

Extractor Líquido-Líquido

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

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

Aux. 2^{da}: Sr. Alejandro Jesús Ladreyt

Aux. 2^{da}: Sra. Amalia Rueda

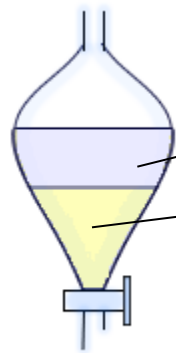
Se puede definir como la transferencia de una sustancia desde una "fase líquida A" a otra "fase líquida B" inmiscibles entre si. El reparto de esta sustancia entre las fases A y B viene dado por

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

Donde:

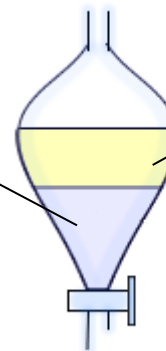
- C_B y C_A son las concentraciones de la sustancia en las respectivas fases.
- K el coeficiente de reparto.
- A y B son dos líquidos inmiscibles

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.



Fase Acuosa

Disolventes clorados (parte inferior)
Cloroformo
Cloruro de metileno
Tetracloruro de carbono



Parte Superior
Éter etílico
Acetato de etilo
Tolueno
Benceno
Hexano

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).



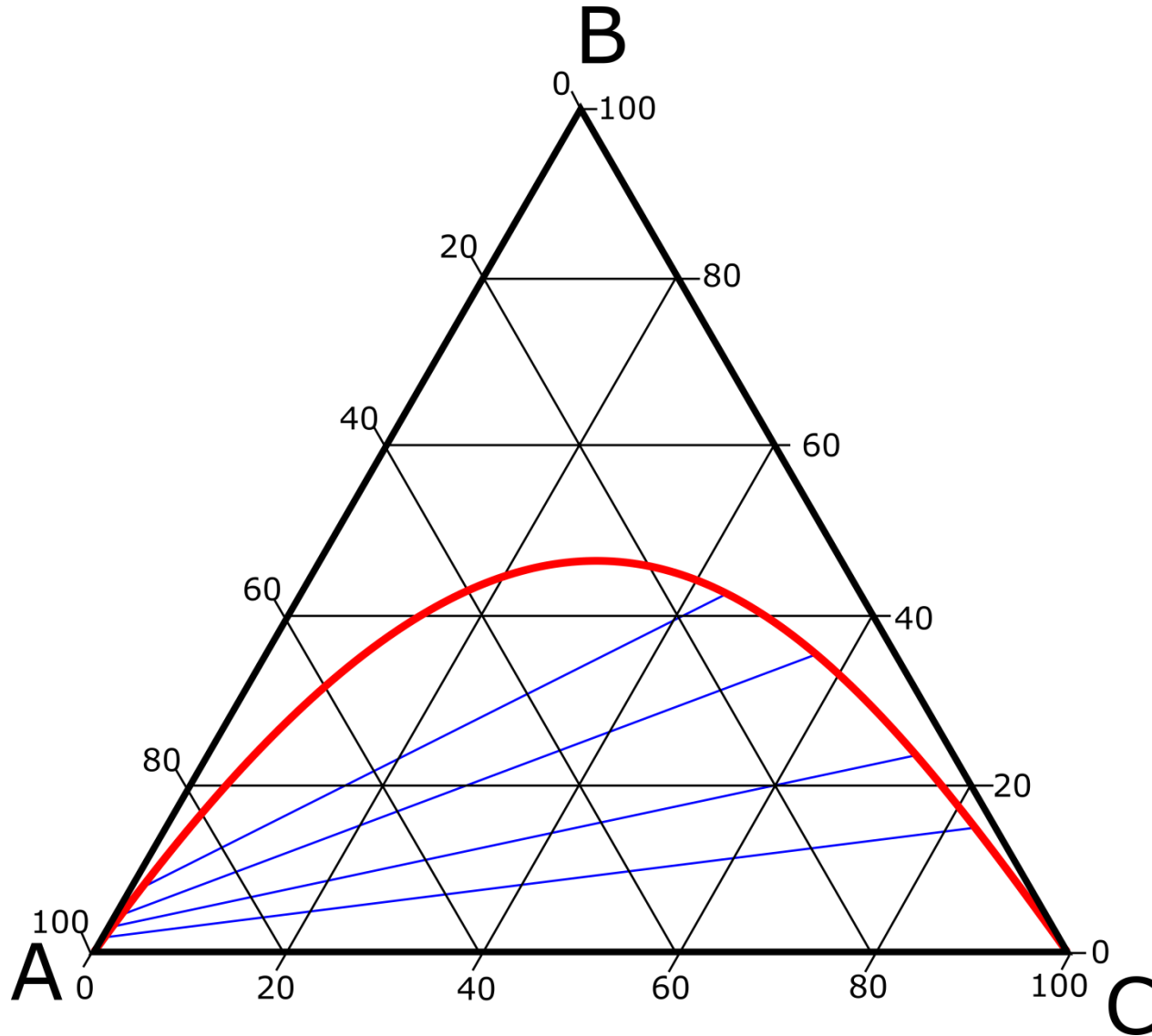
Fuente: http://www.ugr.es/~quiorred/lab/oper_bas/ex_li_li.htm

www.ugr.es/~quiores

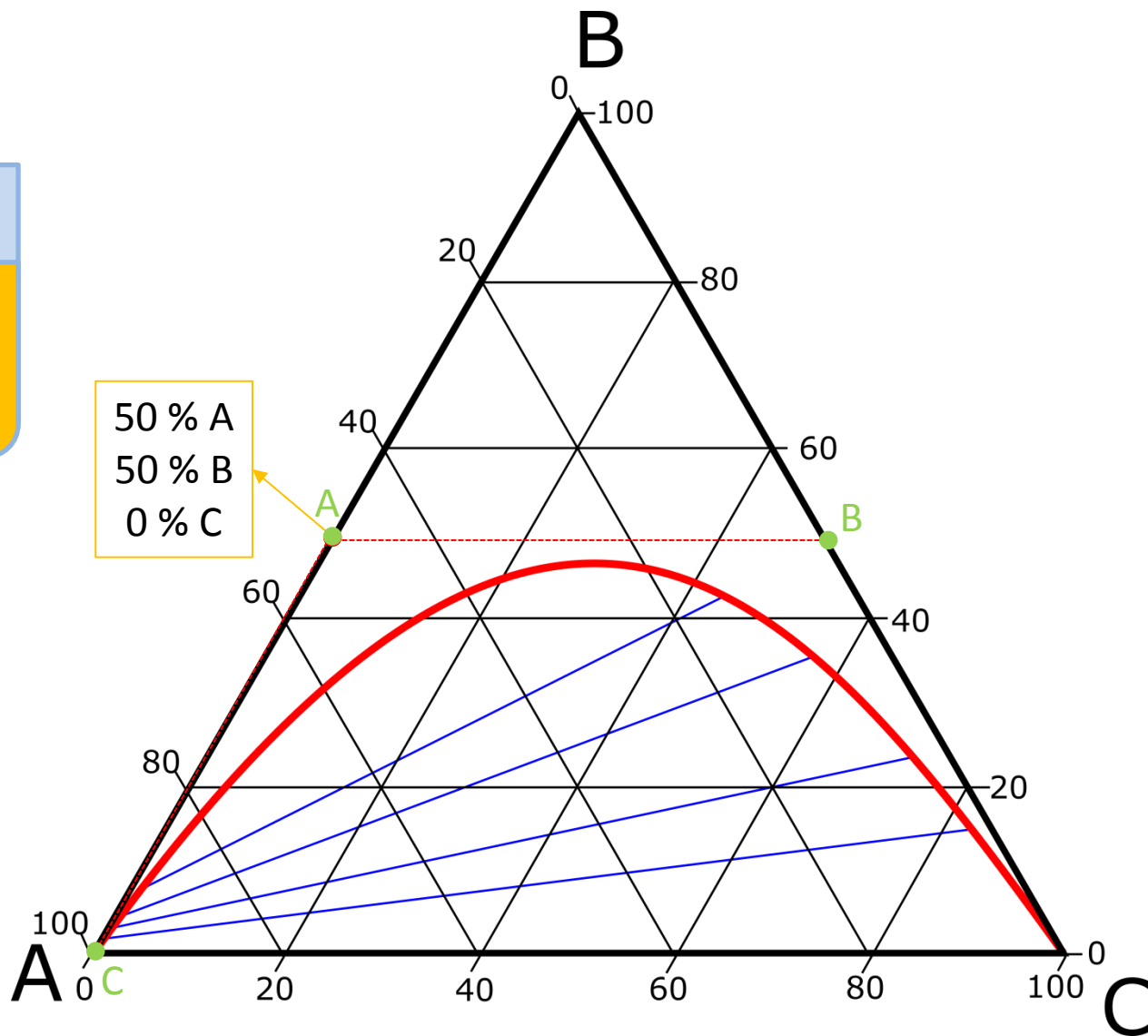
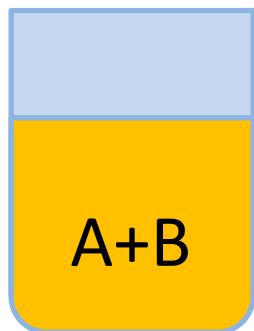
Extracción Líquido- Líquido

Quiores 2004

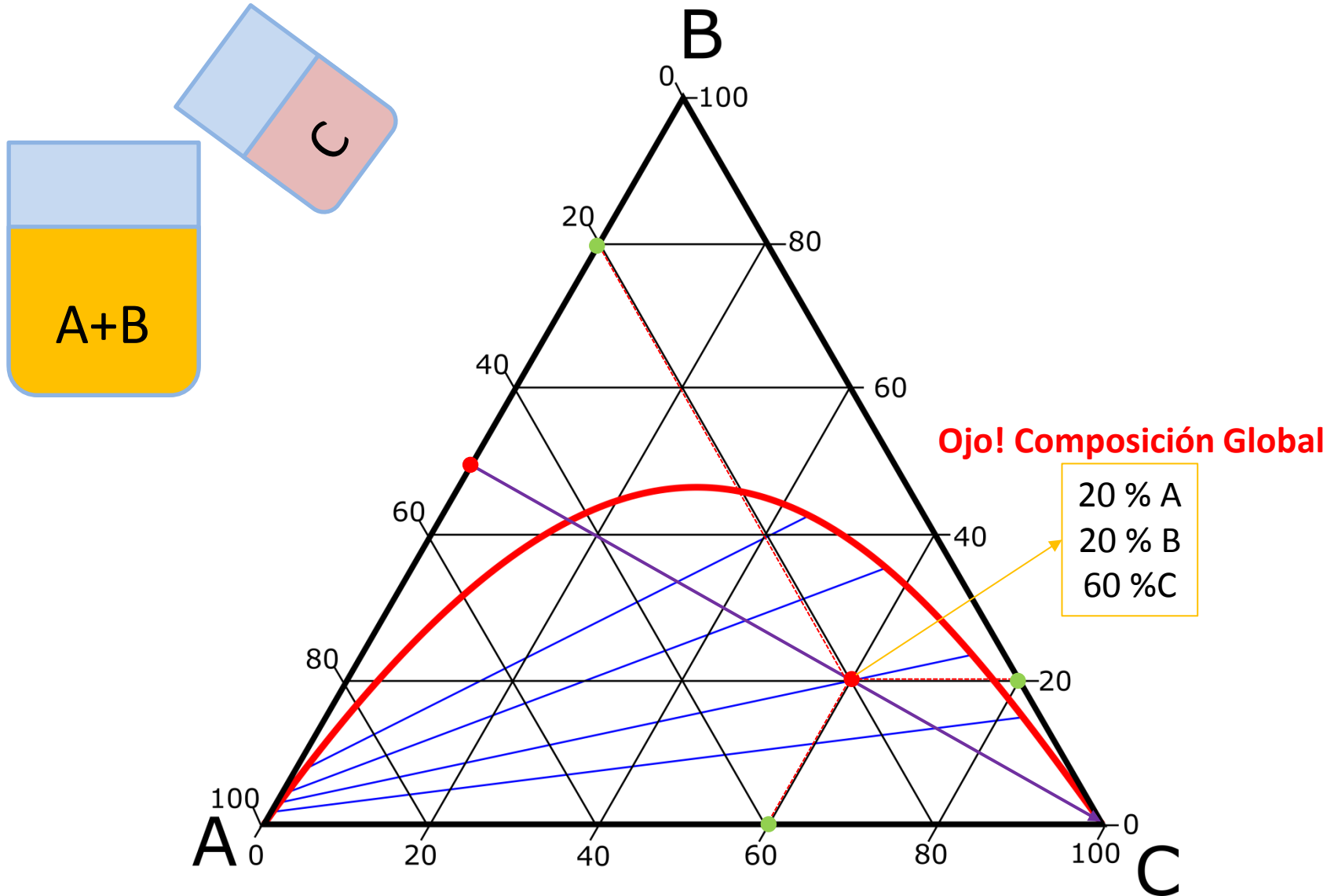
Diagrama Triangular



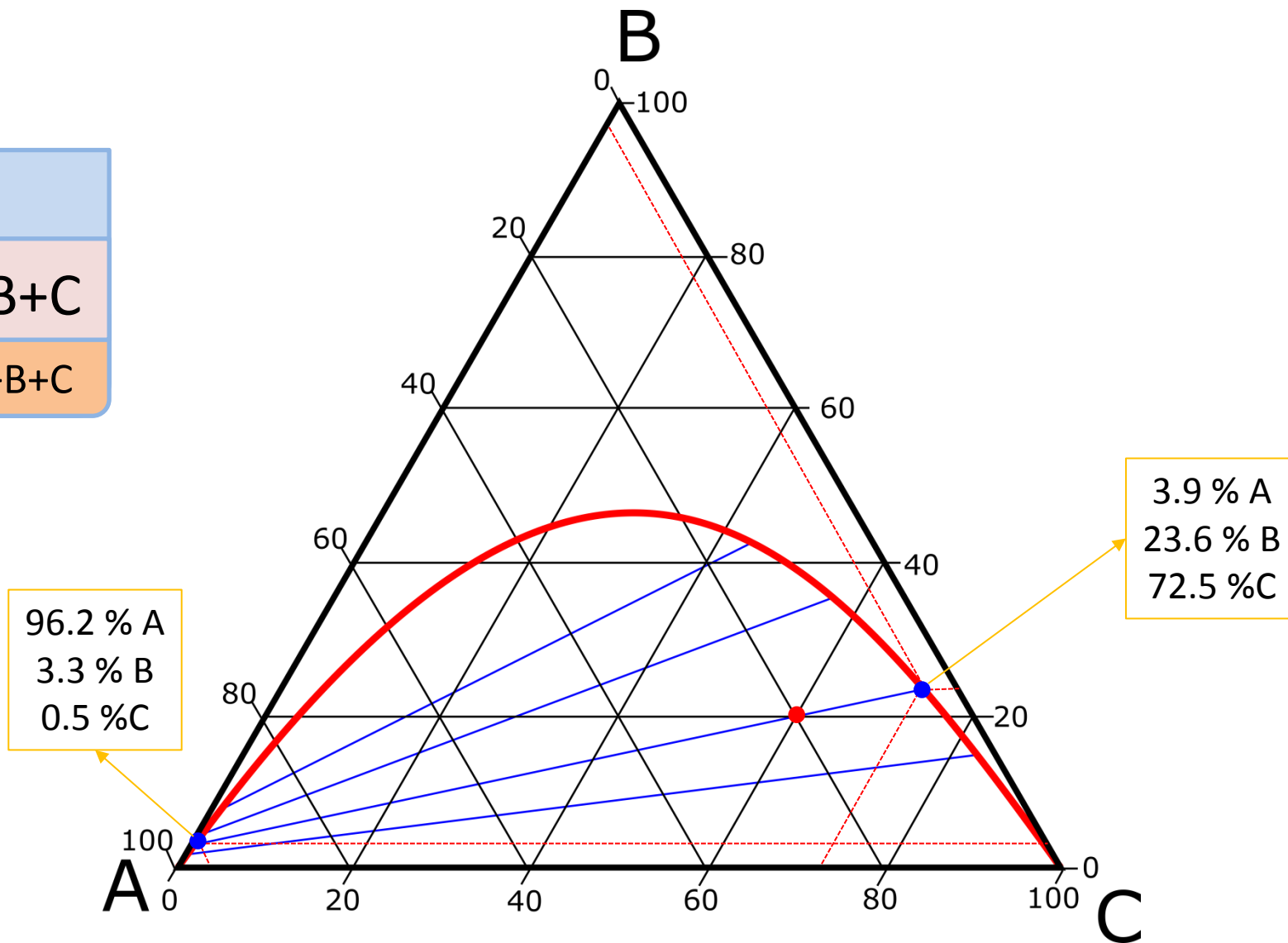
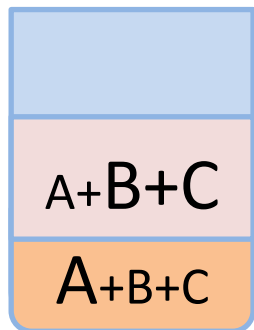
Mezcla A + B (a extraer)



Agrego solamente C



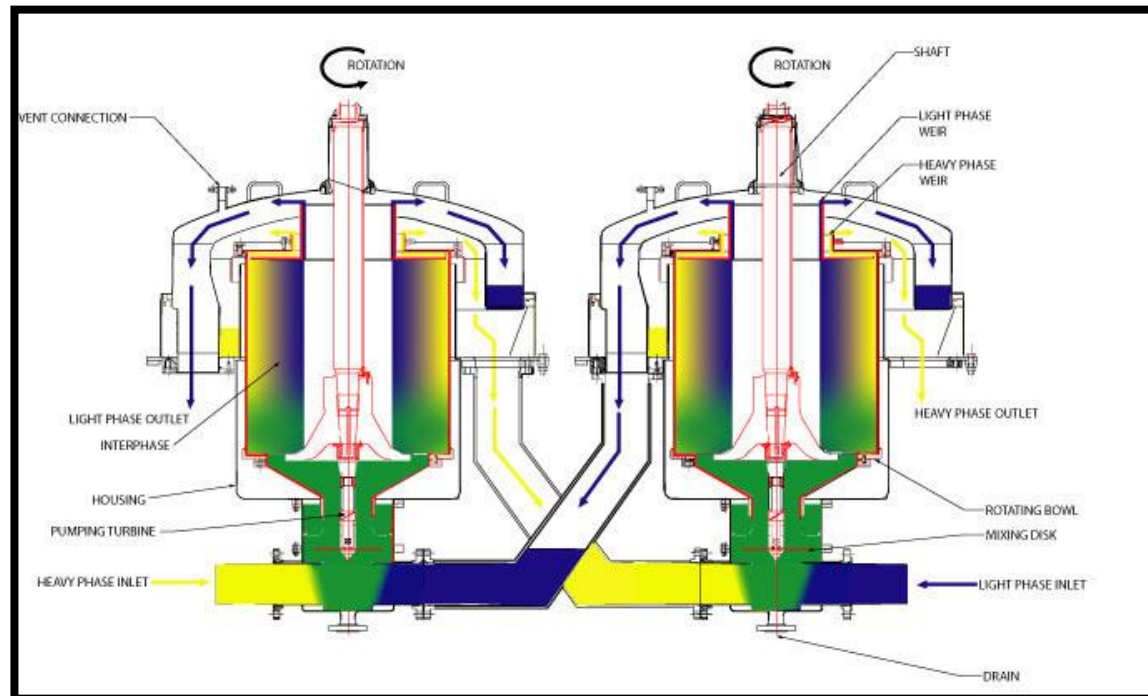
Se forman dos fases



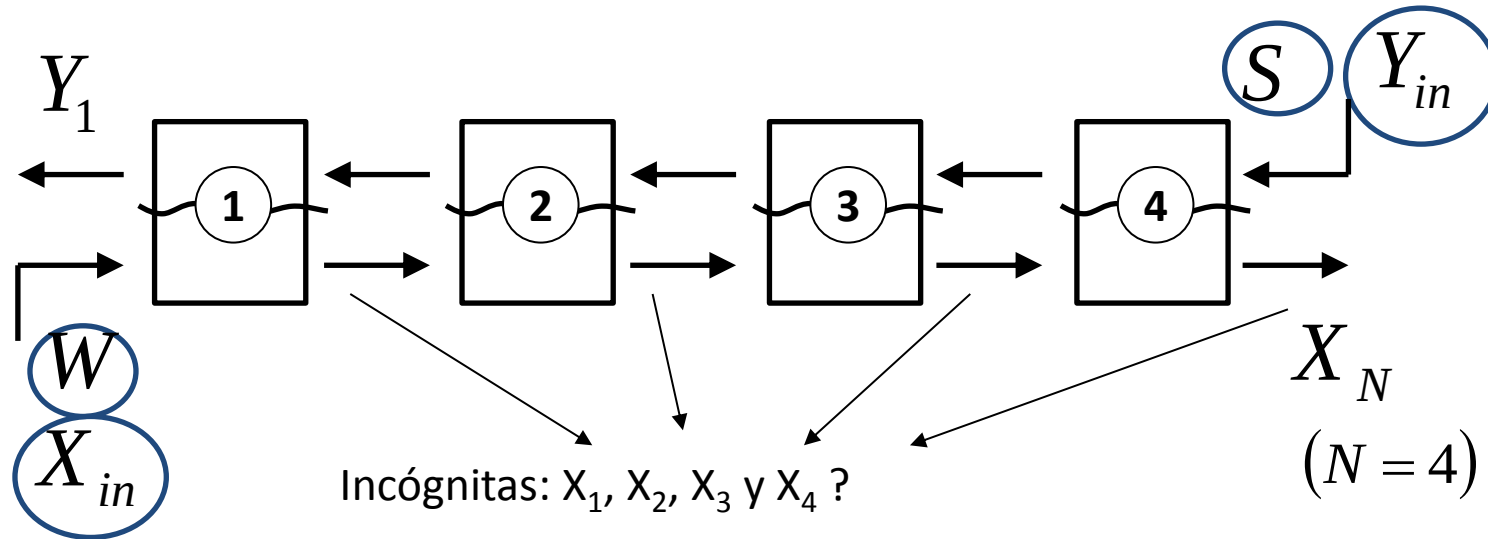
Planta piloto de extracción por solvente a escala de banco, usada para un programa de investigación sobre la extracción a contracorriente continua de metales preciosos.



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



Sistema extracción Líquido-Líquido Multietapa en contracorriente

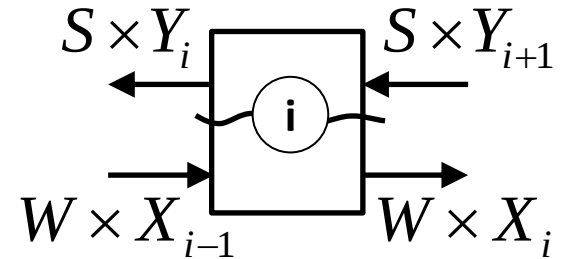


W [kg/h] = Corriente acuosa que contiene un soluto disuelto de composición X [kgsol/kgw]

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

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

Dividiendo por W y reordenando

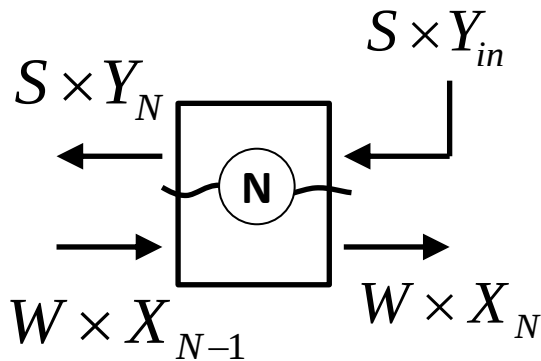
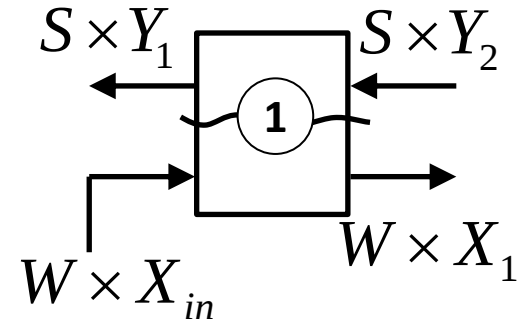
$$X_{i-1} - \left(1 + \frac{SK}{W}\right)X_i + \frac{SK}{W}X_{i+1} = 0$$

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

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

Etapas 1:

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

Etapas i:

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

Etapas N:

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

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

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

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

Etapas 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:

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

Matriz Tridiagonal

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

```
chi = 0.1; ←  $\chi = \frac{SK}{W}$ 
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;
```

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

```
chi = 0.1;
```

```
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;
```

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

```
chi = 0.1;
```

```
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;
```

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

```
chi = 0.1;
```

```
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;
```

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

```
chi = 0.1;
```

```
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;
```

$$\begin{pmatrix} -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) & \chi \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -(1+\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ X_{n-2} \\ X_{n-1} \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{in} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ -\chi \frac{Y_{in}}{k} \end{pmatrix} = 0 \quad \text{¿Por qué?}$$

```
chi = 0.1;
```

```
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;
```

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

```
chi = 0.1;
```

```
n=4;
```

```
A = ones(1,n-1);
```

```
B = -(1+chi)*ones(1,n);
```

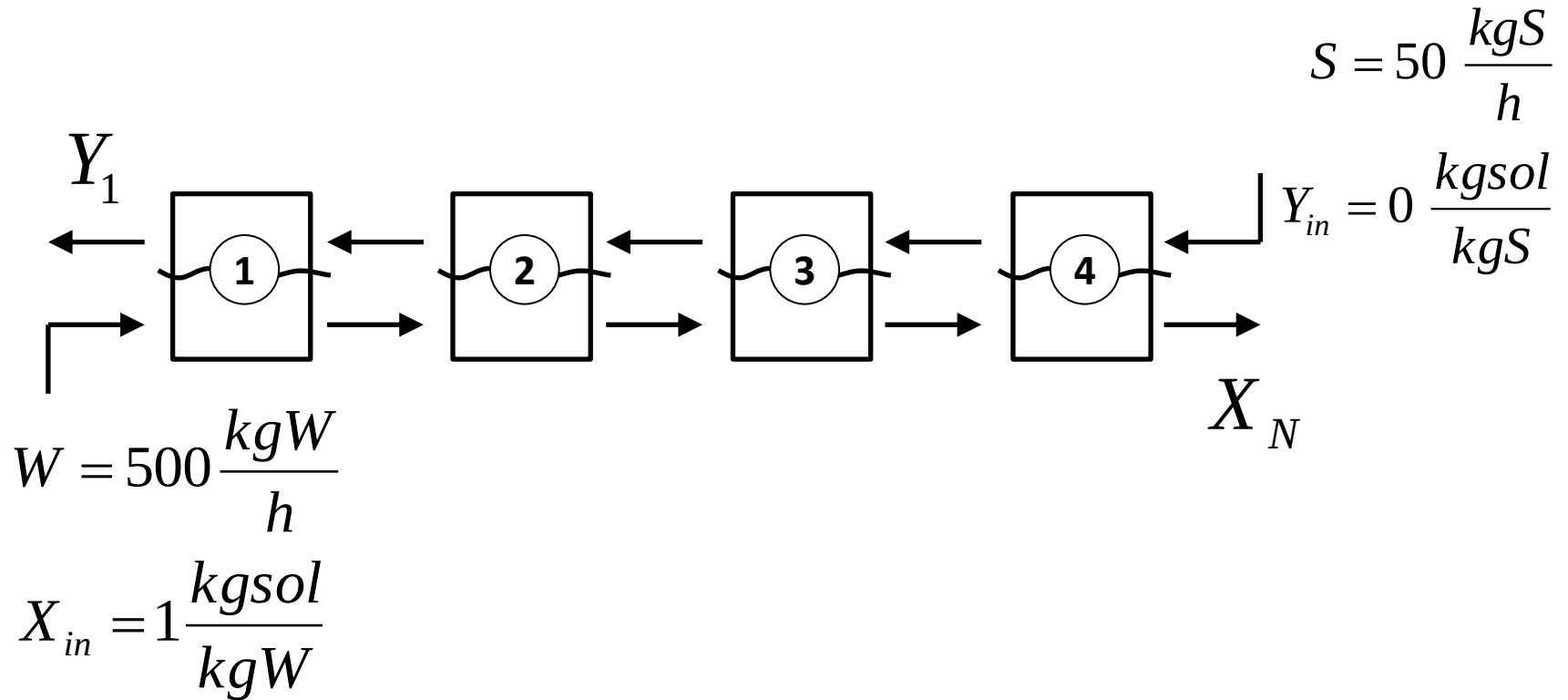
```
C = chi*ones(1,n-1);
```

```
b=zeros(n,1);
```

```
b(1)=-1;
```

```
x=Thomas(A,B,C,b);
```

Ejemplo: 4 etapas – K=5



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

Ejemplo: 4 etapas – K=5

