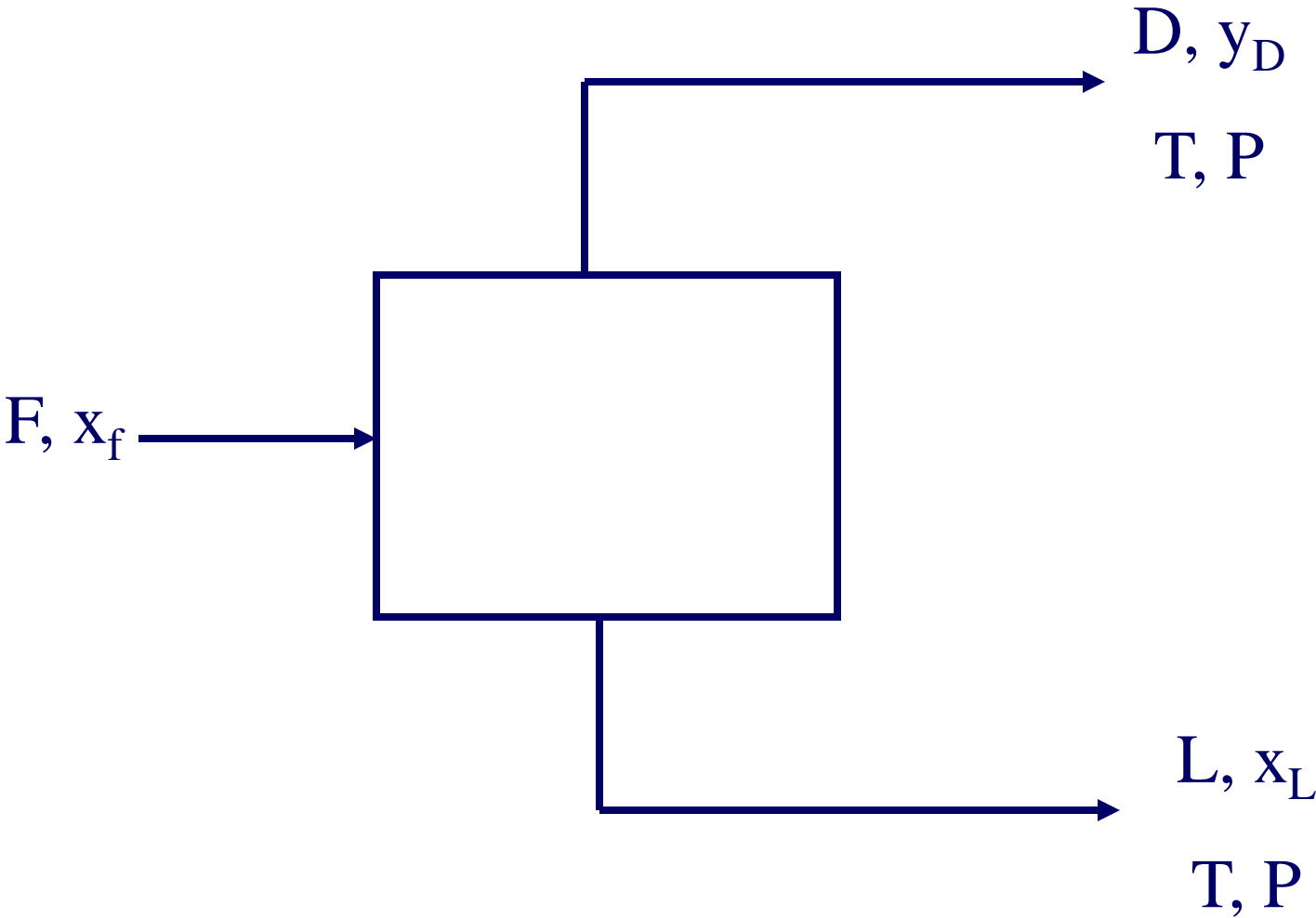


DESTILACIÓN

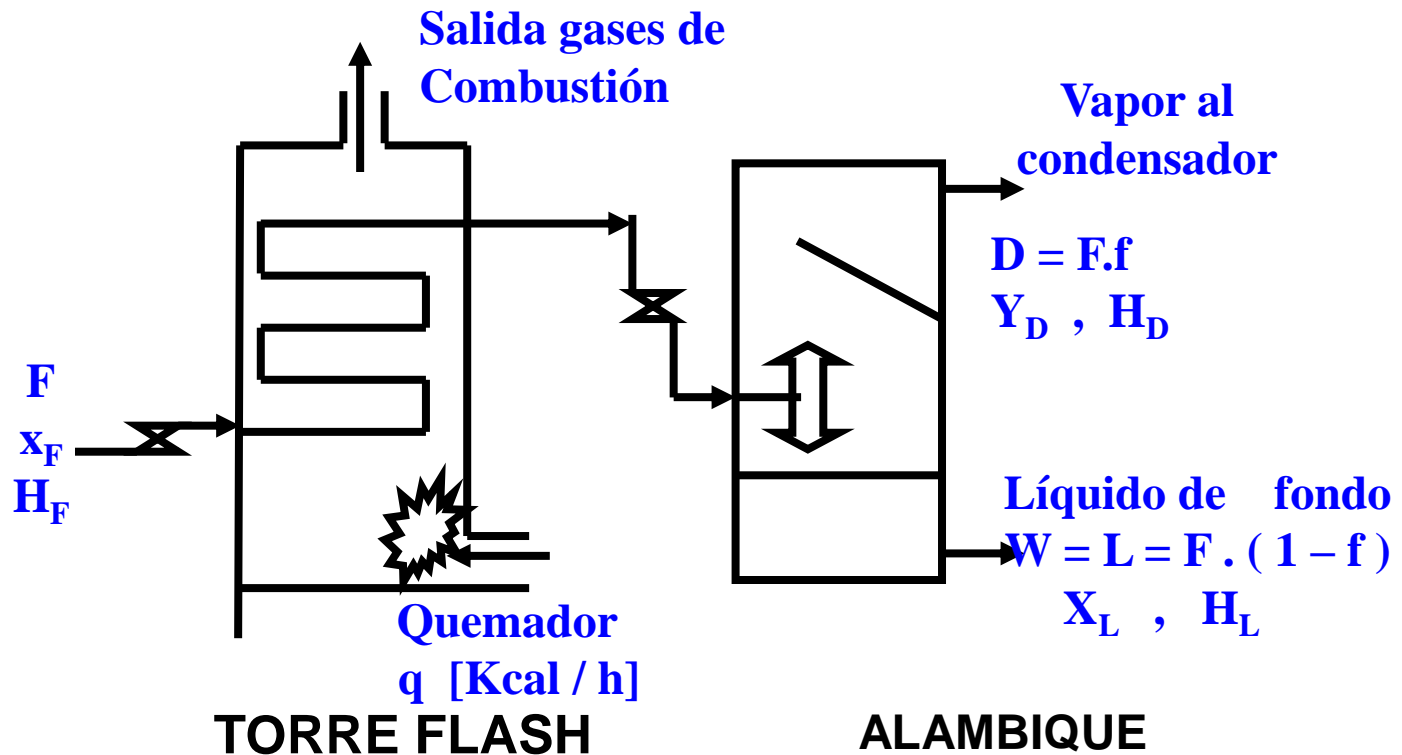
Introducción y método de cálculo
Mc. Cabe Thiele

La destilación es la separación de dos componentes basados en la volatilidad relativa. Se calienta la mezcla de forma tal de evaporar al componente más liviano y este se condensa separado del líquido para evitar su mezclado nuevamente

Destilación instantánea



DESTILACIÓN INSTANTÁNEA DE EQUILIBRIO



Por B.Global: $F = D + W = F f + F (1 - f)$ [1]

P/el más volátil: $F x_F = F f y_D + F (1 - f) x_L = D y_D + L x_L$ [2]

DESTILACIÓN INSTANTÁNEA DE EQUILIBRIO (2)

Por balance de energía:

$$H_F + q = F f H_D + F (1 - f) H_L = D H_D + L H_L \quad [3]$$

Combinando estas ecuaciones obtenemos la relación residuo alimentación:

$$\frac{L}{D} = \frac{-(Y_D - X_F)}{(X_F - X_L)} \longrightarrow \frac{L}{D} = \frac{Y_D - X_F}{X_L - X_F} \quad [4]$$

Destilación Instantánea (3)

$$\frac{L}{D} = \frac{[H_D - (H_F + Q/F)]}{[H_F - H_L + Q/F]} \longrightarrow -\frac{L}{D} = \frac{H_D - (H_F + Q/F)}{H_L - (H_F + Q/F)} \quad [5]$$

Combinando [4] y [5] Obtenemos:

$$-\frac{F \cdot (1-f)}{F \cdot f} = -\frac{L}{D} = \frac{Y_D - X_F}{X_F - X_L} = \frac{H_D - (H_F + Q/F)}{H_L - (H_F + Q/F)} \quad [6]$$

Destilación continua de una etapa

Sabemos que:

▪ Líquidos livianos:

- Moléculas pequeñas.
- Vaporizan fácilmente.
- Alta volatilidad.

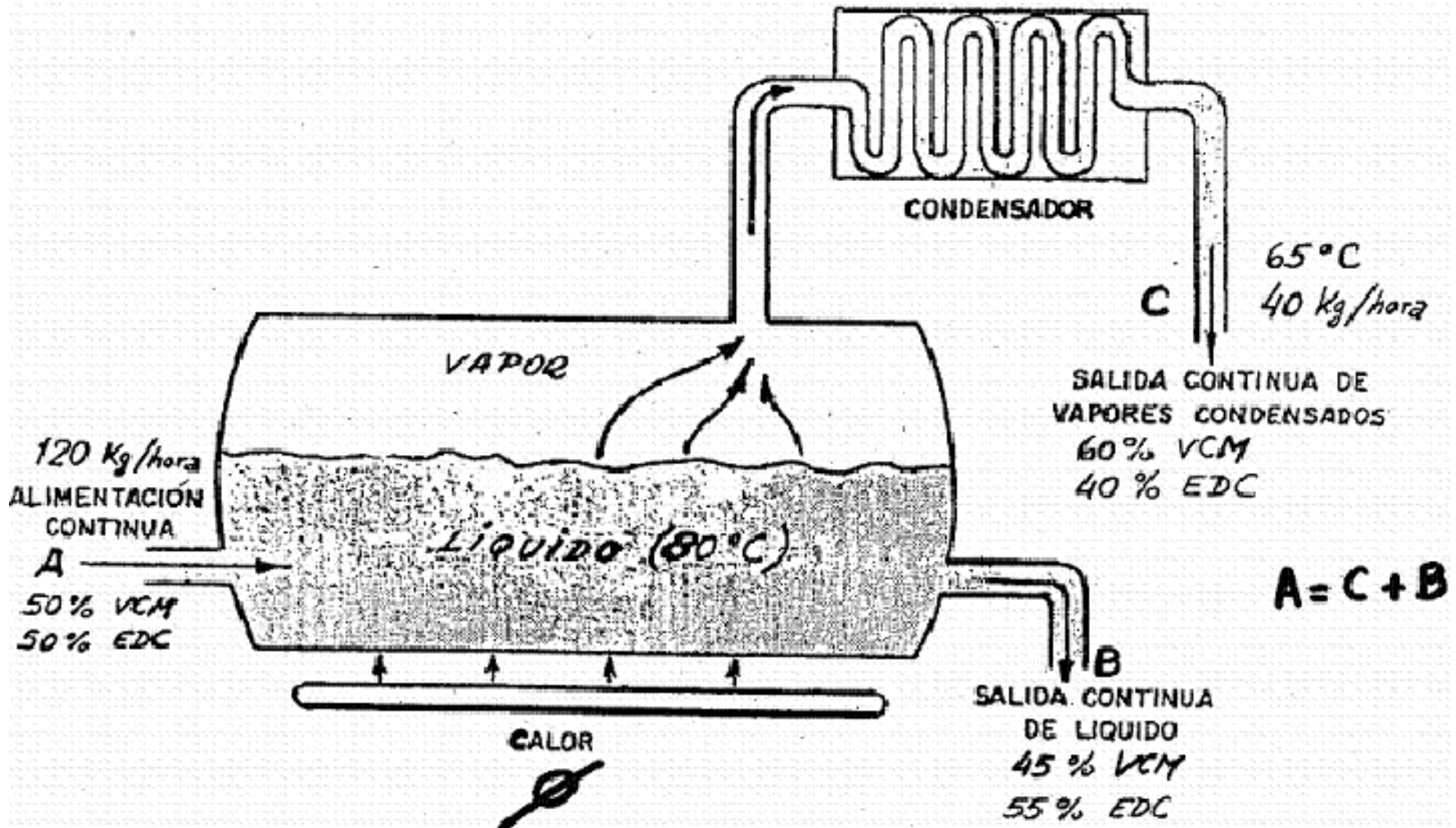
▪ Líquidos pesados:

- Moléculas grandes.
- Difícil vaporización.
- Baja volatilidad.

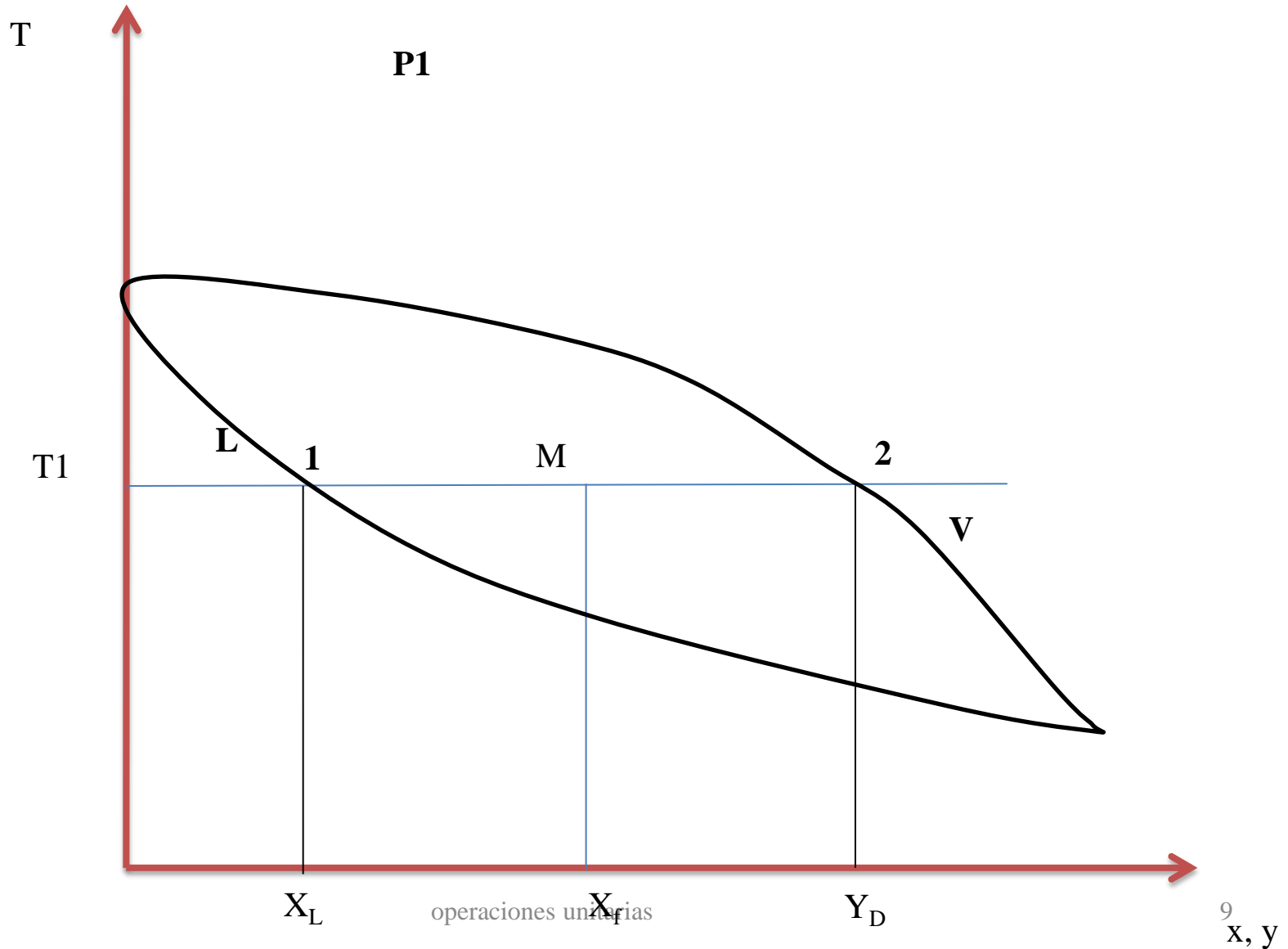
▪ Consideremos una mezcla de dos compuestos de diferente volatilidad

▪ Proceso continuo sin acumulación

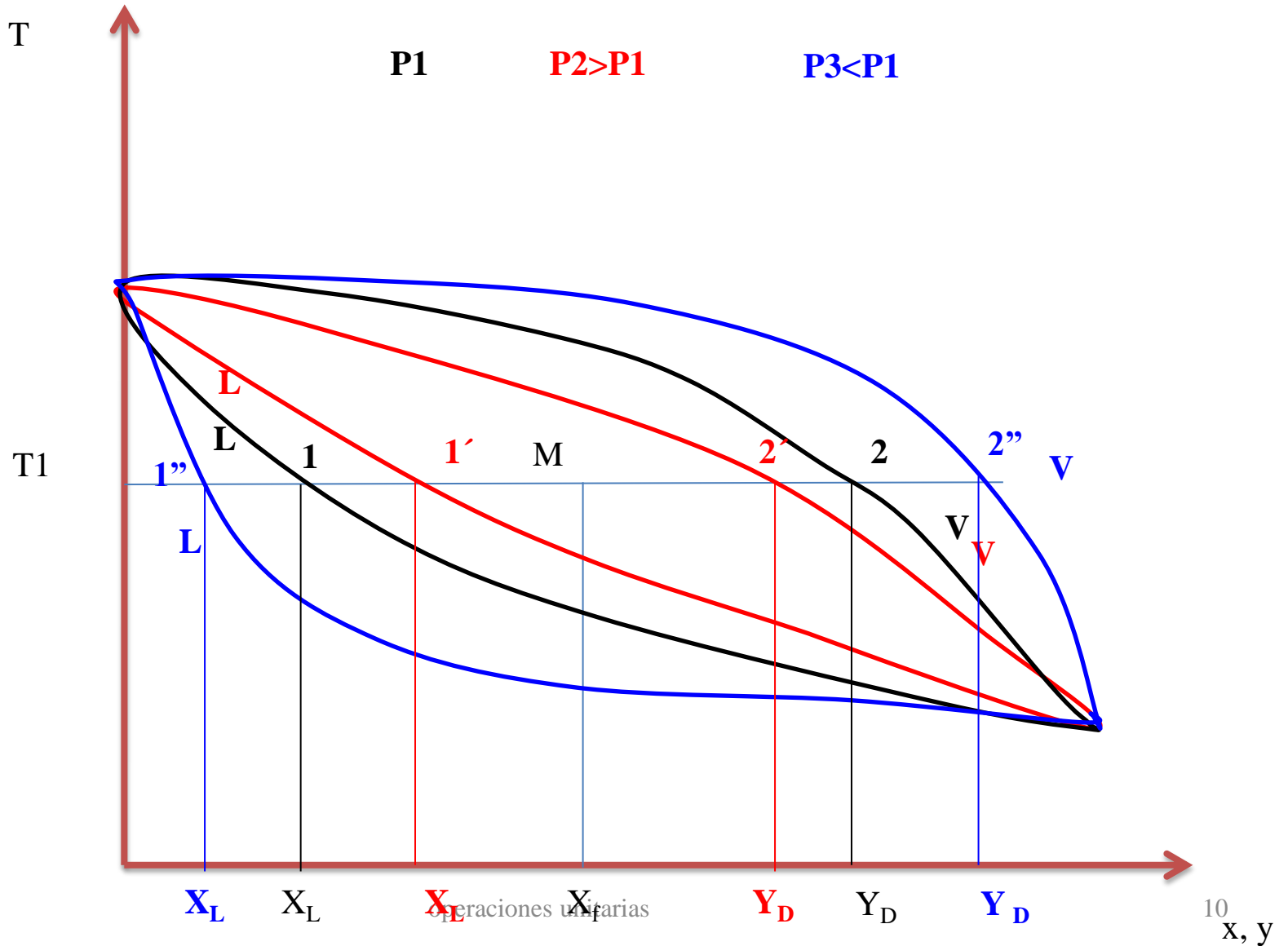
▪ Descripción del proceso.



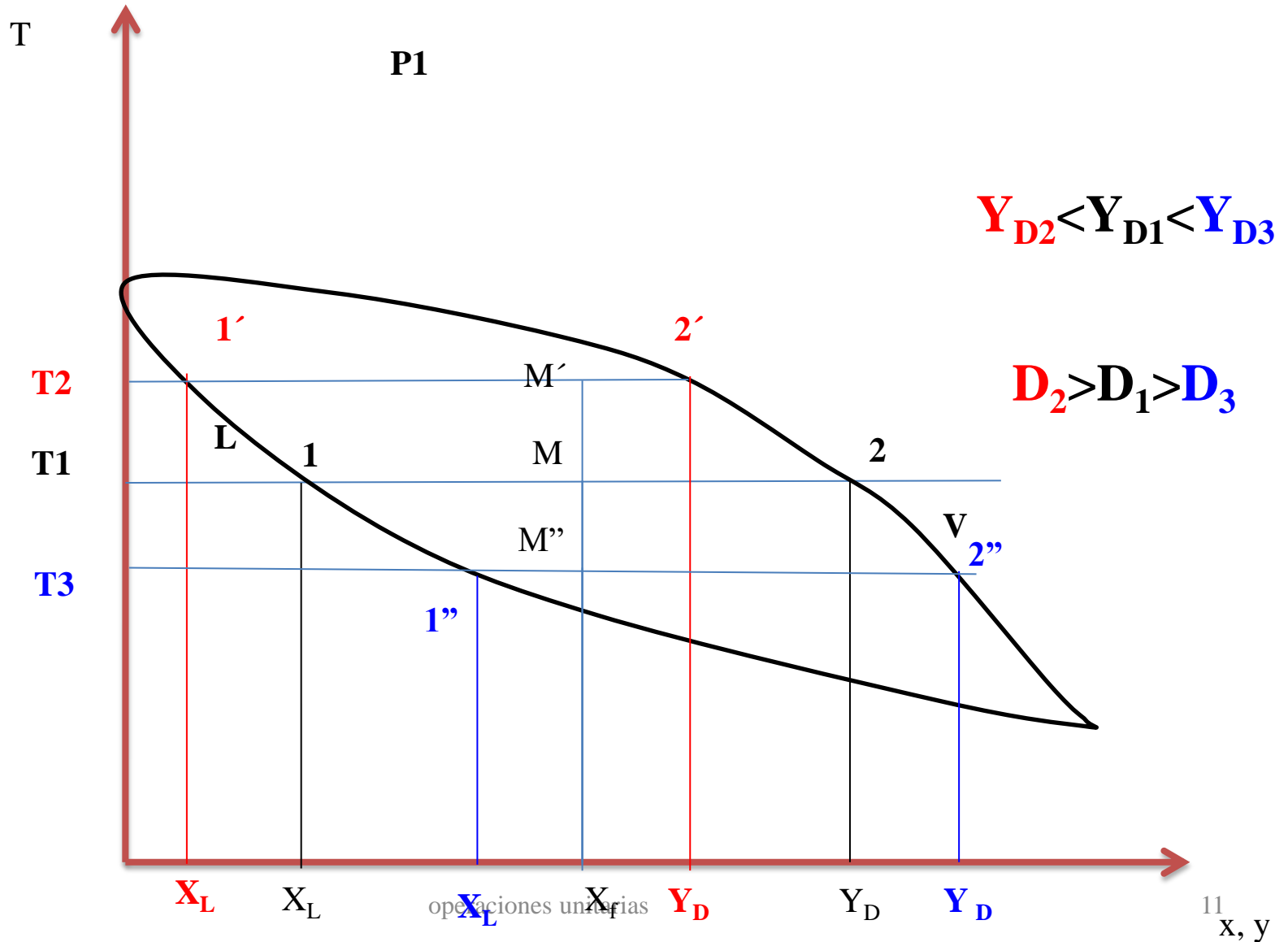
▪ Distribución de productos.



INFLUENCIA DE LA PRESION



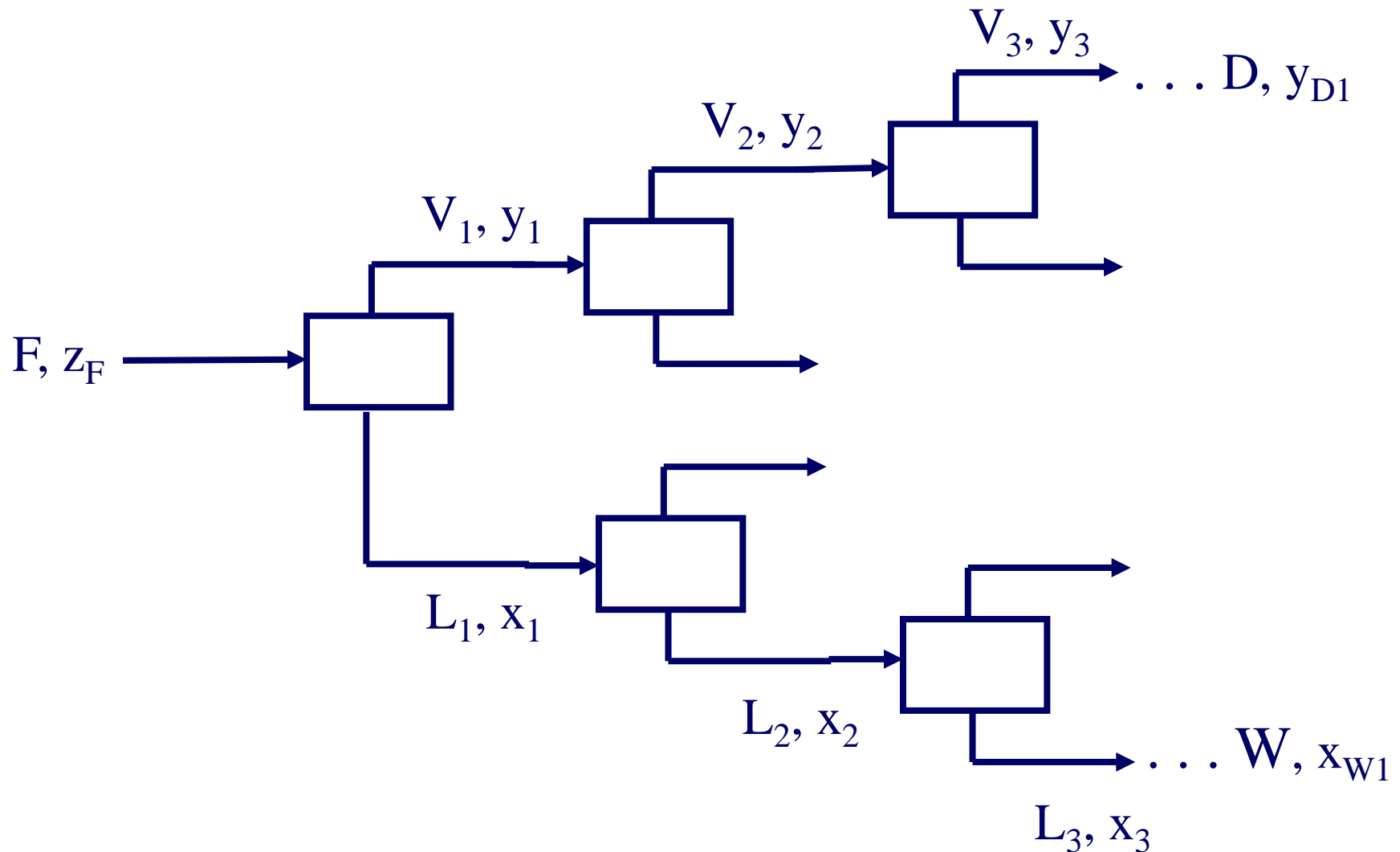
EFECTO DE LA TEMPERATURA – CALIDAD y CAUDAL DEL PRODUCTO



DESTILACIÓN CONTINUA DE ETAPAS MÚLTIPLES

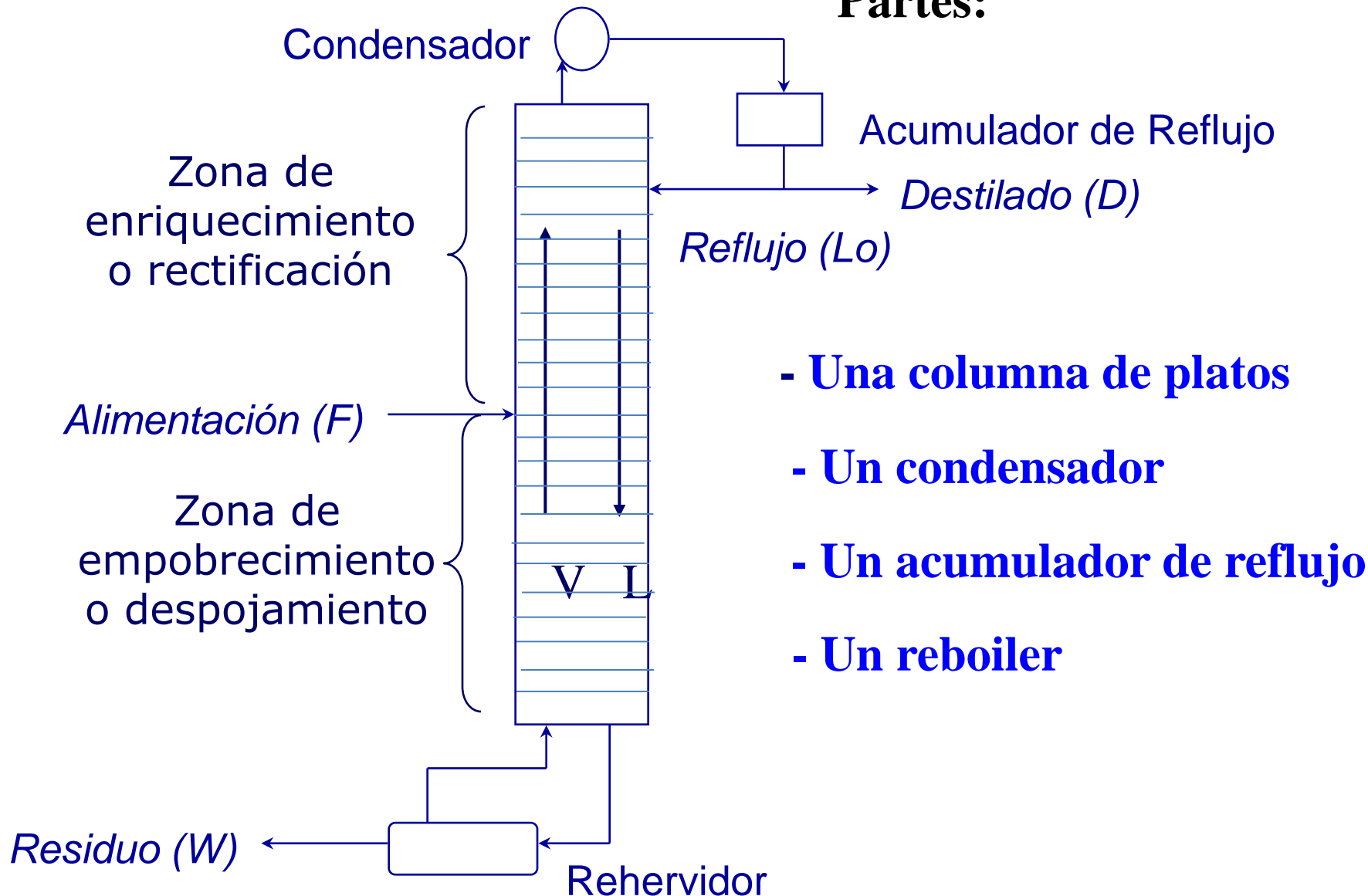
La destilación fraccionada vista como destilaciones instantáneas en serie

Cómo obtener productos de alta pureza ($> 99.9\%$).

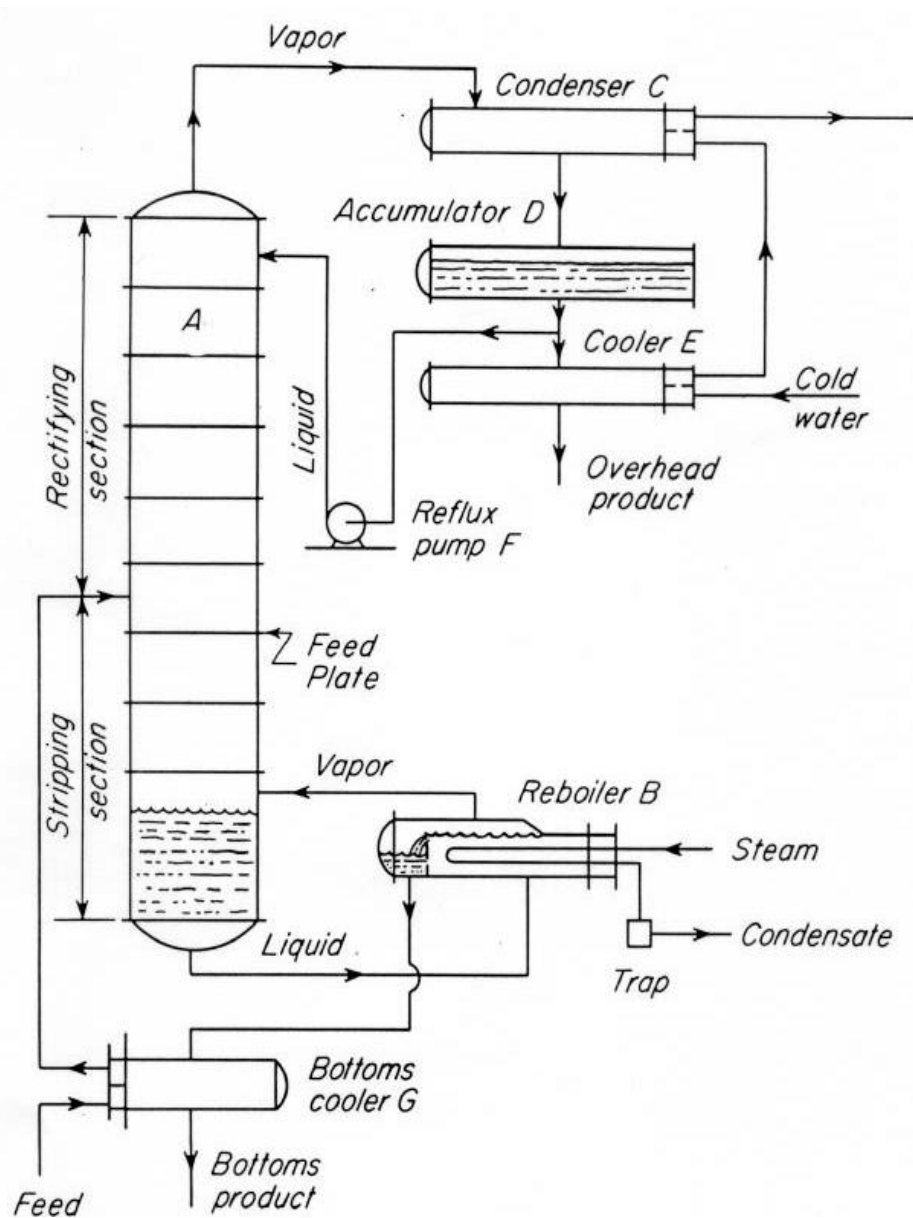


Esquema general de una columna de destilación

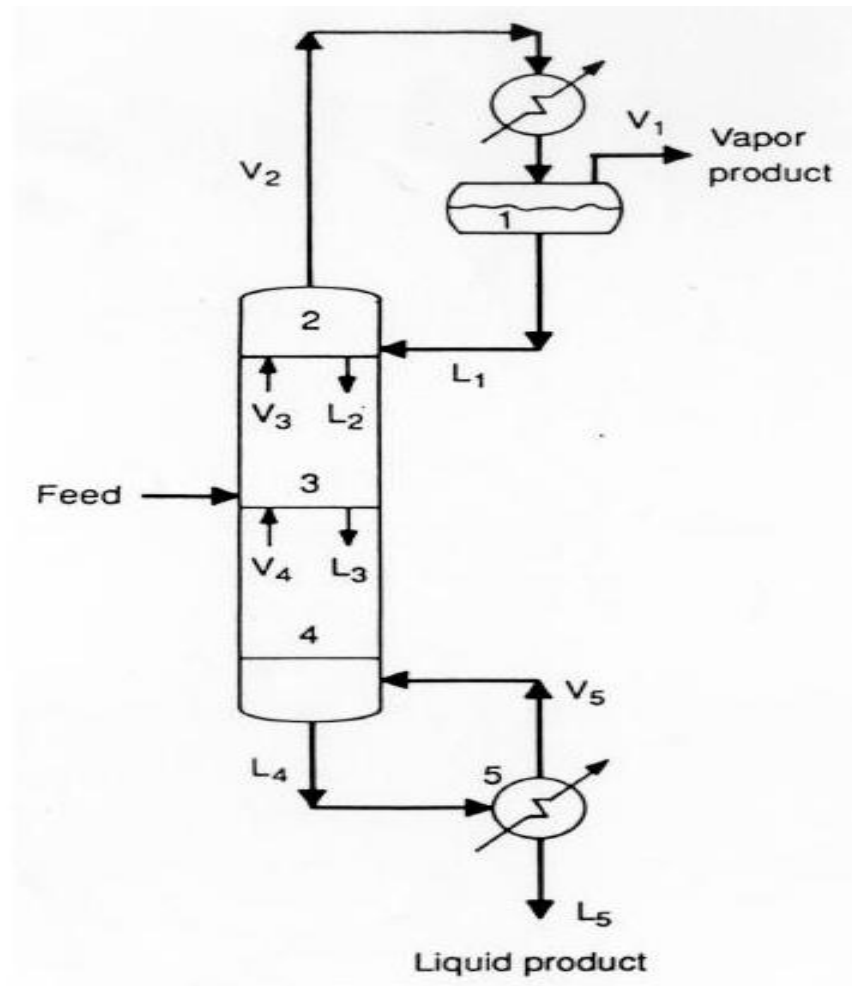
Partes:



Torre de fraccionamiento



Torre (flujos de vapor y de líquido)



Etapa de equilibrio en una columna de destilación

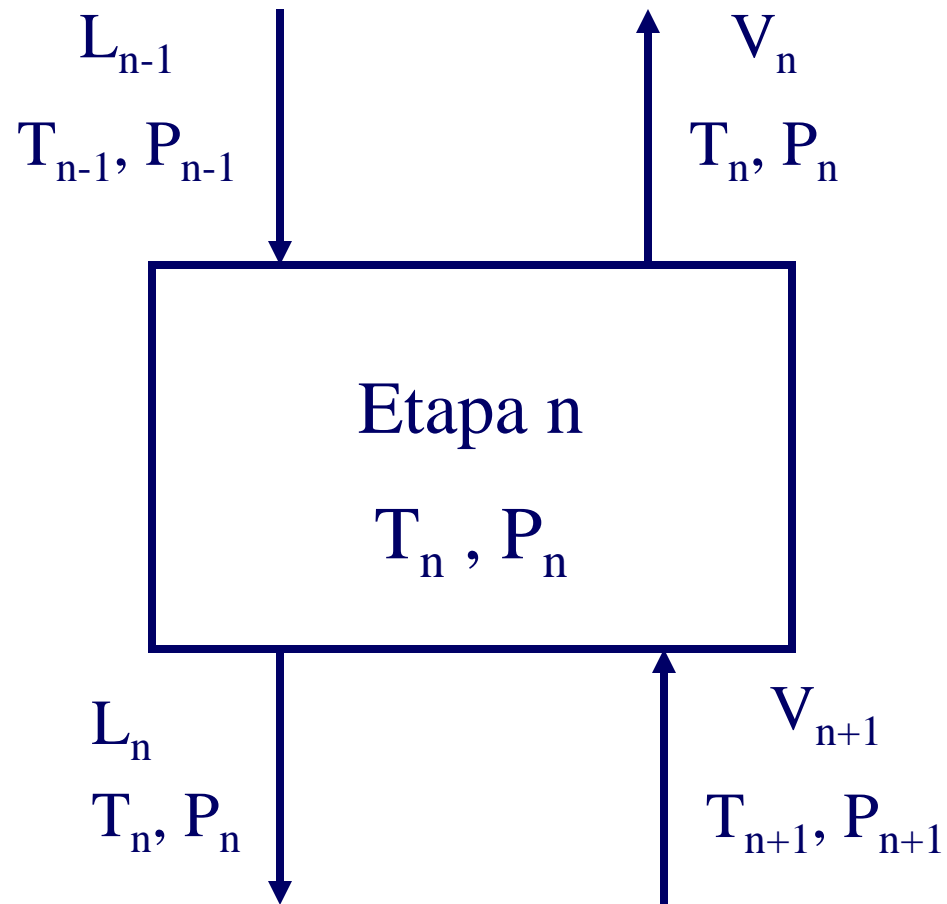
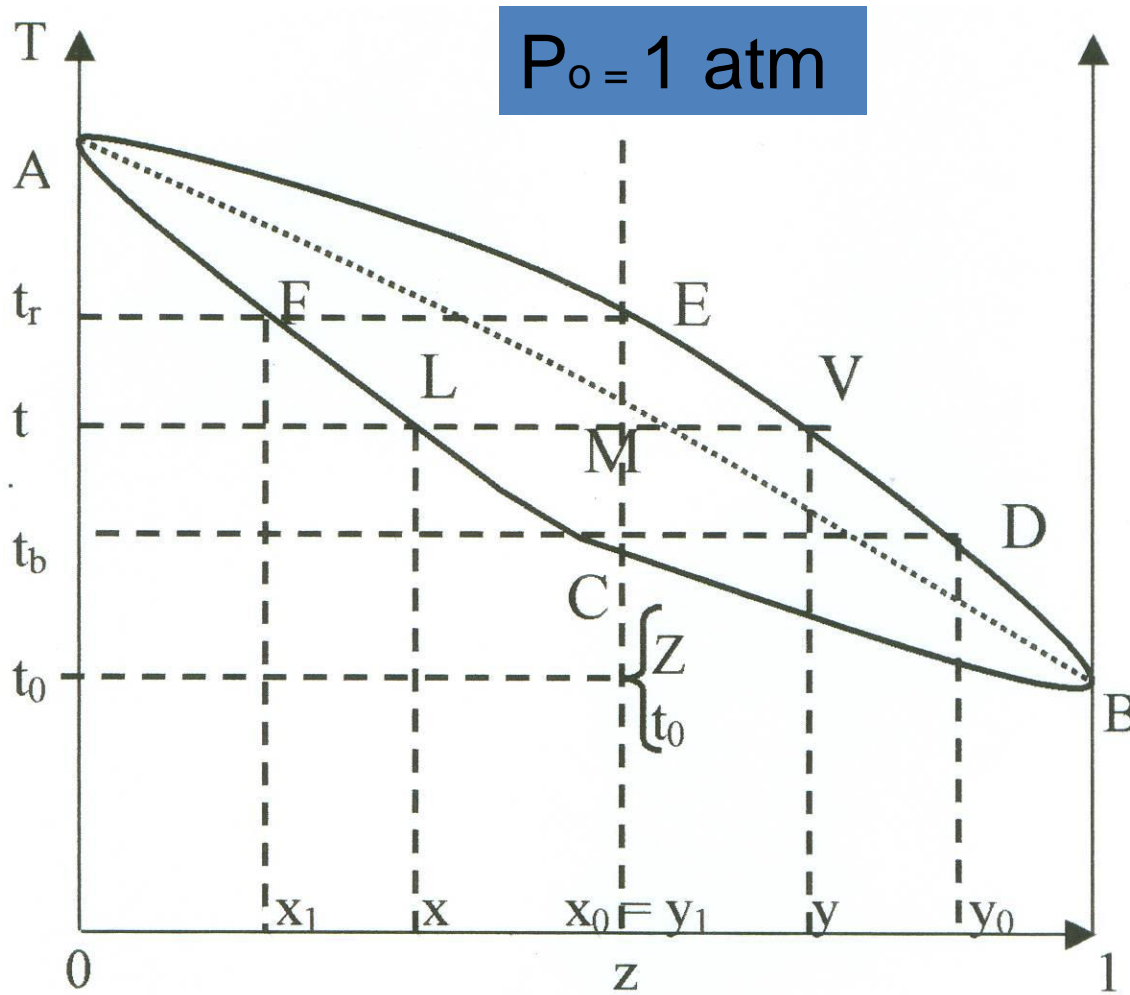


Diagrama Concentración - temperatura



$$\text{Si } M = L + V$$

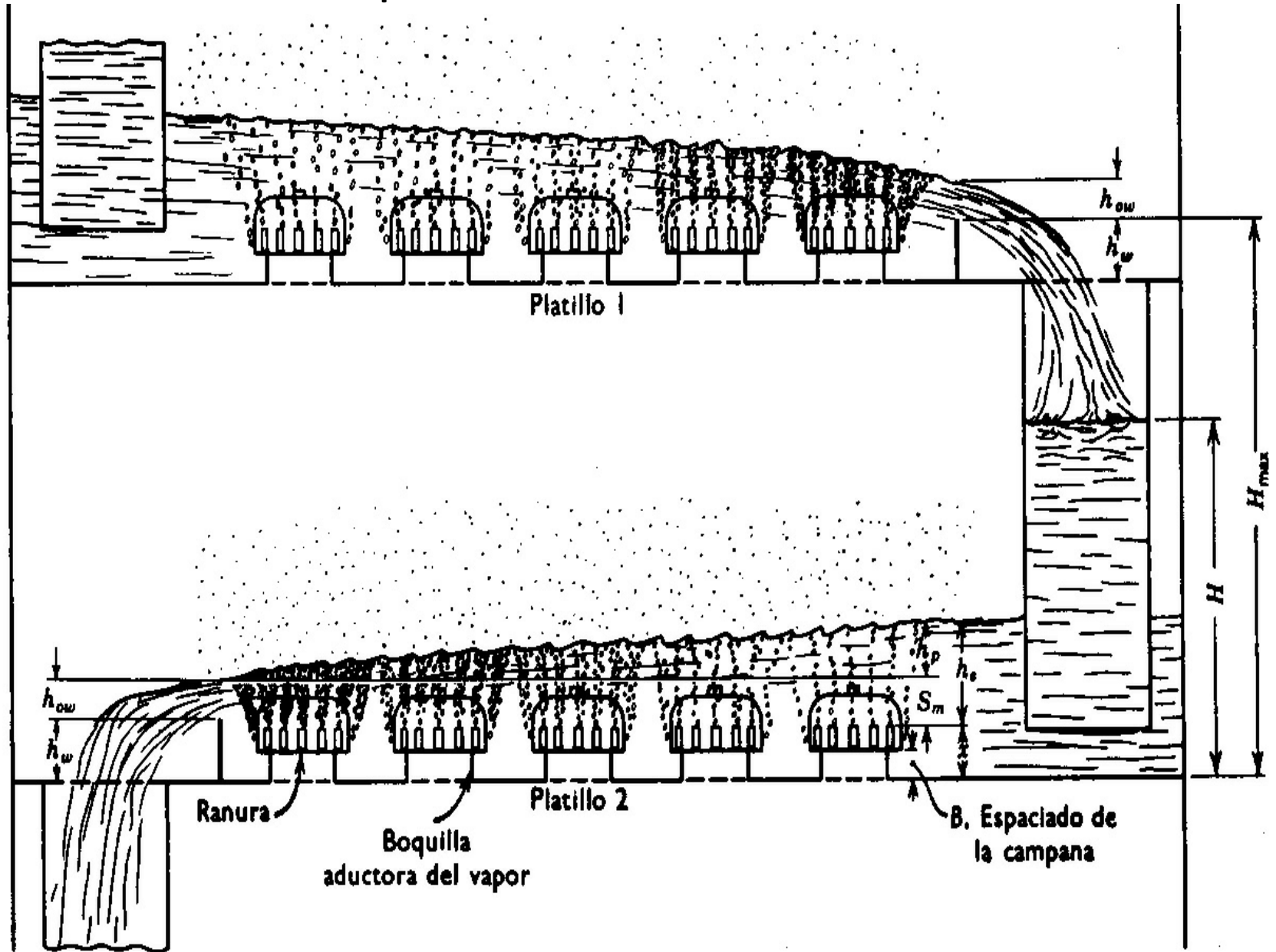
$$Mz = Lx + Vy$$

$$V/M = (z - x) / (y - x)$$

$$= ML / LV$$

Concentración (x ó y) del componente mas volátil

Forma de poner en contacto los fluidos



Accesorios internos de una columna de destilación

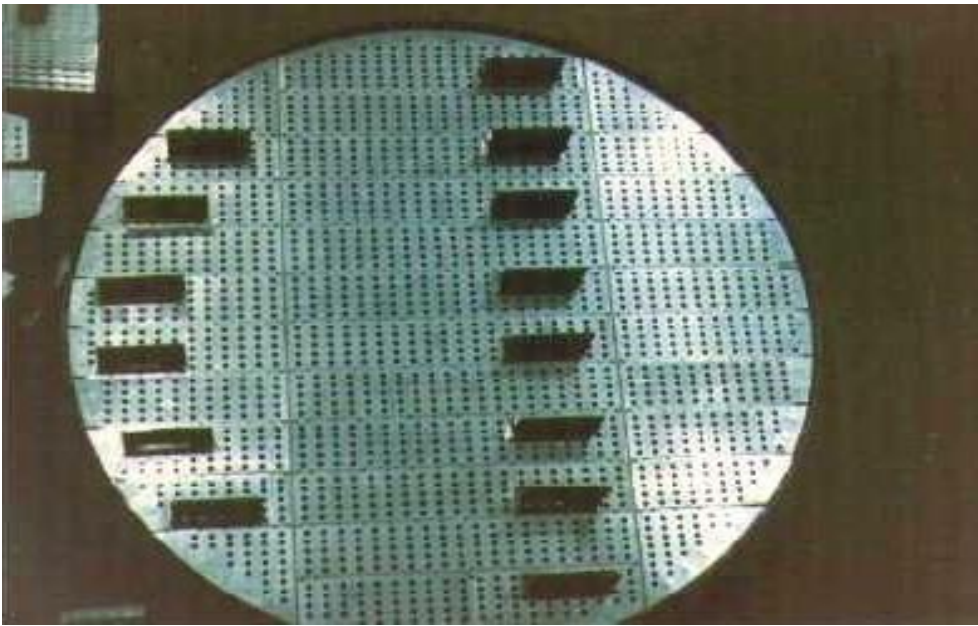
1. Columnas de platos

- Platos
- Distribuidor del alimento



Plato de
campanas
de burbujeo

Plato
perforado

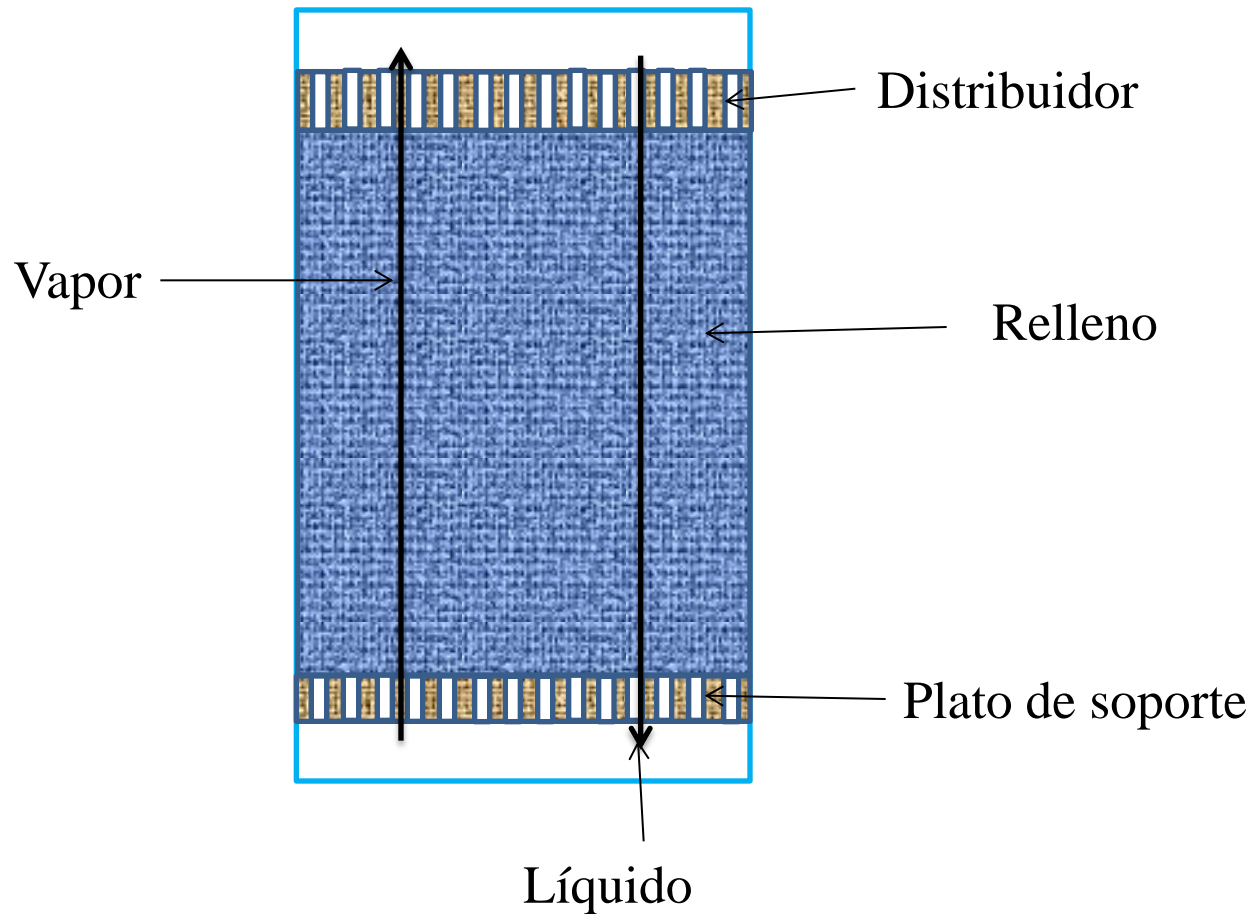


Plato con
canalones

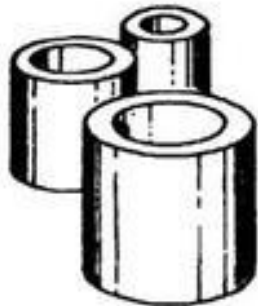


Accesorios internos de una columna de destilación

Columna de relleno



Columna de relleno



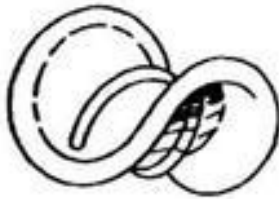
Anillo Raschig



Silla Intalox



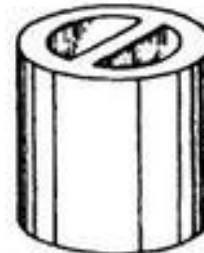
Anillos Pall



Silla Berl



Anillo con helicoidal



Anillo Lessing



Anillo de partición

. Diversos tipos de rellenos comerciales comunes.

Equipos exteriores de una columna de destilación

1. Rehervidor, ebullición o calderín

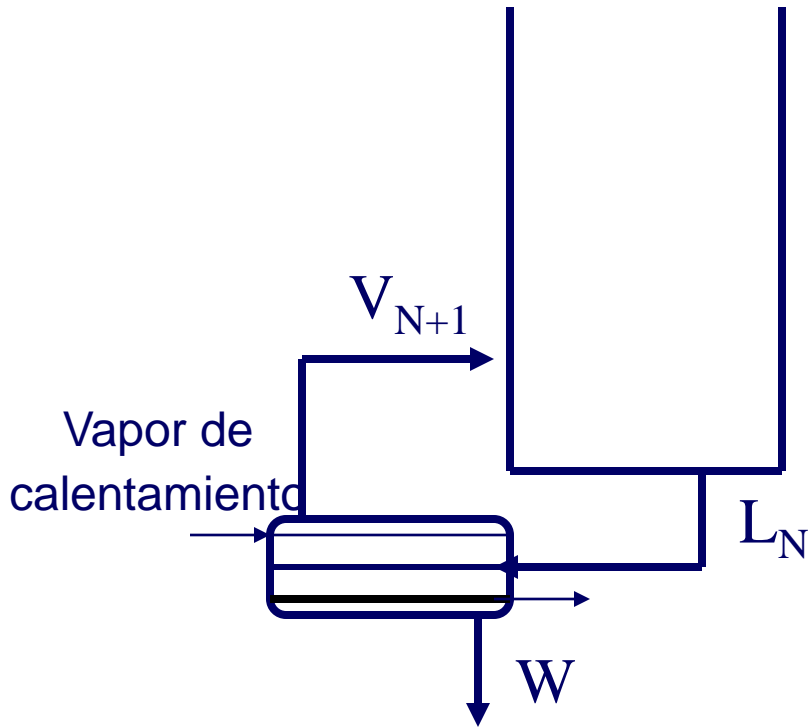
Equipo similar a un intercambiador de calor que proporciona la energía a la columna para mantener las corrientes de líquido y vapor en estado de saturación.

CLASES DE REHERVIDORES SEGÚN EL INTERCAMBIADOR USADO Y LA LOCALIZACIÓN EN LA COLUMNA

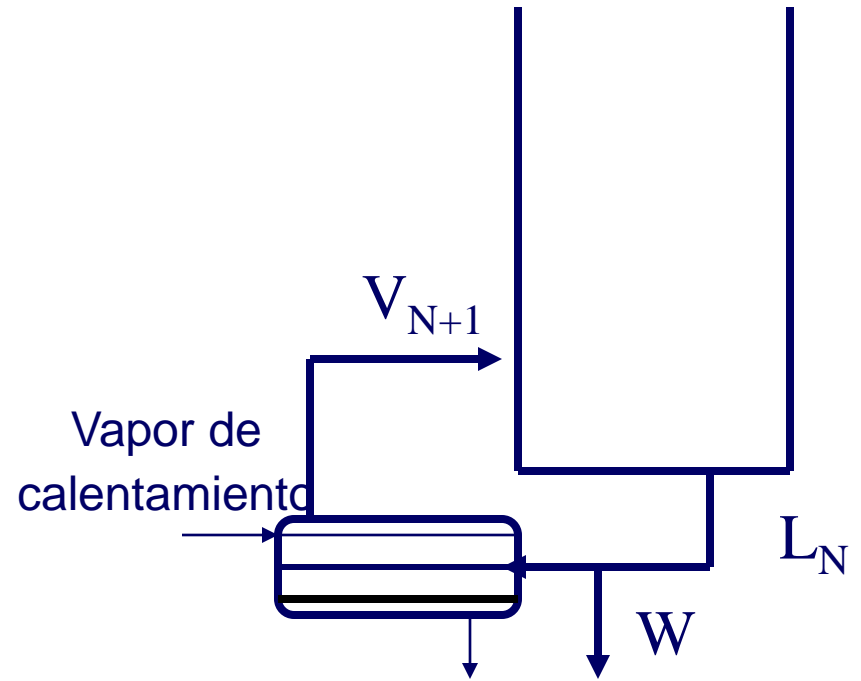
- Camisas de calentamiento en la parte inferior de la columna
- Equipo similar a un intercambiador tubular interno en el fondo de la columna
- Equipo similar a un intercambiador tubular externo

* Cuando se va a destilar una mezcla acuosa, donde el agua es el componente pesado, se usa vapor vivo para el calentamiento.

Clases de rehervidores según el funcionamiento



a) Rehervidor parcial

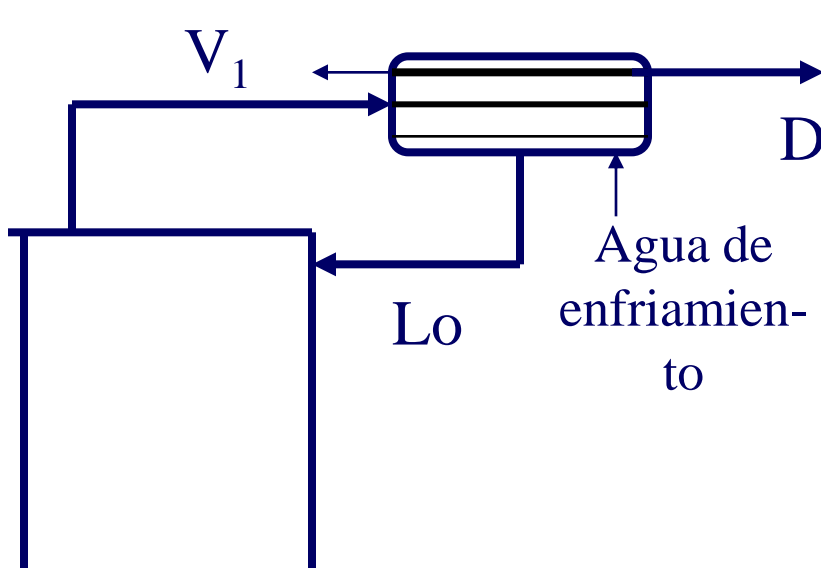


b) Rehervidor total

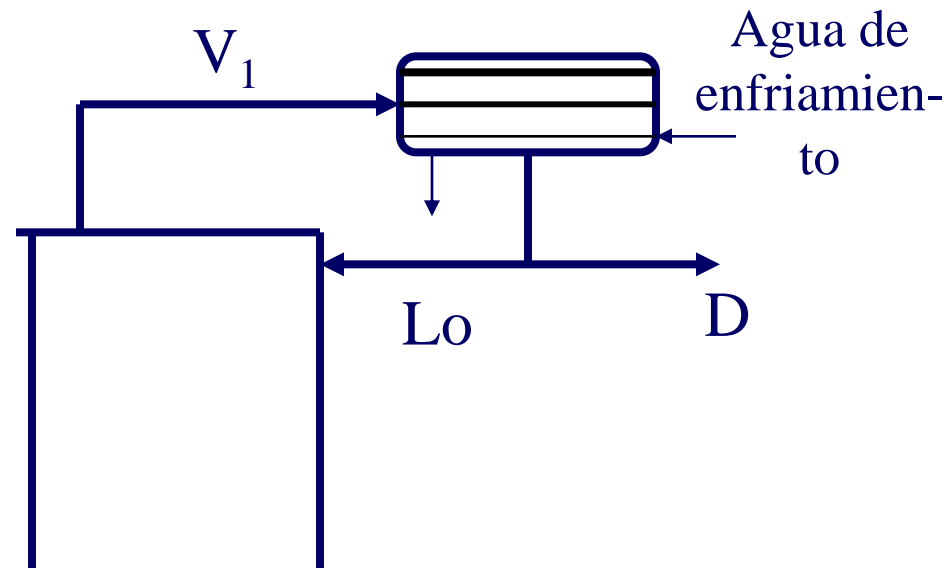
2. Condensador

Equipo similar a un intercambiador tubular que condensa el vapor que llega a la parte superior de la columna. El vapor condensado retorna a la columna como reflujo y lo demás se retira como destilado.

Clases de condensadores según el funcionamiento



a) Condensador parcial



b) Condensador total

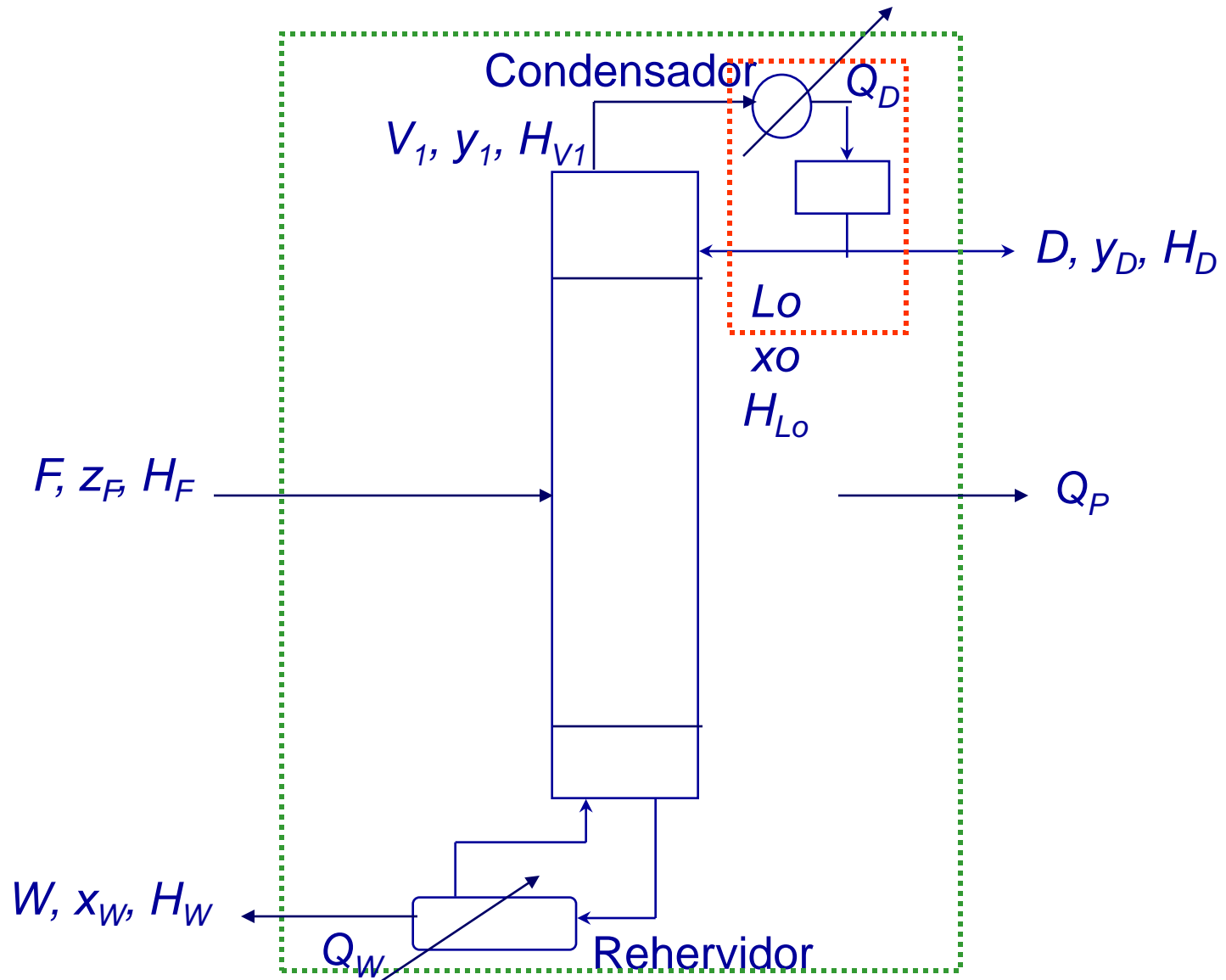
3. Acumulador de reflujo

Tanque que recibe la corriente proveniente del condensador. El acumulador permite una *holgura operacional* que puede mantener en funcionamiento la columna cuando se presentan problemas con el condensador.

* *Existen columnas complejas donde se presenta alimentación múltiple, varias salidas laterales de productos, y donde pueden haber condensadores y rehervidores intermedios a lo largo del equipo.*



Determinación de las cargas térmicas en el condensador y en el rehervidor - Balances de materia y entalpía



Parámetros importantes que definen el grado de separación de una mezcla en una columna de destilación

1. Relación de reflujo externa, $R = L_o / D$
2. Relación de reflujo interna, L / V
3. Número de etapas teóricas o unidades de transferencia

Métodos simples para calcular parámetros de separación en sistemas binarios

1. Método de Sorel (analítico)
2. Método de McCabe – Thiele (gráfico)

Método de McCabe - Thiele

Restricción para su aplicación

Pérdidas de calor o calores de disolución pequeños

Suposiciones simplificadoras usuales

- El flujo molar líquido es constante en cada una de las zonas de la columna
- La relación L / V es constante para cada una de las zonas

Casos de aplicación

Sistemas de isómeros con puntos de ebullición cercanos

Desarrollo del método de McCabe - Thiele

Zona de enriquecimiento (condensador total)

$$L_0 = L_1 = L_2 = \dots = L$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V$$

Balance global de materia

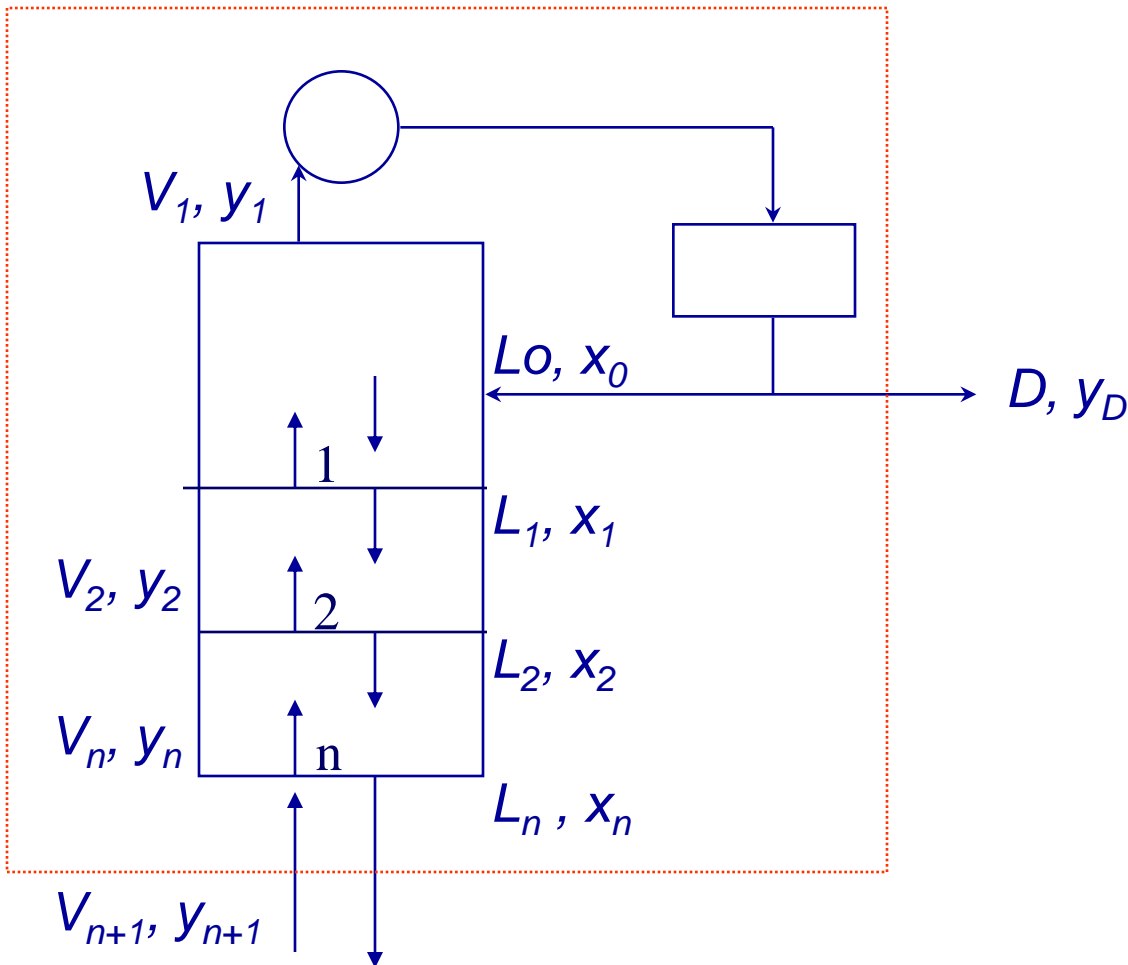
$$V = L + D \quad (1)$$

Balance del componente más liviano

$$y_{n+1} V = x_n L + y_D D \quad (2)$$

Relación de reflujo

$$R = L_0 / D \quad (3)$$



A partir de las dos primeras ecuaciones anteriores se obtiene:

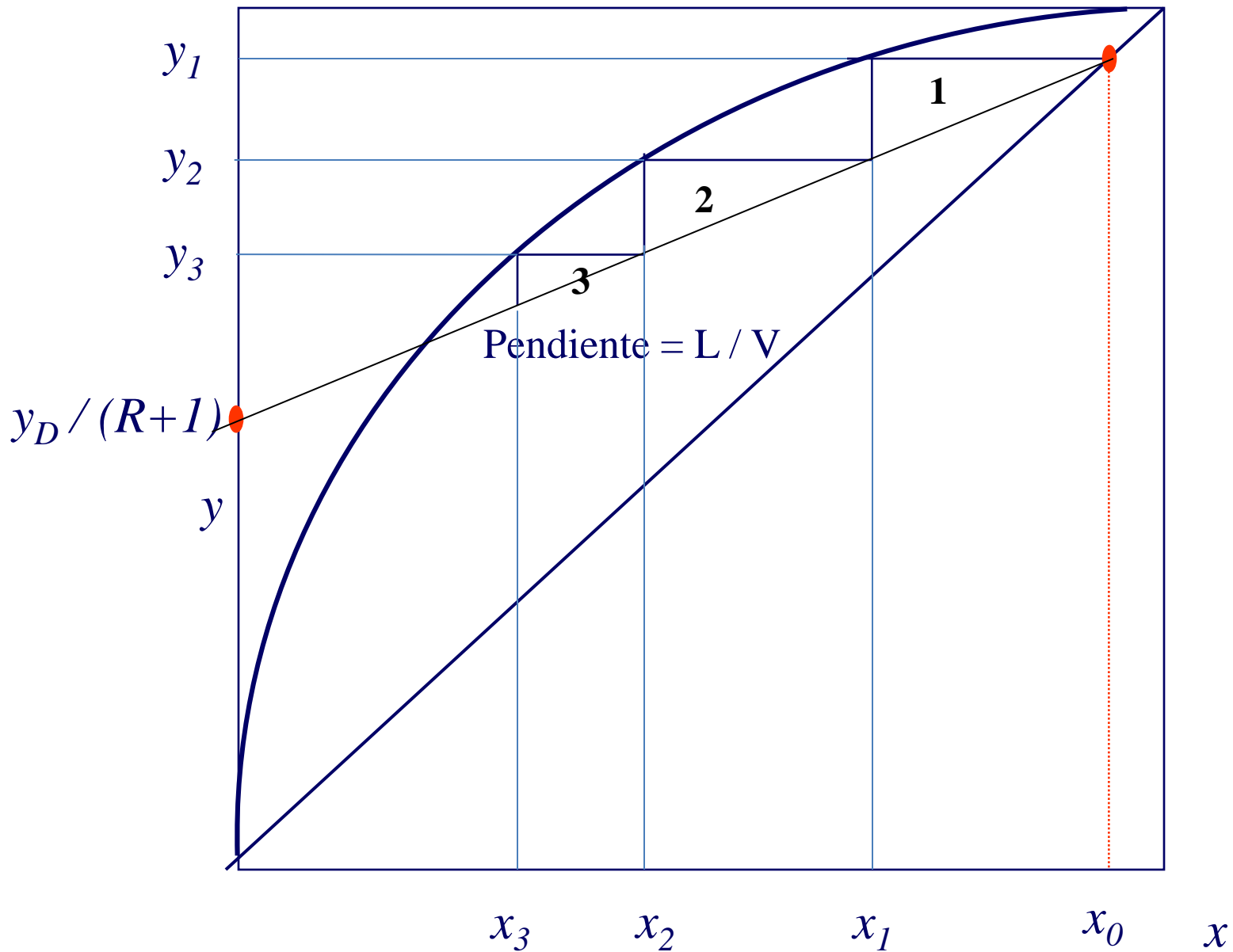
$$y_{n+1} = (L / V) x_n + (D / V) y_D \quad (4)$$

Y considerando la relación de reflujo:

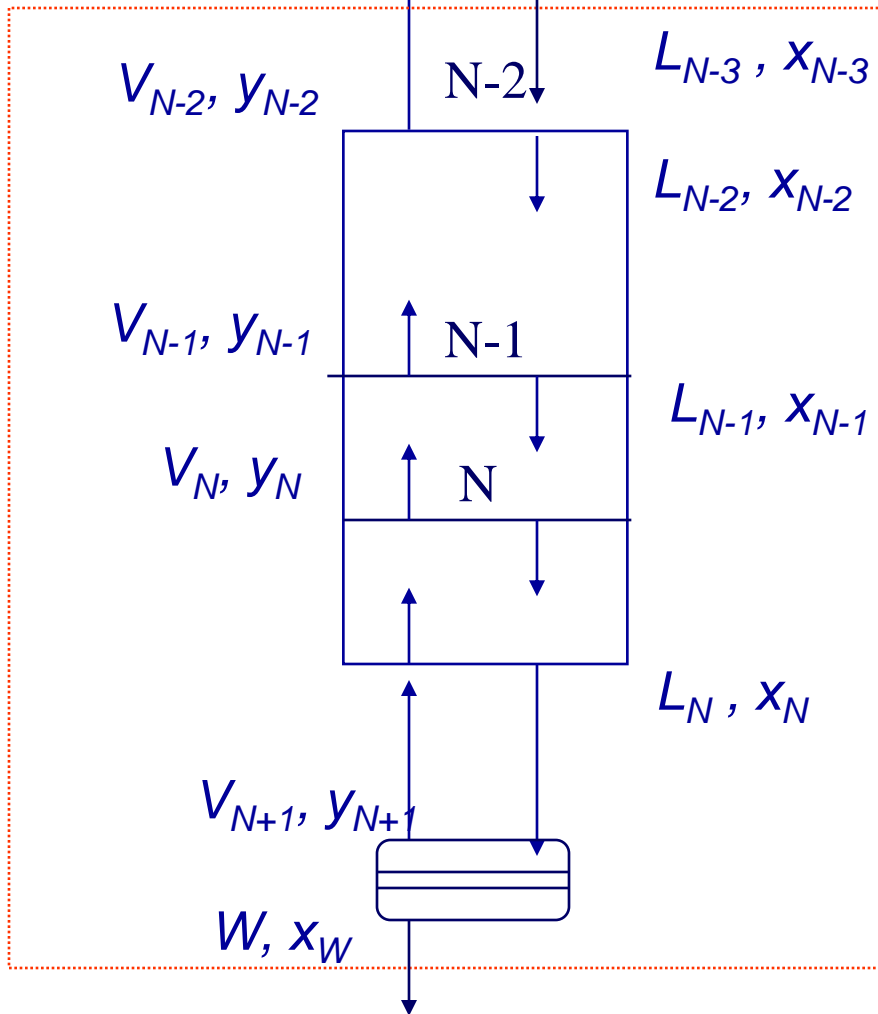
$$y_{n+1} = R / (R+1) x_n + 1 / (R+1) y_D \quad (5)$$

Evaluando $n = 0$ y calculando el intercepto para una relación de reflujo conocida, se tienen dos puntos que permiten construir la línea de operación para la zona de enriquecimiento. La pendiente de la línea de operación es L / V (relación de reflujo interno)

Representación gráfica de la zona de enriquecimiento



Zona de despojamiento (rehervidor parcial)



$$L_N = L_{N-1} = L_{N-2} = \dots = L'$$

$$V_N = V_{N-1} = V_{N-2} = \dots = V'$$

Balance global de materia

$$L' = V' + W \quad (6)$$

Balance del componente más liviano

$$x_{N-3} L' = y_{N-2} V' + x_W W \quad (7)$$

A partir de las ecuaciones (6) y (7) se obtiene:

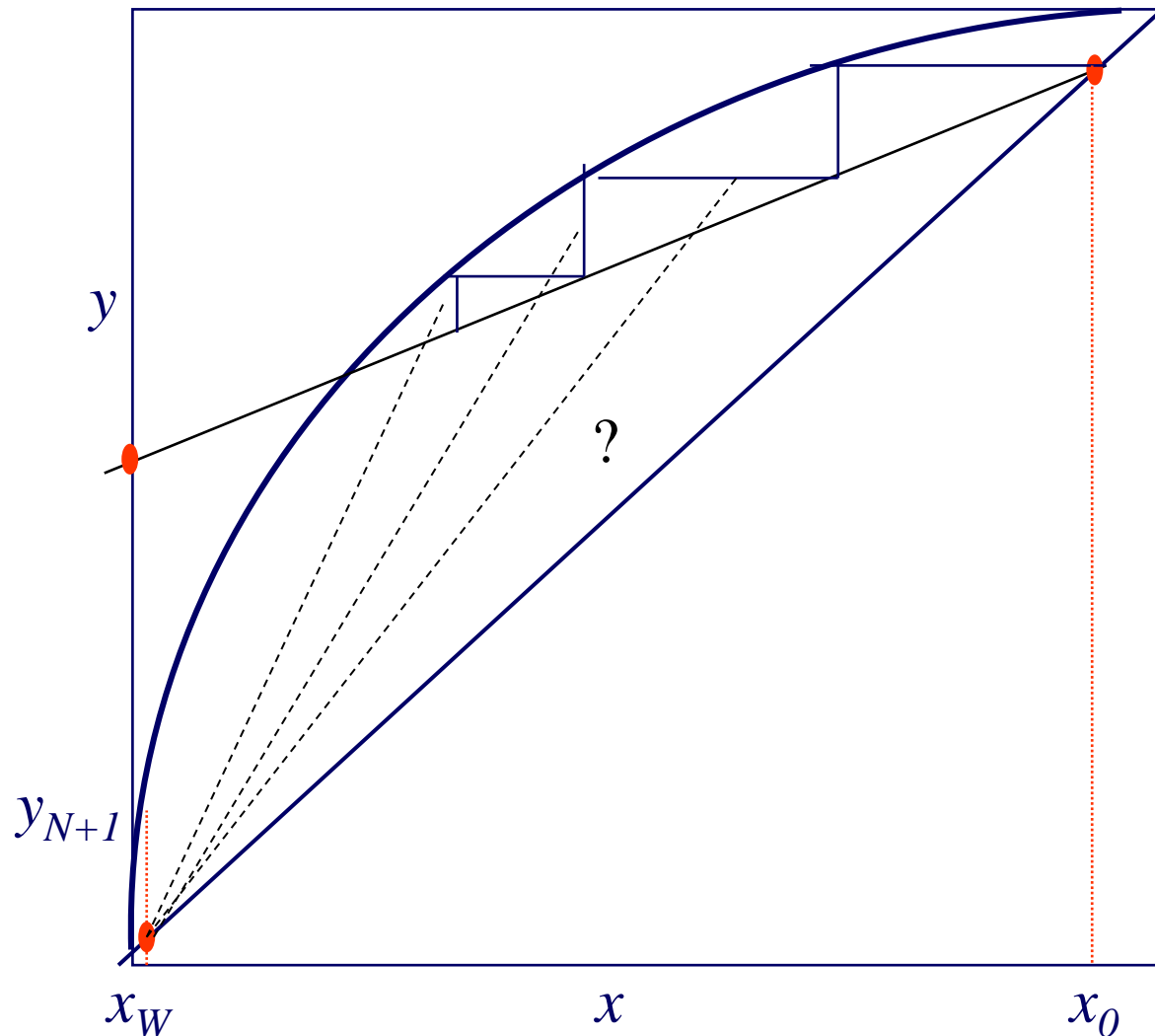
$$y_{N-2} = (L' / V') x_{N-3} - (W / V') x_W \quad (8)$$

Evaluando en N+1 (rehervidor) se tiene que x_W está en equilibrio con y_{N+1} y por medio de la gráfica de equilibrio se puede llegar a x_N y así tener un punto sobre la línea de operación de la zona de despojamiento.

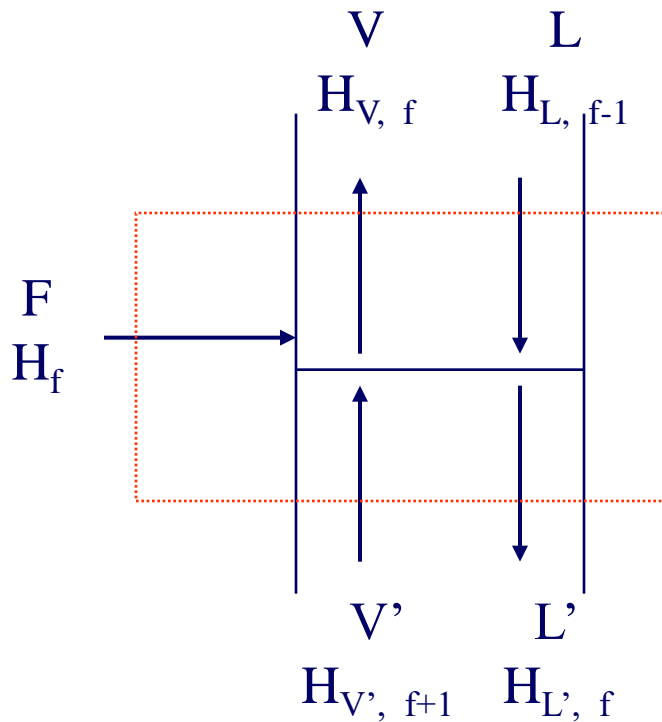
Ahora si podemos construir la línea de operación de la zona de despojamiento ?

$$L \neq L'$$

$$V \neq V'$$



Estado termodinámico de la alimentación



Balance global de materia

$$F + L + V' = L' + V \quad (8)$$

Balance global de entalpía

$$F H_F + L H_{L,f-1} + V' H_{V',f+1} = L' H_{L',f} + V H_{V,f}$$

Considerando que las entalpías de los vapores saturados son similares, e igualmente las de los líquidos saturados, en este plato de alimentación, se tiene:

$$F H_F + H_L (L - L') = H_V (V - V') \quad (9)$$

Combinando (8) y (9):

$$(L' - L) / F = (H_V - H_F) / (H_V - H_L) = q = 1-f \quad (10)$$

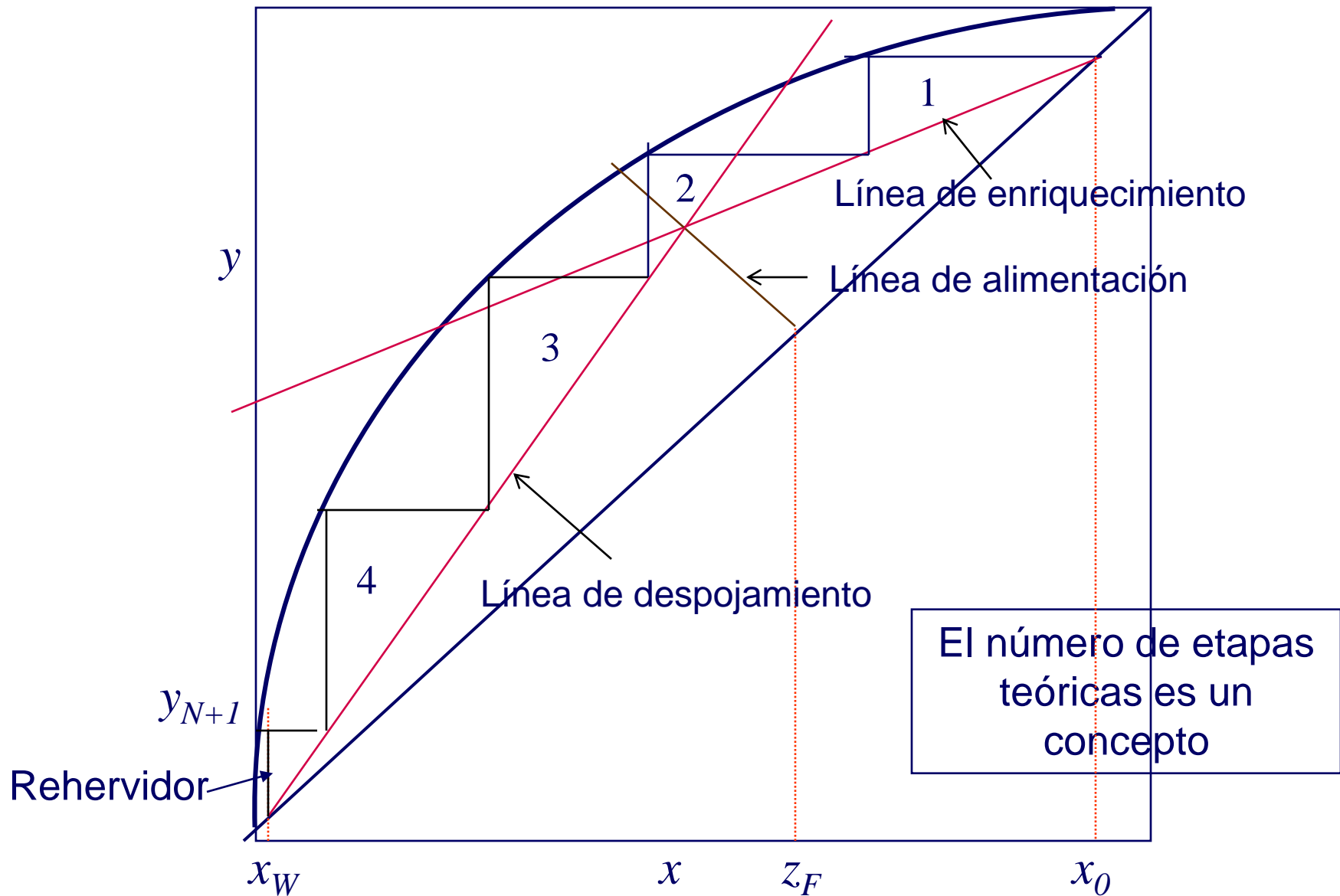
Conociendo el valor de q se halla L' (ec. 10) y con este dato se calcula V' (ec. 6), y ya se puede calcular el intercepto o la pendiente de la línea de operación para la zona de despojamiento.

Actividad

Determinar la ecuación de la línea de alimentación:

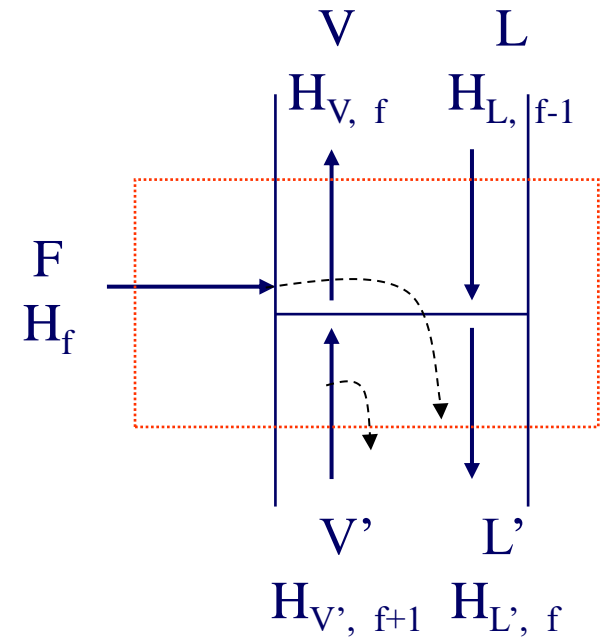
$$y = (q / (q-1))x - x_F / (q-1)$$

Representación gráfica de la zona de despojamiento

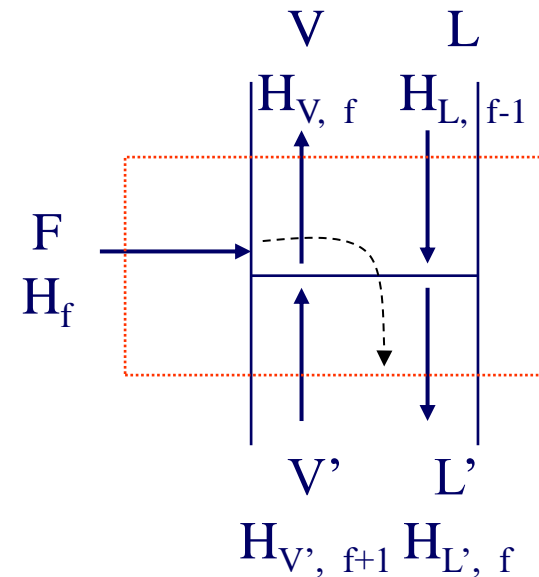


Posibles estados termodinámicos de la alimentación

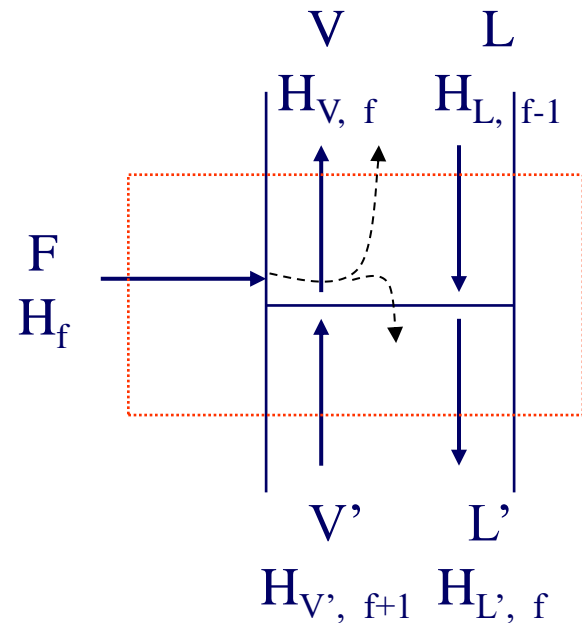
1. Líquido subenfriado $q > 1.0$



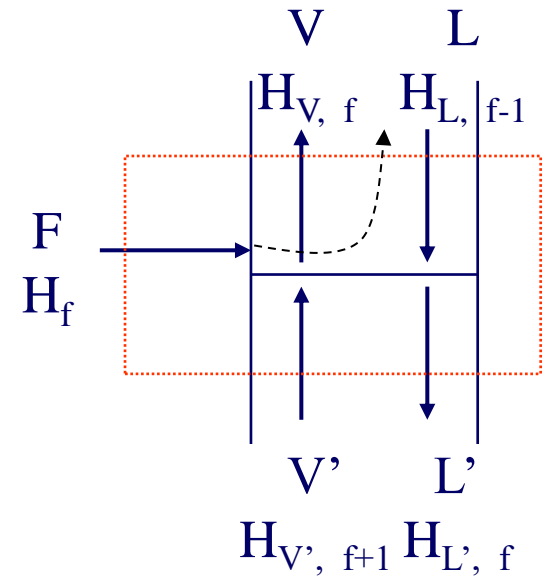
2. Líquido saturado $q = 1.0$



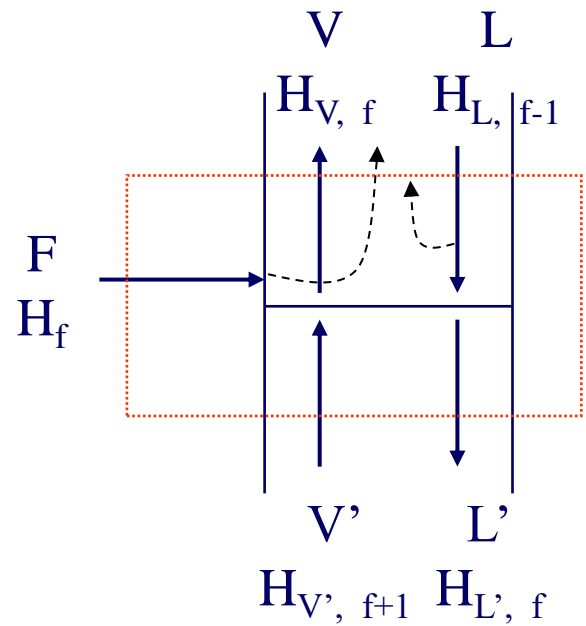
3. Parcialmente vaporizado
 $0 < q < 1.0$

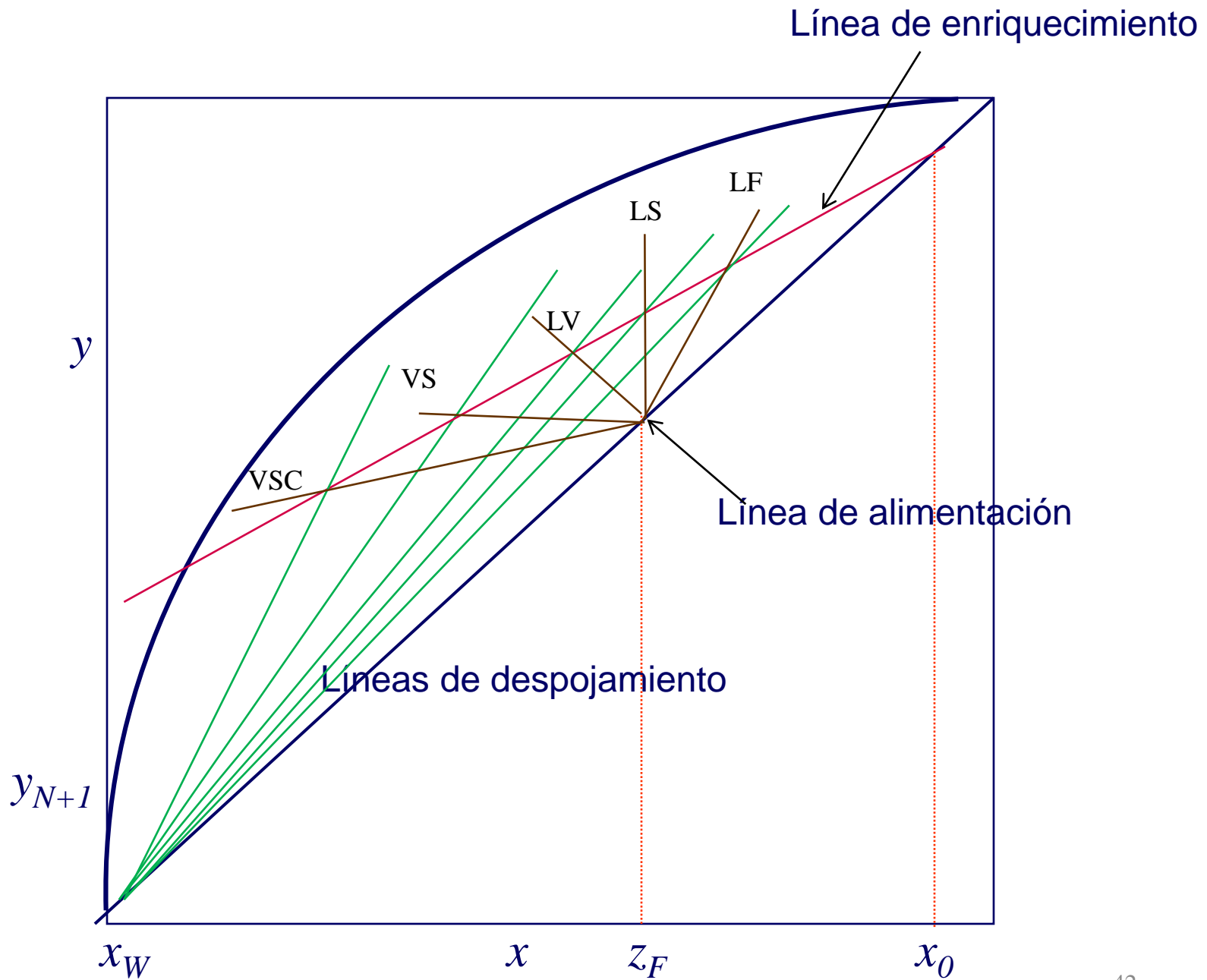


4. Vapor saturada $q = 0$

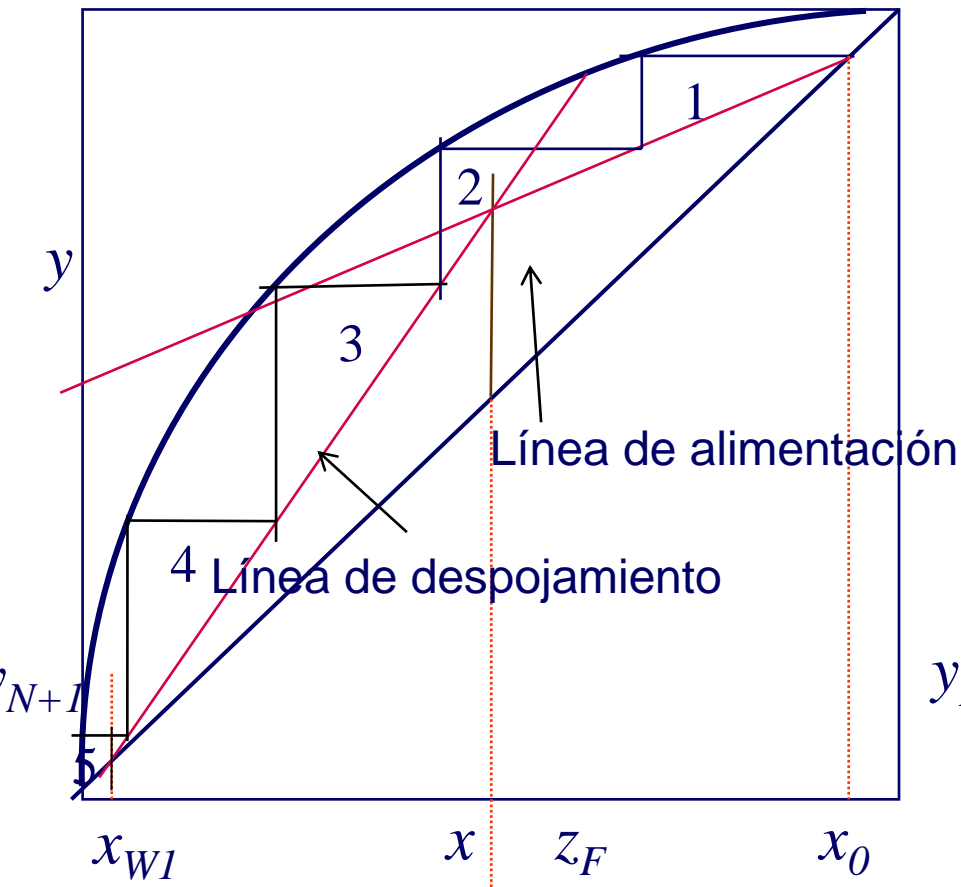


5. Vapor sobrecalentado $q < 0$

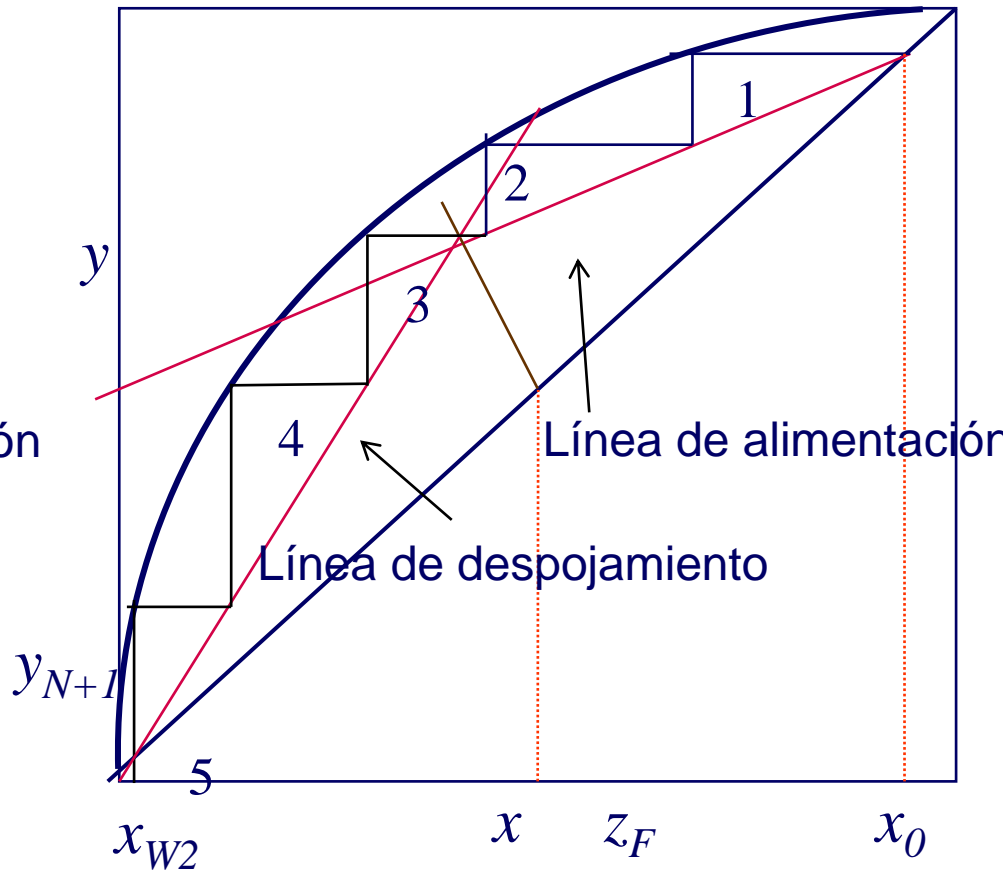




Ubicación óptima del plato de alimentación: número de etapas fijo



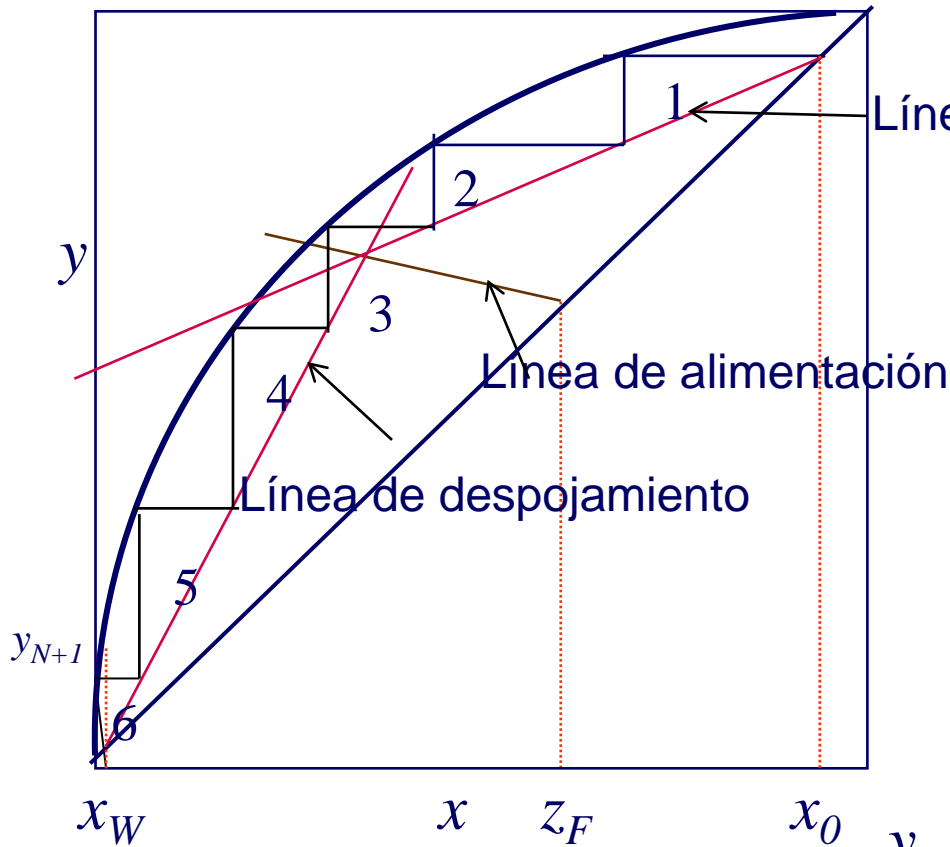
Opción 1: plato de carga 2,
número de etapas 5



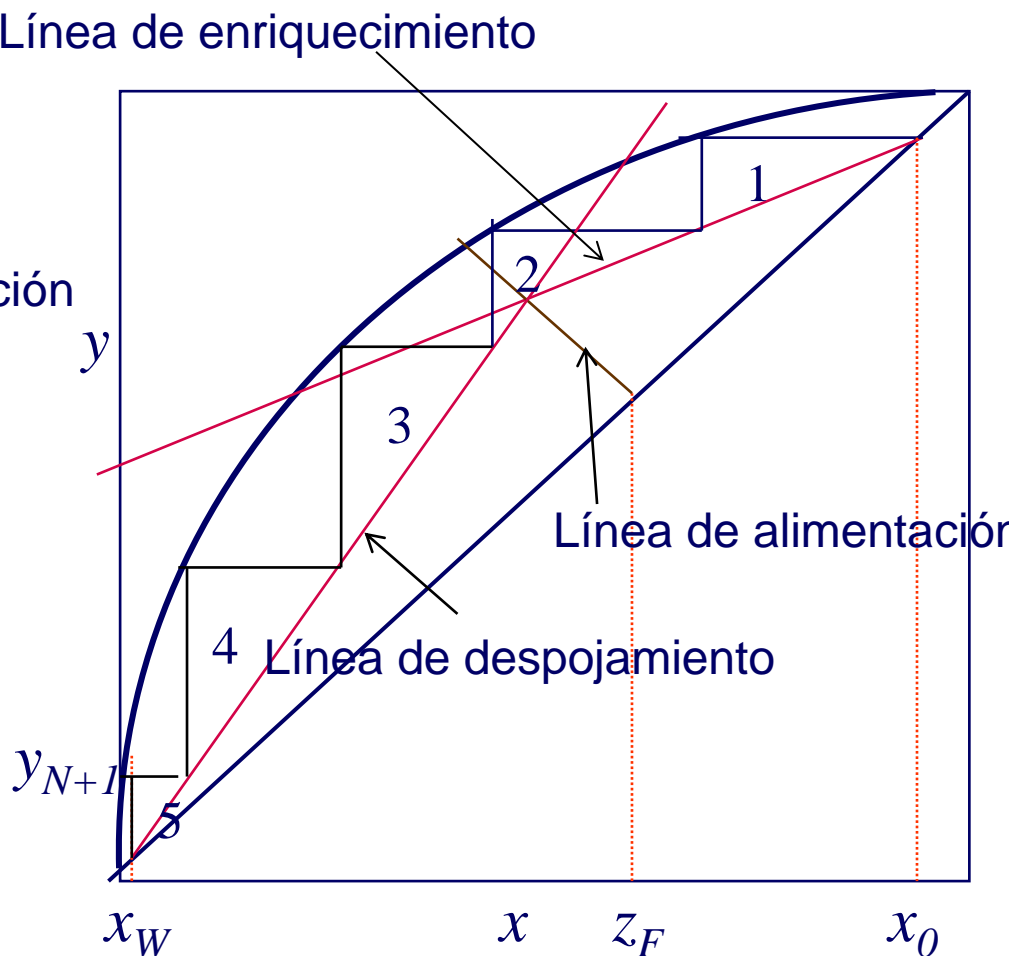
Opción 2: plato de carga 3,
número de etapas 5

$$x_{w1} < x_{w2}$$

Ubicación óptima del plato de alimentación, relación de reflujo fija: menor número de etapas



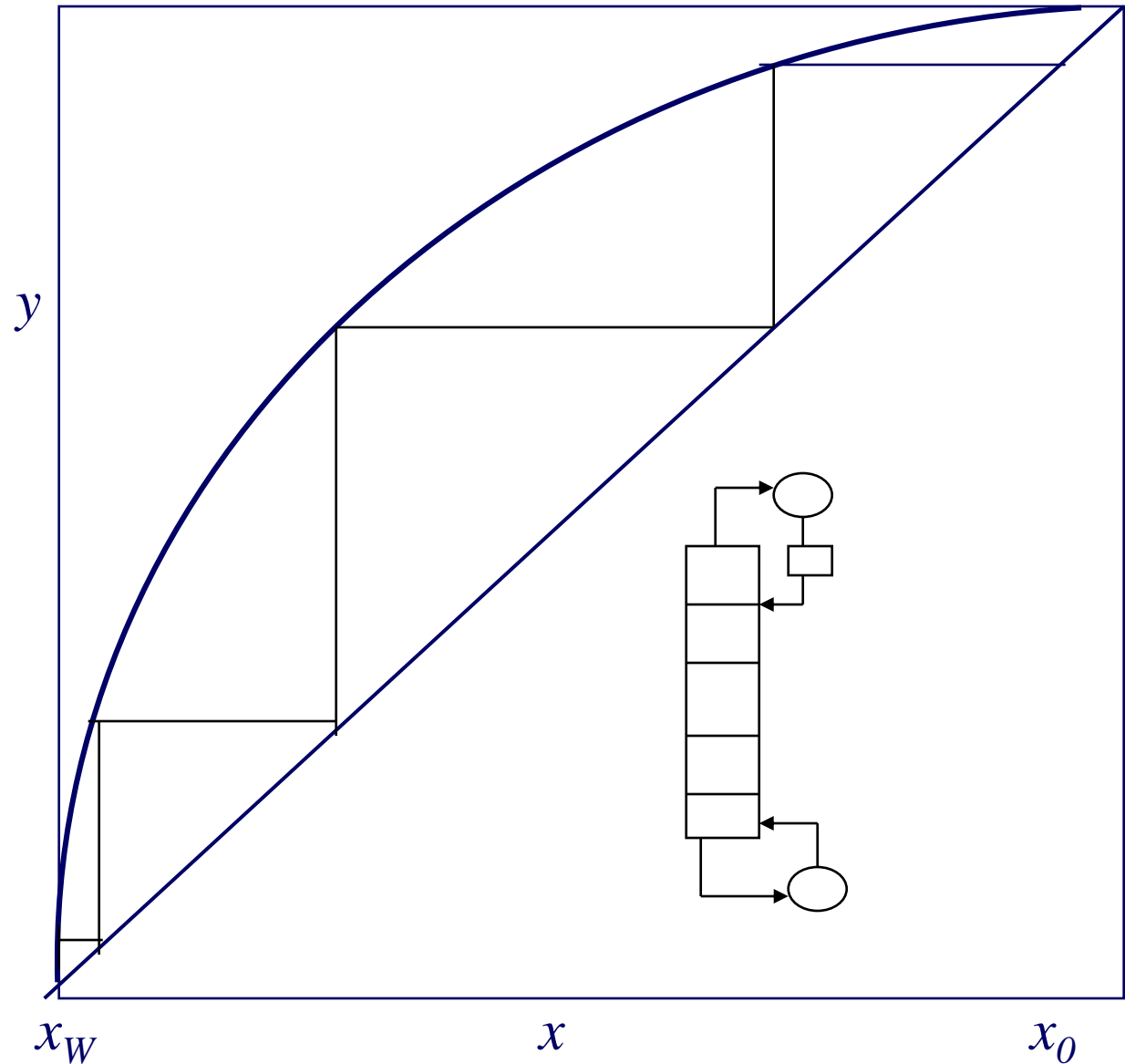
Opción 2: plato de carga 3,
número de etapas 6



Opción 2: plato de carga 2,
número de etapas 5

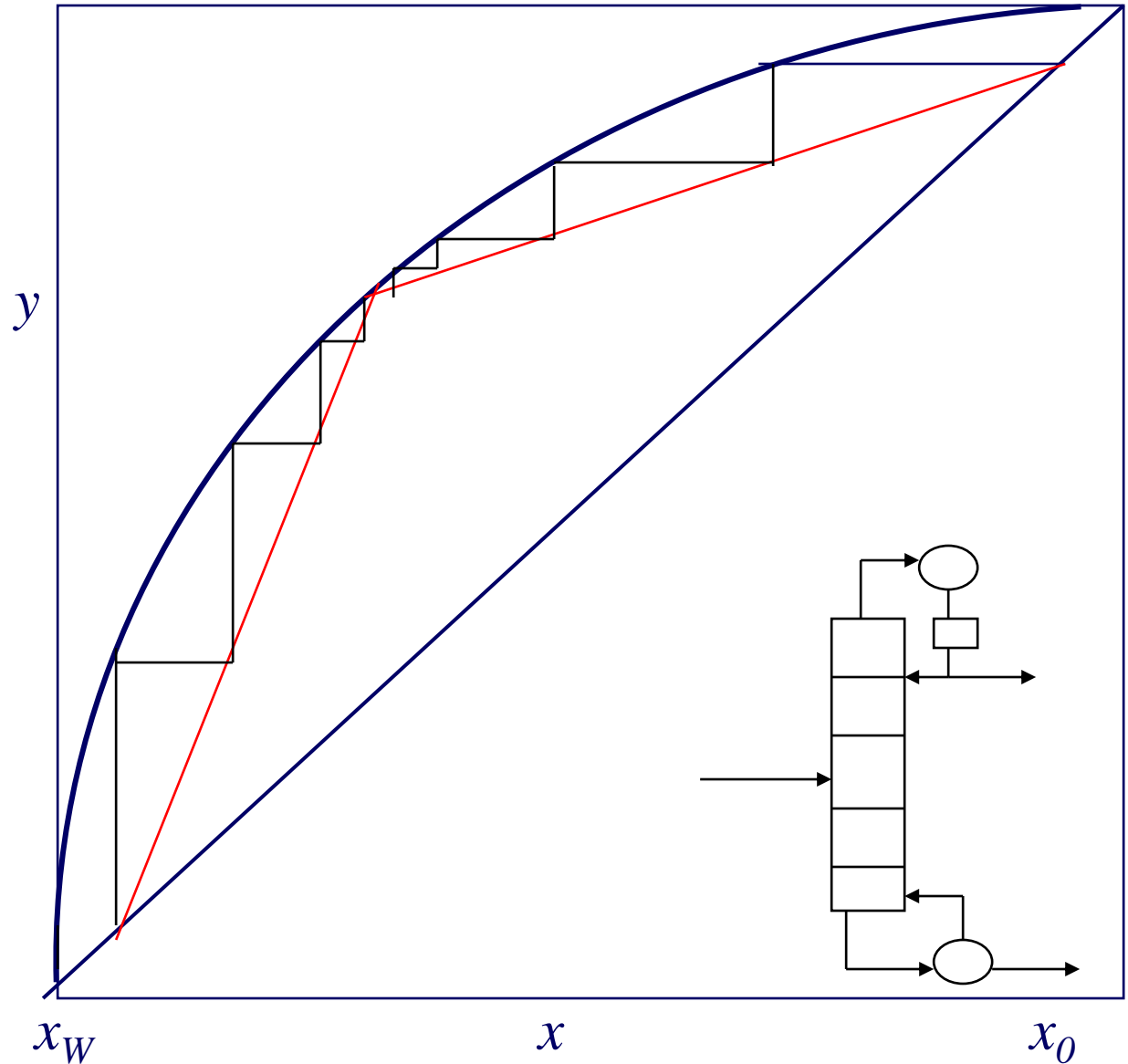
Número mínimo de etapas

Cuando la columna trabaja a reflujo total. No hay alimentación, ni salidas de destilado ni de fondos durante la operación de la columna.

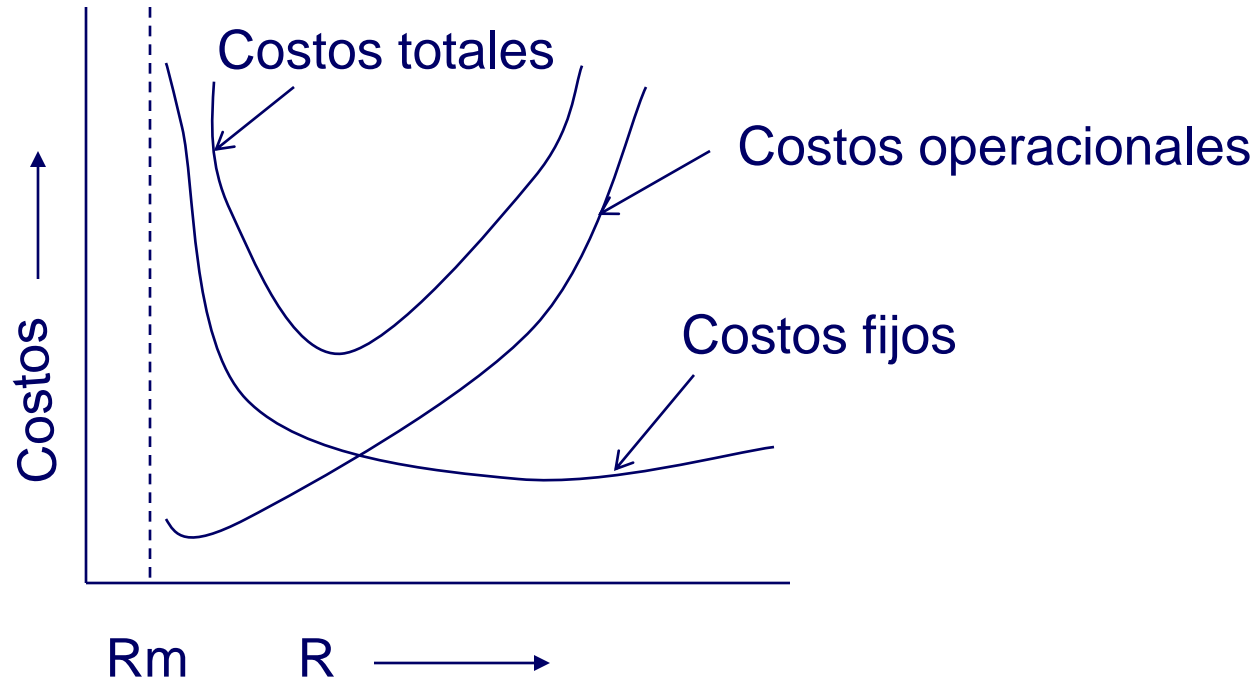


Reflujo mínimo

Cuando la línea de operación de la zona de enriquecimiento interseca la curva de equilibrio y se requiere una cantidad infinita de etapas.



Relación óptima de reflujos



$$R = A R_m$$

A está entre 1.1. Y 1.5

Eficiencia de las etapas

Eficiencia Global

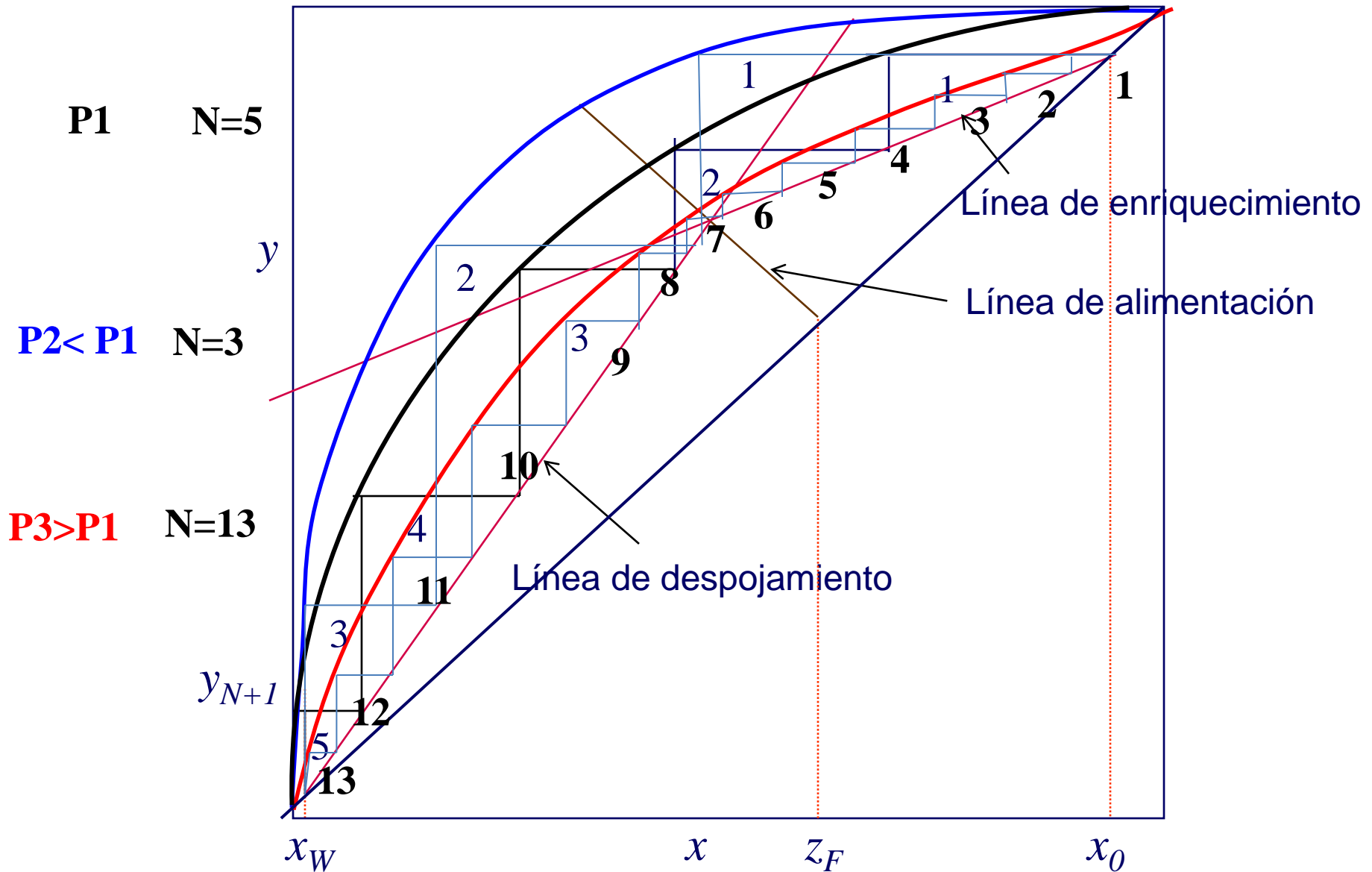
$$\eta_g = N_{pT}/N_{pR}$$

Eficiencia de plato de Murphree para la fase de vapor:

$$\eta = (y_n - y_{n-1}) / (y_n^* - y_{n-1})$$

Eficiencia Local: Varía punto a punto del plato

EFECTO DE LA PRESION: Presión y punto de ebullición.



Efecto de la Presión

- **Productos Termosensibles.**
- **Destilación al vacío.**
- **Presión normal y presión de alivio**
- **Dispositivos de protección de la columna por presión.**

Efecto de la Temperatura

- **Composición de un producto y T_b . Valores normales.**
- **Significado de los cambios de temperatura.**
- **Implicancias del ΔT entre cabeza y fondo.**
- **Implicancias de $> Q$ en el Reboiler :**
 - **Aumento de T en todos los platos.**
 - **Mayor caudal de destilado.**
 - **Mas pesados por cabeza.**
- **Implicancias de $>$ reflujo:**
 - **Baja la temperatura de todos los platos.**
 - **Aumenta el caudal de producto de fondo.**
 - **Mejora la calidad del producto de cabeza.**
 - **El producto de fondo tendrá mas livianos**