

Lavador Continuo para Obtener Sulfato de Quinina

Por NEIL GILCHRIST L.

(Capítulo final de un estudio sobre la industria de la quinina).

Con el objeto de aumentar la capacidad de lavado y poder circular un flujo mayor de aceite, se diseñó un tipo de lavador donde la cámara de agitación fuera pequeña y la de separación sirviera también como depósito para guardar la solución acuosa.

Principios:

Si dos recipientes, uno con aceite y otro con agua, se comunican entre sí por el fondo y por encima, según la figura 14, tendremos que las presiones ejercidas por los dos líquidos en la comunicación del fondo, serán distintas; la del aceite será (por unidad de área), igual a $h_a \cdot d_a$ y la del agua será igual a $h_w \cdot d_w$. La diferencia de presión hará que el agua trate de pasar del recipiente B al recipiente A, por la comunicación del fondo. El aceite será desplazado de A a B, por la comunicación superior, ocupando el espacio dejado por el agua, hasta llegar a un equilibrio en que los líquidos en los dos recipientes ejerzan la misma presión. Cada columna de líquido estará formada, en cada recipiente, por agua en la base y aceite en la parte superior y serán iguales los niveles del agua y del aceite en los dos recipientes A y B (figura 15), y tendremos que:

$$h_w A \cdot d_w \text{ -|} h_a A \cdot d_a = h_w B \cdot d_w \text{ -|} h_a B \cdot d_a$$

Si se sacara agua de A para ponerla en B, se rompería el equilibrio y se tendría un flujo de agua de A a A por la comunicación de la base.

El principio anterior sirvió de base para el estudio y diseño

Lavador Continuo para Obtener Sulfato de Quinina

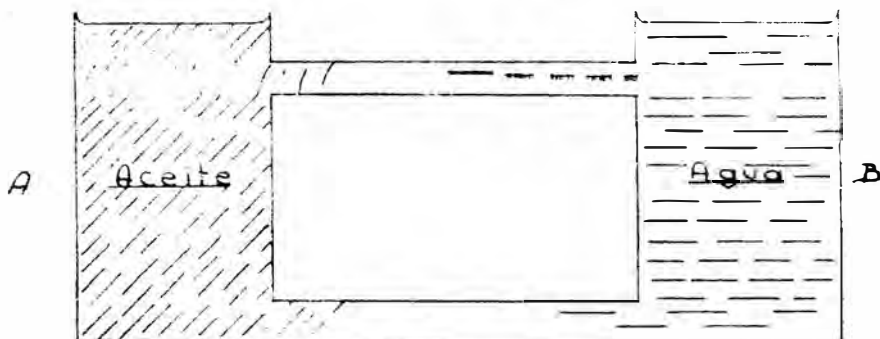


Fig. 14

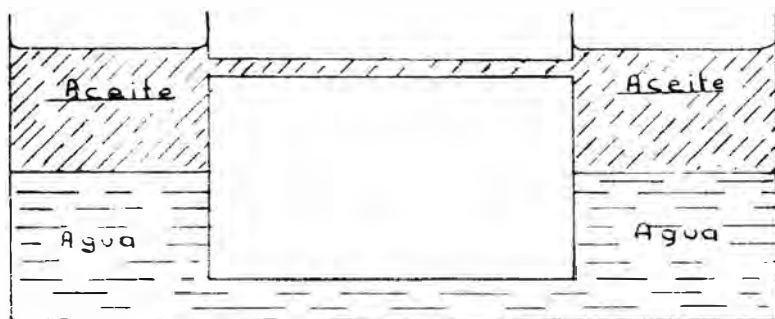


Fig 15

de un lavador continuo para líquidos. En la figura 16 tenemos la misma disposición que en la figura 15, o sea, dos recipientes A y B y con agua en el fondo y aceite en la parte superior, con las mismas comunicaciones, una por el fondo (d) y otra en la parte superior (b) al nivel del aceite. Además tenemos por (a) la entrada del aceite que se quiere lavar y por (c) la salida del aceite lavado. Esta salida está al mismo nivel que la comunicación (b) entre los recipientes. Al hacer entrar aceite por (a) al recipiente A, éste se desplazará a B por la comunicación superior y saldrá de B por (c). Si junto con la entrada de aceite en A se agita fuertemente en este recipiente, el agua se emulsionará con el aceite y el aceite que entra irá desplazando la emulsión de A a B por la comunicación (b). En el recipiente B se romperá la emulsión y se separarán los líquidos en dos capas, saliendo el aceite por (c) y quedando el agua junto con la que había en B. En otros términos, la emulsión pasará agua de A a B. Al disminuir el a-

gua en A la presión en este recipiente se hace menor a la presión en B, lo que hará posible que pase agua de B a A por la comunicación del fondo. Este flujo de agua dependerá de la presión, o sea, de la diferencia de presión entre los dos recipientes y será mayor cuando menos agua haya en A.

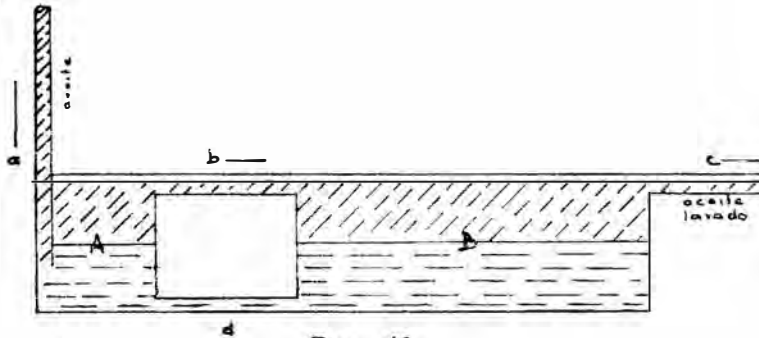


Fig 16

$$Q = \frac{cm^3}{seg}$$

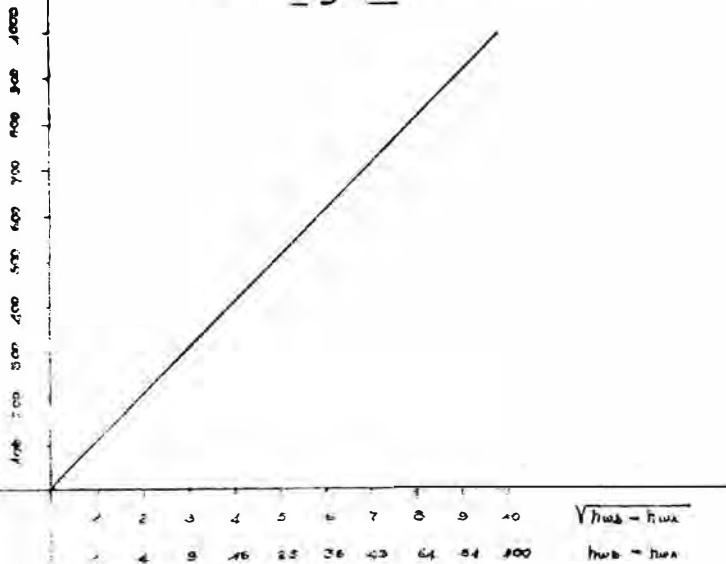


Fig 17

Haciendo a A muy pequeño con respecto a B podemos considerar constante el nivel de agua en B, aunque éste varía en A.

Al agitar en A se formará una emulsión y esta emulsión ejercerá una presión igual a la suma de las presiones que ejercen sus componentes cuando están separados y para el agua será igual a:

$$PW = hWA \cdot dW$$

El valor de la presión P que hará pasar agua de B a A estará

dado por la diferencia de presión en los dos recipientes. Haciendo h_{WB} = altura de agua en B; d_W = densidad del agua; h_{aB} = altura del aceite en B; d_a = densidad del aceite; h_{WA} = altura del agua en A; y h_{aA} = altura del aceite en A tendremos:

$$P = (h_{WB} \cdot d_W - h_{aB} \cdot d_a) - (h_{WA} \cdot d_W - h_{aA} \cdot d_a)$$

$$P = h_{WB} \cdot d_W - h_{aB} \cdot d_a - h_{WA} \cdot d_W + h_{aA} \cdot d_a$$

$$P = d_W (h_{WB} - h_{WA}) - d_a (h_{aA} - h_{aB})$$

La diferencia de nivel del agua en los dos recipientes siempre será igual a la diferencia de nivel del aceite:

$$h_{WB} - h_{WA} = h_{aA} - h_{aB}$$

La expresión quedará entonces:

$$P = (h_{WB} - h_{WA}) (d_W - d_a)$$

Esta presión dada en gr./cm.² corresponde a una columna del líquido más pesado igual a:

$$H = \frac{P}{d_W}$$

$$H = \frac{(h_{WB} - h_{WA}) (d_W - d_a)}{d_W}$$

$$H = (h_{WB} - h_{WA}) \left(1 - \frac{d_a}{d_W}\right)$$

Suponiendo que los dos recipientes están muy cerca y comunicados directamente, podemos desprestigiar las pérdidas por fricción en el flujo de agua.

Este flujo será igual a:

1)

$$Q_W = F \sqrt{2gH}$$

donde F = sección del conducto en cm.²

Y en el caso que estudiamos: ,

$$Q_W = F \sqrt{2g} (h_{WB} - h_{WA}) \left(1 - \frac{d_a}{d_W}\right)$$

2)

$$Q_W = F \sqrt{2g} \sqrt{1 - \frac{d_a}{d_W}} \sqrt{h_{WB} - h_{WA}}$$

Al tratar una determinada cantidad de aceite con una determinada cantidad de agua, tendremos que la relación, entre los dos flujos será igual a la relación entre las correspondientes fracciones de agua y aceite en la emulsión:

$$\frac{Q_W}{Q_a} = \frac{f_W}{f_a}$$

de donde:

3)

$$QW = Qa \frac{fW}{fa}$$

De las ecuaciones (2) y (3) deducimos que:

$$F \sqrt{2g} \sqrt{1 - \frac{da}{dW}} \sqrt{hWB - hWA} = Q \times \frac{fW}{fa}$$

$$\sqrt{hWB - hWA} = \frac{Qa \frac{fW}{fa}}{F \sqrt{2g} \sqrt{1 - \frac{da}{dW}}}$$

$$hWB - hWA = \frac{Qa^2 \left(\frac{fW}{fa}\right)^2}{F^2 \times 2g \left(1 - \frac{da}{dW}\right)}$$

$$hWB - hWA = \frac{Qa^2 \left(\frac{fW}{fa}\right)^2}{F^2 \times 2g \left(1 - \frac{da}{dW}\right)}$$

$$hWB - hWA = \frac{Qa^2 \left(\frac{fW}{fa}\right)^2}{F^2 \times 2g \left(1 - \frac{da}{dW}\right)}$$

$$hWB - hWA = \frac{Qa^2 \left(\frac{fW}{fa}\right)^2}{F^2 \times 2g \left(1 - \frac{da}{dW}\right)}$$

$$hWB = \frac{Qa^2 \left(\frac{fW}{fa}\right)^2}{F^2 \times 2g \left(1 - \frac{da}{dW}\right)} + hWA$$

Pero la altura de agua en A es igual a:

$$hWA = ht \cdot fW$$

siendo ht la altura total de la emulsión. Reemplazando también el valor de g, tendremos:

4)

$$hWB = \frac{Qa^2 \left(\frac{fW}{fa}\right)^2}{1.962 F^2 \left(1 - \frac{da}{dW}\right)} + ht \cdot fW$$

Lavador Continuo para Obtener Sulfato de Quinina

Esta fórmula nos da la altura de agua (o líquido más pesado) en el recipiente B, en función del flujo del líquido más liviano, de la relación de mezcla que se quiera en A, de la relación entre las densidades de los dos líquidos y de la altura total de líquido en el aparato.

Tomando un caso concreto donde se va a lavar un aceite liviano de densidad 0,86 con una solución diluida de ácido sulfúrico de densidad 1,07 y haciendo la comunicación del fondo de una sección de 5,07 cm.² (1" de diámetro) tendremos, aplicando la fórmula 2, un flujo de agua ácida de:

$$QW = F \sqrt{2g} \sqrt{1 - \frac{d_a}{d_W}} \times \sqrt{h_{WB} - h_{WA}}$$

$$QW = 5,07 \sqrt{1.962} \sqrt{1 - 0,86/1,07} \sqrt{h_{WB} - h_{WA}}$$

$$QW = 5,07 \cdot 44,3 \times 0,443 \times \sqrt{h_{WB} - h_{WA}}$$

$$QW = 99,5 \times \sqrt{h_{WB} - h_{WA}}$$

Resolviendo para distintas diferencias de nivel de agua, tendremos:

$$QW = 99,5 \sqrt{9} = 298,5 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

$$QW = 99,5 \sqrt{25} = 497,0 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

$$QW = 99,5 \sqrt{49} = 696,5 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

$$QW = 99,5 \sqrt{81} = 895,0 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

Llevando estos valores a un gráfico donde los ejes son QW y $\sqrt{h_{WB} - h_{WA}}$, se obtiene una línea recta (figura 17).

Se ha visto que a determinado desnivel en el agua de los recipientes corresponde un determinado flujo de agua y para que este flujo se mantenga constante, el nivel de agua en A o en otros términos, la fracción de agua en la emulsión, no debe variar, para lo cual debe mantenerse constante también la entrada de aceite para que la mezcla tenga siempre la misma composición.

Al lavar determinado flujo de aceite con una determinada cantidad de agua la relación de mezcla es conocida y con ello el flujo de agua:

$$Q_w = Q_a \frac{f_w}{f_a}$$

En el gráfico se busca el desnivel necesario para producir ese flujo de agua y luego la altura de agua en B:

$$h_{WB} - h_{WA} = a = (\text{diferencia de nivel})$$

$$h_{WA} = h_t \times f_w$$

$$h_{WB} = a + h_t \times f_w$$

Para ver si los niveles de agua necesarios en los recipientes están dentro de límites razonables que permitan una aplicación práctica del sistema, tomaremos un caso concreto.

Si se quiere lavar, por ejemplo, un flujo de aceite de 50 lts./min. (834 cm.³/seg.) con una cantidad de agua ácida igual a la mitad a la del aceite, tendremos que:

$$\frac{f_w}{f_a} = \frac{0,33}{0,66}$$

$$Q_w = Q_a \frac{f_w}{f_a}$$

$$Q_w = 834 \frac{0,33}{0,66}$$

$$Q_w = 417 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

Al buscar en el gráfico el desnivel necesario para producir este flujo de agua, encontramos para $\sqrt{h_{WB}} - h_{WA}$ un valor de 4,2 lo que corresponde a un desnivel de 17,5 cm.

$$h_{WB} - h_{WA} = 17,5$$

pero

$$h_{WA} = h_t \times f_w$$

y suponiendo la altura de la emulsión de 60 cm. tendremos:

$$h_{WB} = 17,5 + 60 \times 0,33$$

$$h_{WB} = 37,5 \text{ cm.}$$

El valor de h_{WB} se puede encontrar también empleando directamente la fórmula 4. El resultado muestra que con desniveles relativamente pequeños es posible lavar flujos abundantes de aceite.

Construcción del lavador y cálculos de los flujos

De acuerdo con esto se construyó un aparato de ensayo para lavar una vez un flujo de aceite, de acuerdo con el diseño que aparece en la figura 18. El cuerpo se hizo de madera de un grueso de 5 cm. Los recipientes A y B se separaron por un tabique de la misma madera a todo lo ancho del aparato y a una altura 5 cmt. menor que las paredes de los recipientes A y B, quedando así esta comunicación al mismo nivel que la salida del aceite de B.

Los dos depósitos se comunicaron por debajo por medio de una tubería de cobre, desde el centro del fondo de A hasta el extremo derecho de B, para dar tiempo a la separación del agua de la emulsión en B. El diámetro interno de la tubería fué de 0,93 pulgadas (2,362 cm.) y con un largo de 173 cm. con dos codos. Para los efectos del cálculo de las pérdidas por fricción tenemos que cada codo equivale a un largo de 0,77 pies (23,5 cm.) lo que nos da un largo equivalente a 220 cmts.

El aparato se empleó para lavar un flujo de aceite de 12 litros/min. (200 c.c./seg.), con agua sulfúrica en la relación de 400 c.c. de agua por cada 600 c.c. de aceite.

Cálculo del flujo de agua:

El flujo de agua será igual a:

$$Q_w = Q_a \frac{f_w}{f_a}$$

Lavador Continuo para Obtener Sulfato de Quinina

$$Q_w = 200 \frac{0,4}{0,6}$$

$$Q_w = 200 \times 0,66 = 132 \text{ cm.}^3/\text{seg.}$$

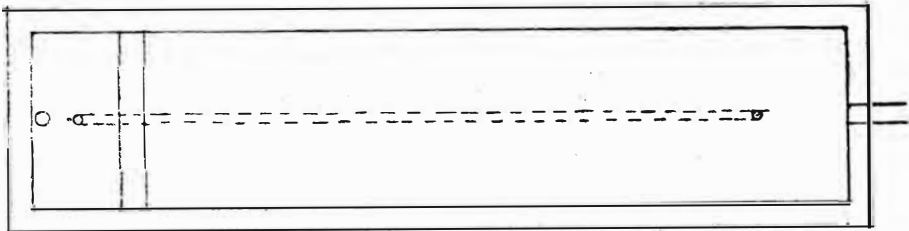
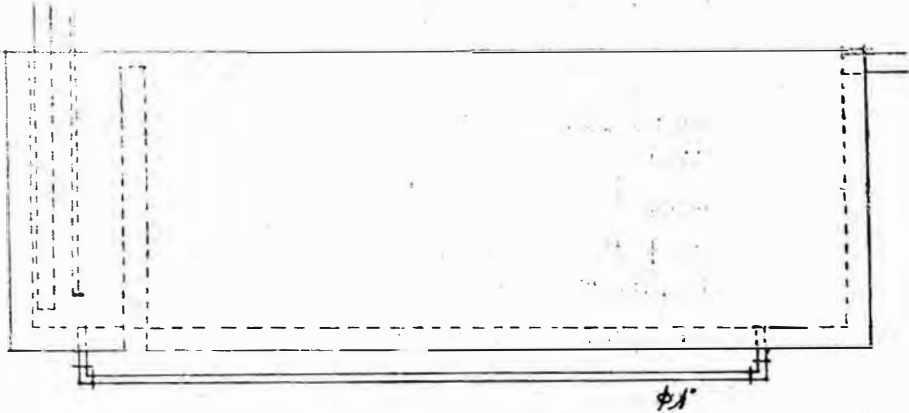


Fig 18

Esc. 1:10

Cálculo de la altura del agua en B:

Esta altura la podemos calcular directamente usando la fórmula 4:

$$hwB = \frac{Qa^2 \left(\frac{fw}{fa}\right)^2}{1.962 \times F^2 \left(1 - \frac{da}{dw}\right)} \quad \text{---} \quad ht \times fw$$

$$hwB = \frac{200^2 \left(\frac{0,4}{0,6}\right)^2}{1.962 \times 4,39^2 \left(1 - \frac{0,86}{1,07}\right)} - 60 \times 0,4$$

$$hwB = \frac{40.000 \times 0,443}{1.962 \times 19,5 \times 0,196} - 24$$

$$hwB = \frac{17.700}{7.500} - 24$$

$$hwB = 2,36 - 24 = 26,36 \text{ cm.}$$

el desnivel es de 26,36 cm.

Cálculo de las pérdidas por fricción:

Para calcular estas pérdidas en la tubería de comunicación entre los dos recipientes y ver cuanto hay que aumentar el desnivel para compensarlas, usamos la fórmula:

$$5) \quad D = 0,0000870 + \frac{0,00777}{Re \ 0,32}$$

donde

Hf = altura en pies; D = diámetro en pies; L = largo de la tubería en pies; u = velocidad lineal en pies por segundo; Re = número de Reynolds.

El número de Reynolds lo calculamos primero según la fórmula:

$$6) \quad Re = \frac{D \ u \ d}{z}$$

donde

D = diámetro en cm.; u = velocidad lineal en cm./sg.; d = densidad en gr./cm.³; y z = viscosidad en gr./cm.-seg.

El valor de u es igual a:

$$u = Q/F$$

y en el caso que estamos considerando:

$$u = 132/4,39$$

$$u = 30,5 \text{ cm./seg.} = 1 \text{ pie/seg.}$$

El valor de z se tomó a 20° y se encontró igual al del agua a esta temperatura, z = 0,01 gr./cm.-seg.

Reemplazando en la ecuación 6, tenemos:

Lavador Continuo para Obtener Sulfato de Quinina

$$Re = \frac{2,362 \times 30,5 \times 1,07}{0,01}$$

$$Re = 7720$$

En la ecuación 5 el valor de Re aparece elevado a 0,32:

$$\log. 7720^{0,32} = 0,32 \log. 7720$$

$$\log. 7720^{0,32} = 0,32 \times 3,8876 = 1,244$$

$$\text{antilog } 1,244 = 17,6$$

$$\frac{H f D}{L u^2} = 0,0000870 \quad - \quad \frac{0,00777}{17,6}$$

$$\frac{H f D}{L u^2} = 0,000529$$

$$Hf = \frac{0,000529 L u^2}{D}$$

$$Hf = \frac{0,000529 \times 7,22 \times 1^2}{0,0774}$$

$$Hf = 0,0494 \text{ pies} = 1,507 \text{ cm.}$$

Pérdidas por contracción:

Usamos la fórmula:

$$\Delta H c = \frac{K u^2}{2 g}$$

donde

K = coeficiente de contracción según la relación entre las áreas. Esta relación la podemos considerar cero (0) por ser muy grande la sección del depósito B en relación a la sección del tubo, lo que da para K un valor de 0,5.

$$\Delta H c = \frac{0,5 \times 30,5^2}{1.962} \text{ cm.}$$

$$\Delta H c = \frac{465}{1.962} = 0,238 \text{ cm.}$$

Pérdidas por dilatación:

Usamos la fórmula:

$$\Delta H e = \frac{(u1 - u2)^2}{2 g}$$

donde

u_1 = velocidad del agua en el tubo y u_2 = velocidad del agua en el depósito A.

La velocidad del agua en A será:

$$u_2 = \frac{Q}{FA} = \frac{132}{800} \quad FA = \text{sección de A.}$$

$$u_2 = 0,165 \frac{\text{cm.}}{\text{seg.}}$$

$$\Delta H_e = \frac{(30,5 - 0,165)^2}{1,962}$$

$$\Delta H_e = \frac{917}{1,962} = 0,47 \text{ cm.}$$

La suma de ΔH_f , ΔH_c y ΔH_e nos dará el valor de ΔH_t .

$$\Delta H_t = 1,507 + 0,238 + 0,47 = 2,205 \text{ cm.}$$

Pero en nuestro caso tenemos que:

$$H = (h_{WB} - h_{WA}) \left(1 - \frac{d_a}{d_w}\right)$$

de donde:

$$(h_{WB} - h_{WA}) = \frac{H}{1 - \frac{d_a}{d_w}}$$

$$(h_{WB} - h_{WA}) = \frac{2,205}{1 - \frac{0,86}{1,07}}$$

$$(h_{WB} - h_{WA}) = \frac{2,205}{0,196} = 11,25 \text{ cm.}$$

Este valor habrá que sumarlo al desnivel calculado sin considerar las pérdidas por fricción y tendremos así el desnivel real necesario para tener el flujo de agua de 132 c.c. por segundo.

$$\text{Desnivel real} = 2,36 + 11,25 = 13,61 \text{ cm.}$$

Lo que da una altura de agua en el depósito B igual a la altura de agua en A más el desnivel:

$$h_{WB} = 24 + 13,61 = 37,61 \text{ cm.}$$

Resultados prácticos del aparato y algunas consideraciones:

Estos resultados del cálculo están muy de acuerdo con los resultados prácticos del aparato. Con una altura de agua en B de 38 a 40 cm. se obtenía continuamente una emulsión, que recogida al salir de A, después de decantar separaba dos capas: 40% en volumen para el agua y 60% en volumen para el aceite.

Durante el trabajo del aparato se notó un ligero aumento en el nivel de la emulsión en A, con respecto al nivel del aceite en B, formado por el flujo de la emulsión de A a B.

Al trabajar el aparato en caliente (50-60° C.) se notó un aumento en el flujo de agua lo que hizo aumentar algo de cantidad de agua en la emulsión. Esto debido a la disminución de la viscosidad de la solución acuosa, lo que hace que la pérdida por fricción en el tubo sea algo menor.

La corrección obtenida para la pérdida por dilatación es muy alta, puesto que se tomó la velocidad del agua en A, sin considerar la agitación en este recipiente; agitación que hace que el agua al salir del tubo no se encuentre con un líquido prácticamente en reposo, como los datos del cálculo, sino con un líquido en movimiento aún más rápido que en el tubo. Según la agitación el sentido del movimiento puede ser el mismo que el del líquido al salir del tubo o contrario. No se estudió en la práctica del aparato este aspecto.

El recipiente B se dimensionó de acuerdo con el tiempo de separación de la emulsión y de la velocidad apropiada en el aceite para lograr una buena separación.