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
```

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(1+\chi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(1+\chi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(1+\chi) \end{pmatrix}$$

```
diag(ones(1,n-1),-1)
```

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

```
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
```

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix}$$

Código Scilab (n=4)

```
-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
```

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(1+\chi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(1+\chi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(1+\chi) \end{pmatrix}$$

```
diag(ones(1,n-1),-1)
```

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

```
chi*diag(ones(1,n-1),1)
```

$$\begin{pmatrix} 0 & \chi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \chi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \chi \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

```
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
```

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix}$$

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=a\b;
```

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \dfrac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=a\b;
```

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

= 0 ¿Por qué?

¡Ingresa Puro!

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=a\b;
```

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

¿Es la mejor forma de resolverlo?

NO, conviene utilizar el método de Thomas

Código Scilab (n=4)

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix}$$

```
chi = 0.5;
n=4;
a=-(1+chi)*diag(ones(1,n),0)
a=a+diag(ones(1,n-1),-1)
a=a+chi*diag(ones(1,n-1),1)
b=zeros(n,1);
b(1)=-1;
x=Thomas(a,b);
```

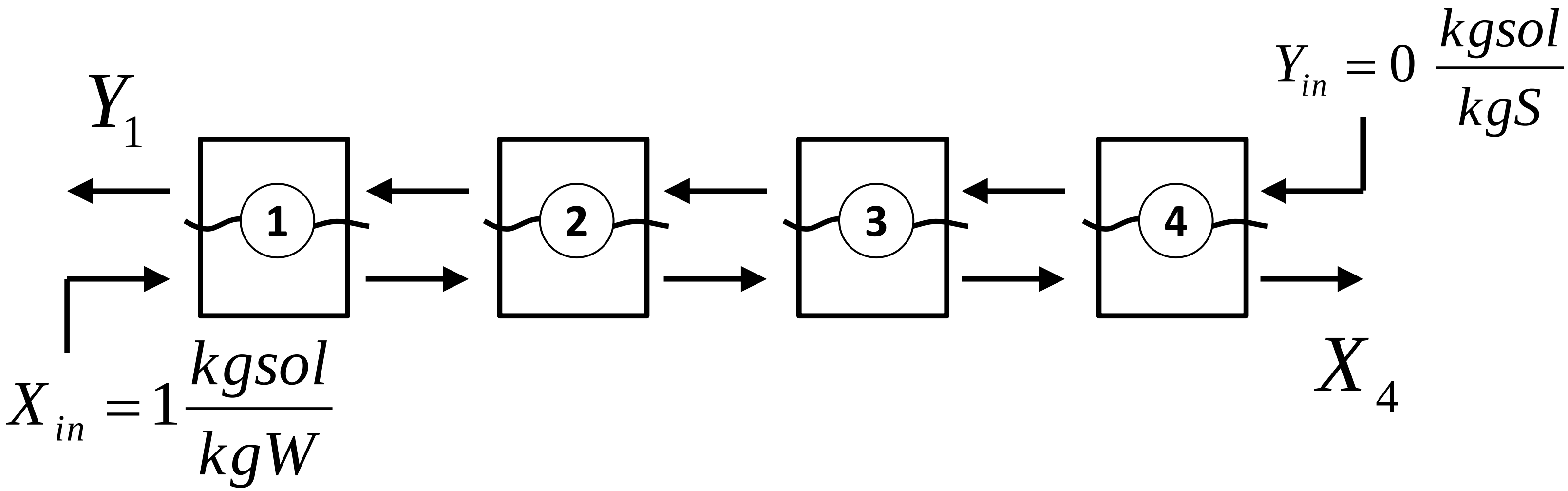
```
x =

 0.9677419
 0.9032258
 0.7741935
 0.5161290
```

```
--> y=K*x
 y =

  4.8387097
  4.5161290
  3.8709677
  2.5806452
```

Ejemplo: 4 etapas – K=5



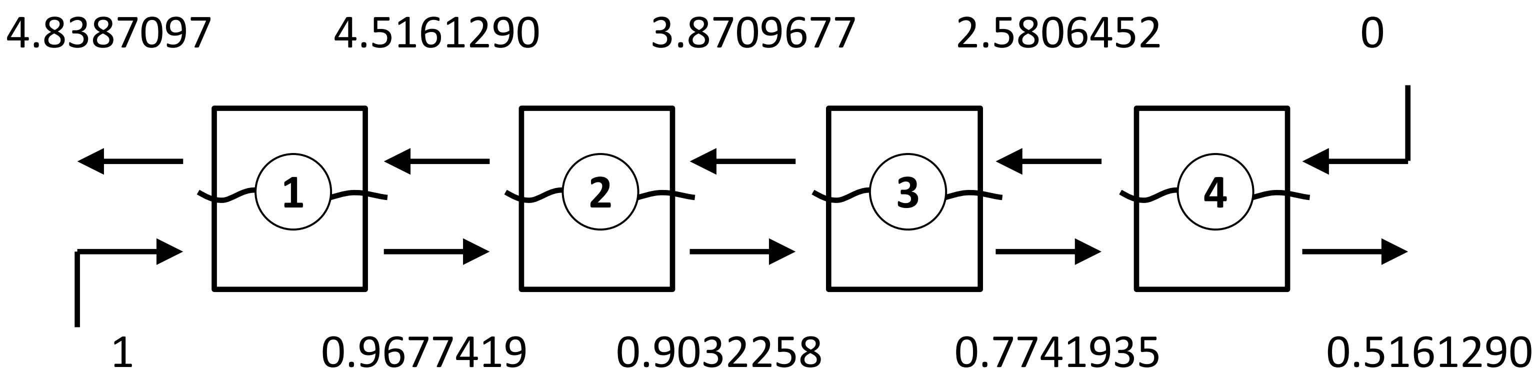

```
x =

  0.9677419
  0.9032258
  0.7741935
  0.5161290
```

```
y =

  4.8387097
  4.5161290
  3.8709677
  2.5806452
```

Ejemplo: 4 etapas – K=5



x =

0.9677419
0.9032258
0.7741935
0.5161290

y =

4.8387097
4.5161290
3.8709677
2.5806452

Ejemplo: 4 etapas – K=5