

# PROCESOS DE EXTRACCION LIQUIDO-LIQUIDO EN UNA SOLA ETAPA

## Introducción a los Procesos de Extracción

Para poder separar uno o más de los componentes de una mezcla, dicha mezcla se pone en contacto con otra fase. El par de fases puede ser *gas-líquido*, *vapor-líquido*, *líquido-líquido*; o *líquido-sólido*.

Otros nombres que también se usan para los *procesos de separación líquido-líquido* son: *extracción con líquido* o *extracción por disolvente*.

En la destilación, el líquido se vaporiza parcialmente para crear otra fase, que es un vapor. La separación de los componentes depende de las presiones relativas de vapor de las sustancias. Las fases vapor y líquido tienen gran semejanza química.

En la *extracción líquido-líquido*, ambas fases son químicamente muy diferentes, lo que conduce a una separación de los componentes de acuerdo a sus propiedades químicas.

Algunas veces la *extracción por disolvente* (líquido-líquido) puede usarse como una alternativa a la separación por destilación o evaporación.

Por ejemplo, el ácido acético puede separarse del agua por destilación o por extracción por disolvente, usando un disolvente orgánico. Después de esta operación, la solución resultante, disolvente orgánico-ácido acético se destila. La selección de destilación o extracción por disolvente depende en gran parte, de los costos relativos.

En otro ejemplo, los ácidos grasos de alto peso molecular pueden separarse de los aceites vegetales, por extracción con propano líquido o por destilación a alto vacío, una operación más costosa.

En la industria farmacéutica, productos tales como la penicilina se presentan en mezclas de fermentación bastante complejas, en las cuales se usa extracción con líquido para separar la penicilina.

Muchas separaciones metálicas se llevan a cabo comercialmente por extracción de soluciones acuosas, tales como cobre-hierro, uranio-vanadio y tantalio-columbio.

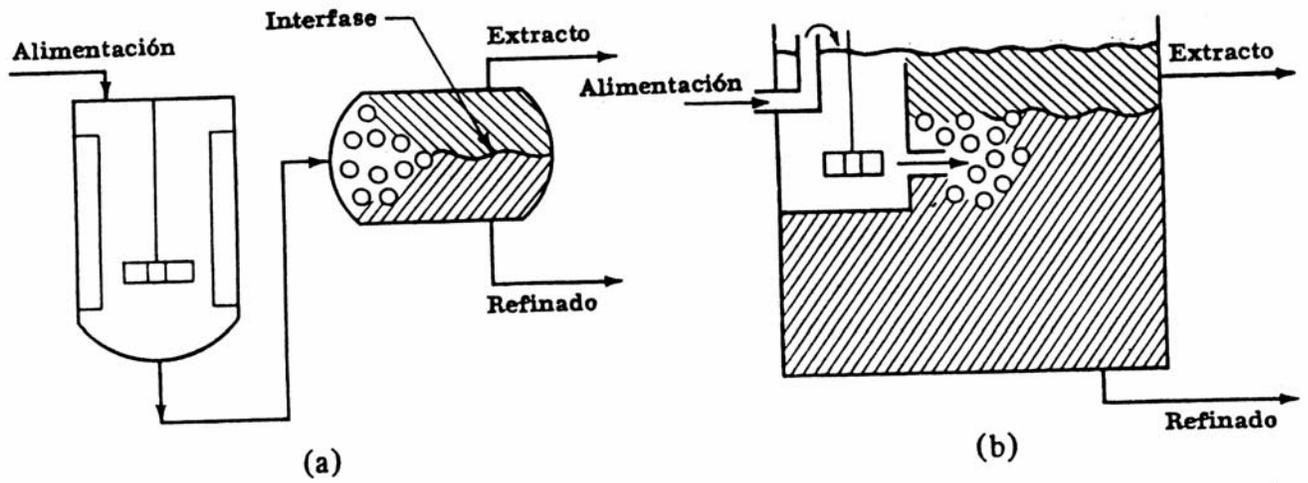


FIGURA Mezcladores-sedimentadores típicos para extracción: (a) mezclador-sedimentador por separado, (b) combinación de mezclador-sedimentador

# Relaciones de Equilibrio en la Extracción Líquido-Líquido

## *Regla de las fases*

En general, un sistema líquido-líquido tiene tres componentes, A, B y C, y dos fases en equilibrio.

Sustituyendo en la regla de las fases, el número de grados de libertad resulta igual a 3,

Las variables involucradas son temperatura, presión y las cuatro concentraciones.

Existen cuatro concentraciones debido a que sólo es posible especificar dos de las tres concentraciones de fracciones de una masa de una fase.

La tercera debe completar el total de las fracciones de masa a un valor de 1.0,  $x_A + x_B + x_C = 1.0$ .

Cuando se fijan la presión y la temperatura, que es el caso usual, entonces, al establecer una concentración en cualquier fase, el sistema queda fijo.

## ***Datos de equilibrio en coordenadas rectangulares.***

Esto es lo que se muestra en la Fig. 10.1-3 para el sistema ácido acético (*A*)-agua (*B*)-disolvente de éter isopropílico(*C*). (Los datos fueron tomados de Tablas).

El par disolvente *B* y *C* son parcialmente miscibles.

La concentración del componente *C* se grafica en el eje vertical y la de *A* en el eje horizontal.

La concentración del componente *B* se obtiene por diferencia con las Ecs. (2) ó (3):

$$x_B = 1.0 - x_A - x_C \quad (2)$$

$$y_B = 1.0 - y_A - y_C \quad (3)$$

La región de dos fases de la Fig. 10.1-3 está en el interior de la envolvente y la región de una fase en el exterior.

Se muestra una línea de unión *gi* que conecta a la capa rica en agua, llamada *capa de refinado*, y la capa rica en disolvente de éter, llamada *capa de extracto*.

La composición del refinado se designa con  $x$  y la del extracto con  $y$ .

Por consiguiente, a la fracción de masa  $C$  se le denomina  $y_c$  en la capa de extracto y  $x_c$  en la capa de refinado.

Para construir la línea de unión  $gi$  mediante la gráfica de equilibrio  $y_A - x_A$  que está debajo del diagrama de fases, se trazan líneas verticales a  $g$  e  $i$ .

**Datos de Equilibrio Líquido-Líquido del Sistema  
Acido Acético-Agua-Eter Isopropílico a 293 K o 20°C**

Capa de agua (% en peso)			Capa de éter isopropílico (% en peso)		
Acido acético	Agua	Eter isopropílico	Acido acético	Agua	Eter isopropílico
0	98.8	1.2	0	0.6	99.4
0.69	98.1	1.2	0.18	0.5	99.3
1.41	97.1	1.5	0.37	0.7	98.9
2.89	95.5	1.6	0.79	0.8	98.4
6.42	91.7	1.9	1.93	1.0	97.1
13.30	84.4	2.3	4.82	1.9	93.3
25.50	71.1	3.4	11.40	3.9	84.7
36.70	58.9	4.4	21.60	6.9	71.5
44.30	45.1	10.6	31.10	10.8	58.1
46.40	37.1	16.5	36.20	15.1	48.7

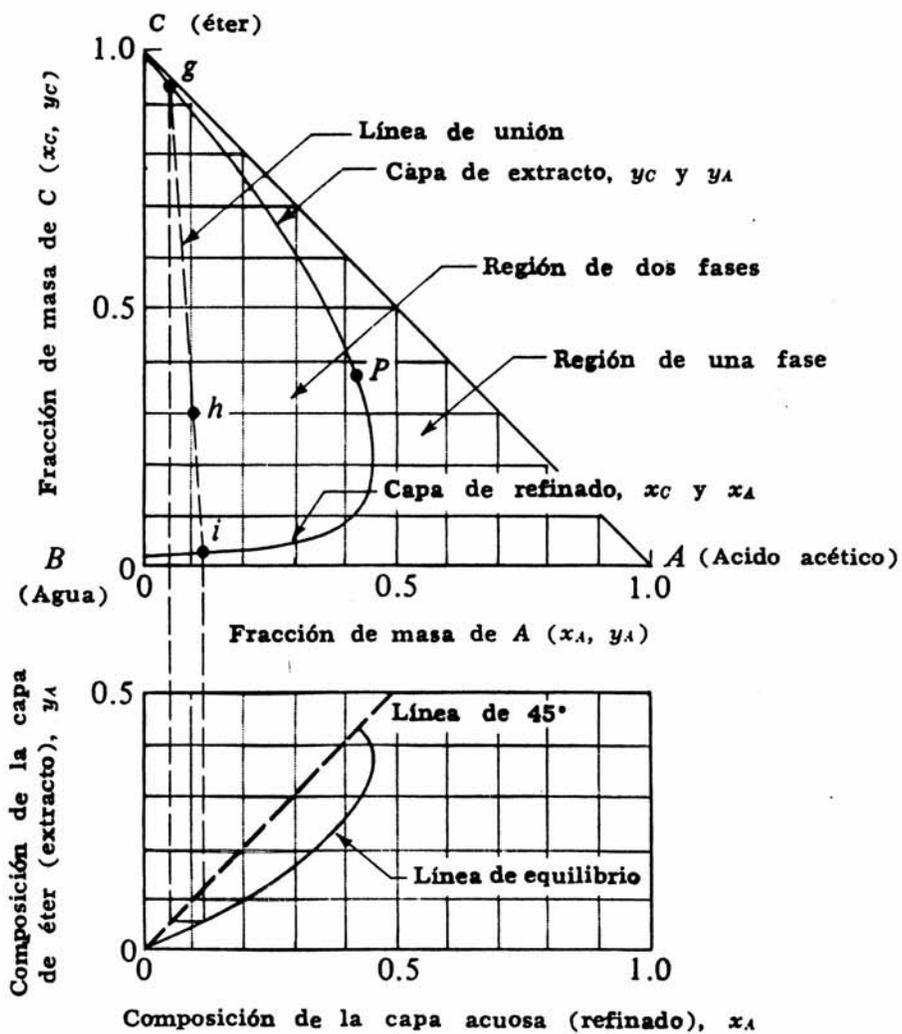


FIGURA 10.1-3 Diagrama de fases líquido-líquido ácido acético (A)-agua (B)-éter isopropílico (C) a 293 K (20°)

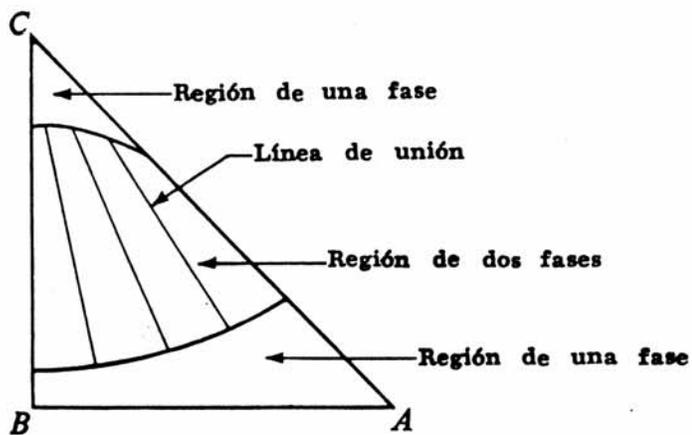


FIGURA 10.1-4 Diagrama de fases donde los pares disolventes B-C y A-C son parcialmente miscibles

## *EJEMPLO: Balance de Materiales Para Capas de Equilibrio*

Una mezcla original que pesa 100 kg y contiene 30 kg de éter isopropílico (C), 10 kg de ácido acético (A) y 60 kg de agua (B), alcanza su equilibrio y las fases de equilibrio se separan. ¿Cuáles son las composiciones de las dos fases de equilibrio?

*Solución:*

La composición de la mezcla original es

$$x_C = 0.30, x_A = 0.10 \text{ y } x_B = 0.60.$$

Esta composición de  $x_C = 0.30$  y  $x_A = 0.10$  se grafica como el punto  $h$  en la Fig. 10.1-3. Se traza la línea de unión  $gi$  a través del punto  $h$  en la Fig. 10.1-3.

Se traza la línea de unión  $gi$  a través del punto  $h$  por un procedimiento de aproximaciones sucesivas.

La composición de la capa de extracto (éter) en el punto  $g$  es (fracción de masa):

$$y_A = 0.04, y_C = 0.94 \text{ y } y_B = 1.00 - 0.04 - 0.94 = 0.02$$

La composición de la capa de refinado (agua) en el punto  $i$  es:

$$x_A = 0.12, x_C = 0.02 \text{ y } x_B = 1.00 - 0.12 - 0.02 = 0.86.$$

En la Fig. 10.1-4 se muestra otro tipo común de diagrama de fases, donde el para disolvente  $B$  y  $C$ , así como  $A$  y  $C$ , son parcialmente miscibles.

Entre los ejemplos de este sistema están el

estireno ( $A$ )-etilbenceno( $B$ )-dietilen-glicol( $C$ ), y

clorobenceno ( $A$ )-metil-etil-cetona( $B$ )-agua( $C$ ).

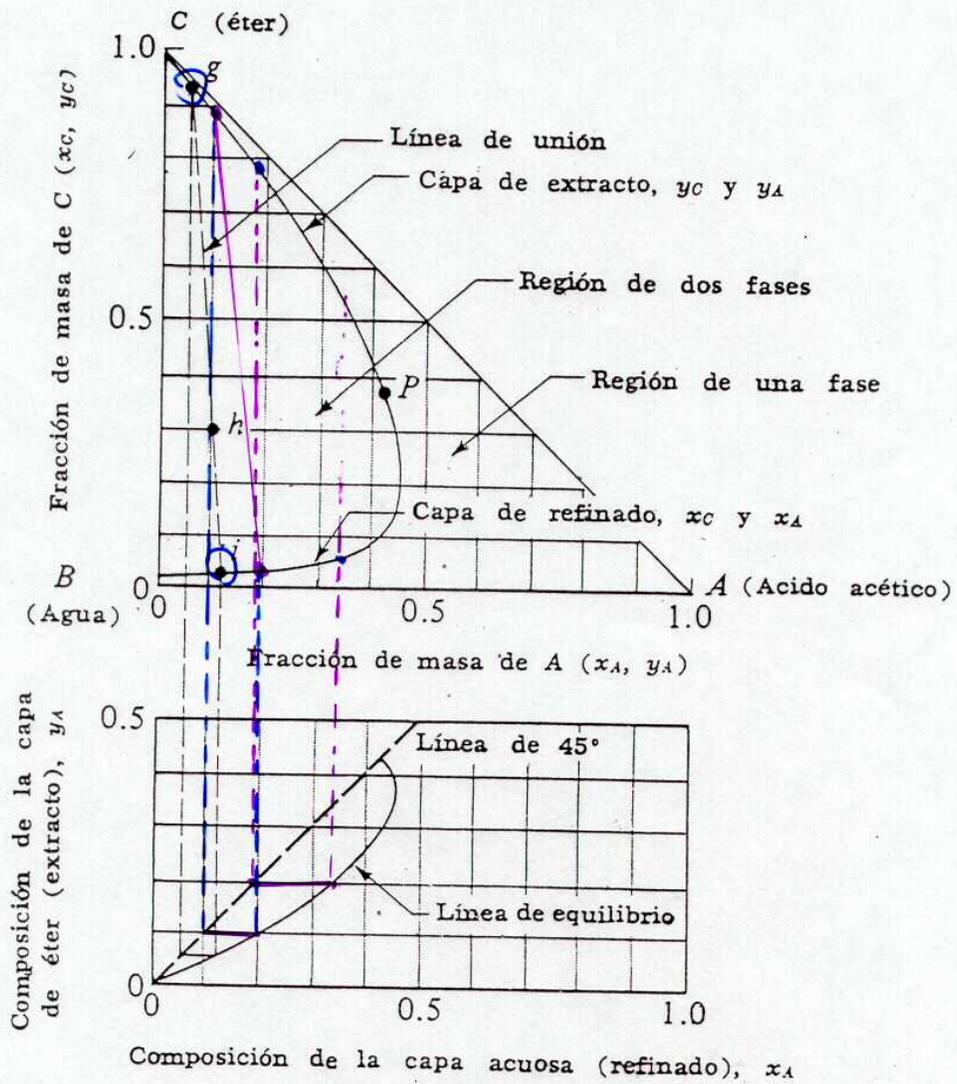


FIGURA 10.1-3 Diagrama de fases líquido-líquido ácido acético (A)-agua (B)-éter isopropílico (C) a 293 K (20°)

## Extracción de Equilibrio en una Sola Etapa

### *Deducción de la regla del brazo de palanca para adición gráfica.*

Se aplicará al uso de las gráficas rectangulares de diagramas de fases para extracción.

En la Fig. 10.1-5a se mezclan dos corrientes  $L$  (kg) y  $V$  (kg), que contienen los componentes  $A$ ,  $B$  y  $C$ , para obtener la corriente de mezcla resultante de  $M$  (kg) de masa total.

Escribiendo un balance total de masa y un balance con respecto a  $A$ ,

$$V + L = M \quad (4)$$

$$Vy_A + Lx_A = Mx_{AM} \quad (5)$$

donde  $x_{AM}$  es la fracción de masa de  $A$  en la corriente  $M$ .

Escribiendo un balance para el componente  $C$ ,

$$Vy_C + Lx_C = Mx_{CM} \quad (6)$$

Combinando las Ecs. (4) y (5),

$$\frac{L}{V} = \frac{y_A - x_{AM}}{x_{AM} - x_A} \quad (7)$$

Combinando las Ecs. (10.1-4) y (10.1-6),

$$\frac{L}{V} = \frac{y_C - x_{CM}}{x_{CM} - x_C} \quad (8)$$

Igualando las Ecs. (10.1-7) y (10.1-8) y reordenando,

$$\frac{x_C - x_{CM}}{x_A - x_{AM}} = \frac{x_{CM} - y_C}{x_{AM} - y_A} \quad (9)$$

Esto indica que los puntos  $L$ ,  $M$  y  $V$  deben formar una línea recta.

Usando las propiedades de los triángulos rectángulos semejantes,

$$\frac{L(kg)}{V(kg)} = \frac{\overline{VM}}{\overline{LM}} \quad (10)$$

Esta es la regla del brazo de palanca y enuncia que  $L/kg$   $V$  es igual a la

(longitud de la línea  $\overline{VM}$ ) / (longitud de la línea  $\overline{LM}$ ).

Además,

$$\frac{L(kg)}{M(kg)} = \frac{\overline{VM}}{\overline{LV}} \quad (11)$$

Estas mismas ecuaciones también son válidas para mol kg y fracción mol, etc.

**Extracción de Equilibrio en una Sola Etapa**

1. Deducción de la regla del brazo de palanca para adición gráfica.

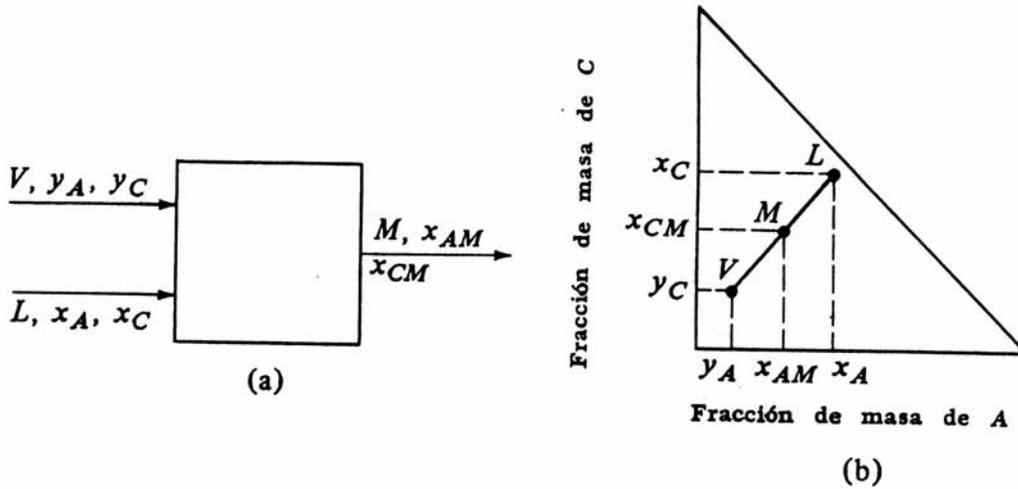


FIGURA 10.1-5 Adición gráfica y regla del brazo de palanca: (a) flujo del proceso, (b) adición gráfica

2. Extracción de equilibrio en una sola etapa.

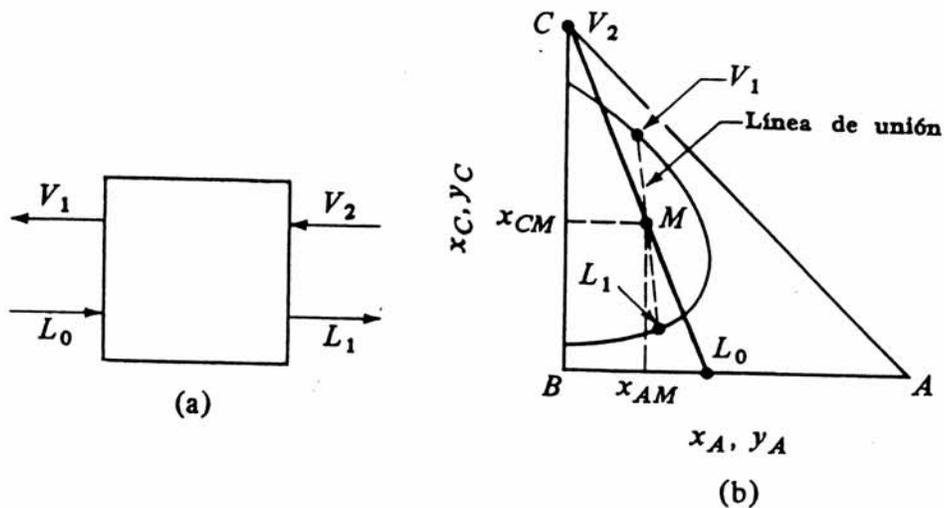


FIGURA 10.1-6 Extracción de equilibrio líquido-líquido en una sola etapa: (a) diagrama de flujo del proceso, (b) gráfica en un diagrama de fases

### **EJEMPLO : Cantidades de Fases en Extracción por Disolvente**

Las composiciones de las dos capas de equilibrio del Ej. anterior son,

para la capa de extracto ( $V$ ):  $y_A = 0.04$ ,  $y_B = 0.02$  y  $y_C = 0.94$ ,

para la capa de refinado ( $L$ ),  $x_A = 0.12$ ,  $x_B = 0.86$  y  $x_C = 0.02$ .

La mezcla original contenía 100 kg y  $x_{AM} = 0.10$ .

Determinar las cantidades de  $V$  y  $L$ .

#### **Solución:**

Sustituyendo en la Ec. (4),

$$V + L = M = 100$$

Sustitúyase en la Ec. (10.1-5), donde  $M = 100$  kg y  $x_{AM} = 0.10$ ,

$$V(0.04) + L(0.12) = 100(0.10)$$

Resolviendo simultáneamente las dos ecuaciones,

$$L = 75.0 \quad \text{y} \quad V = 25.0$$

Con otro procedimiento, la regla del brazo de palanca, la longitud de la línea  $hg$  en la Fig. 10.1-3 es 4.2 unidades, y la de la línea  $gi$  es igual a 5.8 unidades.

Entonces, por medio de la Ec. (11),

$$\frac{L}{M} = \frac{L}{100} = \frac{\overline{hg}}{gi} = \frac{4.2}{5.8}$$

Despejando,  $L = 72.5 \text{ kg}$  y  $V = 27.5 \text{ kg}$ ,

que constituye una comprobación bastante razonable del método de balance de materiales.

## ***Extracción de equilibrio en una sola etapa.***

Se considerará ahora la separación de  $A$  de una mezcla de  $A$  y  $B$  por medio del disolvente  $C$  en una sola etapa de equilibrio.

Este proceso se muestra en la Fig. 10.1-6a, con las entradas de las corrientes  $V_2$  y  $L_0$ .

Las corrientes se mezclan y alcanzan su equilibrio, y

las corrientes de salida  $L_1$  y  $V_1$  salen del proceso en equilibrio entre sí.

Las ecuaciones para este proceso son las siguientes, donde

$y$  representa a la composición de las corrientes  $V$ , y

$x$  a las corrientes  $L$

$$L_0 + V_2 = L_1 + V_1 = M \quad (12)$$

$$L_0 X_{A0} + V_2 Y_{A2} = L_1 X_{A1} + V_1 Y_{A1} = M X_{AM} \quad (13)$$

$$L_0 X_{C0} + V_2 Y_{C2} = L_1 X_{C1} + V_1 Y_{C1} = M X_{CM} \quad (14)$$

Puesto que  $x_A + x_B + x_C = 1.0$ , no se requiere una ecuación en términos de  $B$ .

Para resolver estas tres ecuaciones, es útil el diagrama de fases de equilibrio de la Fig. 10.1-6b.

Puesto que se conocen las cantidades y las composiciones de  $L_0$  y  $V_2$ , es posible calcular los valores de  $M$ ,  $x_{AM}$  y  $x_{CM}$  en base a las Ecs (12)-(14).

Los puntos  $L_0$ ,  $V_2$  y  $M$  pueden graficarse tal como se muestra en la Fig. 10.1-6b.

Entonces, mediante un procedimiento de aproximaciones sucesivas se traza una línea de unión a través del punto  $M$ , que localiza las composiciones de  $L_1$  y  $V_1$ .

Las cantidades de  $L_1$  y  $V_1$  pueden determinarse por sustitución en las Ecs. (12-14), o usando la regla del brazo de palanca.