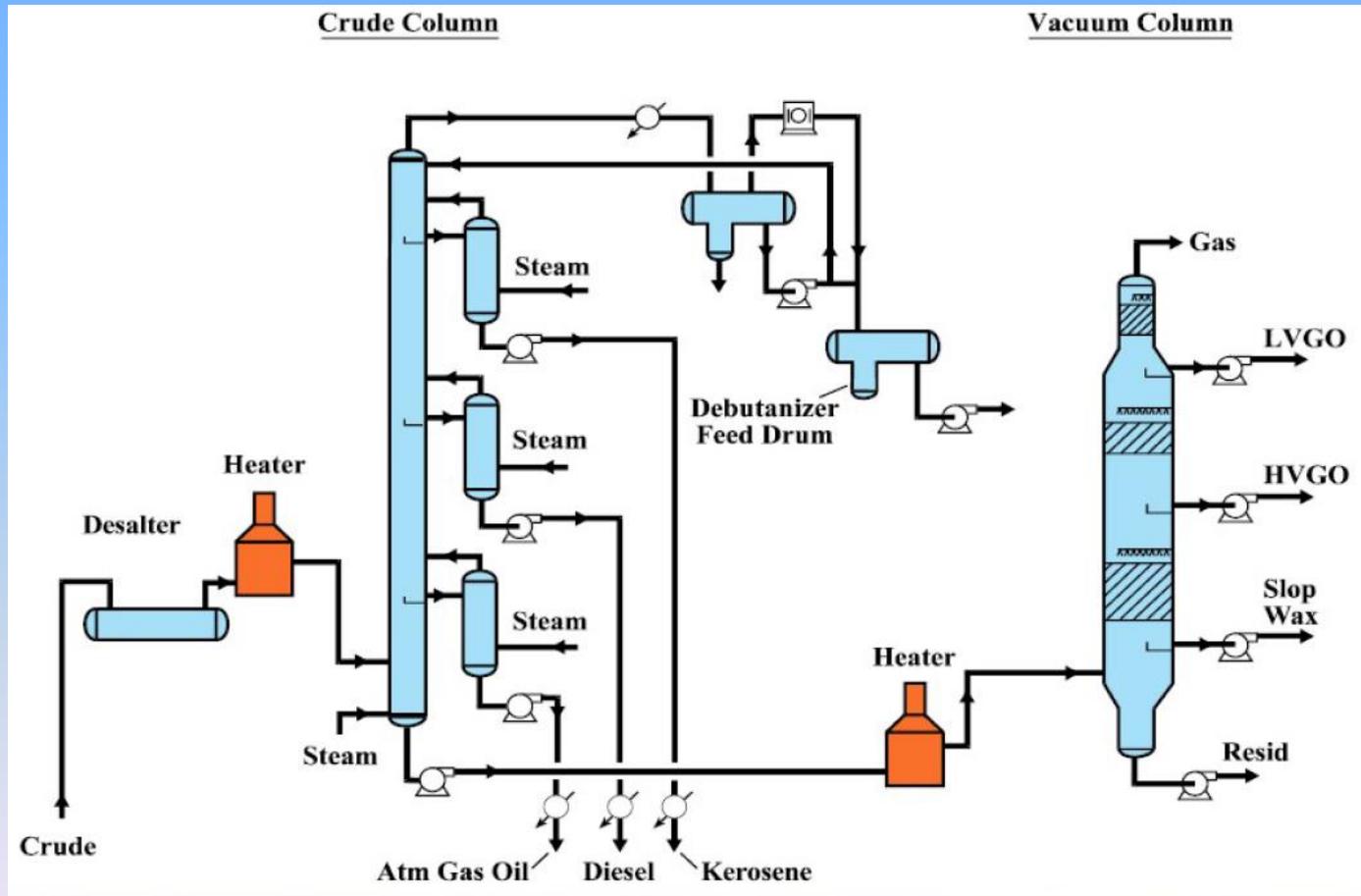


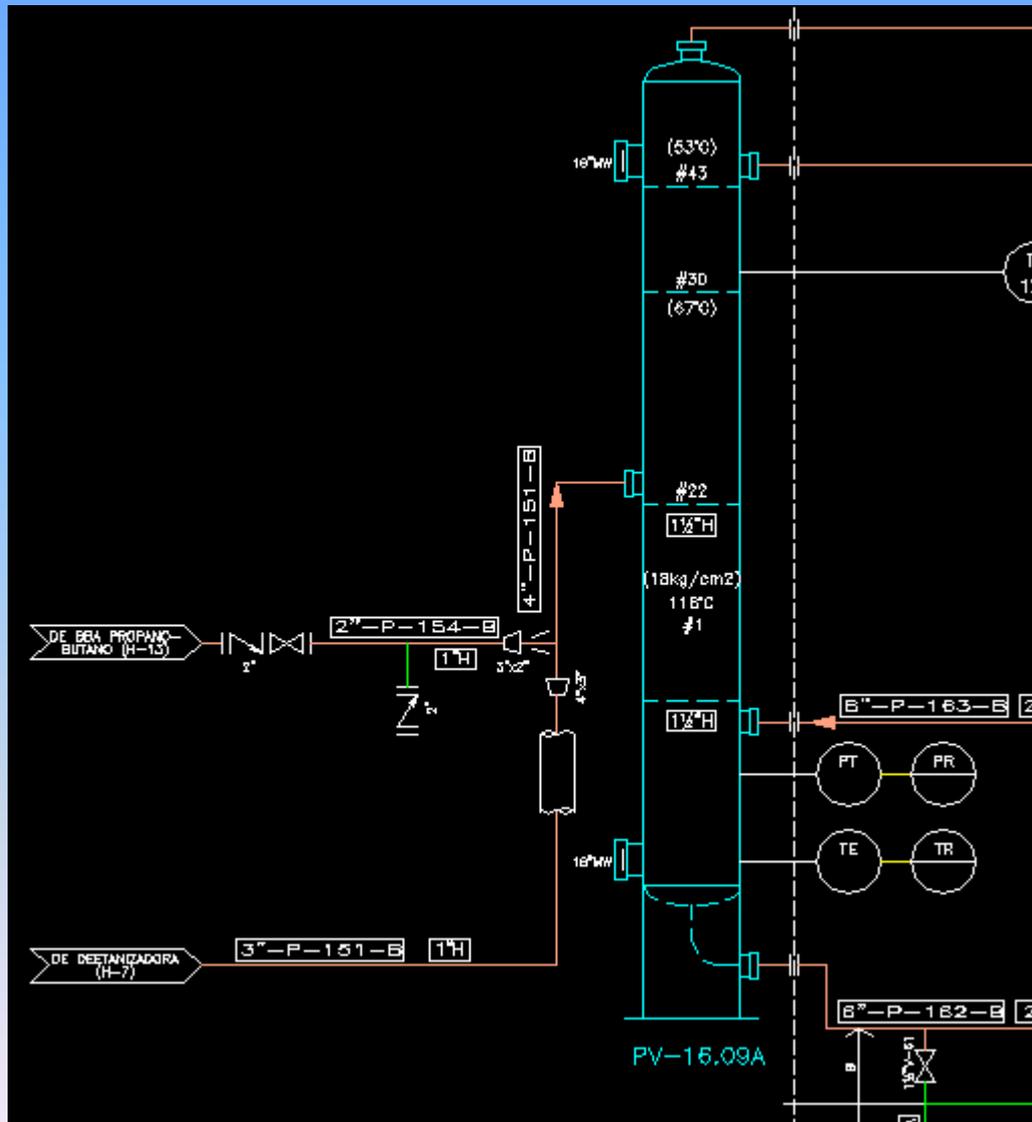
Destilación Multicomponentes

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Destilación Multicomponentes.**

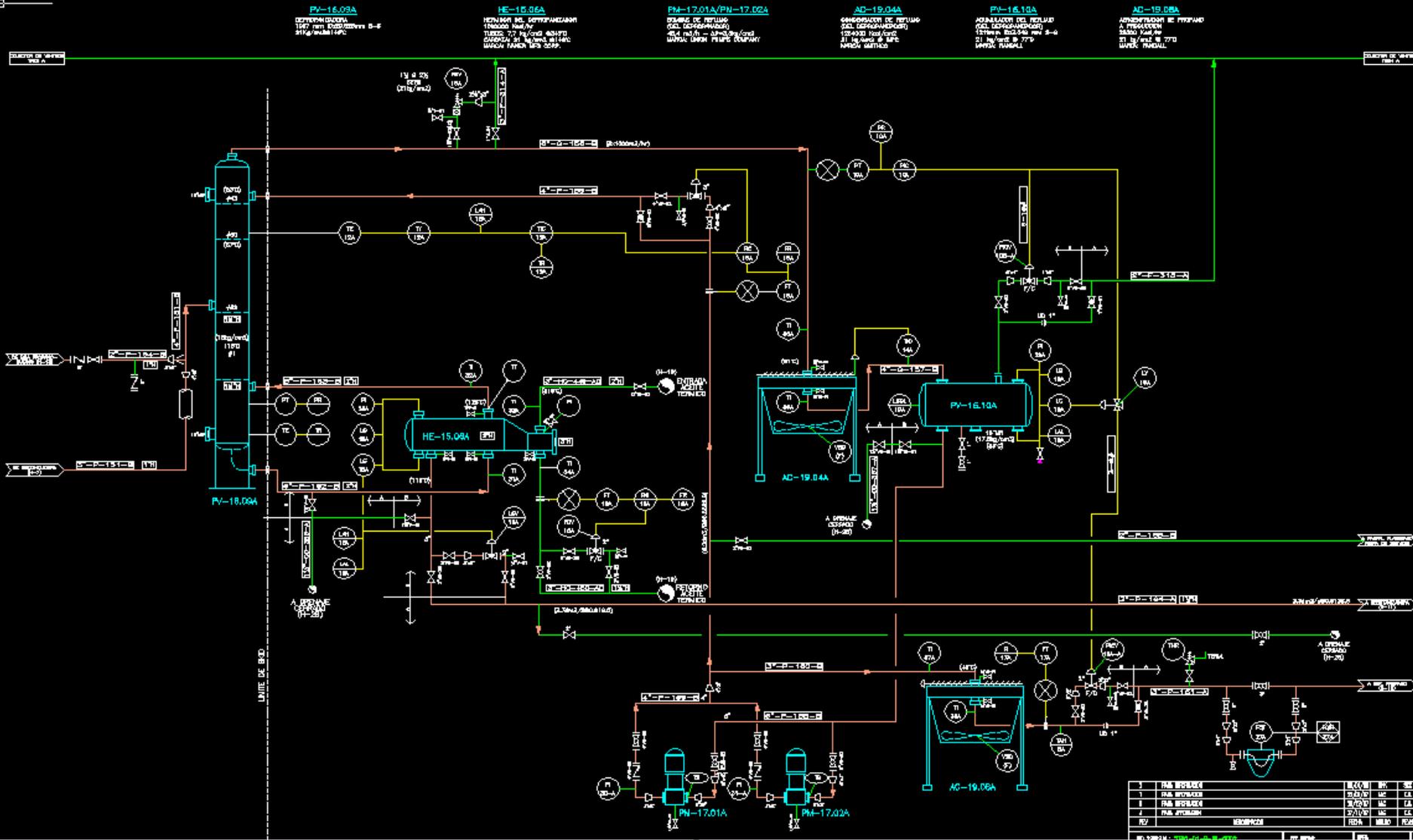


Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia



Destilación Multicomponentes.

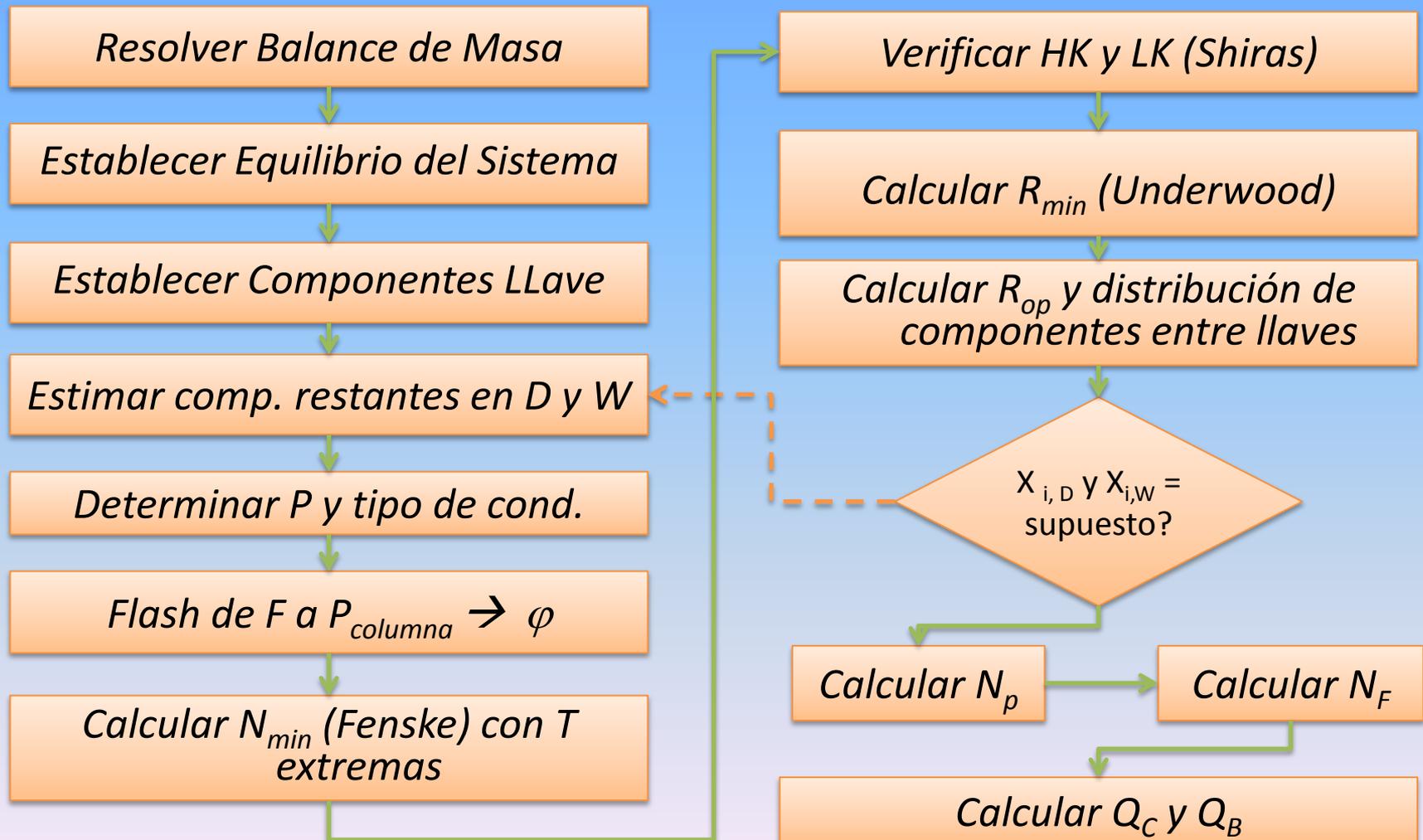
Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia



REV	DESCRIPCION	ELABORADO	REVISADO	FECHA
1	REVISION
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

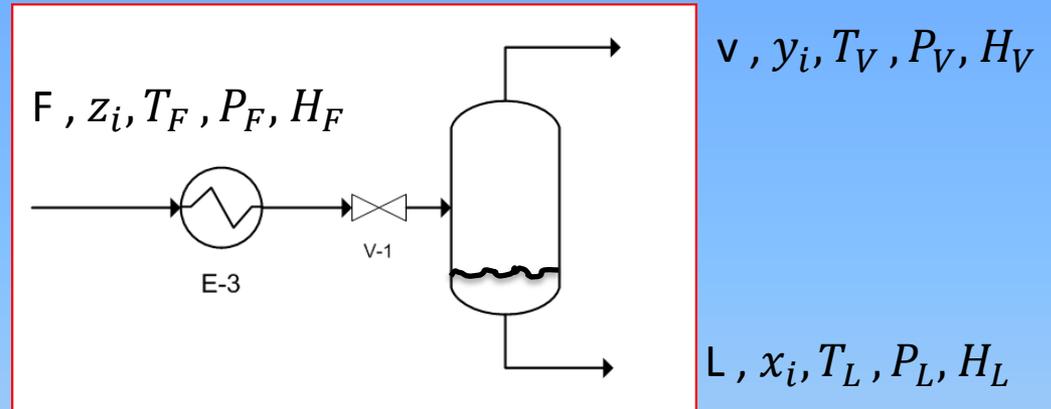
• Destilación Multicomponentes



Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Destilación Multicomponentes.

Destilación Flash



Variables del sistema:

F	1
L	1
V	1
z_i	C
x_i	C
y_i	C
T_F	1
T_V	1
T_L	1
P_V	1
P_L	1
P_F	1
Q_F	1

$$\text{N}^\circ \text{ var} = 3C + 10$$

Ecuaciones del sistema:

- | | |
|---------------------------------|-----|
| (1) $P_V = P_L$ | 1 |
| (2) $T_V = T_L$ | 1 |
| (3) $y_i = K_i x_i$ | C |
| (4) $P z_i = V y_i + L x_i$ | C-1 |
| (5) $F = V + L$ | 1 |
| (6) $H_F F + Q = V H_V + L H_L$ | 1 |
| (7) $\sum z_i = 1$ | 1 |
| (8) $\sum x_i = 1$ | 1 |
| (9) $\sum y_i = 1$ | 1 |

$$\text{N}^\circ \text{ ecuaciones} = 2C + 6$$

$$K = f(T, P, x, y)$$

Grados de Libertad =>

$$3C + 10$$

$$- \quad \underline{2C + 6}$$

$$C + 4$$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

• Destilación Flash (Cont.).

Grados de Libertad =>

$$\begin{array}{r}
 3C + 10 \\
 - \\
 \underline{2C + 6} \\
 C + 4
 \end{array}$$

Conozco la alimentación

$$F, z_i, T_F, P_F$$

$$C + 2$$

Tengo que definir
2 variables más:

- (1) P_L (o P_V) y T_L (o T_V) : flash isotérmico
- (2) P_L (o P_V) y $Q=0$: flash adiabático
- (3) P_L (o P_V) y V/F (o L/F) : % (de vaporización, de condensación)

Variables del sistema	Ec. independ. del sistema
F	1) $P_V = P_L$ 1
L	2) $T_V = T_L$ 1
V	3) $y_i = K_i x_i$ C
z_i	4) $F z_i = L x_i + V y_i$ C-1
x_i	5) $F = L + V$ 1
y_i	6) $F H_F + Q = V H_V + L H_L$ 1
$\sum z_i = 1$	7) $\sum z_i = 1$ 1
$\sum y_i = 1$	8) $\sum y_i = 1$ 1
$\sum x_i = 1$	9) $\sum x_i = 1$ 1
3C + 10	2C + 6

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

• 1) Flash Isotérmico

Cuando K es independiente de x , y se utiliza el Procedimiento de Rachford Rice.

Ecuciones del sistema:

(1) $F_V = P_V L$	1
(2) $T_V = T_L$	1
(3) $y_i = K_i x_i$	C
(4) $P z_i = V y_i + L x_i$	C-1
(5) $F = V + L$	1
(6) $H_F + Q = V H_V + L H_L$	1
(7) $\sum z_i = 1$	1
(8) $\sum x_i = 1$	1
(9) $\sum y_i = 1$	1
Nº ecuaciones	2C + 6

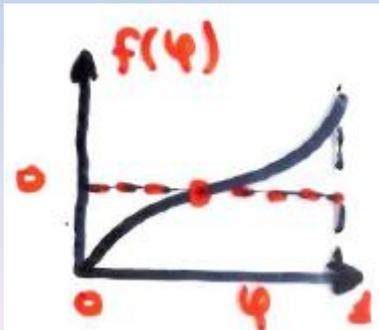
de (4) y (5) $F z_i = V y_i + L x_i$
 con (3) $V K_i x_i + L x_i = F z_i$

$$(10) x_i = \frac{z_i}{\frac{V(K_i - 1) + L}{F}}$$

$$(11) y_i = \frac{z_i K_i}{\frac{V(K_i - 1) + L}{F}}$$

si $\psi = V/F$ (entre 0 y 1) con (8) y (9)

$$(12) \sum_{i=1}^C \frac{z_i(1 - K_i)}{\psi(K_i - 1) + 1} = 0$$



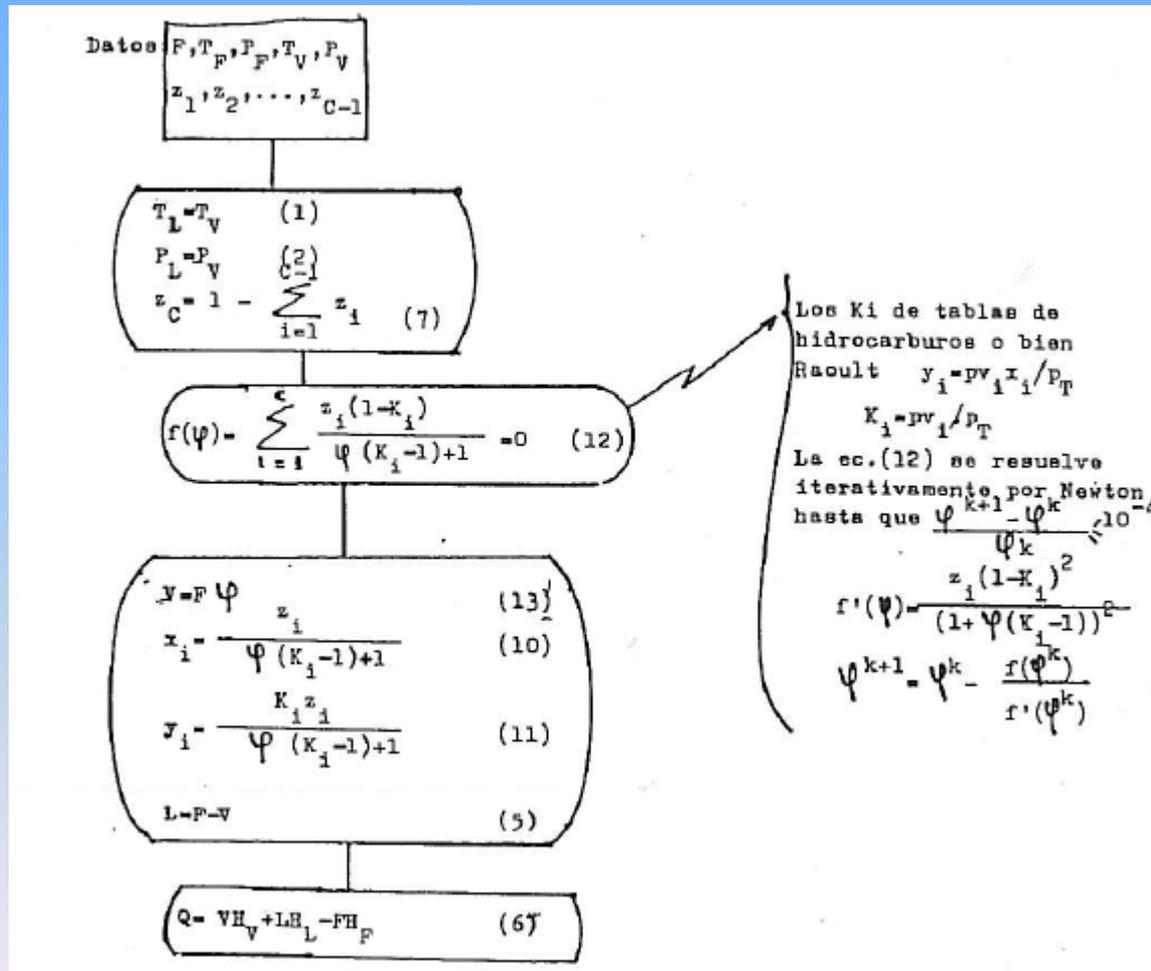
Cálculo

Datos: $F, T_F, P_F, T_V, P_V, z_1, z_2, \dots$

- ① $T_L = T_V$
- ② $P_L = P_V$
- ③ $z_C = 1 - \sum_{i=1}^{C-1} z_i$
- ④ $f(\psi) = \sum \frac{z_i(1 - k_i)}{\psi(k_i - 1) + 1} = 0$
- ⑤ $V = F\psi$
- ⑥ $x_i = \frac{z_i}{\psi(k_i - 1) + 1}$
- ⑦ $y_i = \frac{k_i z_i}{\psi(k_i - 1) + 1}$
- ⑧ $L = F - V$
- ⑨ $Q = V H_V + L H_L - F H_F$

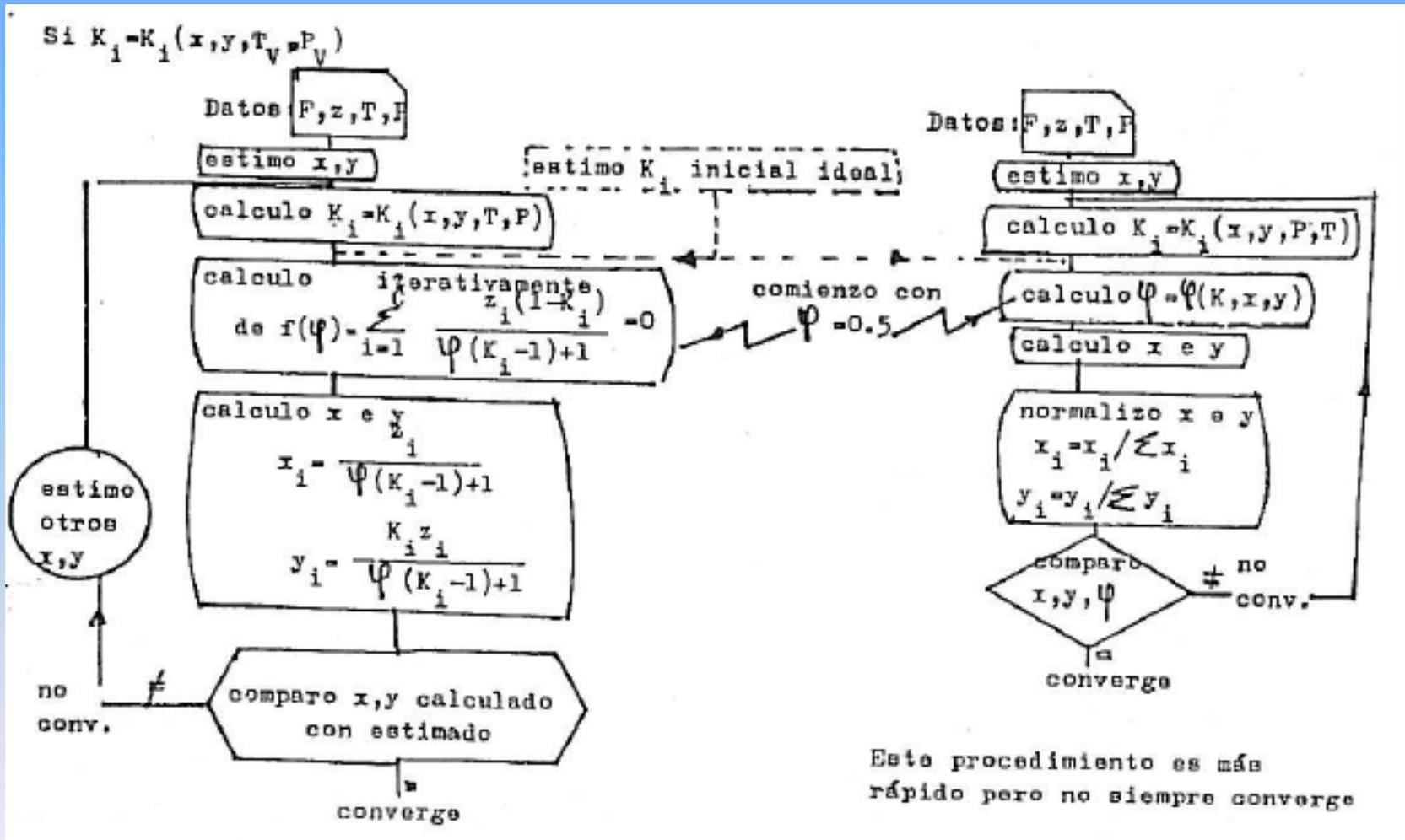
Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- 1) Flash Isotérmico Con K independiente de x, y...



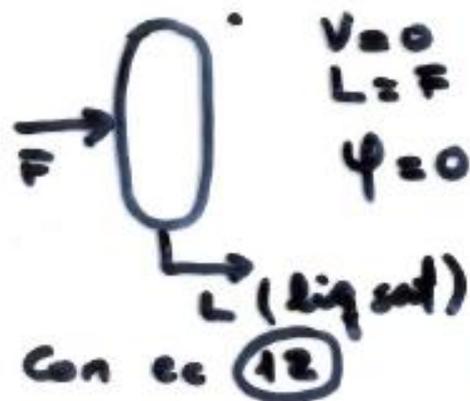
Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- 1) Flash Isotérmico (cont.)
- Si $K(x, y, P, T)$



Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- 3) % Vaporización → Cálculo del Punto de Burbuja



$$x_i = z_i$$

$$y_i = k_i x_i$$

$$\sum_{i=1}^C y_i = \sum_{i=1}^C k_i z_i = 1$$

$$f(0) = 0 = \sum_{i=1}^C \frac{z_i (1 - k_i)}{1} = 0$$

$$\sum_{i=1}^C z_i - \sum_{i=1}^C z_i k_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^C z_i k_i = 1$$

si todos los $k_i < 1$ $f(0) > 0 \rightarrow$ lig subenf.

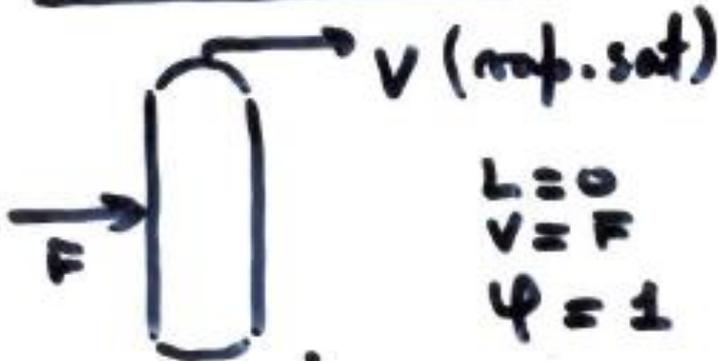
Cuando se puede aplicar Raoult:

$$k_i = p_i^s / P_T \quad \therefore P_{\text{burbuja}} = \sum_{i=1}^C z_i p_i^s$$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- 3) % Vaporización \rightarrow Cálculo del Punto de Rocío

Punto de Rocío



$$\begin{aligned}L &= 0 \\V &= F \\ \psi &= 1\end{aligned}$$

con ee (12)

$$f(i) = 0 \quad \sum_{i=1}^C \frac{z_i (1 - k_i)}{k_i - 1 + 1} = 0$$

$$\therefore \sum_{i=1}^C \frac{z_i}{k_i} - \sum_{i=1}^C z_i = 0$$

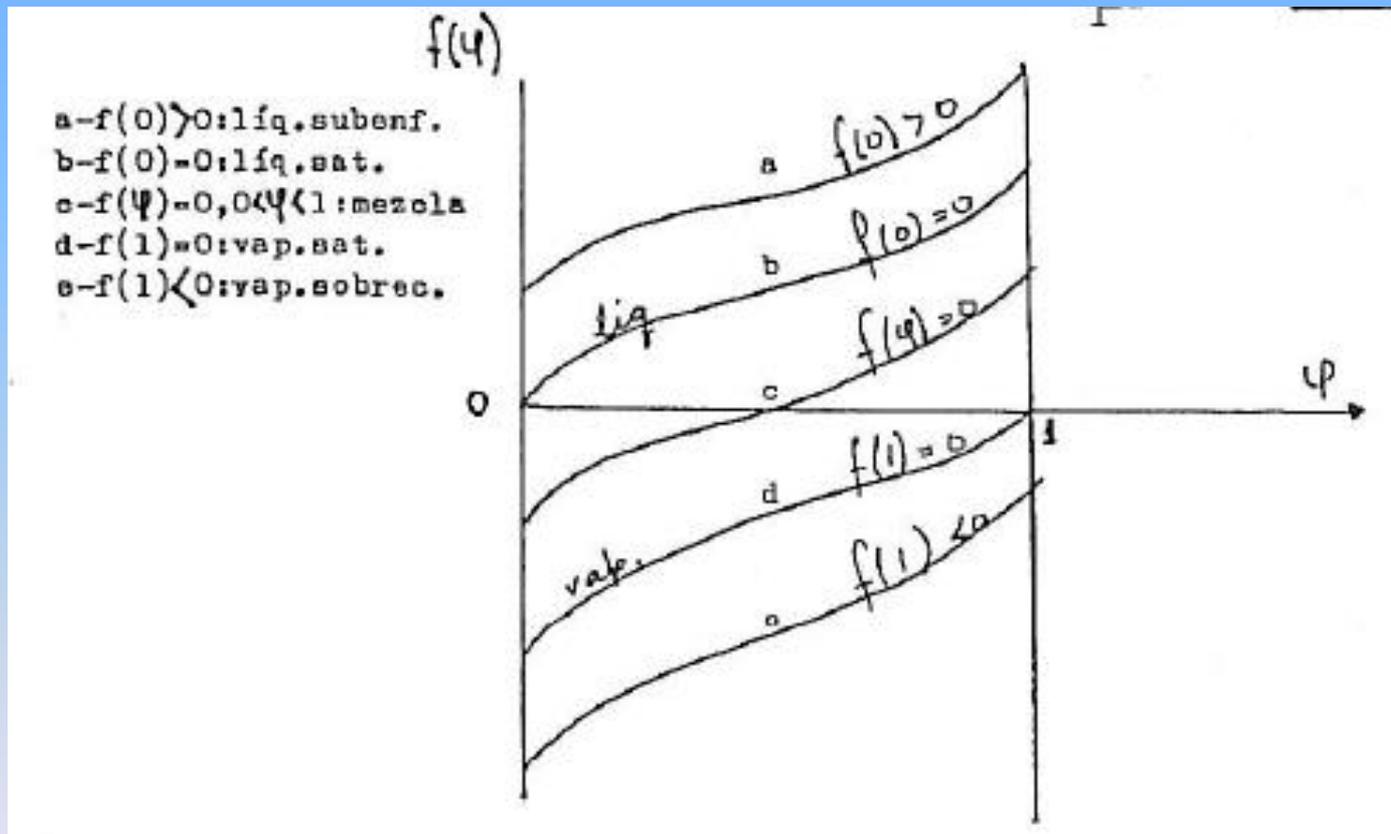
$$\begin{aligned}y_i &= z_i \\x_i &= y_i / k_i \\ \sum_{i=1}^C x_i &= \sum_{i=1}^C \frac{z_i}{k_i} = 1\end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^C \frac{z_i}{k_i} = 1$$

Si todos los $k_i > 1$ $f(i) < 0 \rightarrow$ vap. sobrecalentada

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- 3) % Vaporización \rightarrow Condición térmica



Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

• 2) → Flash Adiabático

Propongo una T flash, se calcula Flash isotérmico → calculo Bce. entálpico

$$f(T_V) = \frac{\psi H_V + (1-\psi)H_L - H_F}{1000} = 0$$

(Se divide por 1000 para que $f(T_V)$ esté en el orden de uno)

Procedimiento de cálculo

Datos: F, z, P_V
 $H_F(T_F, P_F)$

Estimo T_V

Calculo flash isotérmico

Calculo H_V, H_L

Calculo $f(T_V)$

$f(T_V) = 0$

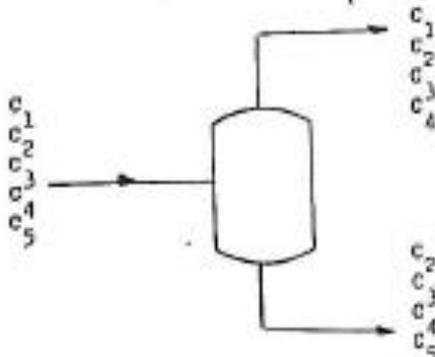
Sí O.K.

Si $f(\psi)$ muy sensible a T (rango ebullición pequeño) se adopta ψ como variable loop externo se calcula $f(T) = \sum \frac{z_i(1-k_i)}{1+\psi(k_i-1)} = 0$ y luego se verifica $f(\psi)$ entálpico = 0 $\psi_{final} = \frac{H_F - H_L}{H_V - H_L}$

no reestimo T_V (hasta que $\frac{T_V^{k+1} - T_V^k}{T_V^k} < 10^{-6}$)

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Diseño del equipo.



C_1, C_2, C_3, C_4, C_5
 C_1, C_2, C_3, C_4 bk (llave pesada)
 C_2, C_3, C_4, C_5 lk (llave liviana)

Llave pesada es el componente más pesado con composición significativa en el destilado.

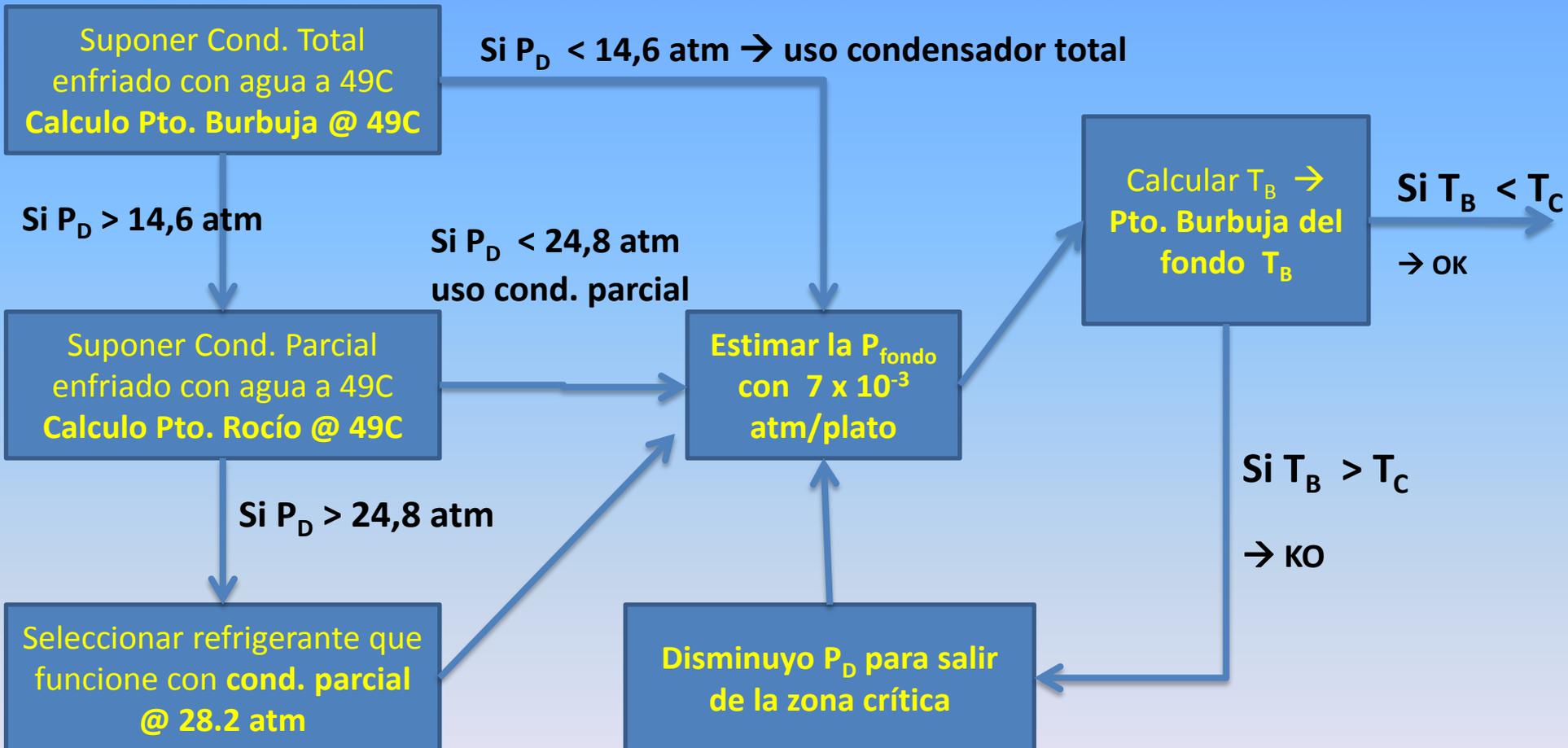
Llave liviana es el componente más liviano con composición significativa en el residuo.

Para el caso de una torre sencilla la cantidad de variables a fijar para obtener una solución única sigue siendo $C+6$

Sistema binario sin pérdidas de Q y con condensador total	Sistema multicomponente sin pérdida de Q y con condensador total
<ul style="list-style-type: none">) F) q) z_F) $P_{trab.}$ (adoptado por quien diseña)) $R=1.2R_{min}$ (adoptado por quien diseña)) $t_F=t\phi$ (condición de diseño óptimo)) x_D (especificaciones, pueden ser otras dos composiciones, "no llaves")) x_W 	<ul style="list-style-type: none"> 1) F 2) P_F y T_F (resolviendo el flash: q) 3) $z_{F,j}$ (C-1) 4) $P_{trabajo}$ (depende de la del H_2O de enfriam.) 5) $R=1.2R_{min}$ 6) $t_F=t\phi$ 7) $x_{lk,D}$ 8) $x_{hk,D}$
Total: C+6	Total: C+6

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Cálculo de P del Condensador → Presión de la torre.**



Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Flasheo de F a la Presión de la torre.**

FLASHEO DE F

Calculo con P_D o con un promedio de la presión de tope y fondo si fueran muy diferentes, el flash adiabático

Punto de burbuja a P_D \therefore $\psi = \frac{V}{P}$ se obtiene q con T_F , P_F y P_D
Punto de rocío a P_D

- **Volatilidad Relativa.**

- **Alpha (relative volatility) is a measure of the intrinsic difficulty in using fractionation to separate two components**
- **It is the ratio of the vapor liquid equilibrium K values for two components**
LK = Light Key Component
HK = Heavy Key Component

$$\alpha = \left(\frac{K_{LK}}{K_{HK}} \right)$$

en general 

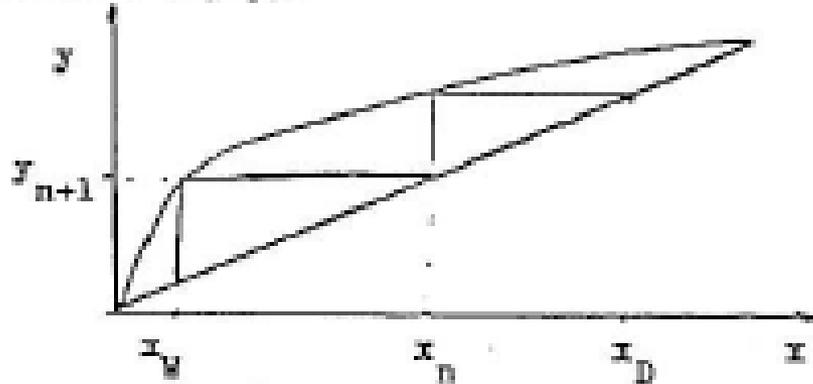
$$\alpha_{i,D} = \frac{K_{i,D}}{K_{HK,D}}$$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Cálculo de N_{\min} (Reflujo Total) \rightarrow Método de Fenske

NUMERO MINIMO DE PLATOS Y REFLUJO TOTAL POR FENSKE

en un sistema binario



En reflujo total $y_{n+1} = x_n$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Cálculo de N_{\min} (Reflujo Total) \rightarrow Fenske (cont.)

$$\alpha_i = \frac{K_i}{K_{hk}}$$

$$y_{i,n} = x_{i,n-1} \quad y \quad \alpha_{i,n} = \frac{y_{i,n} / y_{hk,n}}{x_{i,n} / x_{hk,n}}$$

en el fondo de la torre:

$$\alpha_{i,W} = \frac{y_{i,W} / y_{hk,W}}{x_{i,W} / x_{hk,W}}$$

$$y_{i,W} = x_{i,Np}$$

$$\alpha_{i,Np} = \frac{y_{i,Np} / y_{hk,Np}}{x_{i,Np} / x_{hk,Np}}$$

$$\frac{y_{i,Np}}{y_{hk,Np}} = \alpha_{i,Np} \alpha_{i,W} \frac{x_{i,W}}{x_{hk,W}}$$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

• Cálculo de N_{\min} (Reflujo Total) \rightarrow Fenske (cont.)

en el plato 1 :

$$\frac{y_{i,l}}{y_{hk,l}} = \underbrace{\alpha_{i,1} \alpha_{i,2} \dots \alpha_{i,Np} \alpha_{i,W}}_{\alpha_{i,pr}^{N_{\min}+1}} \frac{x_{i,W}}{x_{hk,W}} = \frac{x_{i,D}}{x_{hk,D}} \quad \text{ec.1}$$

$$\alpha_{i,pr} = \sqrt{\alpha_{i,l} \alpha_{i,W}}$$

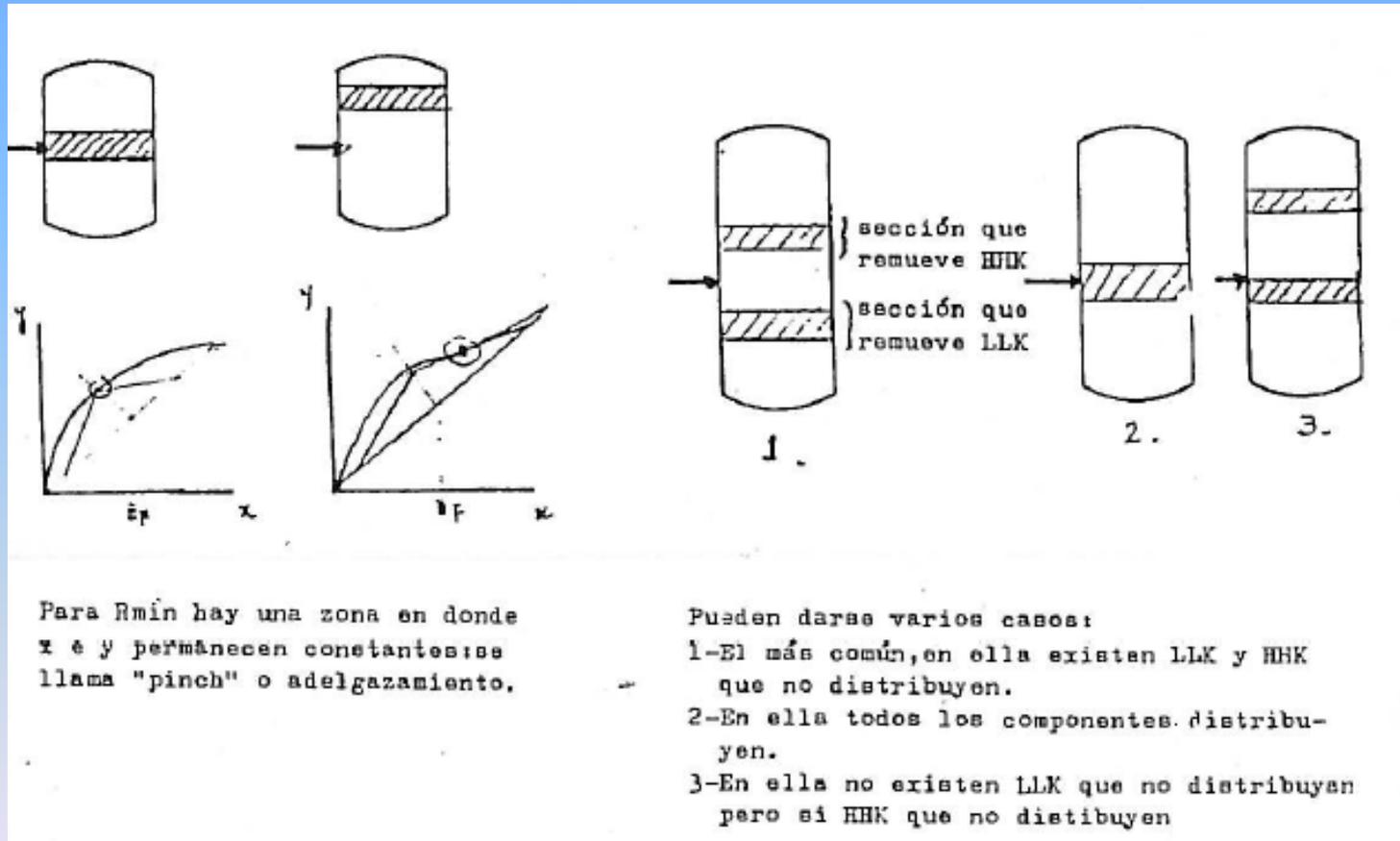
$$N_{pmin} + 1 = \frac{\log \frac{x_{lk,D}}{x_{hk,D}} \frac{x_{hk,W}}{x_{lk,W}}}{\log \alpha_{lk,pr}}$$

El método se desarrolla con las siguientes hipótesis simplificativas:
L/G=cte. y α =cte.

1. Evaluate α_{av} at $T_{av} = (T_{top} + T_{bot})/2$
2. $\alpha_{av} = (\alpha_{top} + \alpha_{bot})/2$
3. $\alpha_{av} = \alpha$ at feed tray temperature
4. $\alpha_{av} = \sqrt{\alpha_{top} \alpha_{bot}}$
5. $\alpha_{av} = \sqrt[3]{\alpha_{top} \alpha_{mid} \alpha_{bot}}$

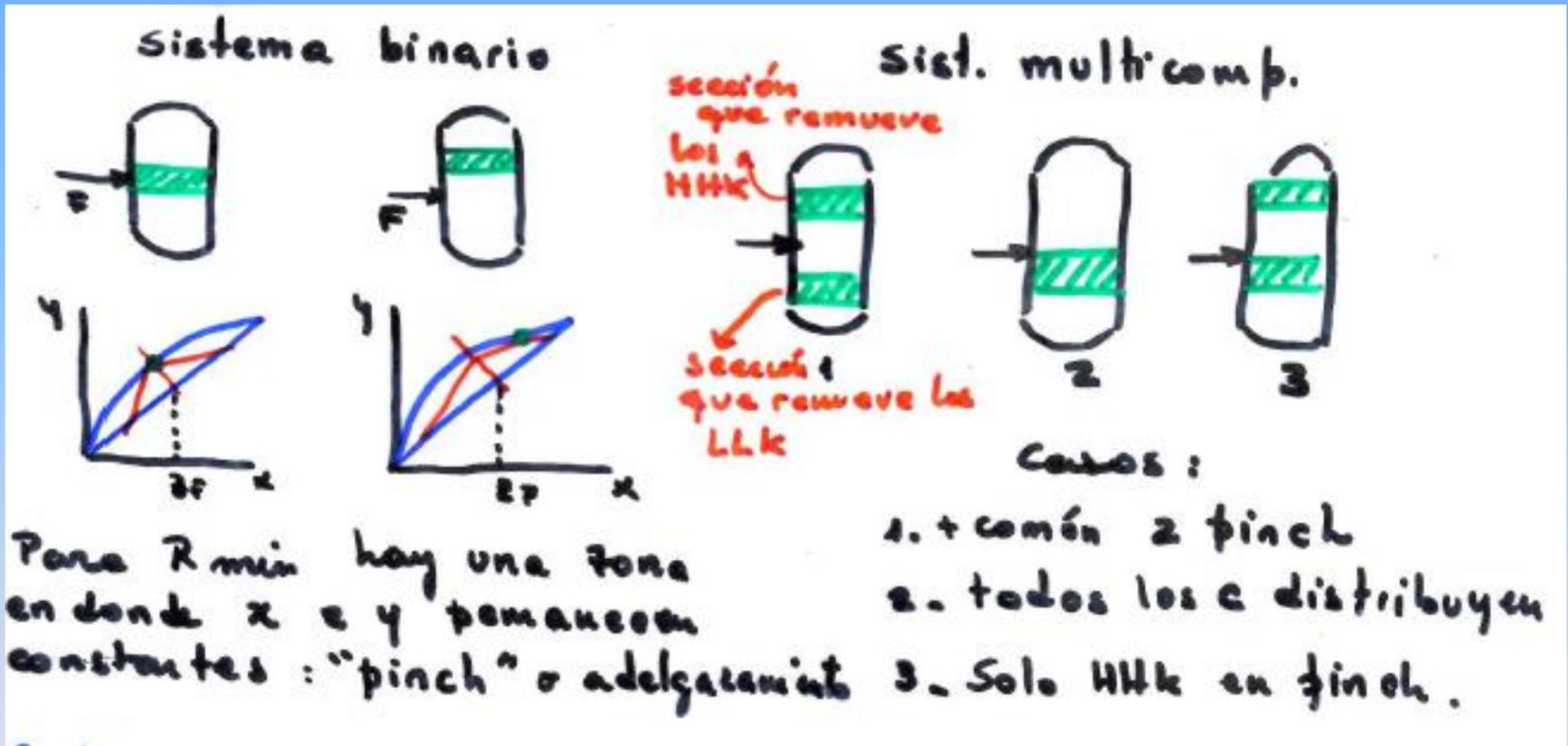
Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Cálculo de R_{min} ($N_p = \infty$) \rightarrow Underwood



Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

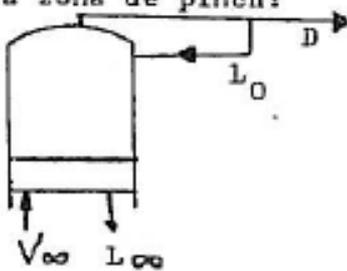
- Cálculo de R_{min} (infinito número etapas)



Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

• Cálculo de Rmin (cont.)

En la zona de pinch:



Zona de enriquecimiento con $R_{min} = L_{\infty} / D$

$$y_{i,\infty} = K_{i,\infty} x_{i,\infty}$$

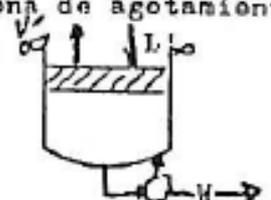
$$V_{\infty} = L_{\infty} + D$$

$$y_{i,\infty} V_{\infty} = x_{i,\infty} L_{\infty} + x_{i,D} D$$

Se resuelve $\forall i$ entre 1 y HK

$$\sum_{i=1}^{hk} \frac{\alpha_i x_{i,D} D}{\alpha_i - \beta} = D (R_{min} + 1) \quad \text{ec. A}$$

Zona de agotamiento:



con $R'_{min} = L'_0 / W$

$$\sum_{i=lk}^c \frac{\alpha'_i x_{i,W} W}{\alpha'_i - \beta'_i} = W (1 - R'_{min})$$

En toda la torre con $qF = L'_0 - L_{\infty}$

Hipótesis de Underwood:
 1-caudales molares constantes en cada zona. 2- α constante.

$$\sum_{i=1}^c \frac{\alpha_i x_{i,F} F}{\alpha_i - \beta} = F (1 - q) \quad \text{ec. B}$$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Cálculo de R_{min} (cont.)

Se resuelve la ec B para encontrar los ϕ reales y positivos (uno más que los comp. entre llaves)

$lk = C_2$
 $hk = C_5$
 C_6 y C_1 no distr.

Se supone T_T y T_F

Se plantea ec A para cada $\phi \Rightarrow Dx_{i,0}$ y R_{min}
En el ejemplo quedarán 3 ec. con 3 incógnitas:
 R_{min} ; $Dx_{3,0}$; $Dx_{4,0}$. Con resultados T_{Tops} y $T_F \rightarrow$ reales.

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Verificación de componentes llave → Shiras

VERIFICACION DE LLAVES POR SHIRAS

Para Shiras propuso una ecuación para decidir cuales serán los componentes llaves.

$$\frac{x_{i,D} \cdot D}{z_{i,F} \cdot F} = \frac{\alpha_i - 1}{\alpha_{lk} - 1} \frac{x_{lk,D} \cdot D}{z_{lk,F} \cdot F} + \frac{\alpha_{lk} - \alpha_i}{\alpha_{lk} - 1} \frac{x_{hk,D} \cdot D}{z_{hk,F} \cdot F}$$

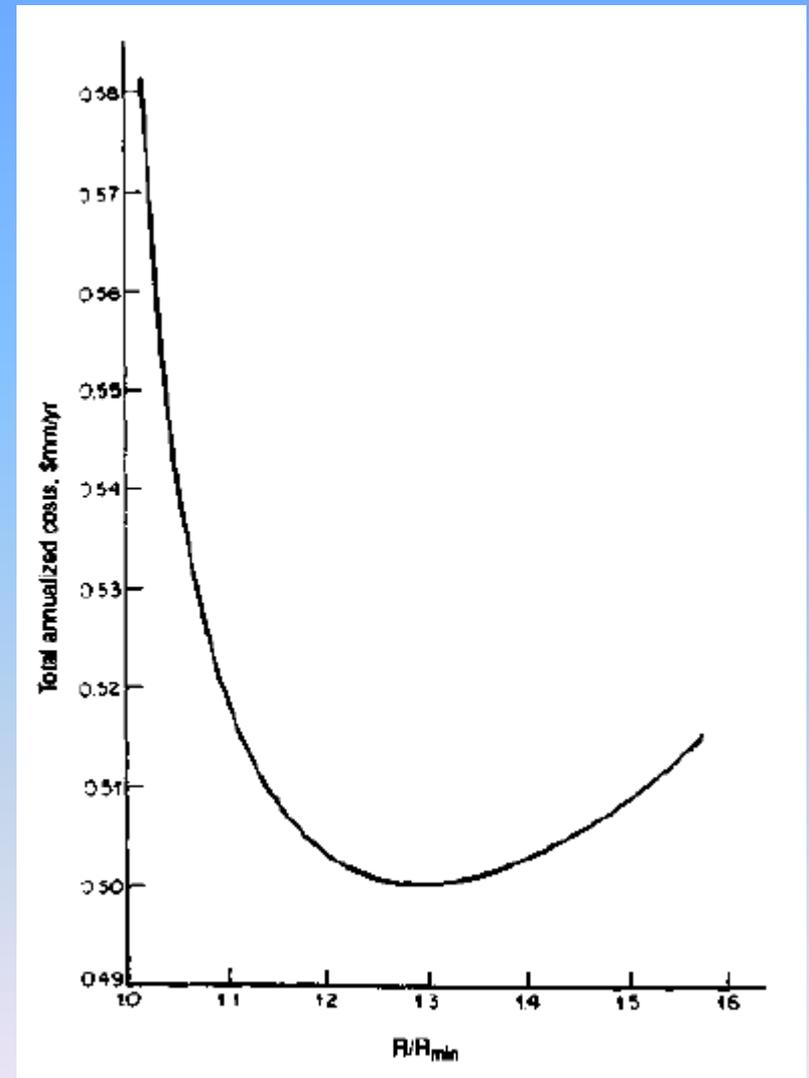
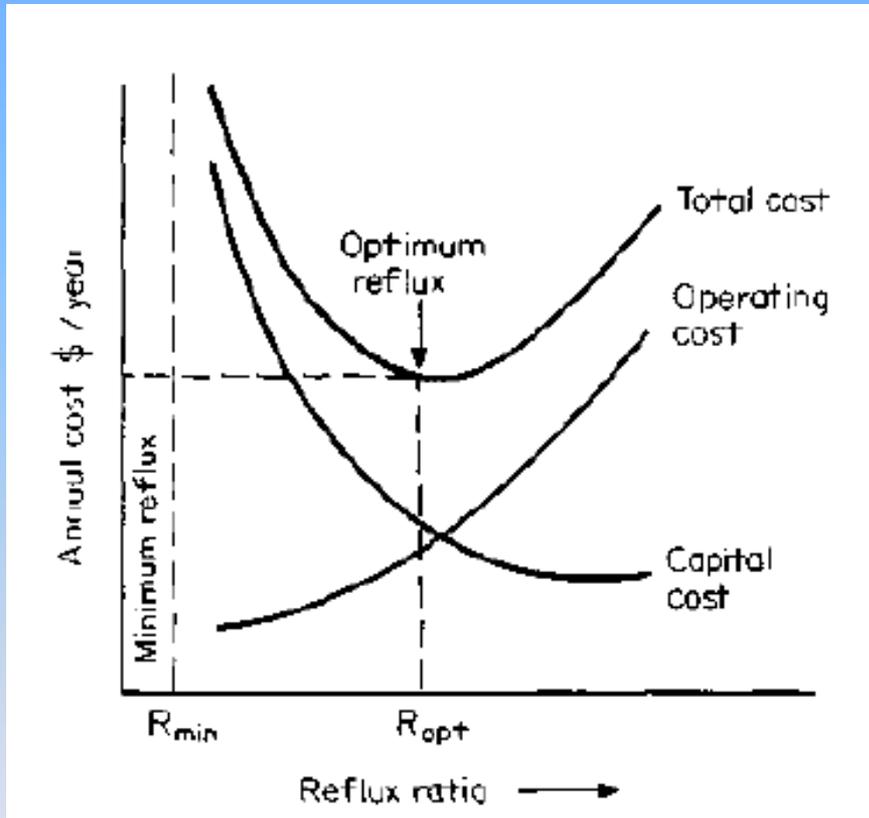
Si $x_{i,D} \cdot D / z_{i,F} \cdot F$ es menor que 0.01 o mayor que 1.01 el componente i
PROBABLEMENTE NO DISTRIBUYE
Si está entre 0.01 y 1.01 DISTRIBUYE

Los cálculos se pueden realizar con estimaciones iniciales y corregirlos con los resultados de UNDERWOOD.

Si $0.01 < d_i / f_i < 0.99 \rightarrow$ El componente DISTRIBUYE

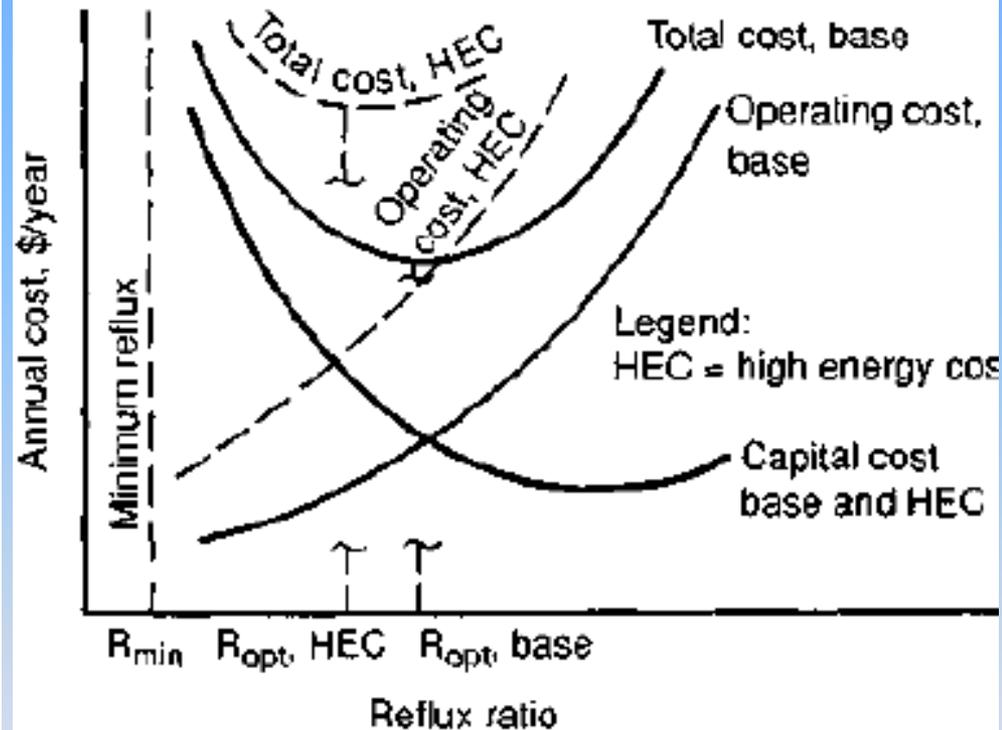
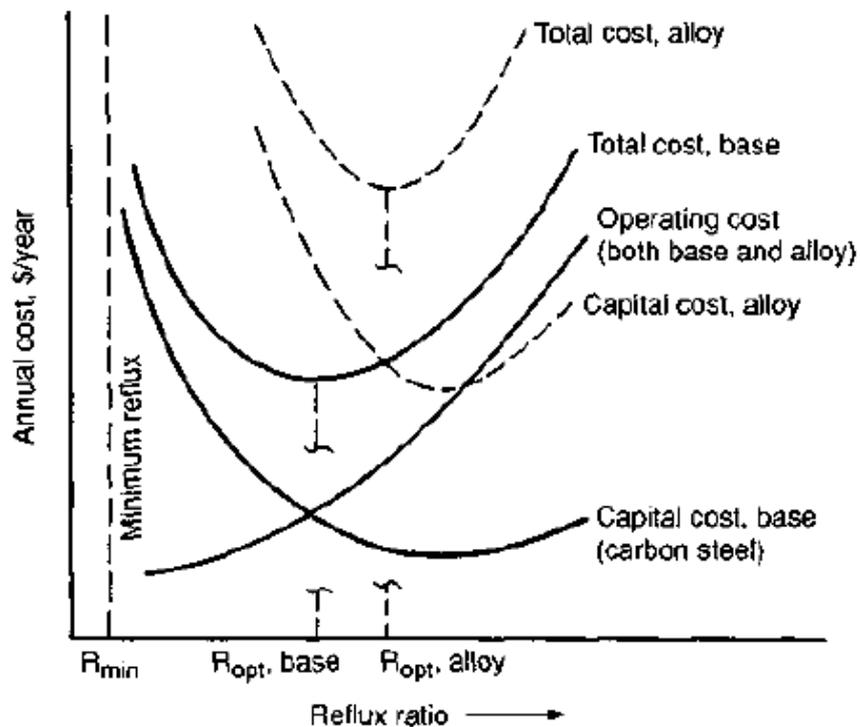
Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Análisis R_{op} óptimo



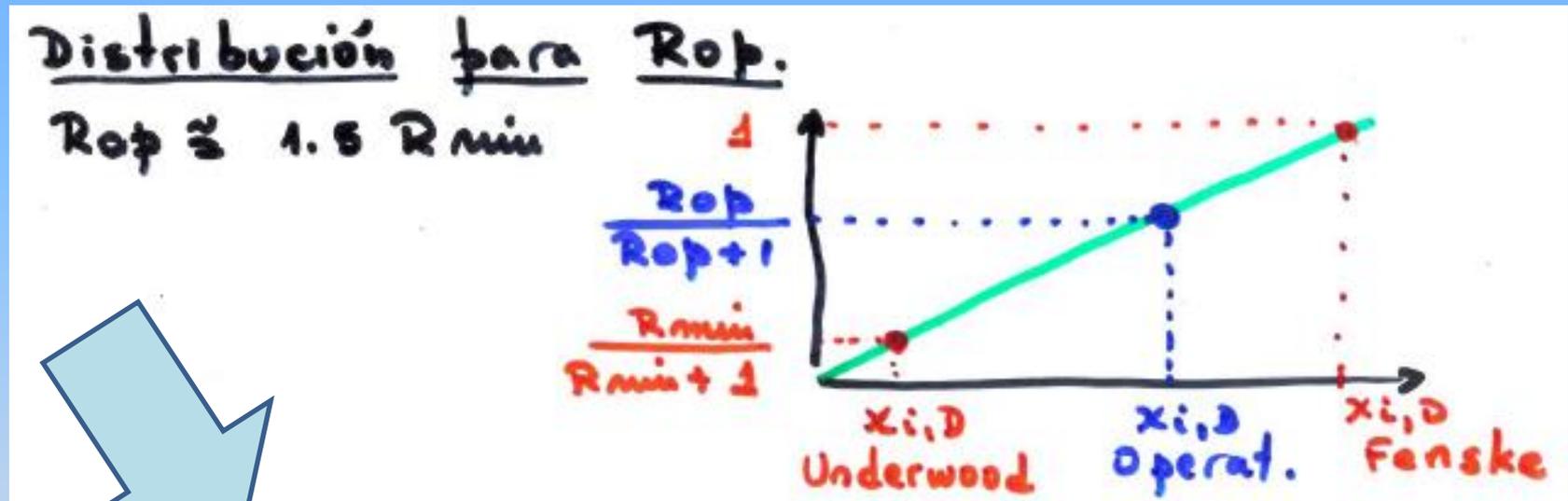
Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Análisis Rop óptimo**



Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Distribución de componentes a R operativo



Una vez definido el R_{op} → realizo una interpolación lineal para determinar las distribuciones de los componentes ENTRE llaves

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Cálculo del N_p @ Roperativo

Existen correlaciones gráficas que permiten obtener el N_p .

Las más comunes son la de Gilliland y la de Erbar-Maddox (más precisa para Rop cercanos a R_{min}). La primera fue correlacionada analíticamente por:

Eduljee:
$$Y = 0.75 (1 - X^{0,5668})$$

Molokanov:
$$Y = 1 - \exp \left(\left(\frac{1 + 54.4 X}{11 + 117.2 X} \right) \left(\frac{X - 1}{X^{0.5}} \right) \right)$$

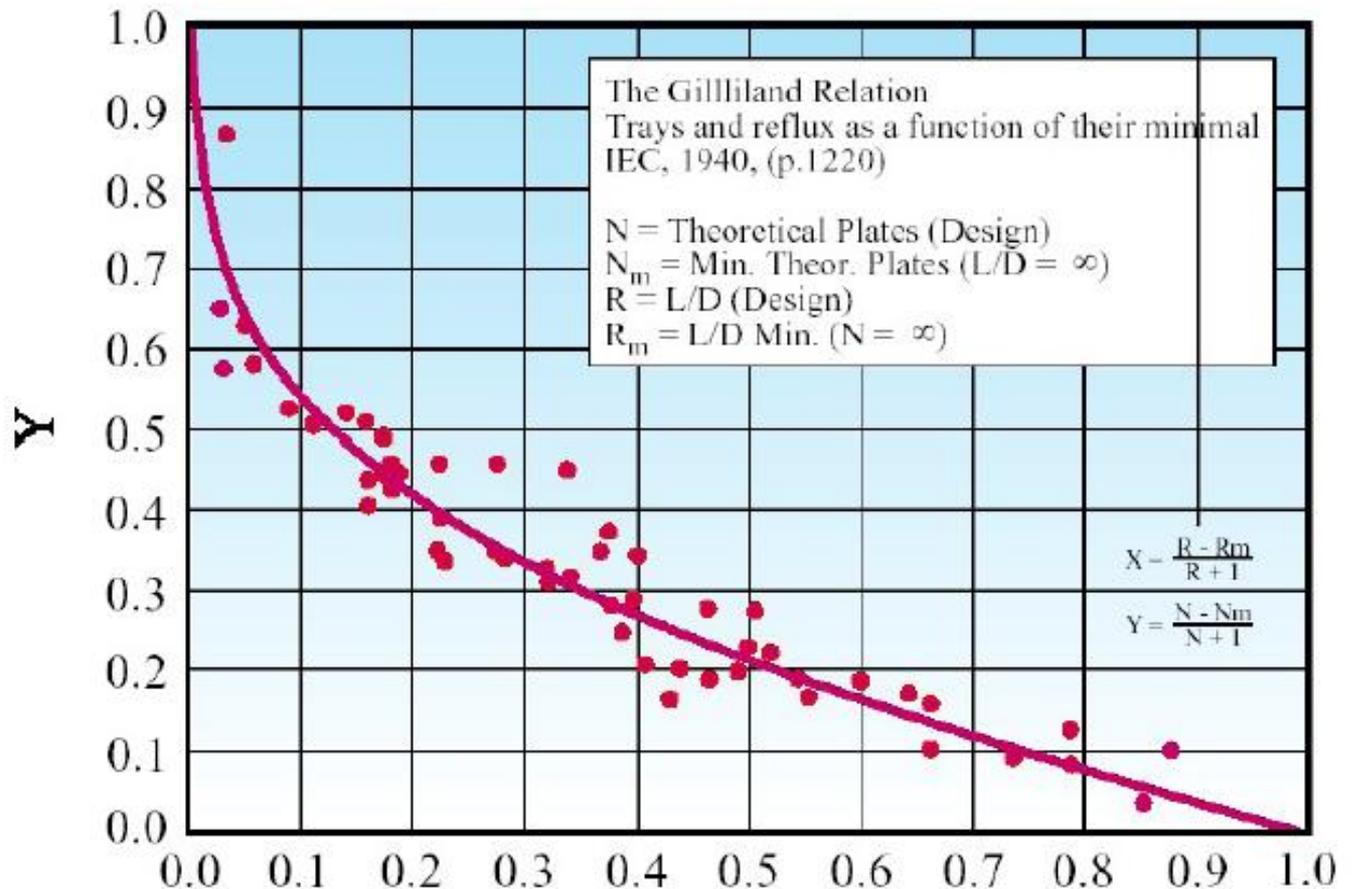
donde
$$Y = \frac{N - N_{min}}{N + 1}$$

$$X = \frac{R - R_{min}}{R + 1}$$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Cálculo del Np @ Roperativo (cont.)

Correlacion de Gilliland



Correlaciones de Gilliland y Erbar-Maddox

$Y = 0.75 (1 - X^{0.5668})$: Eduljee

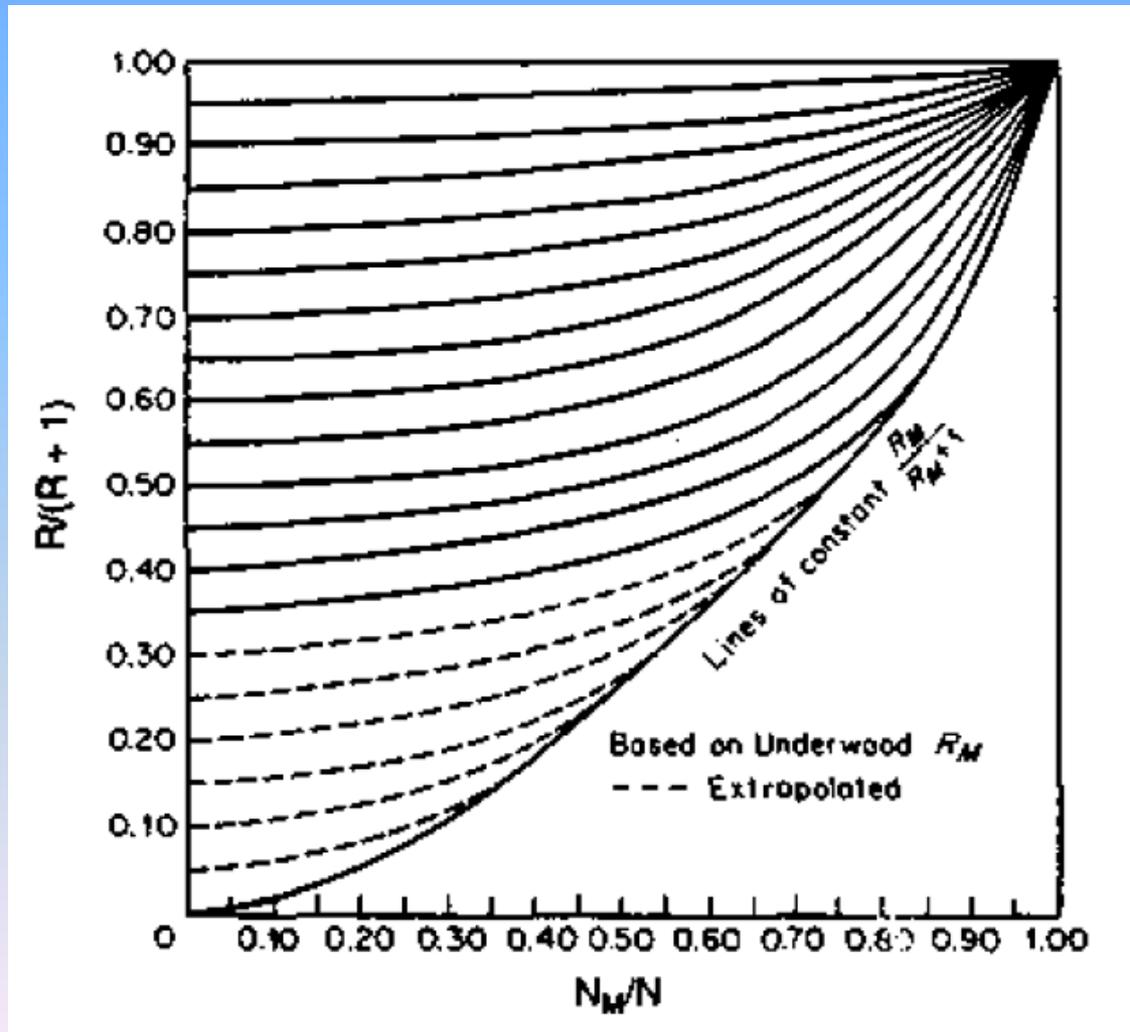
$Y = 1 - \exp\left(\left(\frac{1 + 54.4 X}{11 + 119.2 X}\right)\left(\frac{R-1}{X^{0.675}}\right)\right)$: Molokanov

$Y = \frac{N - N_{min}}{N + 1}$

$X = \frac{R - R_{min}}{R + 1}$

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Cálculo del N_p @ Roperativo (cont.)



Correlacion
de
Erbar-Maddox

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Cálculo del plato de alimentación**

Ecuación de Kirkbride

$$\frac{Nr}{Ns} = \left\{ \frac{Z_{hk,F}}{Z_{lk,F}} * \left(\frac{x_{lk,W}}{x_{hk,D}} \right)^2 * \frac{W}{D} \right\}^{0,206}$$

N_F se ubicará donde se corten las curvas de enriquecimiento y agotamiento

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Simulación

Getting Started

- **Look at what you are trying to accomplish**
- **Product quality or purity, stabilize products, split across a mixture for later processing**
- **Plan a little with pencil and paper if needed – map rates and profiles (material balance)**
- **Get to know the system and what we are separating – what components go where**
- **Get to know the feed, get a feel for the equilibrium**
- **Start simple and then move to more difficult product conditions**
- **There may be a composition or recovery goal but let float what the operator might turn to meet the goal such as duty or reflux**

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Simulación**

Estimates

- **Some systems require better estimates than common hydrocarbon mixtures**
- **Presence of water – especially if the K-value method allows greater mixing of water to the hydrocarbon other than minor solubility**
- **Non-ideal systems such as Alcohol/Hydrocarbon**
- **The more complex the column – exchangers, side equipment, side products, more than one feed – the more the estimates required**
- **The wider the boiling mixture, the greater the need for estimates – temperatures and heat effects in the column mean shifts in flows**
- **Narrow split between key components but with the presence of light components and non-condensables**

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

Muchas Gracias