

Clase Auxiliar 5.Lixiviación**PROBLEMA N° 1**

Se prepara soda cáustica mediante el tratamiento de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) con una solución de carbonato de sodio (NaCO_3). La suspensión resultante consiste en partículas de carbonato de calcio (CaCO_3) suspendidas en una solución 10% en peso de hidróxido de sodio (NaOH) con $0,125 \frac{\text{kg sólido suspendido}}{\text{kg solución}}$. Para recuperar la soda cáustica se realiza un proceso de sedimentación, el cual en cada etapa entrega una solución clara de hidróxido de sodio más un lodo que es separado y sometido a nuevo tratamiento reemplazando el líquido extraído por agua pura en igual cantidad másica. Después de repetir el proceso un total de dos lavados con agua fresca determine:

¿Qué fracción de la soda cáustica original en la suspensión permanece sin recuperar y se pierde en el lodo?

Los datos de equilibrio del proceso son presentados a continuación en la tabla N° 1.

Tabla N° 1.

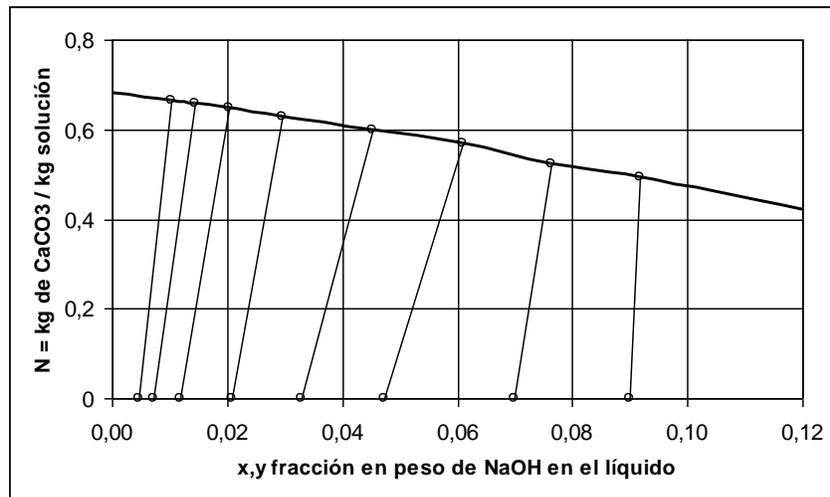
x = fracción peso NaOH en solución clara	N = kg CaCO_3 /kg solución en el lodo sedimentado	y* = fracción peso NaOH en solución del lodo sedimentado
0,0900	0,495	0,09170
0,0700	0,525	0,07620
0,0473	0,568	0,06080
0,0330	0,600	0,04520
0,0208	0,630	0,02950
0,0119	0,650	0,02040
0,0071	0,659	0,01435
0,0045	0,666	0,01015

SOLUCIÓN:

Los datos de equilibrio presentados en la tabla N° 1 se grafican en la figura N° 1. Se tomará como base de cálculo 1 kg de solución de la mezcla original, la que contiene, según los datos, 0,1 kg de NaOH (que denominaremos C) y 0,9 kg de agua (que denominaremos A). Además sabemos que la cantidad de sólidos suspendidos es $B = 0,125$ kg de CaCO_3 .

La forma de graficar es: x sobre el eje de las abscisas, y^* sobre la curva que se forma entre los valores de N e y^* . x e y^* se unen por líneas de equilibrio para cada caso del valor N otorgado en la tabla.

Figura N° 1.



Etapas N° 1

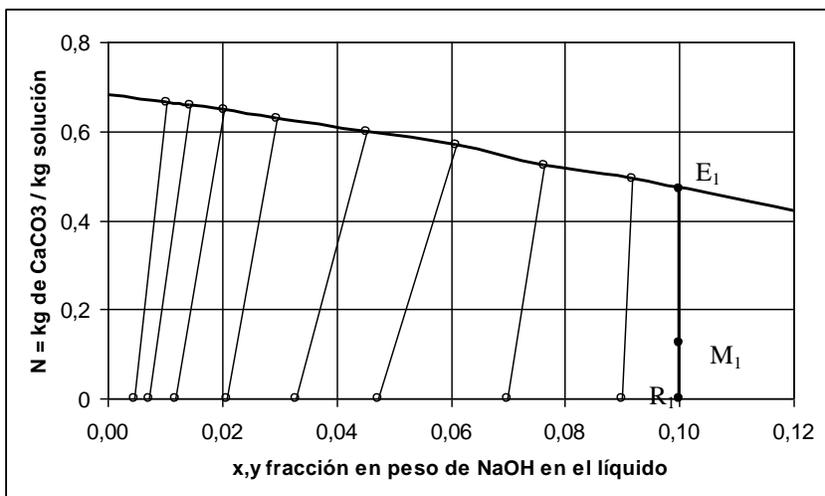
La mezcla original corresponde a M_1 con $N_{M1} = 0,125$ kg CaCO_3 / kg solución; $y_{M1} = 0,10$ kg NaOH / kg solución. M_1 se grafica en la figura y se traza la línea de equilibrio a través de este punto (por defecto se suponen rectas perpendiculares al eje de las abscisas a menos que se indique lo contrario). En el punto E_1 , que representa el lodo sedimentado, obtenemos del gráfico que $N_1 = 0,47$ e $y_1 = 0,10$.

Utilizando las ecuaciones de balance de masa correspondiente se obtiene que:

$$E_1 = \frac{B}{N_1} = \frac{0,125}{0,470} = 0,266 \text{ kg solución en el lodo}$$

$$R_1 = 1 - E_1 = 1 - 0,266 = 0,734 \text{ kg de solución clara}$$

Figura N° 2.



Etapa N° 2

$R_0 = 0,734$ kg de agua agregada

$x_0 = 0$ kg NaOH/kg solución

(recordar que el enunciado establece que la solución clara obtenida en la etapa N° 1 se reemplaza por agua pura).

El balance de masa global en esta etapa será:

$$M_2 = E_1 + R_0 = E_2 + R_2 = 0,266 + 0,734 = 1,0 \text{ kg de líquido}$$

Luego podemos determinar el punto M_2 :

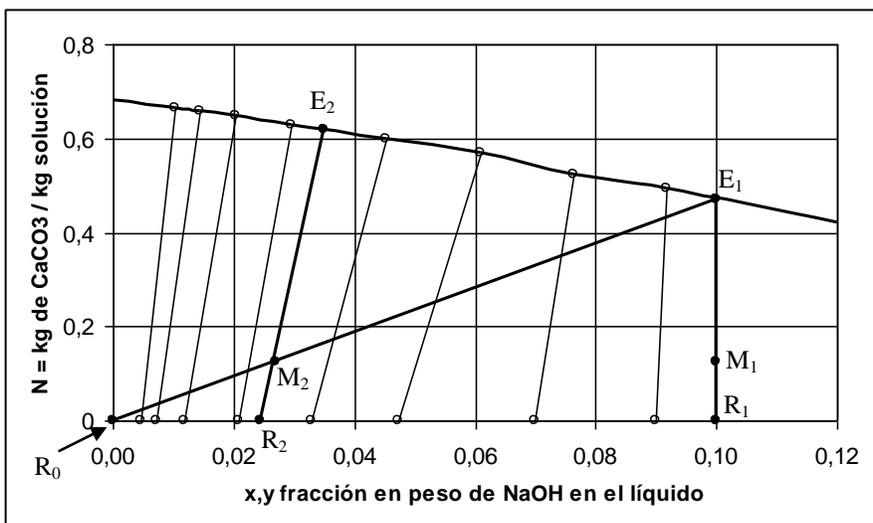
$$N_{M_2} = \frac{B}{E_1 + R_0} = \frac{B}{M_2} = \frac{0,125}{1,00} = 0,125$$

El punto M_2 se localiza sobre la línea $R_0 - E_1$ en su valor de N y se traza la línea de equilibrio (siguiendo la tendencia de las pendientes de las líneas de equilibrio conocidas) a través de M_2 . Así en E_2 : $N_2 = 0,62$ e $y_2 = 0,035$, y además:

$$E_2 = \frac{B}{N_2} = \frac{0,125}{0,620} = 0,202 \text{ kg solución en el lodo}$$

$$R_2 = 1 - E_2 = 1 - 0,202 = 0,798 \text{ kg de solución clara}$$

Figura N° 3.



Etapas N° 3

$R_0 = 0,798$ kg de agua agregada
 $x_0 = 0$ kg NaOH /kg solución.

El balance de masa global en esta etapa será:

$$M_3 = E_2 + R_0 = 0,202 + 0,798 = 1,0 \text{ kg de líquido.}$$

Luego podemos determinar el punto M_3 :

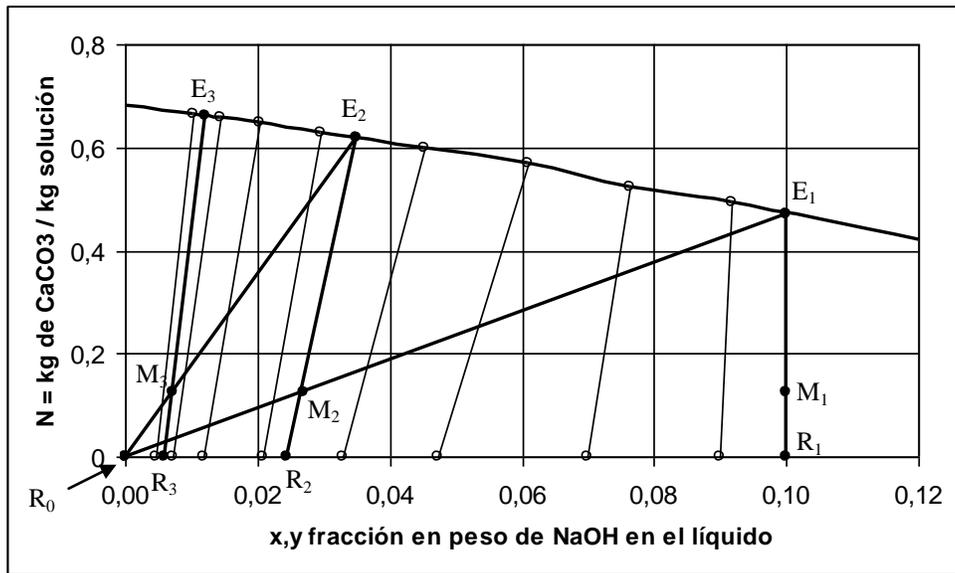
$$N_{M_3} = \frac{B}{M_3} = \frac{0,125}{1,00} = 0,125$$

El punto M_3 se localiza sobre la línea $R_0 - E_2$ en su valor de N y se traza la línea de unión a través de M_3 . Luego en E_3 : $N_3 = 0,662$ e $y_3 = 0,012$, y además:

$$E_3 = \frac{B}{N_3} = \frac{0,125}{0,662} = 0,189 \text{ kg solución en el lodo}$$

$$R_3 = 1 - E_3 = 1 - 0,189 = 0,811 \text{ kg de solución clara}$$

Figura N° 4.



Entonces,

Para la solución en el lodo final se tiene $E_3 \times y_3 = 0,189 \times 0,012 = 0,00227$ kg NaOH en el lodo, o bien, en términos relativos $(\frac{0,00227}{0,1}) \times 100 = 2,27\%$ del original.

PROBLEMA N° 2

Un sistema continuo en contracorriente de múltiples etapas es usado para lixiviar aceite de comida (harina) desde un solvente (benceno, C). En este proceso se tratarán 2.000 kg/h de un sólido inerte (harina, B) que contiene 800 kg de aceite (A) y 50 kg de benceno (C). El flujo de entrada por hora de la mezcla de solvente fresco contiene 1.310 kg de benceno y 20 kg de aceite. El sólido lixiviado contiene 120 kg de aceite. Experimentos similares al descrito en el mismo extractor muestran que la solución retenida depende de la concentración de aceite en la solución. Los datos (B3) son informados en tabla N° 2 siendo $N \text{ kg de sólido inerte B/kg de solución e } y_A \text{ kg de aceite/kg de solución}$.

Tabla N° 2.

N	2	1,98	1,94	1,89	1,82	1,75	1,68	1,61
y_A	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

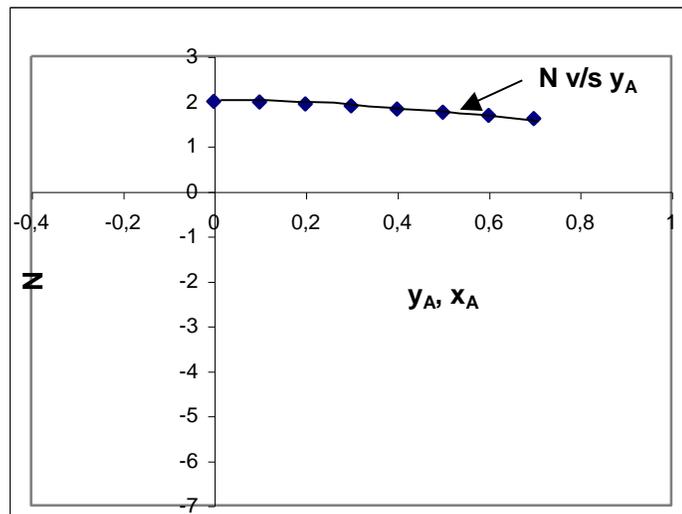
Calcule la cantidad y concentración del flujo de salida y el número de etapas requeridas en el proceso.

SOLUCIÓN:

Los datos de la tabla son graficados en la siguiente figura como $N \text{ v/s } y_A$.

NOTA: Si no son otorgados los valores de x entonces se puede asumir que todas las curvas de equilibrio son perpendiculares al eje de las abscisas

Figura N° 5.



Paso N° 1) En la solución de entrada con sólidos:

$$L_0 = 800 + 50 = 850 \text{ kg/h (flujo de aceite (A) + flujo de solvente benceno (C) en B)}$$

$$y_{A0} = 800/(800+50) = 0,941 \text{ (} \frac{\text{kg (A)}}{\text{kg (A) + kg (C)}} \text{ i en flujo de entrada de sólido!)}$$

$$B = 2.000 \text{ kg/h (flujo de sólidos a tratar)}$$

$$N_0 = 2.000/(800 + 50) = 2,36 \text{ (} \frac{\text{flujo de B a tratar}}{\text{flujo (A) + flujo (C)}} \text{)}$$

Paso N° 2) En la solución de entrada de solvente lixiviante:

$$V_{N+1} = 1.310 + 20 = 1.330 \text{ kg/h (flujo de solvente fresco)}$$

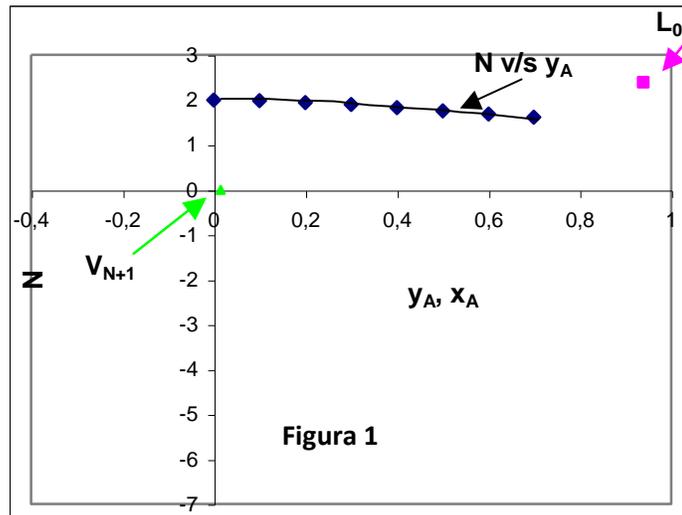
$$x_{AN+1} = 20/1.330 = 0,015 \text{ (} \frac{\text{kg (A)}}{\text{kg (A) + kg (C)}} \text{ i en flujo de entrada de solvente!)}$$

$$N_{N+1} = 0 \text{ (regularmente se supone el líquido libre de sólidos a menos que se indique lo contrario)}$$

Paso N° 3) Los puntos V_{N+1} y L_0 son graficados en la **Figura N° 6**.

L_0 } V_{N+1} }	N_0	y_{A0}
	2,36	0,941
	N_{N+1}	x_{AN+1}
	0	0,015

Figura N° 6.



El punto L_N está sobre la recta N v/s y_A en la **Figura N° 7**.

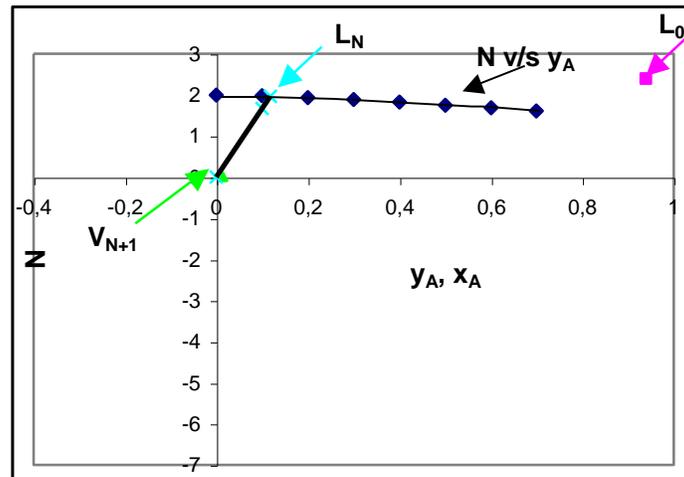
Además en el punto L_N , cumple con la razón:

$$\frac{N_N}{y_{AN}} = \frac{\text{(kg sólido/kg de solución)}}{\text{(kg de aceite/kg de solución)}}$$

$$\frac{N_N}{y_{AN}} = \text{kg sólido/kg de aceite} = 2.000/120 = 16,67$$

Por lo tanto la recta que pasa a través del origen, es decir, $y_A = 0$ y $N = 0$ es graficada con una pendiente igual a 16,67; esta recta intersecta a la línea dada por "N v/s y_A " en el punto L_N .

Figura N° 7.



Gráficamente determinamos:

$N_N = 1,95$ kg de solido/kg de solución.

$y_{AN} = 0,118$ kg de aceite/kg de solución.

Haciendo el balance total de la solución ($\frac{\text{solute A} + \text{solvente C}}{\text{hr}}$ igual al flujo total la mezcla, M) en el proceso, se tiene:

$$L_0 + V_{N+1} = L_N + V_1 = M$$

Donde:

$$L_0 + V_{N+1} = 850 + 1.330 = 2.180 \text{ kg/h} = M$$

Luego hacemos un balance de A:

$$L_0 \cdot y_{A0} + V_{N+1} \cdot x_{AN+1} = M \cdot x_{AM}$$

, y sustituyendo obtenemos:

$$L_0 \cdot y_{A0} + V_{N+1} \cdot x_{N+1} = 850 \cdot (0,941) + 1.330 \cdot (0,015) = 2.180 \cdot x_{AM}$$

Entonces:

$$x_{AM} = 0,376$$

Finalmente se hace un balance total de sólidos en B, donde:

$$B = N_0 \cdot V_{N+1} = N_N \cdot L_N = N_M \cdot M$$

Pero sabemos que $B = 2.000$, luego se tiene:

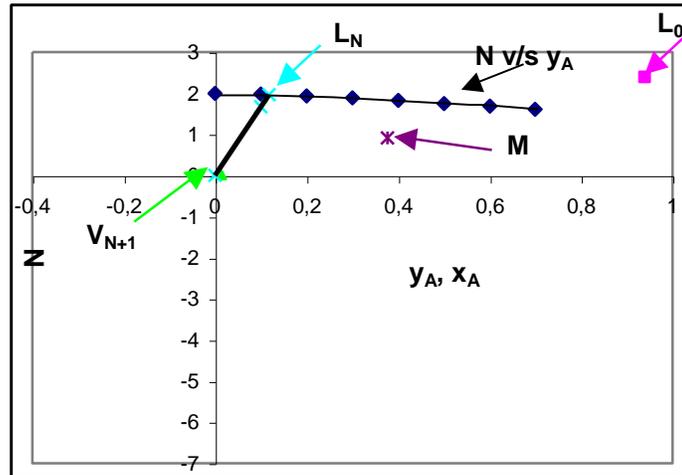
$$B = 2.000 = N_M \cdot M = N_M \cdot (2.180)$$

Entonces:

$$N_M = 0,918$$

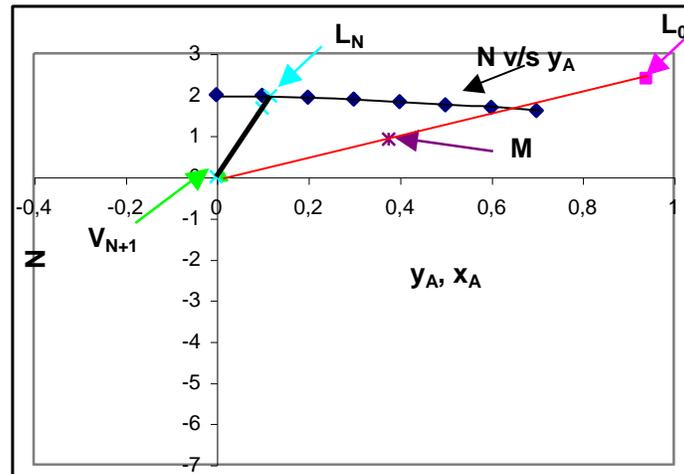
El punto M es graficado con las coordenadas $x_{AM} = 0,376$ y $N_M = 0,918$ en la **Figura N° 8**.

Figura N° 8.



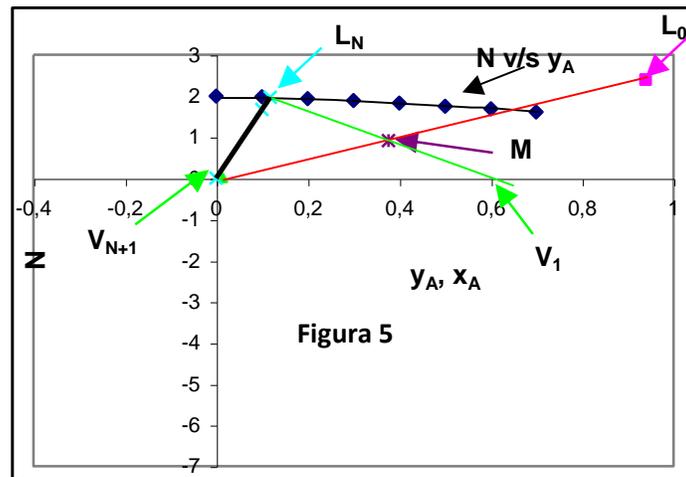
La línea que pasa por V_{N+1} M L_0 se dibuja en la figura N° 9.

Figura N° 9.



Como ésta es la línea que pasa por el punto M (que recién despejamos), podemos dibujar la recta que pasa por L_N y M y que al intersectar el eje de las coordenadas nos entrega el punto V_1 . Ver **Figura N° 10**.

Figura N° 10.



Obtenemos así: $x_{A1} = 0,600$

$$L_0 + V_{N+1} = L_N + V_1 = M$$

$$L_0 \cdot y_{A0} + V_{N+1} \cdot x_{AN+1} = L_N \cdot y_{AN} + V_1 \cdot x_{A1} = M \cdot x_{AM}$$

Resolviendo simultáneamente:

$$L_N + V_1 = M = 2.180$$

$$L_N \cdot y_{AN} + V_1 \cdot x_{A1} = M \cdot x_{AM} = L_N \cdot (0,118) + V_1 \cdot (0,600) = 2.180 \cdot (0,376)$$

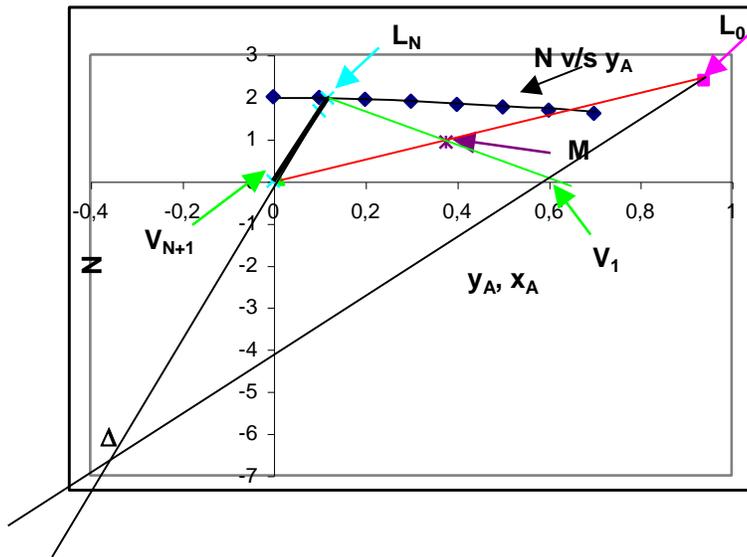
Luego:

$L_N = 1.016$ kg solución/h en el flujo de salida y

$V_1 = 1.164$ kg solución/h en el flujo de salida "sobrenadante" (no como sólidos).

El punto de operación Δ se obtiene de la intersección de las líneas $L_0 - V_1$ y $L_N - V_{N+1}$.
Ver la **Figura N° 11**.

Figura N° 11.



Las coordenadas de Δ pueden ser también calculadas con las ecuaciones:

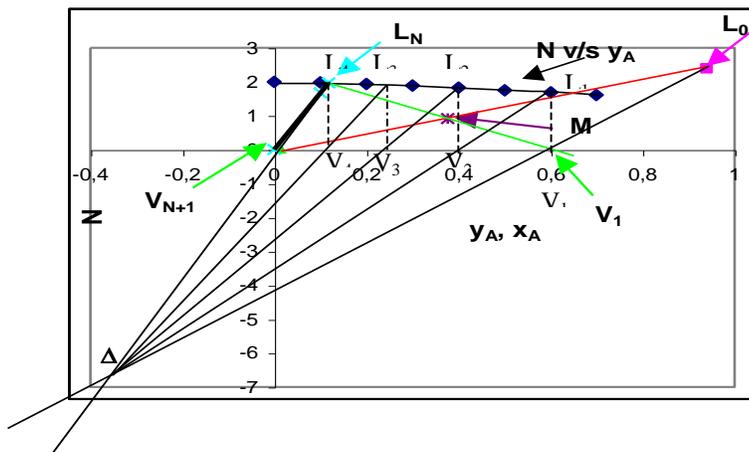
$$x_{A\Delta} = (L_0 \cdot y_{A0} - V_1 \cdot x_{A1}) / (L_0 - V_1) = (L_N \cdot y_{AN} - V_{N+1} \cdot x_{AN+1}) / (L_N - V_{N+1})$$

$$N_{\Delta} = B / (L_0 - V_1) = N_{\Delta} \cdot L_0 / (L_0 - V_1)$$

Esta última ecuación proviene del balance de masa de los sólidos.

El número de etapas necesarias se dibuja paso a paso sobre el último gráfico (teniendo L_N , V_{N+1} , M , L_0 , V_1 y Δ), esto se puede ver en la Figura N° 12.

Figura N° 12.



De las 4 etapas L_4 corresponde a L_N , se ve que se requieren 3,9 etapas, pero como debe ser un entero se aproxima al entero superior para cumplir con los requerimientos.