

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



15

**CONSIDERACIONES SOBRE EL CALCULO DE
RECIPIENTES A ALTA Y BAJA PRESION
PARA EQUIPOS DE PROCESO**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A**

MARIA DE JESUS GONZALEZ SALINAS

México, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS 1979
AS _____
UG _____ H.C.
ECHA 155
RSC _____
S _____



JURADO ASIGNADO:

Presidente: Ing. Adalberto Tirado Arroyave

Vocal: Ing. Enrique Bravo Medina

Secretario: Ing. Caritino Moreno Padilla

Primer Suplente: Ing. José A. Ortiz Ramírez

Segundo Suplente: Ing. Ariel Bautista Salgado

SITIO DONDE SE DESARROLLA EL TEMA:

Biblioteca de la Facultad de Química

SUSTENTANTE:

Ma. de Jesus Gonzalez Salinas

ASESOR:

Ing. Enrique Bravo Medina

CONTENIDO

CAPITULO I

a) Introducción	4
b) Generalidades	6

CAPITULO II

Cálculo de Recipientes Separadores

a) Método para calcular Separadores horizontales	14
b) Método para calcular separadores verticales	26
c) Método para calcular separadores Flask, Knock-out	33
d) Método para calcular separadores y acumuladores	38

CAPITULO III

Cálculo de un Recipiente Acumulador con una fase vapor y una fase líquido	44
---	----

CAPITULO IV

Cálculo de un Recipiente Acumulador con una fase vapor y dos fases líquidos	47
---	----

CAPITULO V

Especificaciones de Mallas	53
--------------------------------------	----

CAPITULO VI

Cálculo de Boquillas de Recipientes separadores y acumuladores

a).- Cálculo de Boquillas para flujo en dos fases	56
b).- Cálculo de Boquillas para flujo de una fase	63

CAPITULO VII

a).- Conclusión	64
b).- Bibliografía	66

INTRODUCCION

En este trabajo el lector encontrará la descripción y forma de utilización de algunos métodos para el cálculo de recipientes a presión. Se ha tenido cuidado de seleccionar aquellos que ofrecen un enfoque específico hacia las necesidades de los Ingenieros Químicos; ya que los métodos más conocidos para este tipo de cálculos, con frecuencia contemplan aplicaciones unicamente desde el punto de vista de la Ingeniería Mecánica, sin considerar los aspectos que resultan de importancia primordial para el Ingeniero Químico.

Tomando en cuenta lo anterior, este trabajo se desarrolla con el objetivo esencial de abarcar los cálculos referentes a los recipientes a presión, que interesa en forma concreta a los Ingenieros Químicos. En otras palabras tratando de definir en una forma más explícita el enfoque de este trabajo y utilizando para ello palabras comunes podríamos decir que aquí cubriremos todo aquello que sucede en el recipiente una vez que éste ha sido calculado en su parte mecánica, aplicando los métodos de -- cálculo a algunos ejemplos y, tomando en cuenta que los recipientes separadores y los recipientes acumuladores son empleados con gran frecuencia en las plantas de proceso, algunos de los capítulos se han dedicado a la resolución de los problemas que aparecen en esos casos.

Los estudiantes de la Facultad de Química podrán encontrar aquí una gran ayuda en la solución de algunos problemas frecuentes como son:

la selección adecuada de un recipiente separador con o sin malla, recipientes Knock-out (agotador) y acumuladores. Todo ello tratado con métodos de fácil compresión y aplicación.

Aunque la mayoría de los métodos se basan en el procedimiento de prueba y error y, por tal motivo resultan laboriosos, aquí se ha tratado de minimizar el trabajo, utilizando gráficas y nomogramas que pueden utilizarse para lograr buenas aproximaciones disminuyendo en forma considerable el tiempo utilizado en el cálculo y permitiendo obtener errores tolerables para la finalidad de la Ingeniería Química.

Espero que el esfuerzo realizado en la elaboración de esta tesis se vea recompensada cuando resulte de utilidad para alguna persona que acuda a ella en busca de ayuda para la solución de algún problema relacionado con recipientes a presión.

GENERALIDADES

① En la Industria Química y Petroquímica se utiliza una gran variedad de recipientes, se puede definir un recipiente como un cuerpo donde se reúne el líquido.

Los recipientes tienen usualmente varias funciones debido a que en su interior tienen diferentes accesorios los cuales son necesarios para poder efectuar los cambios en los flujos que pasan por su interior, los tipos de accesorios que poseen son los que en realidad le dan un hombre en particular y entre estos accesorios se incluyen bandejas, empaques y soportes de los empaques, tubos calentadores, placas deflectoras y mallas de separación, así se puede notar que para el Ingeniero Mecánico un recipiente es una torre de destilación un separador un acumulador y un cambiador de calor.

Pero debido a la teoría tan compleja del cálculo de torres de destilación cambiadores de calor el Ingeniero Químico los trata por separado limitándose a manejar como recipientes a los acumuladores y separadores asociándolos mas a operaciones unitarias en particular.

La aplicación principal que determina el uso de un recipiente es que siempre en las industrias química y petroquímica se manejan flujos gaseosos y líquidos, y es necesario tomar en cuenta los gastos, pues éstos determinan la posición vertical u horizontal en que debe operar el recipiente.

Por ejemplo el acumulador de una torre de destilación que maneja un gasto líquido grande, necesariamente debe ser un recipiente horizontal. En el caso de un separador el recipiente necesario, debe estar en forma vertical, pues las características de su flujo indican que se debe obte -

ner dentro del recipiente una velocidad baja para que el vapor y el líquido se separen; ya que el volumen del líquido no es muy grande y puede contenerse en la base del recipiente en posición vertical.

Así se puede notar que según la capacidad y características del flujo se determina el tipo y dimensiones del recipiente, aunque para un mismo volumen la combinación de dimensiones de longitud y diámetro es infinito. Lo que se desea en realidad es obtener la combinación optima; para dimensiones de longitud y diámetro se entiende que el cuerpo del recipiente siempre será de forma cilíndrica.

Las tapas: el recipiente en si consta de 2 partes, el cuerpo cilíndrico y las tapas, dos tipos de tapas existentes son muchos y cada una tiene - sur forma especial, el cálculo de las tapas es muy complejo dada la geometría de las mismas, y por lo tanto se han tratado de estandarizar para que tengan una construcción fácil, geometría no muy compleja que soporte alta o baja presión y que también minimice costos.

Las tapas que cumplen las condiciones anteriores son las del tipo Bridada Estandard Concavo, Bridada Concava, Concava Elíptica y Bridada Hemisférica, mejor conocidas como: tapa toriesférica (Bridada Estandard Concava o standard (F & D) ASME y la Concava Elíptica o la ASME (F&D) tapa Elipsoidal (o concava elíptica) y tapa hemisférica (la Bridada Hemisférica) algunos métodos de cálculo por nomograma a veces especifican el cálculo del recipiente suponiendo algun tipo de tapas de las antes mencionadas y consideran su volumen despreciable para propósitos de estimaciones preliminares.

PRESION

La presión de operación determina el espesor del cuerpo o envolvente y de la tapa del recipiente, encontrándose en la industria espesores de cuerpo desde 1/4 de pulgada hasta 12 pulgadas. En la práctica se acostumbra clasificar los espesores para baja presión de cero mm de Hg a 760 mm Hg o de cero a 15 lb/in^2 y se generaliza el uso de recipientes para baja presión como aquellos que tienen un espesor en el rango de 1/4 de pulgada a 3 pulgadas. Se considera alta presión de 15 lb/in^2 en adelante. En este caso se generaliza el uso de recipientes a alta presión utilizando espesores en el rango de 4 a 12 pulgadas. Información de la Compañía Japonesa Hitachi Zosen indica que han fabricado recipientes acumuladores para operar a 5000 psig recipientes separadores de amoníaco operando a 3750 psig recipientes separadores de metanol operando a 3000 psig en un rango de 100°F a 200°F .

Las condiciones drásticas de presión y temperatura influyen mas en el cálculo de espesor del recipiente y no influyen tanto en el cálculo de dimensiones como son diámetro y longitud.

Los datos de proceso requeridos deben estar a la presión y temperatura del recipiente y son:

Variable de operación

- a) Temperatura
- b) Presión
- c) Velocidad de flujo líquido
- d) Velocidad del flujo de vapor

Variables de Diseño

- a) Diámetro del Recipiente
- b) Longitud de Recipiente
- c) Tipo de Malla
- d) Espacio del Vapor
- e) Espacio del Líquido

Variables del sistema

- a) Densidad del Líquido
- b) Densidad del vapor
- c) Viscosidad del Líquido
- d) Viscosidad del vapor
- e) Tiempo de retención o residencia del líquido

La mayoría de los datos de proceso son conocidos para el estudiante de Ingeniería Química y por lo tanto solo se definirán tiempo de retención del líquido, espacio de vapor y espacio del líquido, así como algunas sugerencias para su selección y aplicación.

T tiempo de residencia o retención del líquido se define como el tiempo necesario para desocupar el líquido del recipiente contenido entre dos niveles determinados a la velocidad de flujo de diseño.

En la práctica normal esta se basa sobre la distancia entre el máximo nivel del líquido y la línea tangente del fondo del recipiente si se encuentra en posición vertical (o el fondo del recipiente si se encuentra en posición horizontal), para el caso del recipiente vertical el tiempo adicional disponible en la tapa del fondo actúa como un factor de seguridad. Un buen tiempo de retención para muchos diseños es el de 71/2 minutos.

Espacio de vapor

Espacio de vapor ó espacio para vapor se le llama básicamente a la parte superior del recipiente vertical antes y después de la malla. Para calcular el espacio de vapor de un recipiente vertical se define el termino R_d en base a un "desempeño satisfactorio" y es igual a

$$R_d = \frac{\frac{\text{cfs vapor}}{\pi D^2/4}}{0.227 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}}} = \frac{V_{load}}{0.178 D^2}$$

Donde:

D: Diámetro interior del recipiente

ρ_V : Densidad del vapor lb/ft³

ρ_L : Densidad del líquido lb/ft³

$$V_{load} = \text{cfs vapor} \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}}$$

Más adelante se presenta una gráfica en la que se puede notar una variación de el espacio de vapor con la variación del valor de R_d

Algunos autores especializados en la materia como por ejemplo A.H. Younger reporta un valor de R_d entre 0.0064-0.195 para separadores sin malla.

Para separadores Knock-out sin malla reporta un R_d de 0.0175 a 0.45, para separadores Knock-out con malla reporta un valor de R_d de 0.70 al 1.40

A.H. Younger recomienda un R_d de 0.44 para separadores vapor-líquido y un R_d de 0.88 para Knock-out.

Los fabricantes de malla recomiendan un R_d de 1.54 para todos los procesos, reportando un excelente desempeño del 30% al 110 % con un R_d de 0.46 y R_d de 1.69 respectivamente.

D. D. Kerns recomienda un R_d de 1.30 para recipientes con malla convencional; 1.24 para recipientes con malla de alta capacidad; 0.5 máximo - para recipientes sin malla, se recomienda guiarse por estos datos experimentales para poder calcular directamente el diámetro óptimo del recipiente.

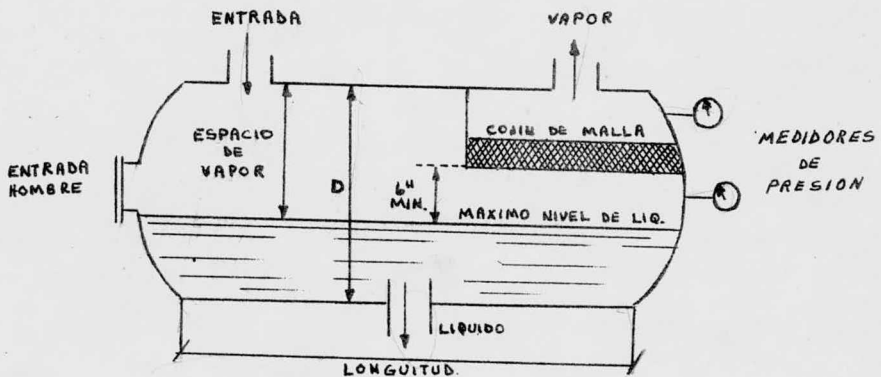
CAPITULO II

Calculo de Recipientes Separadores.-

Un recipiente de este tipo se emplea para efectuar la separación de un líquido y de un vapor, que pueden alimentarse en esta forma al recipiente o que se pueden formar dentro del recipiente dependiendo de las condiciones de operación.

Por lo general se recomienda que la cantidad del líquido arrastrado en el vapor no sea mayor del 5 %, en este tipo de operación la separación se efectúa sin cambio de fases, y dependiendo de la fase predominante se establece la posición del recipiente.

Para seleccionar si el recipiente deberá dar servicio en la planta instalado en forma horizontal o vertical, depende prácticamente de las relaciones entre las cargas de líquido y vapor, aun que por lo general se usa el recipiente horizontal para separaciones vapor-líquido mayores que 1 GPM de líquido separado.



RECIPIENTE HORIZONTAL

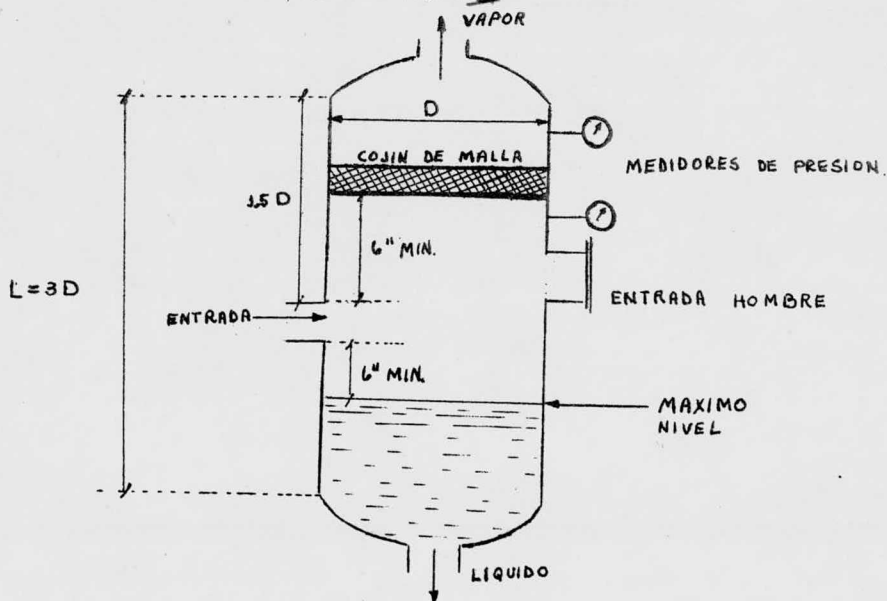
Algunas dimensiones adicionales que se basan en reglas de diseño para proveer un adecuado tiempo de residencia del líquido se aplican para recipientes horizontales:

1o. Se supone un espacio mínimo del vapor, de 20 % del diámetro, o de 12 pulgadas medidas desde el máximo nivel del líquido a la pared superior del recipiente.

2o. La colocación de la malla en el caso de haberla debe estar a 6 pulgadas mínimo sobre el nivel máximo del líquido.

3o. La longitud del recipiente debe ser aproximadamente 3 veces el diámetro de éste ($L/D=3$), aunque el criterio puede ser de $L/D=5$ dependiendo de la presión de diseño.

Un recipiente vertical se utiliza cuando la separación vapor líquido es menor de 1 GPM de líquido a separar.



1.- El orificio de entrada es un factor importante y por recomendaciones prácticas se acostumbra tener el máximo nivel del líquido, 6 pulgadas mínimo bajo el orificio de entrada

2.- Instalar la malla en caso de haberla 6 pulgadas mínimo sobre el orificio de entrada

3.- Suponer un espacio para el vapor de 1.5 veces el diámetro.

4.- La longitud del recipiente debe ser aproximadamente 3 veces el diámetro ($L/D=3$), aunque el criterio puede ser de hasta $L/D=5$ dependiendo de la presión de diseño.

METODO I

Si se utiliza un separador, la figura 1 es un nomograma basado en la ecuación del tiempo de residencia y se usa para fijar un diámetro de prueba para un separador horizontal. Para usar el nomograma se lleva a cabo el procedimiento siguiente:

1.- Se localiza en el nomograma 1 sobre la parte izquierda el tiempo de residencia supuesto.

2.- Se une el tiempo de residencia con un espacio de líquido supuesto, Base para la primera prueba es 85% del recipiente lleno. Se marca la intersección con la línea index A.

3.- Se localiza en el nomograma sobre la parte derecha la velocidad de flujo, no es necesario convertir unidades, simplemente se usa la escala adecuada de acuerdo a las unidades disponibles.

4.- Se mueve horizontalmente hacia la izquierda sobre las líneas índices de flujo, hasta obtener gph calientes. (Si las unidades son gph - -

calientes se omite este paso)

5.- Se dibuja una línea desde la línea flujo Index hasta la marca sobre Index A. Se marca donde esta línea corta la línea Index B.

6.- Utilizando una relación L/D a través de la marca sobre la línea Index B, se extiende esta línea hasta que corte la escala de diámetro.

7.- Se ajusta el diámetro para adaptarle un tamaño de tapa comercial y se dibuja una línea desde este diámetro ajustado a través de la marca de la línea Index B, hasta la escala longitud y así se obtiene la longitud del recipiente a el nuevo diámetro corregido.

8.- El diámetro determinado en el cálculo de prueba debe ajustarse - para corregir la localización del nivel del líquido.

La forma más fácil para determinar el espacio pedido es por medio del uso de la figura 2.

Este nomograma esta basado en segmentos de area de un círculo, con - vierte espacio pedido sobre relaciones espacio-diámetro o porciento de -- área, el procedimiento que se debe seguir para el uso adecuado del nomo - grama es como sigue:

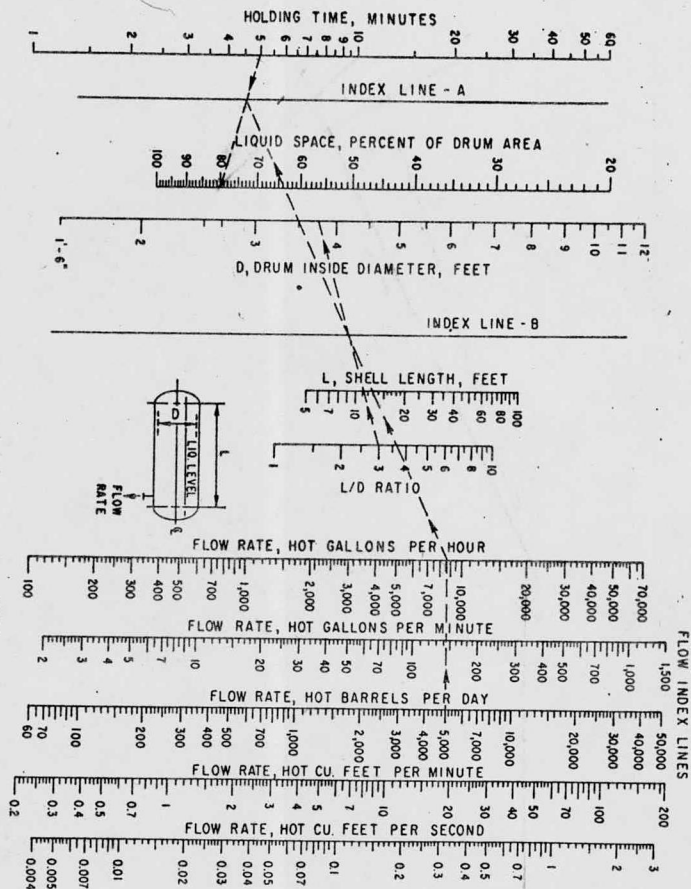


FIG. 1.- Nomograma que determina el tamaño del recipiente para un tiempo de residencia dado.

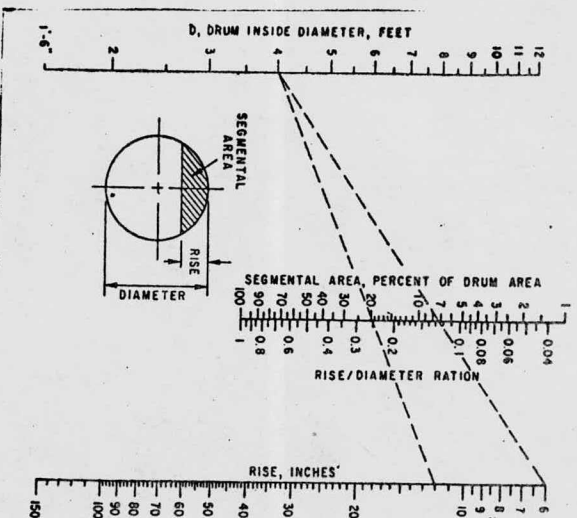


Fig. 2.- Nomograma para determinar el área segmental disponible 6 espacio para vapor en un separador para un tiempo de residencia dado del líquido.

- 1.- Se localiza en el lado izquierdo el diámetro interior de prueba
- 2.- Se une el diámetro interior con el espacio de vapor y con el aumento del mínimo nivel del líquido y en la intersección de estas líneas con la línea del área segmentada, se lee el área ocupada por estos segmentos.
- 3.- Se sustrae la suma de estos segmentos del 100 % y la diferencia es el área disponible para tiempo de residencia del líquido.

Con este espacio de área del líquido se corrige el L/D y se ajusta la longitud del recipiente.

La velocidad de la corriente de vapor se reduce a una velocidad en la cual la gravedad detiene las gotas de tamaño D_p y también mas grandes. Estas gotas de líquido caen de la corriente de vapor cuando el tiempo de residencia en el recipiente es igual o mayor que el tiempo de caída de la gota.

Para estas condiciones

$$\frac{f_a \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) L}{\text{cfs vapor}} \geq \frac{a}{u_t}$$

Donde: f_a : por ciento del área del recipiente ocupado por el vapor expresado como decimal.

D : Diámetro interior del recipiente en ft.

L : Longitud del recipiente (ó mas correctamente, la distancia del cuerpo del recipiente sin tomar en cuenta las tapas) en ft.

u_t : Velocidad de las gotas fijadas en ft/seg.

Por conveniencia, la velocidad fijada deberá convertirse a un término de "desempeño satisfactorio" R_{dh} . Este término esta definido como la

relación de velocidad fijada a una velocidad base de 0.227 $\left[\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right]^{0.5}$

Esta es:

$$R_{dh} = \frac{u_t}{0.227 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}}} = \left(\frac{V \text{ carga}}{0.178 D^2} \right) \cdot \left(\frac{a}{f_a L} \right)$$

Donde:

$$V \text{ carga} = \text{cfs vapor} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L - \rho_v}} \text{ cfs}$$

ρ_L : Densidad del líquido lb/ft³
 ρ_v : Densidad del vapor lb/ft³

Los valores de diseño R_{dh} se calculan cuando se conoce el tamaño de las gotas que serán removidas y cuando se conoce la viscosidad del vapor. En el caso común de un diseño, algunos de estos valores no son conocidos y el recurso que se puede seguir es confiar en valores reportados en la literatura o las referencias en la bibliografía el uso de estas ha producido resultados satisfactorios en el diseño.

Reportes sobre el funcionamiento de recipientes suponiendo un nivel máximo a la mitad, recomiendan un R_{dh} de 0.18-0.28 ó de 0.167.

Con algún valor supuesto de R_{dh} se hace la corrección para la reducción de la alimentación, los pasos utilizando el nomograma 3 son:

- 1.- Localice en el nomograma, en la parte izquierda el espacio de vapor.
- 2.- Dibuje una línea desde la línea de espacio de vapor a través del área ocupada por ese espacio y extienda la línea hasta cortar la

línea Index A.

- 3.- Se une la marca de la línea Index A con la R de diseño y se marca la intersección con la línea Index B.

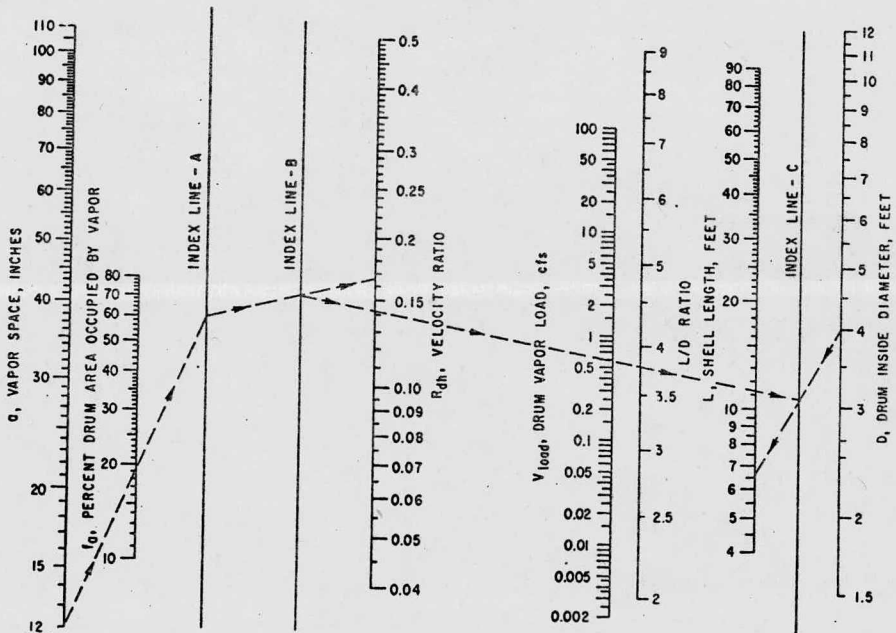


Fig. 3.- Nomograma para establecer una disminución en el arrastre.

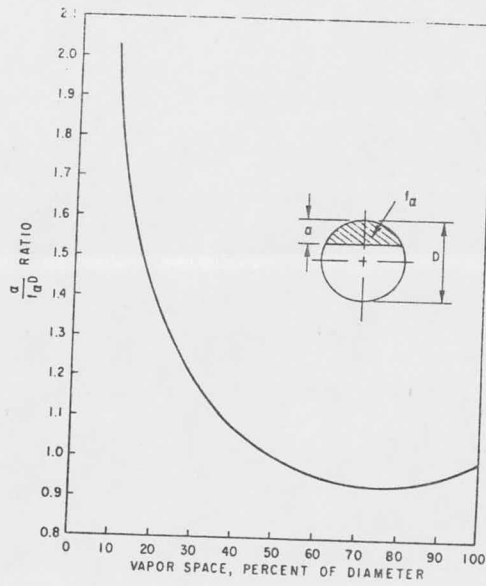


Fig. 4.- Un aumento en el espacio vapor ayuda a disminuir el arrastre.

4.- Dibuje una línea de la marca en la línea Index B a través de V carga del recipiente, extienda esta línea hasta la línea Index C

5.- Usando el diámetro supuesto, dibuje una línea de éste a través de la marca de la línea Index C, extienda esta línea hasta que corte la escala longitud. Si la longitud es menor o igual a la longitud supuesta, entonces el tamaño supuesto es el tamaño final, si la longitud es mas grande que la longitud de prueba, existen 2 alternativas, una u otra de las longitudes se usa o se supone una menor longitud y otro diámetro tomando en cuenta la relación, L/D en el rango económico disponible.

En el caso de que el tamaño supuesto no coincida con el tamaño corregido, lo mejor sería revisar el problema, por que despues de todo, un tamaño grande, agregaría un tiempo extra de residencia del liquido en el recipiente. En la figura (4) se puede analizar como función a/FD de la ecuación anterior para R_{LH} y varía con el espacio de vapor conforme aumenta el espacio de vapor en porciento del diámetro, el valor de a/FD decrece y se puede notar que el límite se encuentra en 76.5 % del diámetro, entonces para un tamaño económico del recipiente, un incremento en el espacio de vapor ayudaría en una reducción de la alimentación. Como la carga de vapor es un factor controlante en un recipiente horizontal, haciendo uso de la figura (3) con el siguiente procedimiento se logra un mejor diseño.

1.- Se inicia con la marca sobre la línea C de la figura 3, se dibuja una línea desde el L/D mas económico a través de esta marca, se extiende esta línea hasta la escala del diámetro, obteniéndose así un nuevo diámetro.

2.- Se ajusta el diámetro a un tamaño comercial de tapa, se dibuja una línea desde este nuevo diámetro ajustado a través de la línea Índex C obteniéndose la longitud del recipiente correspondiente a este nuevo diámetro.

3.- Se vuelve a trabajar sobre la figura 1 para obtener el porcentaje de espacio líquido. Si el espacio del líquido es menor que 23.5 % de el área use 23.5 % (una sugerencia mejor es; no usar un espacio de vapor mayor que el 50% del área).

4.- Se vuelve a trabajar sobre la figura 2 para determinar el área ocupada por el nivel del líquido.

5.- Se determina el área ocupada por el espacio de vapor. Esta es la diferencia entre el 100% y la suma del espacio líquido y el mínimo espacio líquido.

6.- Usando la figura 2 una vez más, se encuentra la distancia correspondiente al espacio de vapor.

7.- Se vuelve a trabajar sobre la figura 3 con el nuevo espacio de vapor y el porcentaje del área.

8.- Se repite este procedimiento hasta que todas las dimensiones chequen.

Para aquellos casos donde se requiere un diseño mas completo, el punto de partida para corregir la reducción en el arrastre en la velocidad de asentamiento de gotas, el tamaño de las gotas se encuentra en el rango de 3 a 100 micrones (1 micron = 1/25400 pulgadas) y estas se asientan bajo la acción de la gravedad a un flujo dado por la ley de Stokes.

La velocidad de asentamiento se determina por la ecuación:

$$u_t = \frac{g_L D_p^2 (\rho_L - \rho_v)}{18 \mu}$$

Donde:

u_t : Velocidad de asentamiento libre bajo la acción de la gravidad en ft/seg.

g_L : Cte. gravitacional en ft/seg.

D_p : Diámetro de las gotas en fts.

μ : Viscosidad del vapor en lb/ft-seg.

La figura 5 es un nomograma por medio del cual se resuelve la ecuación de la velocidad de asentamientos de las gotas.

La velocidad de asentamiento se determina como sigue:

- 1o.- Se localiza en el nomograma en la parte izquierda la diferencia de densidades $(\rho_L - \rho_v)$
- 2o. Se dibuja una línea de la diferencia de densidades a la línea de viscosidad del vapor, se marca la intersección con la línea Index A.
- 3o. Se usa el tamaño de las gotas pequeñas que van a removerse, dibujando una línea que una el tamaño de gota con la marca sobre la línea Index A, se marca donde esta línea de unión corte la línea Index B.
- 4o. Se dibuja una línea de la escala de la raíz cuadrada de la relación de densidades a través de la marca sobre la línea Index B, obteniéndose el valor de R_{dh} de diseño.

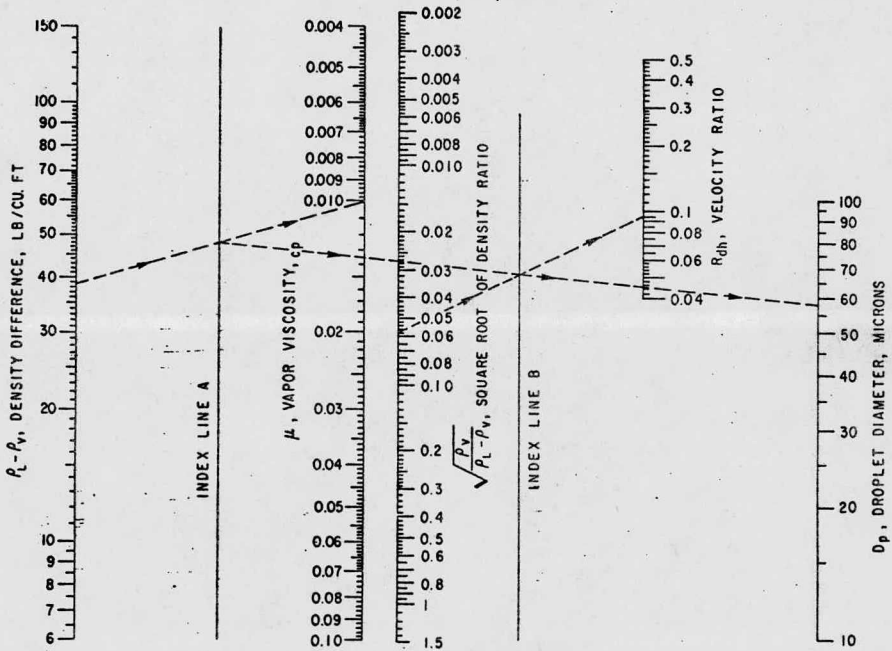


Fig. 5.- Basado en la ecuación de velocidad de asentamiento de las gotas para determinar un R_{th} .

METODO II

Un separador vapor-líquido también puede proveer un espacio determinado para separar vapor de un líquido, cuando el flujo tiene una cantidad mínima de líquido por lo tanto siempre va a ser vertical. Para recipientes separadores se define el término R_d como la relación de la velocidad del vapor sobre el área del recipiente a una velocidad base de $0.227 \left[\frac{(\rho_L - \rho_v)}{\rho_v} \right]^{0.5}$

Esto es:

$$R_d = \frac{\frac{\text{ft}^3 \text{ vapor}}{\pi D^2/4}}{0.227 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}}} = \frac{V \text{ carga}}{0.178 D^2}$$

Donde:

D: Diámetro interior del recipiente en pies

ρ_v : Densidad del vapor en lb/ft³

ρ_L : Densidad del líquido en lb/ft³

V_{carga} : ft³ vapor $\sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}}$

Con el valor de R_d calculado en base a un desempeño satisfactorio se utiliza el nomograma 8 con el siguiente procedimiento:

- 1.- Localice en la parte izquierda del nomograma sobre la escala el valor de la densidad del vapor.
- 2.- Una por medio de una línea la densidad del vapor (ρ_v) con la densidad del líquido (ρ_L). Marque la intersección con la escala izquierda de la raíz cuadrada de la relación de densidades.

889 kg
m

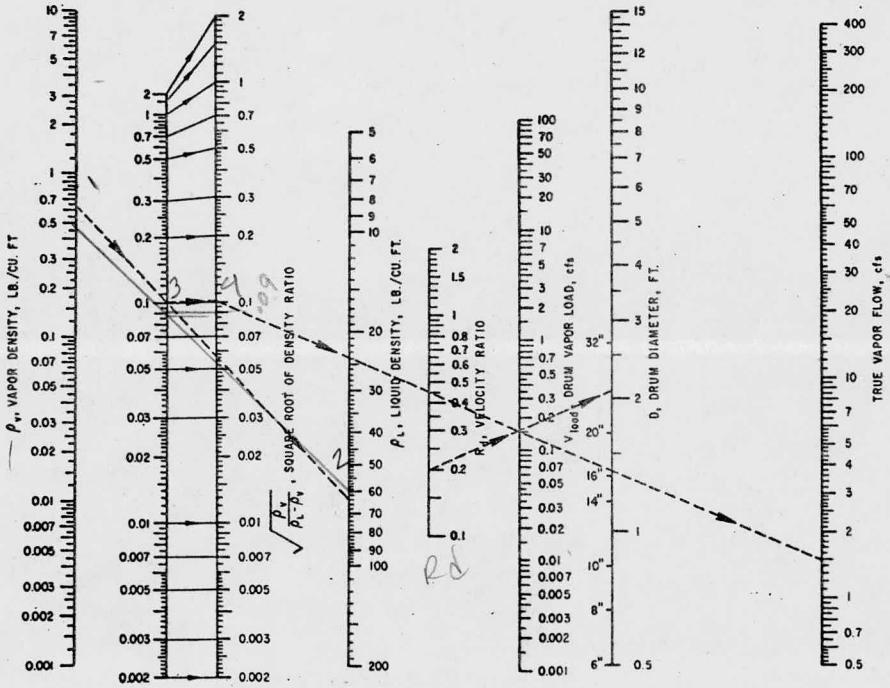


Fig. 8 Nomograma que determina el diámetro del recipiente

3.- Transfiera el valor de la raíz cuadrada de la relación de densidad a la escala de la derecha.

4.- Dibuje una línea desde la raíz cuadrada de la relación de densidades en la escala que se encuentra a la derecha hasta la escala de flujo verdadero con la escala V carga.

5.- Usando el valor de R_d diseñado, dibuje una línea de R_d hasta la intersección V_{load} , extendiendo ésta línea hasta cortar la escala del diámetro y este diámetro calculado es el requerido para el recipiente.

Proveer suficiente espacio de vapor es consecuencia implícita de la selección de R_d pues para diferentes valores de R_d pueden resultar diferentes alturas.

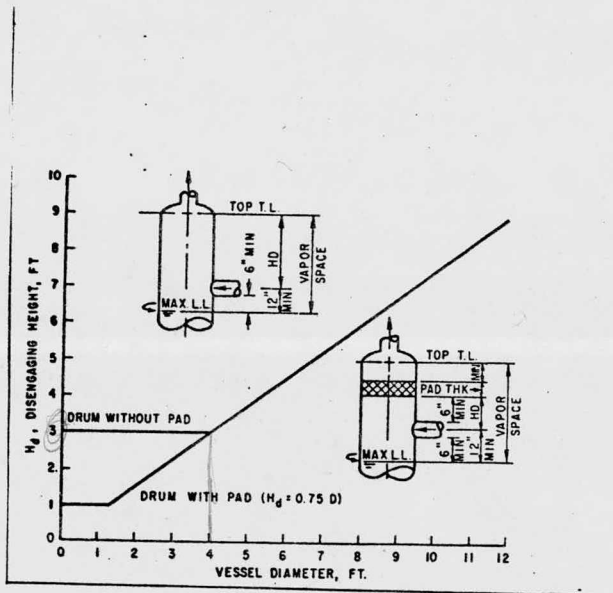
El espacio para vapor se puede calcular de las gráficas 9 y 10 .

La gráfica 10 consiste de los valores de R_d contra el espacio de vapor correspondiente.

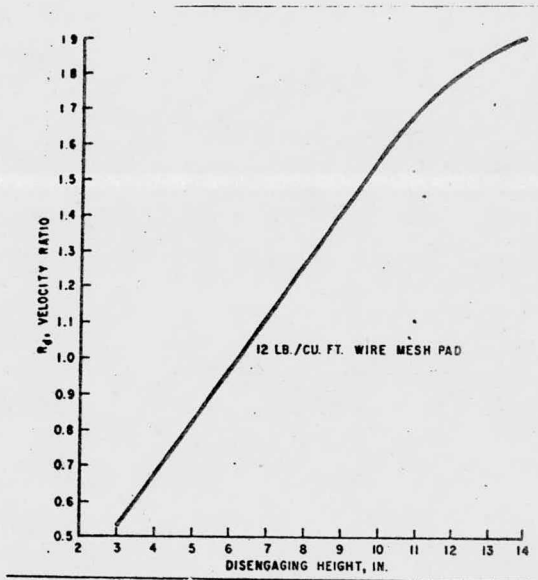
La gráfica 9 consiste de los valores del diámetro del recipiente contra el espacio de vapor para recipientes verticales con o sin malla de separación y se lee directamente el valor del espacio de vapor para algún diámetro dado.

El máximo nivel del líquido frecuentemente se utiliza para llevar un rango de medidores de nivel disponibles comercialmente.

Así la longitud del cuerpo que almacena el líquido puede calcularse por medio del tiempo de retención o residencia del líquido. Se utiliza el siguiente procedimiento en la figura 11.



Gráfica 9.- Espacio de vapor recomendado para recipientes verticales con malla o sin malla.



Gráfica 10, - Variación del espacio de vapor con el R_d .

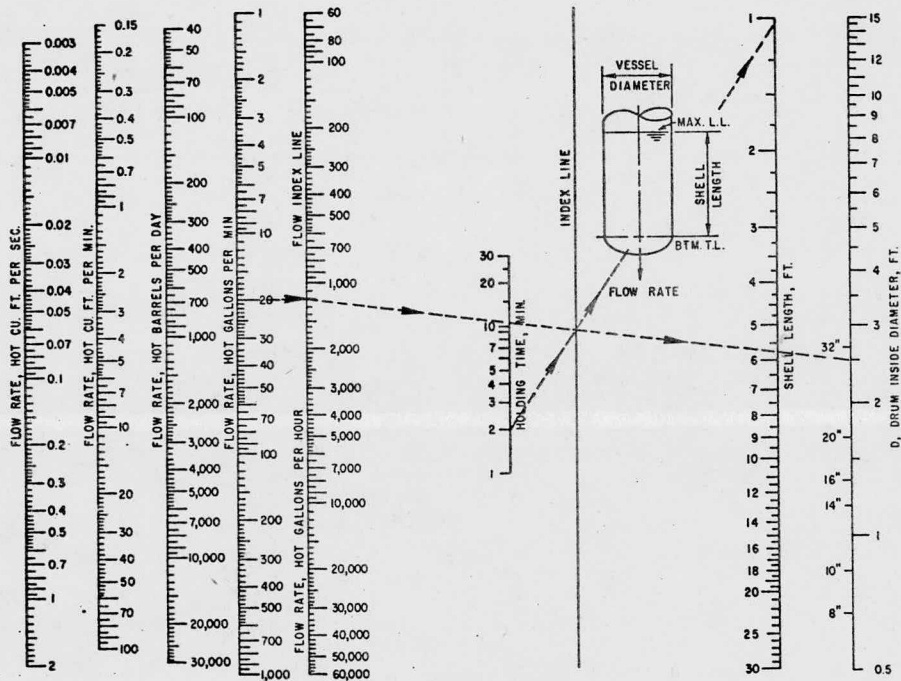


Fig. 11. Nomograma que permite determinar el nivel del líquido apropiado para un tiempo de residencia dado.

1.- Se localiza en la parte izquierda del nomograma en la escala de flujo el dato de velocidad de flujo. No es necesario convertir unidades, únicamente se utiliza la escala adecuada.

2.- Se mueve horizontalmente hasta la línea flujo Índice.

3.- Se dibuja una línea desde el dato de la línea flujo Índice hasta la escala del diámetro del recipiente y se marca la intersección de esta línea con la línea Índice.

4.- Usando el tiempo de residencia supuesto se dibuja una línea desde la escala del tiempo de residencia hasta la marca de la línea Index. Se extiende esta línea hasta cortar la escala de longitud del cuerpo que alma cena el líquido.

METODO III

Cálculo del diámetro y longitud del Recipiente por medio gráfico.

El método consiste principalmente en hacer suposiciones como las siguientes:

1.- Todos los recipientes tendrán las mismas dimensiones relativas longitud igual a 3 veces el diámetro, esto supone que la relación $L/D = 3$ considerada como una forma optima para recipientes de almacenamiento también resulta en separadores con el tiempo de residencia adecuado.

2.- La densidad del vapor se considera despreciable, y que es relativa a la densidad del líquido. Esta es una suposición común en cálculos para vapor-líquido a presiones moderadas.

3.- El tiempo de residencia para el líquido será de 71/2 minutos del recipiente medio lleno ó 15 minutos basados en su capacidad total, esto se aplica a recipientes que manejan una fase líquida individual. Cuando una segunda fase como vapor condensado va a separarse de la corriente individual de proceso, estas bases de diseño podrían aumentarse por multiplicación del factor $\sqrt[3]{2} = 1.260$ por el diámetro y la longitud.

4.- El volúmen de las tapas bridadas se considera despreciable para propósitos de una estimación preliminar.

Para recipientes manejando líquidos totalmente condensados el arreglo o posición adecuada del recipiente es horizontal y se utiliza la gráfica 6.

5.- Se necesita la capacidad en g.p.m. calientes a la temperatura y presión del proceso.

6.- También se necesita el volúmen del recipiente en pies cúbicos.

7.- Cualquiera de los 2 datos anteriores (5 y 6) se localizan en la gráfica 2 y se lee directamente el diámetro del recipiente.

8.- Con el diámetro aproximado se puede calcular la longitud de la relación $L/D = 3$, es decir la longitud es igual a 3 veces el diámetro.

Para recipientes manejando pequeñas cargas de líquidos el arreglo adecuado es en forma vertical; y se utiliza la gráfica 7.

9.- Esta gráfica esta basada sobre la ecuación conocida como la "Tore de burbujeo"

$$V_{max} = 0.227 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}}$$

Se utiliza una velocidad de diseño de 0.50 V_{max} .

10.- Utilizando un valor apropiado de ρ_L / ρ_V

11.- Se unen los datos de V de diseño y ρ_L / ρ_V y por medio de la figura 3 se lee el diámetro del recipiente.

12.- Si se desea obtener el diámetro de diseño para la V de diseño, se multiplica el diámetro obtenido por un factor dado en la tabla 2 es decir. Diámetro de diseño = factor (fs) x diámetro de la gráfica 3.

13.- La longitud de este recipiente es 3 veces su diámetro, para recipientes largos, ésta longitud deberá incrementarse hasta 4 veces su diámetro.

Para separadores vapor-líquido con apreciables cargas de líquido se supone un arreglo horizontal, inclusive una malla deberá instalarse a la salida con un área al 40 % del área de sección transversal del recipiente.

S:

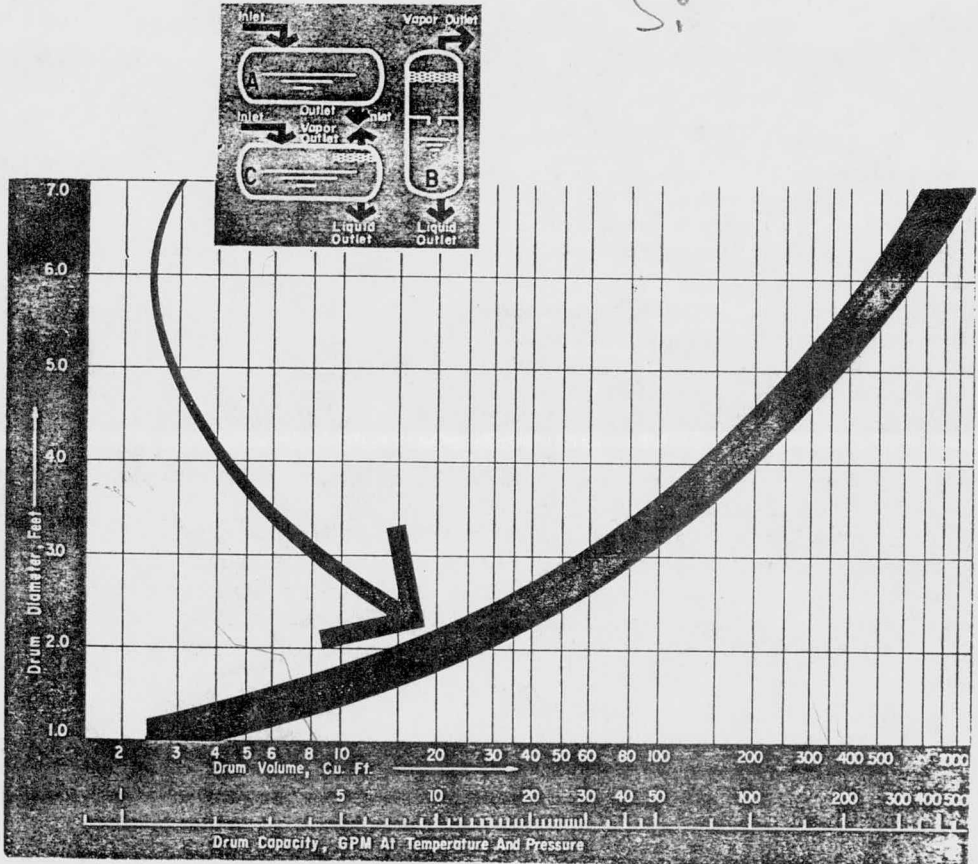


Figura 6.- Gráfica que permite calcular el diámetro del recipiente horizontal operando con líquidos totalmente condensados y medio lleno.

Diámetro en pulgadas

Si

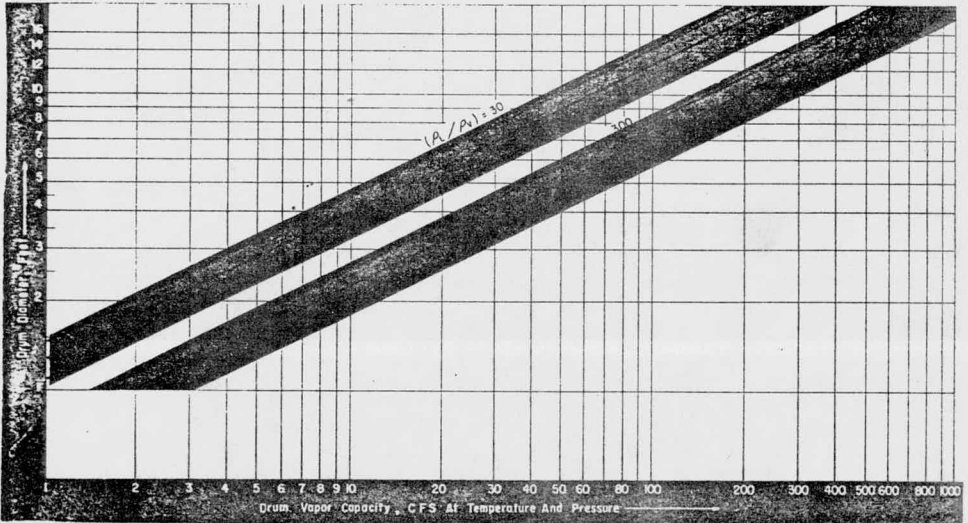


Figura 7.- Ayuda a obtener las dimensiones de recipientes flash y separador, utilizando la capacidad y - la relación (P_v/P_v)

La figura 6 se puede emplear para dimensionar acumuladores horizontales que manejen líquido exclusivamente o una gran carga de líquidos

La figura 7 se puede emplear para obtener las dimensiones de un separador flash, con malla o sin malla y se utiliza como sigue;

Para recipientes verticales:

- 1o. Se obtiene el diámetro de la figura 7
- 2.- Se obtiene la altura tomando en cuenta un $L/D = 2 - 4$, dependiendo de las condiciones de presión; además la altura total no debe ser menor que 4 fts. medidas tangente a tangente.

Para recipientes horizontales:

- 1.º Se obtiene el diámetro de la figura 7
- 2.- Se obtiene el diámetro de la figura 6
- 3.- Se selecciona el mas grande de los dos diámetros
- 4.- Se obtiene la longitud de la relación $L/D = 3$
- 5.- Se supone que el recipiente opera medio lleno.

METODO IV

La principal función de separadores es separar vapores de líquidos pero también deberá diseñarse un separador con un volumen de inundación adecuada. Se toma como una regla general que si un recipiente funciona como un acumulador de una torre de destilación la cual maneja un gran volumen el recipiente debe calcularse para operar como recipiente horizontal, pero si el recipiente se encuentra antes de un compresor de etapas por ejemplo un separador Knock-out el cual provee un volumen muy pequeño inundación se calcula como recipiente separador operando en posición vertical .

El cálculo de un recipiente vertical es como sigue:

- 1.- Se calcula el factor de separación vapor-líquido por medio de la expresión:

$$K = \left(\frac{w_L}{w_V} \right) \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$$

Donde: K: Factor de separación

w_L : velocidad de flujo del líquido en lb/seg

w_V : Velocidad de flujo del vapor en lb/seg

ρ_V : Densidad del vapor en lb/ft³

ρ_L : Densidad del líquido en lb/ft³

- 2.- De la figura 12 se encuentra el factor de diseño de la velocidad del vapor K_v y se calcula la máxima velocidad de diseño del vapor.

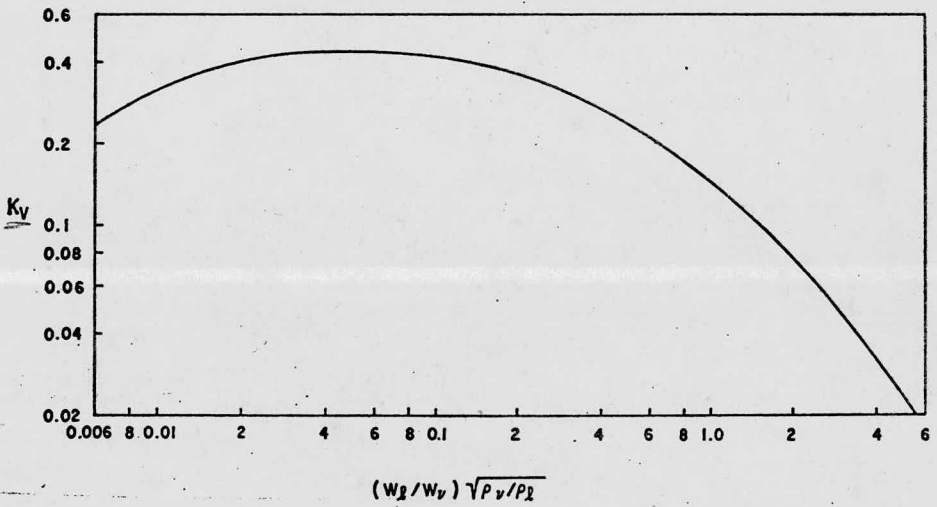


Fig. 12.- Gráfica del factor de velocidad del vapor para un separador vertical vapor-líquido al 85% de inundación.

Donde : $(U_v)_{\max.}$: máxima velocidad de diseño del vapor en ft/seg.

- 3.- Se calcula la mínima área de sección transversal del recipiente por la expresión:

$$A_{\min} = \frac{Q_v}{(U_v)_{\max.}}$$

Donde A_{\min} : Área de sección transversal en ft^2

Q_v : Velocidad de flujo de vapor en $\text{ft}^3/\text{seg.}$

- 4.- Se establece el diámetro del recipiente basado sobre 6 in de incremento.

$$D_{\min} = \sqrt{4(A_{\min}) / \pi}$$

$D = D_{\min}$ y se aproxima 6 pulgadas

- 5.- Se selecciona el tiempo apropiado de inundación en segundos y se calcula el volumen requerido del recipiente.;

$$V = \frac{Q_L}{\text{Tiempo de llenado}}$$

Donde:

V : Volumen requerido del recipiente en fts^3

Q_L : Velocidad de flujo de líquido en $\text{ft}^3/\text{seg.}$

6.- Se calcula la altura del líquido por la expresión

$$H_L = V (4/\pi D^2)$$

Donde: H_L : Altura del líquido en ft.

V : Volúmen requerido del recipiente en fts^3

D : Diámetro del recipiente

7.- Se checa la geometría del recipiente por la expresión

$$3 < \frac{H_L + H_V}{D} < 5 \quad \text{ó} \quad 3 < \frac{L}{D} < 5$$

Donde: H_L : altura del líquido en fts.

H_V : Altura del vapor en fts.

D : Diámetro del recipiente en fts.

$$L = H_L + H_V$$

Para pequeños volúmenes de líquido, es necesario proveer mas volumen de inundación que el necesario para satisfacer un $L/D > 3$. El otro caso es que el volumen del líquido requerido sea mas grande que el volumen posible teniendo un $L/D < 5$, la mejor es utilizar un recipiente horizontal.

El cálculo de un recipiente horizontal se efectua de la siguiente forma:

1.- Se calcula el factor de separación vapor-líquido por:

$$K = \left(\frac{W_L}{W_V} \right) \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$$

Donde:

K : Factor de separación

W_L : Velocidad de flujo del líquido en lb/seg

- W_v : Velocidad de flujo del vapor en lb/seg
- ρ_v : Densidad del vapor en lb/ft³
- ρ_L : Densidad del líquido en lb/ft³

2.- De la figura 12 se obtiene el factor de diseño de la velocidad del vapor K_v para recipientes verticales y se encuentra relacionada con el factor de velocidad del vapor para recipientes horizontales por la expresión

$$K_H = 1.25 K_v$$

Donde:

K_H : Factor de velocidad del vapor para recipientes horizontales

3.- Se calcula la máxima velocidad de diseño del vapor por:

$$(U_v)_{\max} = K_H \sqrt{(\rho_L - \rho_v) / \rho_v}$$

Donde: $(U_v)_{\max}$: máxima velocidad de diseño del vapor en ft/seg.

4.- Se calcula el área de flujo de vapor requerida

$$(A_v)_{\min} = \frac{Q_v}{(U_v)_{\max}}$$

Donde: $(A_v)_{\min}$: area de flujo de vapor mínimo en ft²

Q_v : Velocidad de flujo de vapor en ft³/seg

$(U_v)_{\max}$: Máxima velocidad de diseño del vapor en ft/seg.

5.- Se selecciona un tiempo apropiado de inundación, se calcula el volumen del recipiente cuando esta llena.

6.- Cuando el recipiente esta lleno se calcula el diámetro mínimo utilizando la relación para área total mínimo como sigue:

$$(A \text{ total})_{\min} = \frac{(Av)_{\min}}{0.2}$$

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4(A \text{ total})_{\min}}{\pi}}$$

D = D min y se aproxima 6 pulgadas

7.- Se calcula la longitud del recipiente por la expresión

$$L = \frac{V}{\left(\frac{\pi}{4}\right) D^2}$$

Donde: L: Longitud del recipiente en fts.

V: Volumen del recipiente en ft³

D: diámetro del recipiente en fts.

8.- Se calcula la relación L/D y si ésta se encuentra entre 3 y 5 se procede a calcular un nuevo tamaño.

CAPITULO III

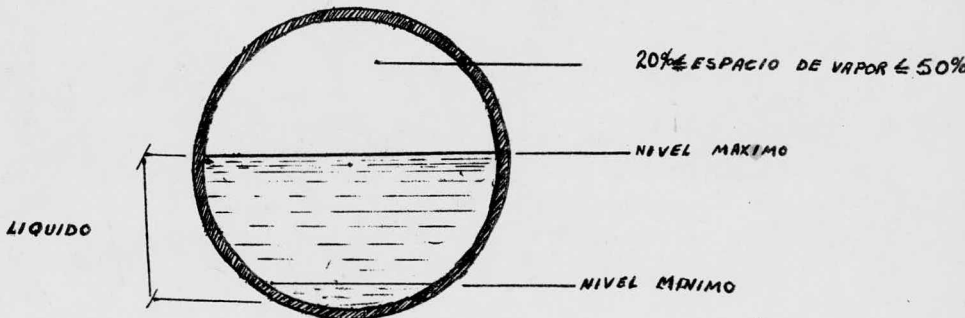
CALCULO DE RECIPIENTES ACUMULADORES

Se debe diseñar propiamente para obtener el volumen de un recipiente, aunque por regla general se diseña para obtener su diámetro y su longitud.

Normalmente un recipiente de reflujo o acumulador se encuentra instalado horizontalmente por la gran carga de líquidos que maneja, esta puede ir acompañada de vapor que se condensa completamente.

Cuando no hay vapor se recomienda usar un tiempo de residencia de 10 minutos, el criterio de diseño esta basado en el tiempo de residencia en el caso de que los vapores no condensen totalmente se recomienda un tiempo de residencia de $71/2$ minutos con el recipiente medio lleno.

Este tiempo de residencia se mide desde un nivel mínimo a un nivel máximo, y el nivel mínimo esta situado sobre los fondos del recipiente a una distancia igual al 10 % del diámetro del recipiente, si es posible esta altura no debe ser mayor de 6 pulgadas, como se muestra en la figura .



Muchas veces es necesario proveer al recipiente de un espacio de vapor que actúe como "colchón" evitando que se forme un vacío en el recipiente, en la práctica se acostumbra usar el "colchón" con un gas inerte y por lo regular es nitrógeno aunque puede suministrarse del mismo vapor de otra parte.

El Método de Cálculo de un recipiente acumulador es como sigue:

1.- Se necesita establecer el tiempo de residencia del acumulador y el nivel con el que se desea operar $t = 10 \text{ min}$ Espacio de vapor $\leq 20\% \text{ D.}$

$t = 7\frac{1}{2} \text{ min.}$ Espacio de vapor $\leq 50\% \text{ D.}$

2o. Se calcula el volumen del líquido para ese tiempo de residencia:

$$V_{\text{liq}} = \frac{W_L}{\rho_L} (t)$$

Donde:

V_{liq} : Volumen del líquido en ft^3

W_L : Velocidad de flujo del líquido en lb/hr

t : Tiempo de residencia en minutos

ρ_L : Densidad del líquido en lb/ft^3

3o. Se calcula el volumen total por medio de la expresión:

$$V_T = \frac{V_{\text{liq}}}{X_V}$$

Donde: V_T : Volumen total en ft^3

V_{liq} : Volumen del líquido en ft^3

X_V : Espacio de vapor en porcentaje

4o. Suponiendo un $L/D = 3$, utilizando el volúmen del cilindro y despreciando el volúmen de las tapas, se calcula el diámetro del recipiente por medio de la expresión:


$$D_{\min} = \sqrt[3]{\frac{4V_T}{3\pi}}$$

$D_{op} = D_{\min}$ y las próximas 6 pulgadas

Donde: D_{\min} y D_{op} : Diámetro del recipiente en fts.

5.- Se calcula la longitud del recipiente utilizando la relación

$$L = 3 D_{op}.$$

Donde: L Longitud del recipiente en fts. 

CAPITULO IV

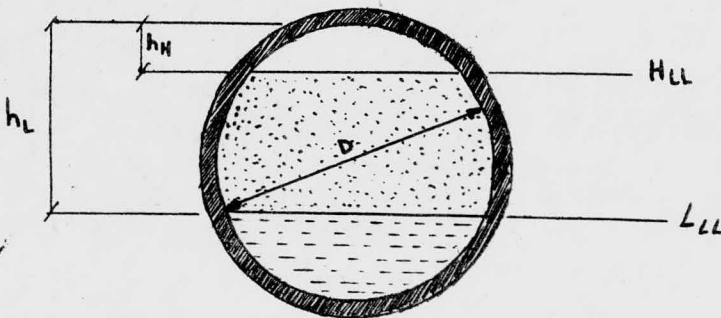
Cálculo de Recipientes acumuladores con una fase vapor y dos fases líquidas

Ordinariamente las dimensiones de un recipiente para estas características de flujo se fijan a partir de:

- 1.- Gotas desalojadas en la fase vapor
- 2.- Tiempo de residencia para la fase líquida
- 3.- Asentamiento de pequeñas cantidades de una segunda fase líquida (usualmente agua)

Generalmente se puede decir que el diámetro de un recipiente está gobernado por el flujo de vapor (esto siempre es verdadero para recipientes verticales), también el flujo de vapor fija el área mínima de espacio de vapor. Esta área incluye, un mínimo espacio h_H , sobre el máximo nivel del líquido, H_{LL} , igual a el 20 % de el diámetro del recipiente, si es posible este espacio no debe ser mayor de 10 pulgadas.

Los valores h_H y H_{LL} se muestran en la figura



Las corrientes de líquidos requieren un volumen o un tiempo de residencia mínimos en el recipiente para facilitar el control, en este caso el volumen del recipiente esta gobernado por el flujo líquido. Para fijar un tiempo de residencia adecuado se requieren consideraciones características de instrumentación, por que las dimensiones del recipiente afectan el tiempo constante del sistema.

El tiempo de residencia depende de:

- a) tiempo de residencia con el recipiente medio lleno
- b) Tiempo de residencia entre H_{LL} y L_{LL} . Esta aproximación incluye el líquido bajo L_{LL} .

Usualmente el tiempo de residencia para un recipiente medio lleno fijará el nivel del líquido (L_{LL})

Sobre las bases de retención entre alto y bajo nivel del líquido se pueden suponer los siguientes valores.

Corriente	Residencia de H_{LL} a L_{LL} minutos
Reflujo a torre	5
Producto para almacenarse	2
Producto para cambiador de calor corrientes de proceso	5
Producto para calentar	10

Para separar una segunda fase líquida debe fijarse una velocidad máxima del líquido de acuerdo a la ley de Stokes.

Normalmente para pequeñas cantidades de líquido pesado se fija un -

tiempo de residencia t de tal forma que sea un tiempo total y se obtiene sumando el tiempo controlante o de residencia t_s y el tiempo de asentamiento o de separación t_d .

$$t = t_s + t_d$$

Donde t_s se define como el tiempo necesario para que el líquido descienda de H_{LL} a L_{LL} y de t_d se define como el tiempo necesario para que el líquido descienda de L_{LL} al fondo del recipiente.

Para agua en hidrocarburos un valor razonable de tiempo de separación de 5 minutos, basado sobre un volumen total de hidrocarburos, para otros productos el tiempo requerido en minutos puede estimarse por

$$t_d = \frac{3\mu}{\Delta \text{spgr}}$$

Donde: μ viscosidad del predominante o fase líquida continua en cps.

Δspgr : Diferencia de gravedades específicas (o densidades en g/cm^3) entre las 2 fases líquidas.

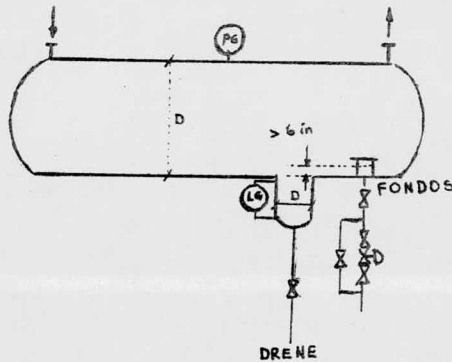
Resumiendo el tiempo de retención total t para recipientes es igual al tiempo de residencia t_s mas el tiempo de separación. Si no hay una segunda fase que ocupe los fondos, L_{LL} esta situado sobre los fondos del recipiente a una distancia $(D-h_L)$, igual al 10 % del diámetro del recipiente, si es posible esta distancia deberá ser mayor que 5 pulgadas.

Si existe una única fase líquido el tiempo de residencia total se transforma en $t = t_s$.

Cuando se presenta una segunda fase de líquido en pequeña cantidad,

normalmente se provee al recipiente con una vasija de extracción (o "pierna") para efectuar la separación de la fase pesada facilmente.

La "pierna" debe estar situada a la mínima distancia de la línea tangente de las puntas de la tapa con el cuerpo del recipiente, como se muestra en la figura.



El diámetro de la "pierna" está ordinariamente determinada por la velocidad de la fase pesada de 0.5 ft/min. Un criterio para determinar el diámetro mínimo de la pierna es, que para acumuladores que tienen un diámetro entre 4 y 8 ft se usan "piernas" de 16 pulgadas de diámetro y para recipientes de mas de 8 ft de diámetro, se usan "piernas" hasta de 24 pulgadas de diámetro.

El método de cálculo consiste en:

1.- Expresar la velocidad máxima del vapor por:

$$v = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}} \cong K \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_v}}$$

Donde : V : Es la velocidad del vapor a condiciones de diseño

ρ_v : Densidad de vapor a condiciones de diseño

ρ_L : Densidad del líquido a condiciones de diseño

K : Constante de velocidad, ordinariamente los valores para

K son de 0.13 ft/seg. para recipientes horizontales y 0.26

ft/seg. para recipientes horizontales teniendo una malla de alambre.

2.- Se determina un tiempo de residencia por medio de la fórmula

$t = t_s + t_d$, si existen 2 fases líquidas y $t = t_s$ si existe una sola fase líquida.

3.- Se puede obtener el área libre de paso de vapor x_v por medio de $x_L + x_v = 100$. Los valores recomendados de x_v son:

$$x_v \leq 20 \% D$$

Donde: x_L : por ciento de área de sección transversal ocupado por el líquido.

4.- Para fines prácticos, despreciando el volumen de las tapas, la velocidad del vapor se calcula por:

$$v = \frac{M_v / (3600 \rho_v)}{(x_v / 100) (\pi D^2 / 4)}$$

Donde: V : Velocidad del vapor en ft/seg.

M_v : Flujo de vapor en lb/hr

ρ_v : Densidad del vapor a condiciones de diseño

X_v : La mínima área libre de vapor en por ciento.

5.- La longitud del recipiente, si existen 2 fases líquidas, se calcula por medio de la fórmula:

$$L = \frac{X_v}{100 - X_v} \cdot \frac{60 \cdot t \cdot K \cdot M_L}{a \cdot M_v}$$

Donde: L: Longitud del recipiente en fts

M_v : Velocidad del flujo de vapor en lb/hr.

M_L : flujo del líquido en lb/hr

t: Tiempo de residencia en minutos

$$(t = t_s + t_d)$$

K: Constante de velocidad en ft/seg.

$$a = \left(\frac{\rho_L}{\rho_v} \right)^{1/2} \quad \text{adimensional}$$

6.- La longitud del recipiente si existe una sola fase líquida se calcula con la siguiente expresión:

$$L = \left(\frac{X_v}{95 - X_v} \right) \left(\frac{60 \cdot t \cdot K \cdot M_L}{a \cdot M_v} \right)$$

7.- El diámetro del recipiente se calcula por medio de:

$$D = (1/3 \pi)^{1/2} \left(M_v a / X_v K \rho_L \right)^{1/2}$$

o por la expresión:

$$D = 0.188 \left(\frac{M_v a^{1/2}}{K \rho_L} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{X_v}} \right)$$

Donde: D: Diámetro del recipiente en fts.

ρ_L : Densidad del líquido o condiciones de diseño en lb/ft³

C A P I T U L O V

Uno de los accesorios predominantes en los recipientes separadores vapor-líquido son las mallas de alambre, algunas veces se aplican estas para optimizar la velocidad de asentamiento de las gotas presentes en el vapor. Las mallas de alambre de cierto espesor formando una especie de cojín se instalan cerca del tubo de salida del recipiente y siempre en posición horizontal algunas veces se ha instalado el cojín en posición vertical o inclinada y se ha comprobado que la parte que funciona practicamente es la inferior y la máxima velocidad permisible generalmente es de 0.67 veces el valor disponible en la posición horizontal. Existen varios tipos de mallas disponibles y se identifican por el espesor de malla, diámetro del alambre y patrón de tejido, los cojines tejidos se encuentran fabricados con materiales que incluyen; acero inoxidable, nickel, cobre, aluminio, acero al carbón y polietileno.

La malla se considera como un separador estacionario de pequeño diámetro tejido de alambre o material plástico de 0.003 pulgadas a 0.016 pulgadas de diámetro y se usa en cojines de 4 pulgadas, 6 pulgadas y 12 pulgadas de espesor, por lo regular se recomienda usar un cojín de malla de 4 a 6 pulgadas de espesor e instalarla tan alto como sea posible sobre el nivel máximo del líquido y usar 6 pulgadas como mínimo absoluto de instalación.

Por la gran cantidad de volumen libre de la malla la caída de presión es baja y en la mayoría de las aplicaciones se considera despreciable, se ha obtenido experimentalmente con 4 pulgadas de espesor de malla, una eficiencia de separación de 99.9 %, cuando los gastos lo constituyen neblinas

muy finas se recomienda aumentar 2 pulgadas mas de espesor de malla, así se ha llegado a operar hasta con 12 pulgadas de espesor.

Aún no se tienen ecuaciones estandard para las mallas y para la caída de presión a través de la malla, porque la malla misma no ha sido estandarizada y cada manufacturero tiene sus categorías de alta eficiencia, mediana eficiencia y baja eficiencia a través de la malla bajo varios nombres comerciales, los cuales han sido desarrollados para propósitos específicos.

La práctica usual en seleccionar una malla particular para un recipiente es determinar la máxima velocidad permisible y ésta influye para seleccionar el diámetro del recipiente.

Para calcular la máxima velocidad de vapor disponible se utiliza la siguiente expresión:

$$U_a = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}}$$

Donde:

U_a : Máxima velocidad de vapor permisible a través de la cara inferior de la malla en ft/seg.

K: Constante basada en aplicaciones

ρ_L : Densidad del líquido en lb/ft³

ρ_v : Densidad del vapor en lb/ft³

El factor K está en función de el tamaño de gotas de líquido, viscosidad de líquido, carga del líquido espacio de vapor, tipo de tejido de malla. Valores bajos para K se usan para sistemas con alto vacío, alta viscosidad de líquidos, baja tensión superficial de líquidos y sistemas con malas condiciones de tejido.

La siguiente tabla indica el efecto de altura de vapor sobre el valor de K permisible:

Altura de vapor sobre la malla	Valor de K permisible
3	0.12
4	0.15
5	0.19
6	0.22
7	0.25
8	0.29
9	0.32
10	0.35
11	0.38
12	0.40
13	0.42
14	0.43

CAPITULO VI

El tipo de alimentación a recipiente separadores, indica como debe dimensionarse el orificio de entrada o boquilla y los orificios de salida a boquillas de salida. Para calcular el diámetro de la boquilla se debe considerar esta como una sección diferencial del tubo, uno de los criterios que se deben tomar en cuenta es que a lo largo de la sección del tubo la caída de presión no debe ser muy grande, tomándose un valor para flujo en fases de $1 \leq \Delta P \leq 2$.

La ΔP en el tubo, que conduce un flujo en 2 fases limita el cálculo del diámetro de la boquilla de alimentación del recipiente.

El Cálculo de la caída de presión el flujo en 2 fases se efectúa de la siguiente forma

1o. Se calcula la ΔP de fricción por la siguiente ecuación

$$\Delta P_f = \frac{(f_{TP})(GT)^2(f_L \lambda^2) / (\rho_{ms} R_L) + \rho_G (1 - \lambda)^2 / (\rho_{ms} R_G)}{(772.176)(\rho_{ms})(D^5)}$$

Donde cada uno de los términos de la ecuación son:

GT: Masa velocidad total en $\text{lb}(\text{hr-ft}^2)$

ρ_L : Densidad del líquido en lb/ft^3

* ρ_G : Densidad

$$\lambda = \frac{Q_L}{Q_L + Q_G}$$

Q_L : Gasto volumétrico del líquido

Q_G : Gasto volumétrico del gas

ρ_{NS} : Densidad promedio

$$\rho_{NS} = (1 - \lambda) \rho_G + \lambda \rho_L$$

D : Diámetro interno supuesto en pulgadas

$$\rho_G : (1 - \rho_L)$$

ρ_L : líquido "holdup" ó líquido retenido

El cálculo de ρ_L llamado líquido holdup o líquido retenido se efectúa por medio del siguiente procedimiento:

a) Se calcula $\rho_L = \frac{(1 + \lambda)}{2}$

b) Se calcula $C_1 + G T^{1/6} n^{1/24} \left(\sqrt{\frac{V_{NS}}{V_{SL}}} \right) (1.9741080)$

Donde: C_1 : factor variable

GT : Masa velocidad total en $lb/(hr ft^2)$

D : diámetro interno en pulgadas

$$V_{NS} = \frac{(Q_L + Q_G)}{A}$$

A : Area de tubería

Q_L : Gasto volumétrico del líquido

Q_G : gasto volumétrico del gas

$$V_{SL} : \lambda V_{NS}$$

c) Con el valor de C_1 variable, las viscosidades del líquido y gas

y el líquido "holdup" se calcula la siguiente relación:

$$\delta = \frac{C_1}{((\mu_L - \mu_G) R_L + \mu_G)^{0.166667}}$$

d) Si $\delta \geq 10.0$ se calcula un valor de K por medio de la expresión:

$$K = -0.16367 + (0.31037) \delta - (0.03525) \delta^2 + (0.001366) \delta^3$$

y el valor de la derivada de K respecto a δ

$$DK = 0.31037 - (0.0205) \delta - (0.004098) \delta^2$$

e) Si $\delta < 10$ se calcula el valor de K por medio de la expresión

$$K = 0.75545 + (0.003585) \delta - (1.436 \times 10^{-5}) \delta^2$$

y el valor DK por la expresión

$$DK = 0.003585 - (2.872 \times 10^{-5}) \delta$$

f) Se calcula el valor de F por la expresión:

$$F = (1 - \lambda) K + RL - 1$$

y el valor de DF = $[(1 - \lambda) (DK) (n \delta)] + 1$

Donde:

$$n \delta = \frac{-(0.16666667) \delta (\mu_L - \mu_G)}{[(\mu_L - \mu_G) R_L + \mu_G]}$$

g) Se calcula DRL

$$\text{Donde: DRL} = \frac{F}{DF}$$

h) Y el valor del líquido "holdup" o líquido retenido se calcula por medio de

$$RL_{\text{nuevo}} = R L + DRL$$

i) Si el valor absoluto de RL es menor que una tolerancia, el cálculo de RL nuevo es el adecuado si no, se vuelve a obtener otro valor con un recálculo de RL .

Para calcular la caída de presión de fricción se utiliza también el valor de el factor de fricción de flujo en dos fases y tienen un cálculo especial por medio de la expresión:

$$f_{TP} = f \left[1 - \frac{\ln \lambda}{1.281 + (0.4781)(\ln \lambda) + (0.444)(\ln \lambda)^2 + (0.094)(\ln \lambda)^3 + (0.00846)(\ln \lambda)^4} \right]$$

Donde: f_{TP} : es el factor de fricción de flujo en 2 fases

f : factor de fricción $f = f(D_{eq}, D, Re_{es})$

como función de la rugosidad, diámetro y No. de Reynolds para 2 fases (Re_{es})

Re_{es} : No. de Reynolds para flujo en 2 fases

$$Re_{es} = (124.01366) (\mu_{es}) (V_{ns}) \left[\frac{V_{ns}}{\mu_{es}} \right]$$

$$\mu_{es} = \frac{\mu_L \lambda^2}{RL} + \frac{\mu_G (1 - \lambda)^2}{RG}$$

$$V_{ns} = \frac{(Q_L + Q_G)}{A}$$

A : Area de la tubería

μ_{es} Viscosidad del flujo en 2 fases

$$\mu_{es} = (1 - \lambda)\mu_G + \lambda\mu_L$$

2o. Se calcula la caída de presión por elevación

$\Delta P_{elev.}$ de acuerdo a la expresión

$$\Delta P_{\text{elev}} = (\text{sen } \alpha) \left(\frac{R_L \frac{L}{L} + \frac{L}{L} R_G}{144} \right)$$

Donde:

α : Angulo de inclinación de la boquilla en grados,

3o. Se calcula la caída de presión por aceleración ΔP_{acc} por la siguiente expresión:

$$\Delta P_{\text{acc}} = \frac{\alpha^2}{[(4633.056)(P)(\phi_g)(R_G)]}$$

4o. Se calcula la caída de presión total para el flujo en 2 fases. El valor debe estar entre $1 \leq \Delta P \leq 2$ y se utiliza la expresión

$$\Delta P_T = \frac{(\Delta P_{\text{fric}} + \Delta P_{\text{elev}})}{(1 - \Delta P_{\text{acc}})}$$

Donde:

ΔP_T : Caída de presión total en flujo a 2 fases en PSI

ΔP_{fric} : Caída de presión por fricción en flujo a 2 fases en PSI

ΔP_{elev} : Caída de presión por elevación en flujo a 2 fases

ΔP_{acc} : Caída de presión por aceleración en flujo a 2 fases.

5o. Para calcular la ΔP_T es necesario suponer un diámetro, que se utiliza en la expresión de cálculo de la caída de presión por fricción. Si la caída de presión total no se ajusta al rango de operación $1 \leq \Delta P_T \leq 2$, entonces se vuelve a suponer un diámetro y se efectúa todo el cálculo de nuevo.

Los criterios para poder suponer algún diámetro adecuado, esta en función del tipo de flujo que se introduce por la boquilla evitandose flujos tipo "slug" y plug", prefiriéndose flujos tipo "anular" y burbuja". Utilizando la gráfica de Baker para flujo en 2 fases se obtiene la expresión:

$$BX = \left(\frac{537 W_L}{W_g} \right) \left(\frac{\mu_L^{1/3} \rho_g^{1/2}}{\sigma \rho_L^{1/6}} \right)$$

Donde:

σ : Tensión superficial del líquido en dinas/cm.

ρ_g : Densidad del vapor en lb/ft³

ρ_L : Densidad del líquido en lb/ft³

μ_L : Viscosidad del líquido en cps.

W_L : Masa velocidad del líquido en lb/hr

W_g : Masa velocidad del gas en lb/hr

El valor calculado de "BX" se localiza en la parte inferior de la gráfica de Baker, se extiende la posición "X" hasta la región de flujo anular y se lee en el lado izquierdo el valor de By.

Como el valor de By se obtiene de la expresión

$$By = \frac{(396) W_g}{D^2 \sqrt{(\rho_L)(\rho_g)}}$$

Despejando el diámetro se obtiene:

$$D^* = \sqrt{\frac{(396) W_g}{By \sqrt{(\rho_L)(\rho_g)}}}$$

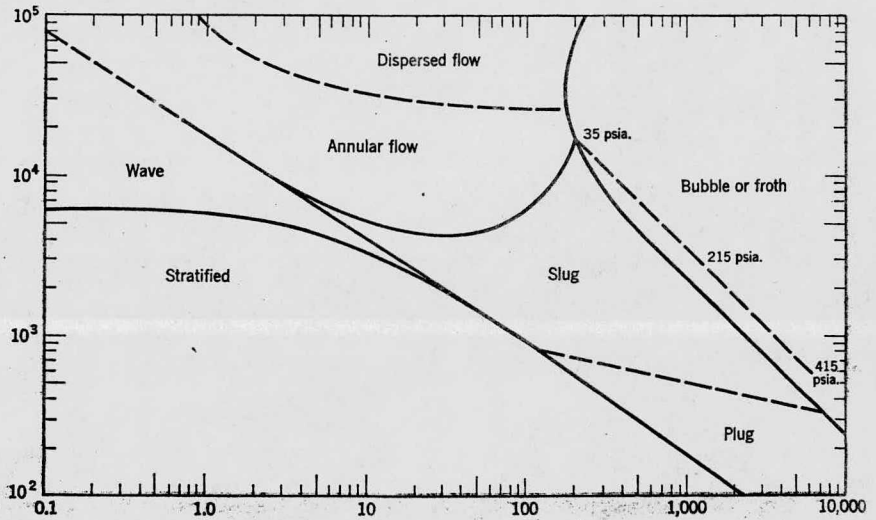


Figura 13.- Gráfica de Baker para flujo a dos fases

Donde D^* es el diámetro supuesto para calcular la caída de presión por fricción y por consiguiente la caída de presión total, si la caída de presión total no se ajusta, se vuelve a suponer otro diámetro, hasta que $1 \leq \Delta P_T \leq 2$.

El cálculo de las boquillas de salida de gas o líquido de un recipiente, se simplifica pues solamente se toma en cuenta flujo en una sola fase ya sea vapor que se desaloja por la boquilla superior o líquido que se desaloja por la boquilla inferior.

Para calcular la boquilla de salida de gas, la caída de presión para gases debe ser $\Delta P \leq 1$

1o. Se supone un diámetro D_o

2o. Con el diámetro supuesto D_o se calcula la expresión $K = f \left(\frac{L}{D} \right)$

Donde:

L: Es la longitud equivalente y para el caso de una boquilla se toma como $L = 100$ fts. de tubería

f: factor de fricción se obtiene a partir del número de Reynolds

3o. Con el valor de K obtenido se substituye en la siguiente expresión:

$$D = \left[\frac{W^2 P_2 \left(\frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{1}{2} K \right)}{1786188.668 f_1 [P_1^2 - P_2^2]} \right]^{0.25}$$

Si D diámetro calculado es igual a D_o diámetro supuesto se termina el cálculo y $D = D_o$ = diámetro de la boquilla de salida del gas

Si $D \neq D_0$, entonces se vuelve a suponer otro valor para D_0

Para el cálculo de la boquilla de salida del líquido la caída de presión para líquidos debe ser $\Delta P \leq 1$ y también:

1o. Se supone un diámetro D_0

2o. Con el diámetro supuesto D_0 se calcula la expresión $K = f \left(\frac{L}{D} \right)$

Donde: L: Longitud equivalente y para la casa de una boquilla se toma

$L = 100$ fts de tubería

f: factor de fricción

3o. Con el valor de K calculado se substituye en la siguiente expresión:

$$D = \left[(2.8 \times 10^{-7}) (K) (W^2) / \rho (P_2 - P_1) \right]^{1/4}$$

Si el diámetro calculado D es igual al diámetro supuesto D_0 se termina el cálculo y $D = D_0 =$ Diámetro de la boquilla de salida del líquido.

Si $D \neq D_0$, se vuelve a suponer otro valor para D_0 y se efectúa el cálculo igual que en el caso anterior.

CONCLUSION

Después de mostrarse los metodos de cálculo de separadores y acumuladores se puede notar que una de las relaciones óptimas es -- $3 \leq \frac{L}{D} \leq 5$ dependiendo de la presión de operación del recipiente, - además otra de los criterios a seguir es que el recipiente puede operar perfectamente medio lleno, esto es el espacio de vapor se encuentra entre el 20 % y 50 % de su diámetro.

Los tres primeros métodos que se presentan son muy completos y no muy laboriosos, pues no es necesario hacer muchas operaciones por prueba y error para obtener las dimensiones adecuadas del recipiente estos métodos comparados con el cuarto método son mejores, - pues aunque el método cuarto se considera corto es un poco laborioso. Para el caso de flujo a dos fases se puede utilizar cualquiera de los cuatro primeros métodos, tomando en cuenta los criterios para tener un buen funcionamiento del recipiente.

El cálculo de recipientes que manejen flujo con una fase vapor y dos fases líquidos, no se pueden usar los métodos anteriores pues las condiciones de flujo que se tienen requieren de un cambio en la forma del recipiente y en los tiempos de residencia de líquidos, su cálculo específico.

Para el cálculo de recipientes acumuladores los criterios a escoger son los mismos, solo que en estos casos el tiempo de residencia recomendada es 10 minutos si los vapores condensan comple-

tamente y un tiempo de 71/2 minutos si los vapores no condensan completamente, es decir el recipiente opera medio lleno.

Como el buen funcionamiento del recipiente depende en gran parte del espaciamiento y diámetro de las boquillas, para dimensionar un recipiente se recomienda usar los criterios que se muestran en los recipientes horizontales y verticales.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants
E. E. Ludwing
Vol. I. Pag. 156
- 2.- Equipment Design Handbook
Evand
Capítulo IV - V Pag. 153
- 3.- Chemical Engineering Aspects of Two-phase flow (parte I)
A. E. De Gance y R.W Atherton
Chemical Engineering Marzo 23 1979 pag. 135
- 4.- Phase Equilibrio, Flow Regimes, Energy Loss. (parte 2)
A. E. De Gance y R. W. Atherton
Chemical Engineering Abril 20 de 1970 Pag. 151
- 5.- Horizontal - Flow Correlations (parte 4)
A. E. De Gance y R.W Atherton
Chemical Engineering Julio 13 de 1970 pag. 95
- 6.- Designing Pressure Vessels
S. Strelzoff y L. C. Pon.
Chemical Engineering Noviembre 4 1968 pag. 191
- 7.- How to Specify; High Pressure Vessels
E. E. Ludwing
Petroleum Refiner Vol. 35 No.10 pag. 108
- 8.- How to Design Reflux Drums
B. Sigales
Chemical Engineering Marzo 3 de 1975 pag. 157
- 9.- Size Vapor - Liquid Separators quicker by Nomograph
A. D. Scheiman
Hydrocarbon Processing & Petroleum Refiner
Octubre 1963. Vol . 42 No. 10 Pág 167
- 10.- Use Nomographs to Size Horizontal
Vapor-Liquid Separators
A.D. Scheiman
Hydrocarbon Processing & Petroleum Refiner
Mayo 1964 Vol. 43 No. 5 Pág. 156

- 11.- How to Select Pressure - Vessel Size
R.R. Mac Cary
Chemical Engineering Octubre 17 de 1969 Pág. 187
- 12.- Check these points when designing knockout drums
E. R. Niemeyer
Hydrocarbon Processing & Petroleum Refiner
Junio 1961 Vol. 40 No. 6 Pág. 155
- 13.- Nomographs help find tank diameter.
L. Green
Chemical Engineering Febrero 8, 1960 pág. 143
- 14.- Sizing Separators and Accumulators
R. N. Watkins
Hydrocarbon Processing, noviembre 1967 Pág. 253
- 15.- New Charts Speed Drum Sizing
G.D. Kerns
Petroleum Refiner Julio 1960 pág. 168
- 16.- Flow of fluids through valves, fittings and Pipe
Engineering División Crane