

# **CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO**

## **1. INTRODUCCIÓN**

## **2. VARIABLES INDEPENDIENTES DE DISEÑO**

### **2.1 ELEMENTO AISLADO**

#### **2.1.1 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS**

#### **2.1.2 VARIOS ELEMENTOS CONECTADOS**

# **CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO**

## **1. INTRODUCCIÓN**

**VARIABLES: INTENSIVAS**

**EXTENSIVAS**

**CONSTRUCCIÓN**

**ECUACIONES: CONSERVACIÓN**

**EQUILIBRIO**

**CINÉTICAS**

**RESTRICCIÓN**

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

$$V = V_I + V_E + V_C$$

$$E = E_{\text{conservación}} + E_{\text{eq ó cinet.}} + E_R$$

$$V_D = V - E$$

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBR

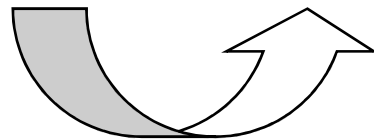
## 2. VARIABLES INDEPENDIENTES DE DISEÑO

### 2.1 ELEMENTO AISLADO

Variables

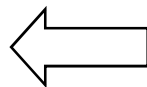
Intensivas

$$F + L = C + 2$$



Si  $F = 1$

$$V_i (P, T, x_i)$$



$$L = C + 1$$

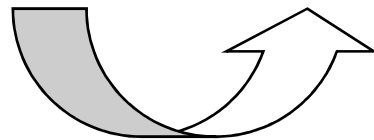
# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

## 2. VARIABLES INDEPENDIENTES DE DISEÑO

### 2.1 ELEMENTO AISLADO

**Variables  
Extensivas**

**Caudales: Materia + Energía**



**Variables = Variables Intensivas + Variables Extensivas**

$$(Si V_c=0) \quad V = V_I + V_E = C + 1 + 1 + 1 = C + 3$$

**(C-1) comp, P, T, Caudal<sub>materia</sub>, Caudal<sub>calor</sub>**

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

**Variables**  $C$  comp,  $P$ ,  $T$ , Caudal<sub>materia</sub>, Caudal<sub>calor</sub>

$C + 3 + 1$  (elemento no adiabático)

$C + 3$  (elemento adiabático)

**Restricción:**  $\sum x_i = 1$

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

## 2. VARIABLES INDEPENDIENTES DE DISEÑO

### 2.1 ELEMENTO AISLADO

Ecuaciones



**$C$  Balances de materia**

**1 Balance entálpico,**

**$C+2$  Ecuaciones de equilibrio**

**$(C + P + T)$**

**Ecuaciones de restricción**

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

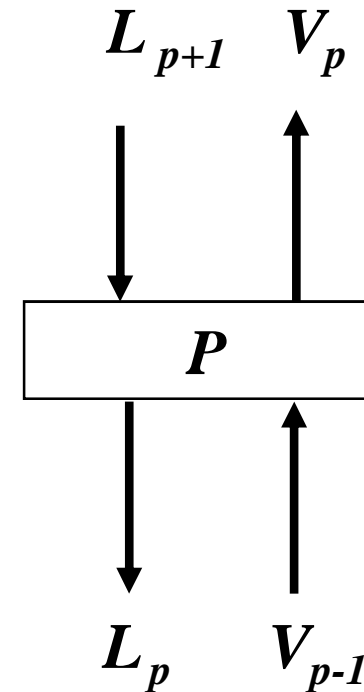
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Etapa de equilibrio adiabática

$$V = 4(C + 3) = 4C + 12$$

$$E = C + 1 + C + 2 + 4 = 2C + 7$$

$$\begin{aligned} V_D &= 4C + 12 - (2C + 7) \\ &= \underline{2C + 5} \end{aligned}$$





# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

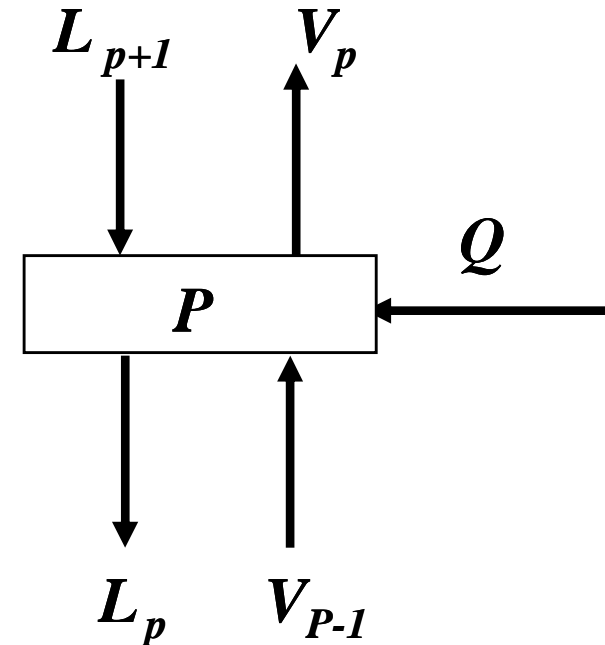
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Etapa de equilibrio no adiabática

$$V = 4(C + 3) + 1 = 4C + 13$$

$$E = C + 1 + C + 2 + 4 = 2C + 7$$

$$V_D = 4C + 13 - (2C + 7) = \underline{2C + 6}$$



# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

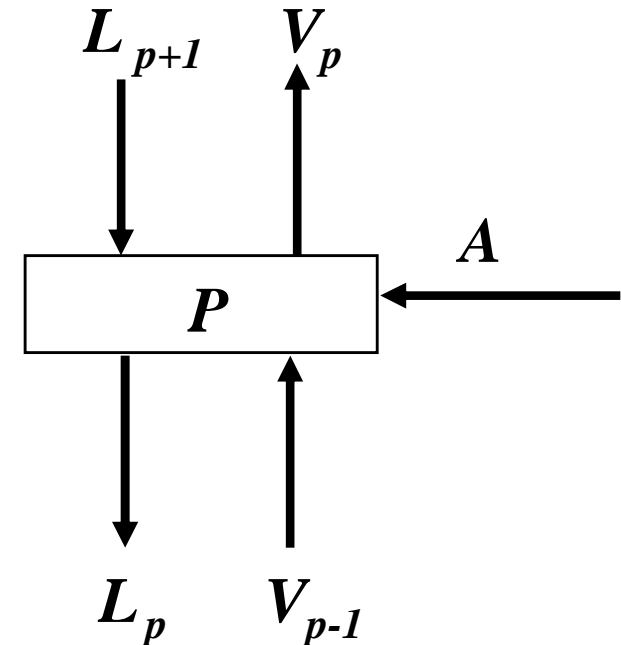
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Etapa de alimentación adiabática

$$V = 5(C + 3) = 5C + 15$$

$$E = C + 1 + C + 2 + 5 = 2C + 8$$

$$V_D = 5C + 15 - (2C + 8) = \underline{3C + 7}$$



# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

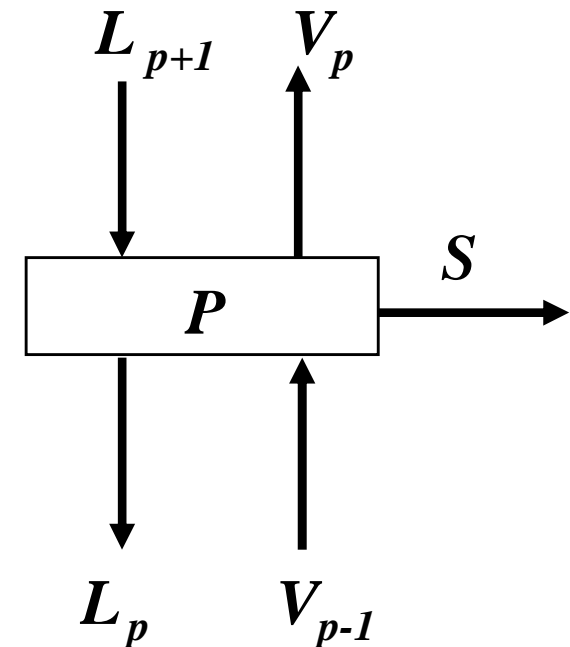
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Etapa de extracción adiabática

$$V = 5(C + 3) = 5C + 15$$

$$\begin{aligned} E &= C + 1 + C + 2 + 5 + C - 1 + 1 + 1 \\ &= 3C + 9 \end{aligned}$$

$$V_D = 5C + 15 - (3C + 9) = \underline{2C + 6}$$



# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

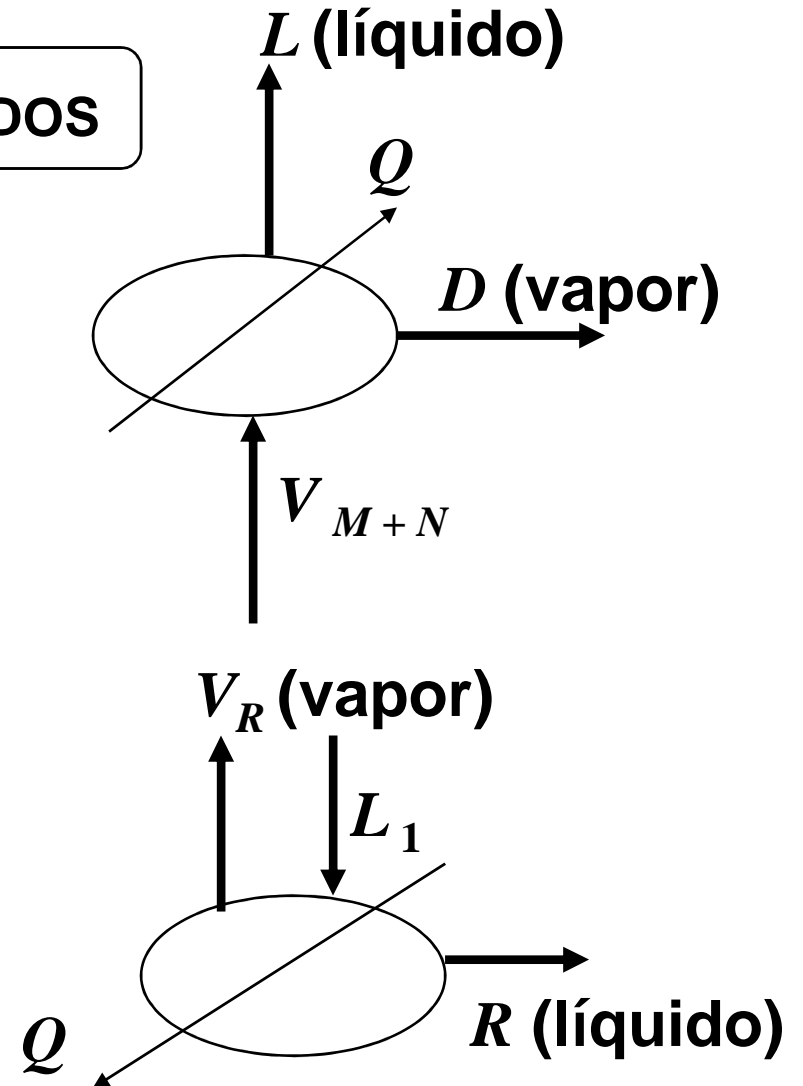
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Condensador o caldera parcial

$$V = 3(C + 3) + 1 = 3C + 10$$

$$E = C + 1 + C + 2 + 3 = 2C + 6$$

$$V_D = 3C + 10 - (2C + 6) = \underline{C + 4}$$



# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

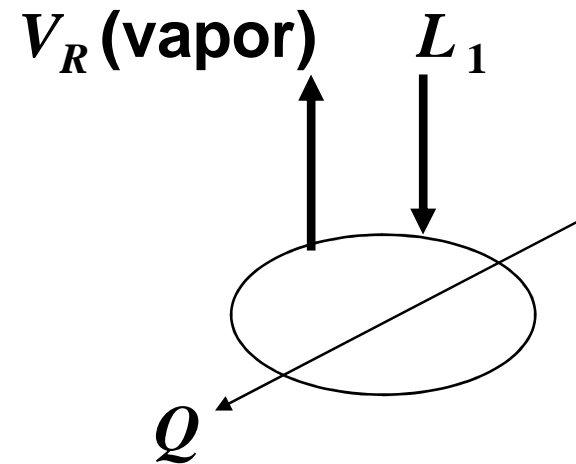
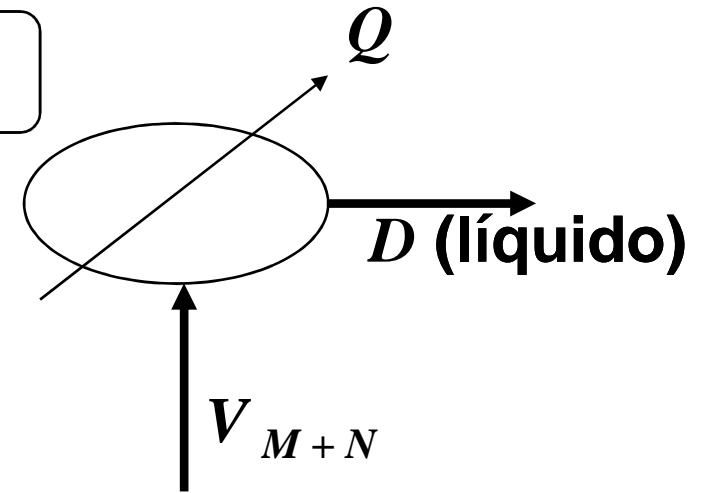
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Condensador o caldera total

$$V = 2(C + 3) + 1 = 2C + 7$$

$$E = C + 1 + 2 = C + 3$$

$$V_D = 2C + 7 - (C + 3) = \underline{C + 4}$$



# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

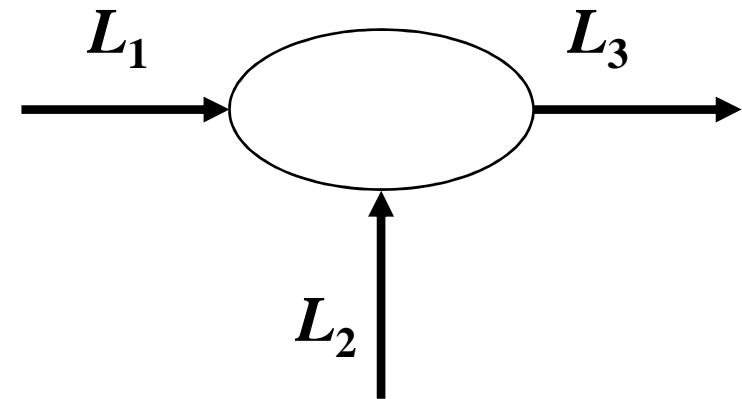
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Mezclador adiabático

$$V = 3(C + 3) = 3C + 9$$

$$E = C + 1 + 3 = C + 4$$

$$V_D = 3C + 9 - (C + 4) = \underline{\underline{2C + 5}}$$



$L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  no están en equilibrio, ni tienen la misma composición

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

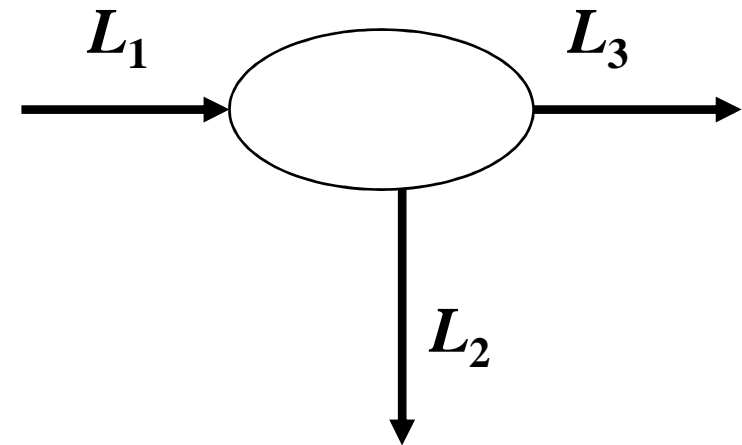
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Separador adiabático

$$V = 3(C + 3) = 3C + 9$$

$$E = C + 1 + 3 = C + 4$$

$$V_D = 3C + 9 - (C + 4) = \underline{2C + 5}$$



$L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  no están en equilibrio, ni tienen la misma composición

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

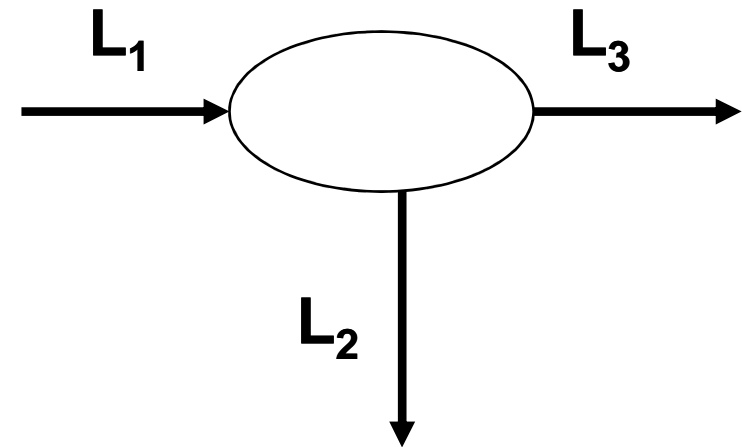
## 2.2 EJEMPLOS DE ELEMENTOS AISLADOS

Divisor adiabático

$$V = 3(C + 3) = 3C + 9$$

$$E = 1 + 1 + 3 + 2(C - 1) + 1 + 1 = 2C + 5$$

$$V_D = 3C + 9 - (2C + 5) = \underline{C + 4}$$



$L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  igual  
composición

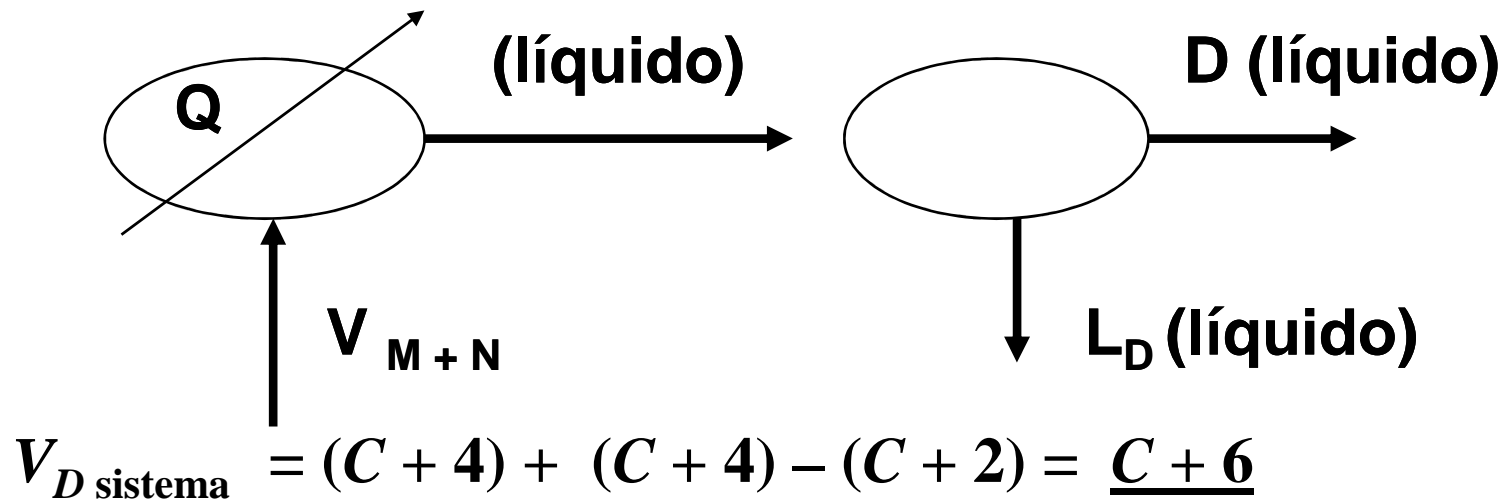


# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

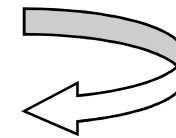
## 2.1.2 VARIOS ELEMENTOS CONECTADOS

$$(V_D)_{\text{sistema}} = \sum V_{D \text{ elemento}} - c_c (C + 2) + V_c$$

Condensador total + Divisor adiabático



$$V_{D \text{ sistema}} = \underline{C + 5}$$

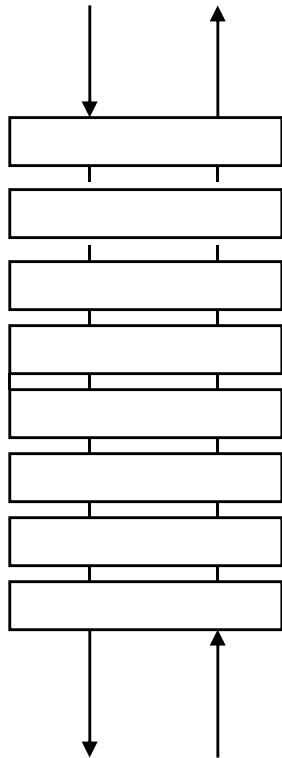


Con *P*  
controlante

# CASCADA DE ETAPAS DE EQUILIBRIO

## 2.1.2 VARIOS ELEMENTOS CONECTADOS

Cascada de  $N$  etapas de equilibrio adiabáticas iguales



$$(V_D)_{\text{sistema}} = \sum V_{D \text{ elemento}} - c_c (C + 2) + V_c$$

$$(V_D)_{\text{sistema}} = N(2C + 5) - (2N-1)(C + 2) + V_c = 2C + N + 5$$

$$(V_D)_{\text{sistema}} = 2C + N + 4$$

$$(V_D)_{\text{sistema}} = \underline{2C + 5}$$

$N$  especificado

(-1)

$P$  controlante

-( $N-1$ )

Tabla 6.1 Grados de libertad para elementos y unidades de operaciones de separación



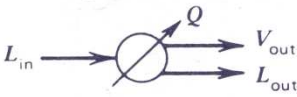
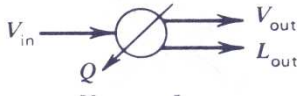
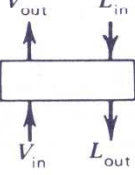
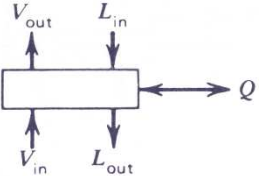
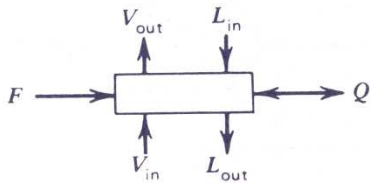
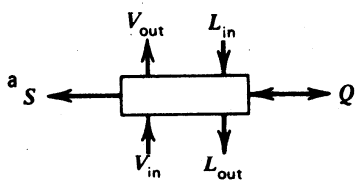
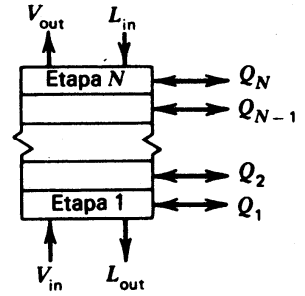
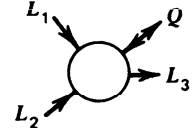
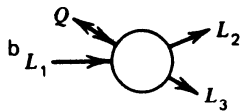
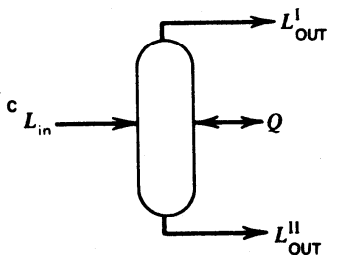
Esquemática	Elemento o nombre de la unidad	$N_V$ , Variables totales	$N_E$ , Relaciones independientes	$N_D$ , grados de libertad
	Ebullidor total	$(2C + 7)$	$(C + 3)$	$(C + 4)$
	Condensador total	$(2C + 7)$	$(C + 3)$	$(C + 4)$
	Ebullidor parcial (equilibrio)	$(3C + 10)$	$(2C + 6)$	$(C + 4)$
	Condensador parcial (equilibrio)	$(3C + 10)$	$(2C + 6)$	$(C + 4)$
	Etapla adiabática de equilibrio	$(4C + 12)$	$(2C + 7)$	$(2C + 5)$
	Etapla de equilibrio con transmisión de calor	$(4C + 13)$	$(2C + 7)$	$(2C + 6)$
	Etapla de equilibrio con transmisión de calor y alimentación	$(5C + 16)$	$(2C + 8)$	$(3C + 8)$

Tabla 6.1 (continuación)

Esquemática	Elemento o nombre de la unidad	$N_v$ , Variables totales	$N_{E_r}$ Relaciones independientes	$N_D$ , grados de libertad
	Etapa de equilibrio con transmisión de calor y corriente lateral	$(5C + 16)$	$(3C + 9)$	$(2C + 7)$
	$N$ etapas de equilibrio conectadas con transmisión de calor	$(7N + 2NC + 2C + 7)$	$(5N + 2NC + 2)$	$(2N + 2C + 5)$
	Mezclador de corrientes	$(3C + 10)$	$(C + 4)$	$(2C + 6)$
	Divisor de corrientes	$(3C + 10)$	$(2C + 5)$	$(C + 5)$
	Separador; la composición de $L_{OUT}^{II} \neq L_{OUT}^I$	$(3C + 10)$	$(C + 4)$	$(2C + 6)$

<sup>a</sup> La corriente lateral puede ser líquido o vapor. <sup>b</sup> Alternativamente, todas las corrientes pueden ser vapor. <sup>c</sup> Cualquier corriente puede ser vapor.