



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EN VBA DE EXCEL PARA EL MODELADO
Y DISEÑO DE RECIPIENTES DE PROCESO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

JOSÉ ALBERTO LÓPEZ LÓPEZ



MÉXICO, D.F.

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: ALEJANDRO ANAYA DURAND**

VOCAL: **Profesor: JOSÉ AGUSTÍN TEXTA MENA**

SECRETARIO: **Profesor: ISMAEL NUÑEZ BARRÓN**

1er. SUPLENTE: **Profesor: JOAQUÍN RODRÍGUEZ TORREBLANCA**

2° SUPLENTE: **Profesor: MARTÍN RIVERA TOLEDO**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

ASESOR DEL TEMA:

I.Q. ISMAEL NUÑEZ BARRÓN

SUSTENTANTE:

JOSÉ ALBERTO LÓPEZ LÓPEZ

ÍNDICE GENERAL

Objetivo..... I

Introducción..... I

Capítulo 1. GENERALIDADES

1.1. Clasificación de Recipientes..... 1

1.1.1. Recipientes de Proceso.....1

1.1.2. Recipientes Atmosféricos..... 2

1.1.3. Recipientes a Presión..... 4

1.1.3.1. Por su Geometría..... 4

1.1.3.2. Por su Función5

1.2. Internos de Recipientes.....6

1.2.1. Deflectores de Alimentación.....6

1.2.2. Interruptores de Olas.....7

1.2.3. Malla Separadora.....7

1.2.4. Rompedores de Vórtice.....9

1.2.5. Placa Antiespumante.....10

1.2.6. Mamparas.....10

1.3. Aspectos Mecánicos.....10

1.3.1. Condiciones de Diseño.....11

1.3.1.1 Criterios para Presión de Diseño..... 11

1.3.1.2 Criterios para Temperatura de Diseño.....11

1.3.2. Anillos Atiesadores.....11

1.3.3. Dispositivos de alivio de Presión.....12

1.3.4. Instrumentos de Nivel.....13

1.3.5. Soldadura en Recipientes a Presión.....	14
1.3.6. Pruebas en Recipientes a Presión.....	15
1.3.6.1 Prueba Hidrostática.....	16
1.3.6.2 Prueba Neumática.....	16
1.3.6.3 Relevado de Esfuerzos.....	16
1.3.7. Boquillas.....	16
1.3.7.1 Registro Hombre/Mano.....	17
1.3.7.2 Boquilla de Venteo.....	18
1.3.7.3 Boquilla de Drenaje.....	19
1.3.7.4 Conexiones Válvula de Seguridad.....	19
1.3.7.5 Conexiones de Servicio.....	19
1.3.7.6 Boquillas de control de nivel.....	19
1.3.7.7 Boquillas para control de Presión.....	20
1.3.8 Materiales de construcción.....	20
1.3.8.1 Margen de Corrosión en Materiales.....	21
1.3.9 Aislantes y Recubrimientos.....	22
1.3.10 Selección de Tapas.....	24
1.4 Códigos Aplicables	26

Capítulo 2. PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN

2.1. Importancia de la separación de fases.....	28
2.2. Descripción de un separador.....	28
2.3. Mecanismos de Separación.....	30
2.3.1 Separación por Gravedad.....	30
2.3.2 Separación por fuerza centrífuga.....	30
2.3.3 Separación por coalescencia.....	30

2.4. Selección de un Separador.....	31
2.5. Variables de Diseño.....	32
2.5.1. Tiempo de Residencia.....	32
2.5.2. Tiempo de Retención y Carga.....	32
2.5.3. Velocidad de Asentamiento.....	33
2.5.4. Velocidad del vapor.....	33
2.5.5. Tiempo de Separación Líquido-Líquido.....	34
2.5.6. Relación Longitud/Diámetro.....	34
2.5.7. Niveles de Líquido.....	35
2.5.8. Alarmas de Nivel.....	36

Capítulo 3. RECIPIENTES DE BALANCE

3.1. Introducción.....	37
3.2. Recipiente de Balance Horizontal.....	37
3.3. Recipiente de Balance Horizontal con Bota o Pierna.....	38
3.4. Recipiente de Balance Vertical.....	40

Capítulo 4. SEPARADORES LÍQUIDO - VAPOR

4.1. Introducción.....	42
4.2. Recipiente Separador Líquido – Vapor (Horizontal).....	43
4.3. Recipiente Líquido – Vapor Vertical.....	46

Capítulo 5. SEPARADORES LÍQUIDO - LÍQUIDO - VAPOR

5.1. Introducción.....	49
5.2. Separador Líquido – Líquido – Vapor (Horizontal con Bota).....	50

5.3. Separador Líquido – Líquido – Vapor (Horizontal con Mampara).....	54
5.4. Separador Líquido – Líquido – Vapor (Vertical).....	58

Capítulo 6. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

6.1. Introducción a VBA de Excel.....	63
6.2. Características Principales de VBA.....	63
6.2.1 Userforms y Macros.....	64
6.3. Programación de la Aplicación.....	65
6.3.1. Visualización de la Aplicación.....	65
6.3.2. Utilización de la Aplicación.....	73

Capítulo 7. VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN

7.1. Ejemplos desarrollados con la Aplicación.....	74
7.1.1 Acumulador de carga.....	74
7.1.2 Separador Bifásico.....	77
7.1.3 Tanque de Succión a Compresor.....	80
7.1.4 Separador Trifásico.....	83
7.2. Comparación de los estimados vs. Recipiente Real.....	86

CONCLUSIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
GLOSARIO.....	89
NOMENCLATURA.....	90
ANEXOS.....	92

OBJETIVO.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una herramienta computacional, con una interfaz sencilla y fácil de manejar, aplicando algoritmos de cálculo y criterios de diseño que permita modelar y dimensionar recipientes de proceso, así como plasmar los resultados en una hoja de datos.

INTRODUCCIÓN.

Existe una operación básica pero a la vez de gran importancia que permite obtener corrientes líquidas libres de vapor o de otro líquido y/o viceversa, para que su manejo sea sencillo y en otros casos se puedan comercializar, dicho proceso es el proceso de separación.

Una operación de este tipo puede encontrarse desde el inicio o hasta el final de un proceso, por lo que un mal diseño del recipiente, podría convertirlo en una restricción del proceso y limitar todo el sistema, por otro lado, un diseño apropiado puede dar una alta calidad de productos, así como, minimizar la pérdida de productos valiosos.

El presente trabajo surge a partir de la idea de conjuntar una serie de algoritmos, criterios, reglas heurísticas, así como la experiencia, referente a los recipientes de proceso que son empleados comúnmente en la industria petroquímica y de refinación.

Como resultado de lo anterior se desarrolló una herramienta para el dimensionamiento de recipientes de proceso utilizando VBA (Visual Basic Applications) de Excel, dicha herramienta es fácil utilizar y sirve como una guía para seleccionar criterios de diseño y accesorios internos que involucran el diseño de un recipiente.



CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. Clasificación de Recipientes

En la industria, los recipientes se utilizan con el objetivo de aprovechar su capacidad para almacenar, procesar o transportar fluidos, en estado líquido, vapor o bien una mezcla de ambos.

1.1.1. Recipientes de Proceso

En el presente trabajo se consideran cuatro tipos de recipientes de proceso, los que se emplean comúnmente en la industria de refinación y petroquímica. A continuación se describen los recipientes:

- Recipientes de Balance
- Separadores Líquido-Líquido
- Separadores Vapor-Líquido
- Separadores Líquido-Líquido-Vapor

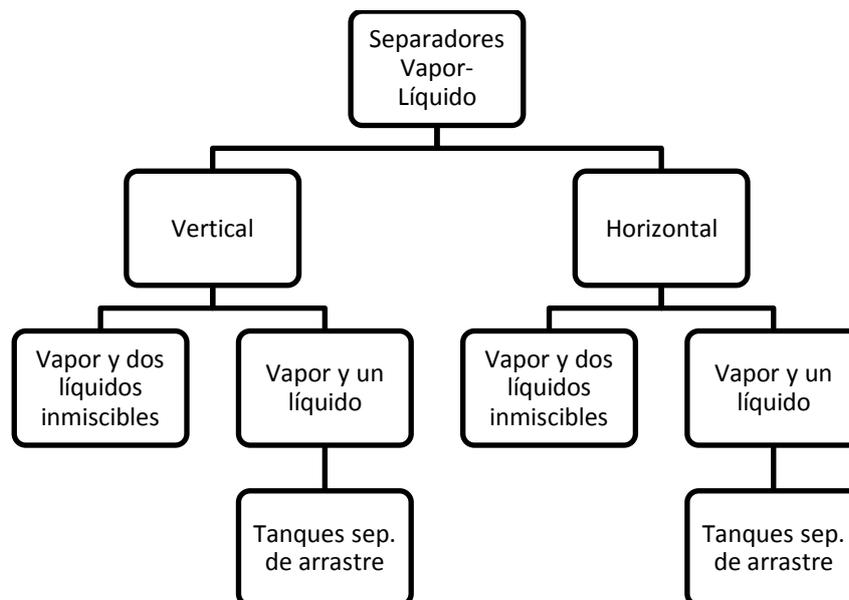


Fig. 1-1. Separadores Vapor-Líquido.

Recipientes de Balance. Se utilizan para proporcionar el tiempo de retención suficiente a una corriente de líquido libre de vapor o a una



corriente de vapor libre de líquido y así asegurar un flujo libre de fluctuaciones a equipos posteriores.

Separadores Líquido-Líquido. Se emplean para separar por gravedad dos líquidos inmiscibles de densidades diferentes, esencialmente libres de vapor. Un factor importante a considerar es el tiempo de residencia, que debe ser mayor respecto al tiempo requerido para romper la emulsión entre las fases, como se menciona en la sección 2.5.1.

Separadores Vapor-Líquido. Se emplean para separar mezclas Líquido-Vapor, con el objetivo principal de entregar vapores libres de líquido a otros equipos, son separadores convencionales que pueden ser: horizontales o verticales.

Separadores Líquido-Líquido-Vapor. Además de separar la fase líquida de la gaseosa, separan un tercer líquido, dicha separación se lleva a cabo por una diferencia de densidades. Operativamente para lograr la separación entre las fases líquidas, se proporciona suficiente tiempo de residencia y se deposita en un espacio donde no hay turbulencia.

Desde el punto de vista de diseño, la clasificación de recipientes debe tomar en cuenta una variable esencial, la presión.

1.1.2. Recipientes Atmosféricos

Los recipientes atmosféricos ó *tanques* se usan para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de 13 psia a nivel del mar y temperatura estándar. Por cada 300 metros de elevación la máxima presión de vapor deberá ser reducida en 0.5 psia. Se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento.

Existen dos tipos: *abiertos* y *cerrados*. Se prefieren los *recipientes abiertos* por su menor costo, sin embargo, presentan varios problemas debido a la fácil contaminación del producto. Con el paso del tiempo estos recipientes han desaparecido de las grandes industrias y ahora solo se encuentran en pequeños procesos.

En el caso de los *recipientes cerrados* se emplean dos tipos principalmente:

- *Recipientes de Techo Fijo.* Pueden tener techo autosoportado o por columnas, el techo puede tener forma de cono o domo. Opera con un



espacio para los vapores, dicho espacio cambia con la variación en el nivel de líquido. Se emplean ventilaciones en el techo que permiten mantener la presión atmosférica pero se producen pérdidas por evaporación. Se utilizan para almacenar petróleo y sus derivados, que se mantienen en estado líquido a condiciones ambientales o para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables).

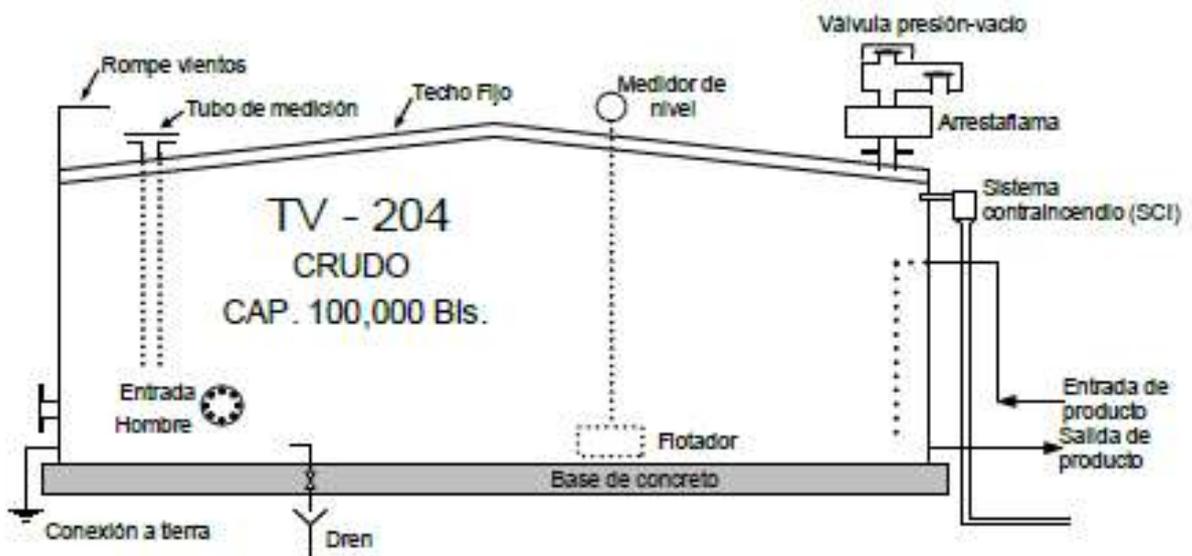


Fig. 1-2. Recipiente de Techo Fijo.

- *Recipientes de Techo Flotante.* Se utilizan para almacenar líquidos con alto contenido de volátiles y con presión de vapor superior a la atmosférica. En estos recipientes el techo flota sobre la superficie del líquido, eliminando el espacio para los vapores. Los principales tipos de techo flotante son: techos flotantes externos con *pontones* y techos flotantes internos de membrana. Se utilizan para:
 - a) Almacenar líquidos que se mantienen a condiciones ambientales, pero con presión de vapor mayor a 4 psi.
 - b) Cuando el líquido es almacenado a temperaturas cercanas a su punto de inflamación (aproximadamente 15°F) o a temperaturas mayores.
 - c) En recipientes cuyo diámetro excede 45m y son destinados a almacenar líquidos de bajo punto de inflamación.
 - d) Almacenamiento de líquidos con alta presión de vapor sensibles a la degradación con oxígeno.

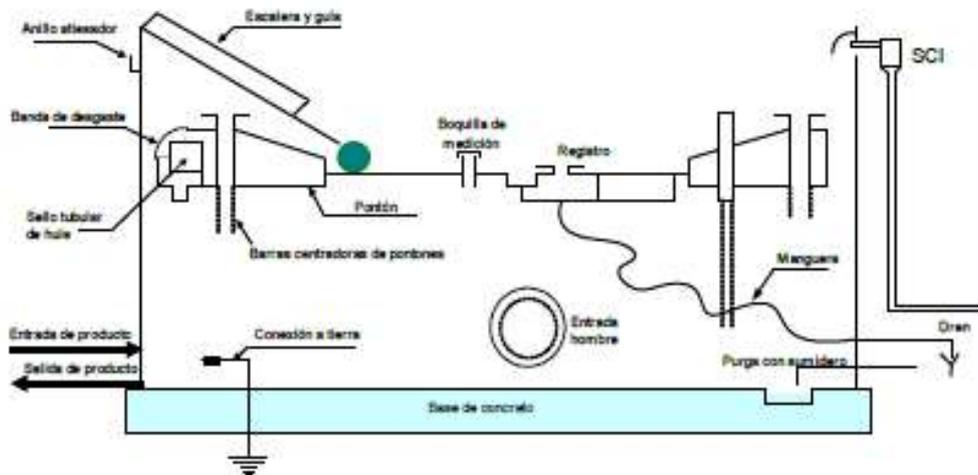


Fig. 1-3. Recipiente de Techo Flotante.

1.1.3. Recipientes a Presión

Un recipiente a presión se puede definir como cualquier envase cerrado capaz de contener un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o externa (vacío), independientemente de su forma y dimensiones.

Los recipientes a presión pueden clasificarse en diferentes categorías, por mencionar algunos, de acuerdo a: función, geometría, posición, tamaño, etc. Se considera el siguiente esquema.

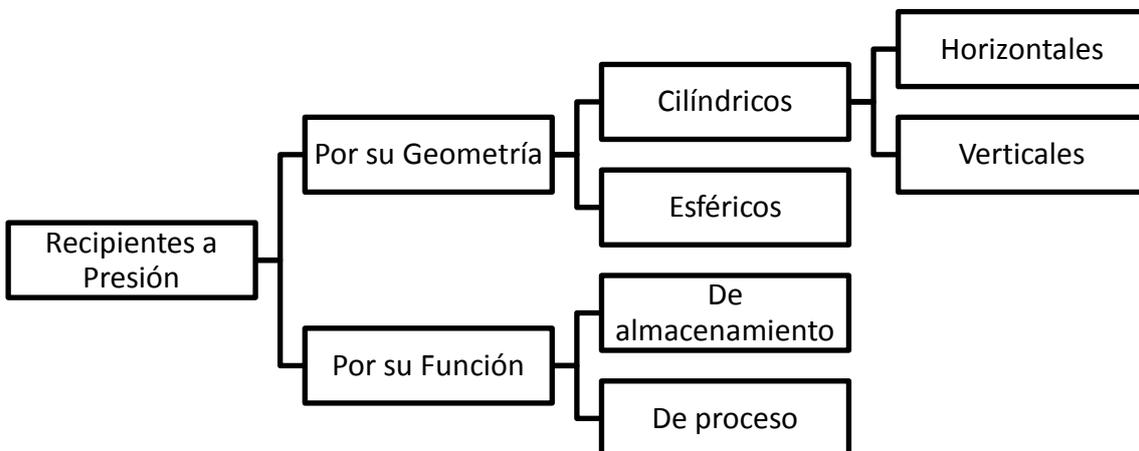


Fig. 1-4. Clasificación Recipientes a Presión.

1.1.3.1. Por su Geometría

Por su geometría los recipientes, pueden ser *cilíndricos* o *esféricos*, los cilíndricos pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener accesorios



internos o de calentamiento (líquidos viscosos), mientras que los esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento para volúmenes grandes y altas presiones.

La forma esférica es la forma natural que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, por esta razón, económicamente es la mejor forma para almacenar fluidos, sin embargo, la fabricación es mucho más cara respecto a la forma cilíndrica.

1.1.3.2. Por su Función

Por su función los recipientes a presión se pueden dividir en recipientes de almacenamiento y recipientes de proceso.

En las plantas industriales los **recipientes de proceso** son fundamentales, ya que permiten el desarrollo de diversas operaciones, se emplean recipientes como: separadores, torres, reactores, intercambiadores etc.

Los **recipientes de almacenamiento** tienen como finalidad almacenar fluidos que se dirigen o provienen de un proceso, y de acuerdo a su servicio se denominan: tanques de almacenamiento, tanques acumuladores, etc. Como ejemplo podemos mencionar:

- *Recipientes Esféricos.* Se utilizan para almacenar grandes volúmenes de líquidos a presiones moderadas, desde 1000 hasta 25000 barriles y presiones de 10 psig para grandes volúmenes y 200 psig para pequeños.



Fig. 1-5. Recipiente de Almacenamiento Esférico.



- *Recipientes Criogénicos.* El tanque de almacenamiento es un tanque dentro de otro con aislante entre las paredes de ambos. En los tanques sencillos, el tanque exterior es de acero que no ofrece protección en caso de falla, mientras el tanque interno se fabrica normalmente con 9% de acero níquel y cuenta con fondo plano y pared cilíndrica. El aislante utilizado comúnmente es la perlita, y se evita la entrada de aire para no deteriorarlo.

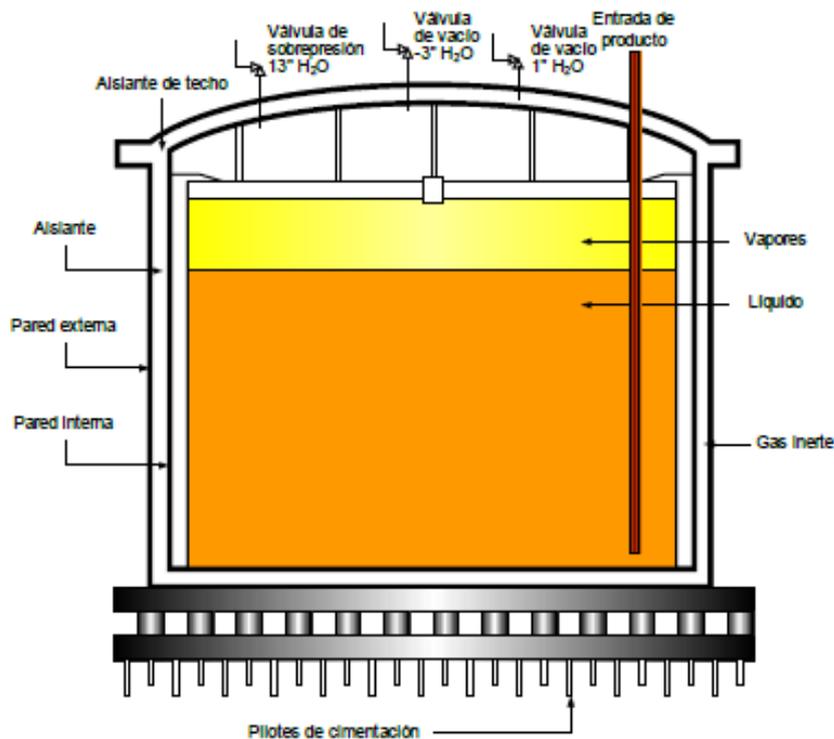


Fig. 1-6. Tanque de Almacenamiento Criogénico.

Es importante mencionar que en un recipiente presurizado, existe siempre un espacio vapor que permita la expansión del líquido como resultado del calentamiento producido por la temperatura ambiente y por la radiación solar. Debido a esto, en un recipiente de almacenamiento, la capacidad máxima de operación será del 85% de la capacidad nominal del recipiente.

1.2. Internos de Recipientes

1.2.1. Deflectores de Alimentación

Son placas metálicas colocadas frente a la boquilla de alimentación, con el objetivo de disminuir la velocidad de la corriente de alimentación, al



disminuir la velocidad se forman pequeñas gotas de líquido que se unen y caen por gravedad, por su parte el vapor al disminuir su velocidad elimina el arrastre de líquido. Un aspecto importante a considerar es proporcionar suficiente área de flujo para evitar una caída de presión considerable.

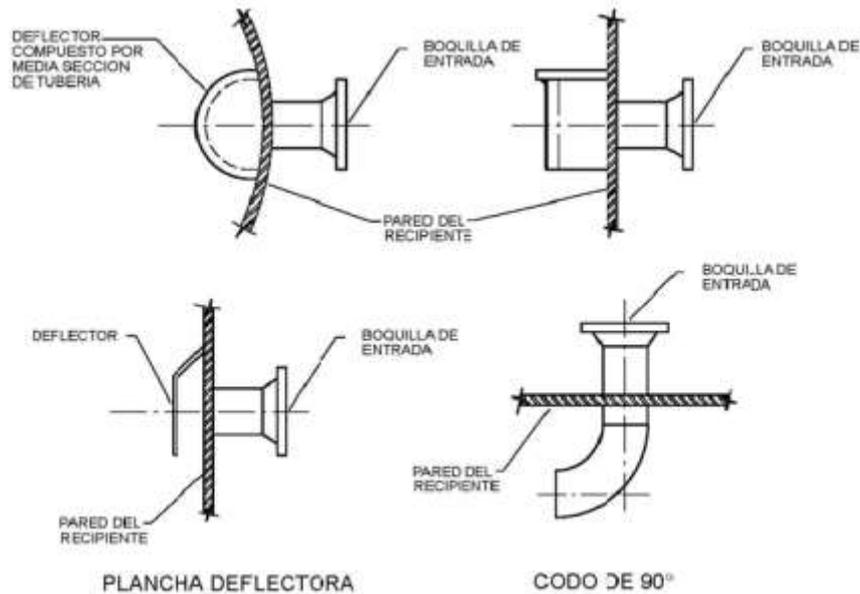


Fig. 1-7. Deflectores de Alimentación.

1.2.2. Interruptores de Olas.

Su función es romper las olas que forma el líquido, son utilizados comunmente en recipientes horizontales, el material de construcción debe ser ligero y resistente a la corrosión. El número depende de la longitud del recipiente.

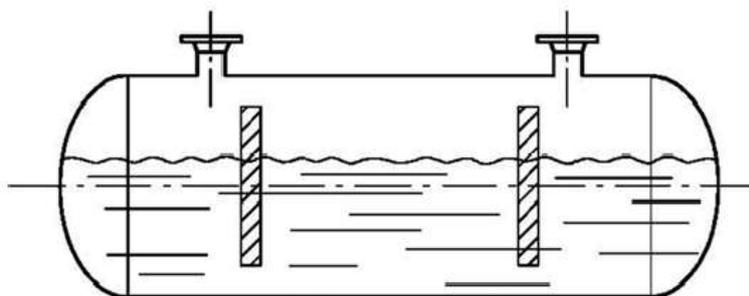


Fig. 1-8. Interruptores de Olas.

1.2.3. Malla Separadora

Es práctica común de ingeniería utilizar malla separadora como eliminador de niebla porque tiene una alta eficiencia de separación (arriba de 99%



para tamaños de gota mayor a 10 micras), baja caída de presión (puede considerarse despreciable), nulo mantenimiento y bajo costo de adquisición.

Son dispositivos que se usan cuando el vapor separado en un recipiente se requiere libre de líquido, por ejemplo, en un tanque de succión a compresión. Las mallas separadoras funcionan en dos etapas: la primera es coalescer las partículas de líquido y formar grandes gotas, en la segunda etapa las gotas formadas se separan de la corriente gaseosa por acción de la gravedad.

Consisten en un lecho tejido de alambre de diámetro pequeño (0.03 – 0.015 in) de acero inoxidable (fibra de vidrio, polipropileno, teflón, titanio, plata, etc.), envuelto por dos rejillas ligeras, como se muestra en la Figura 1-9.

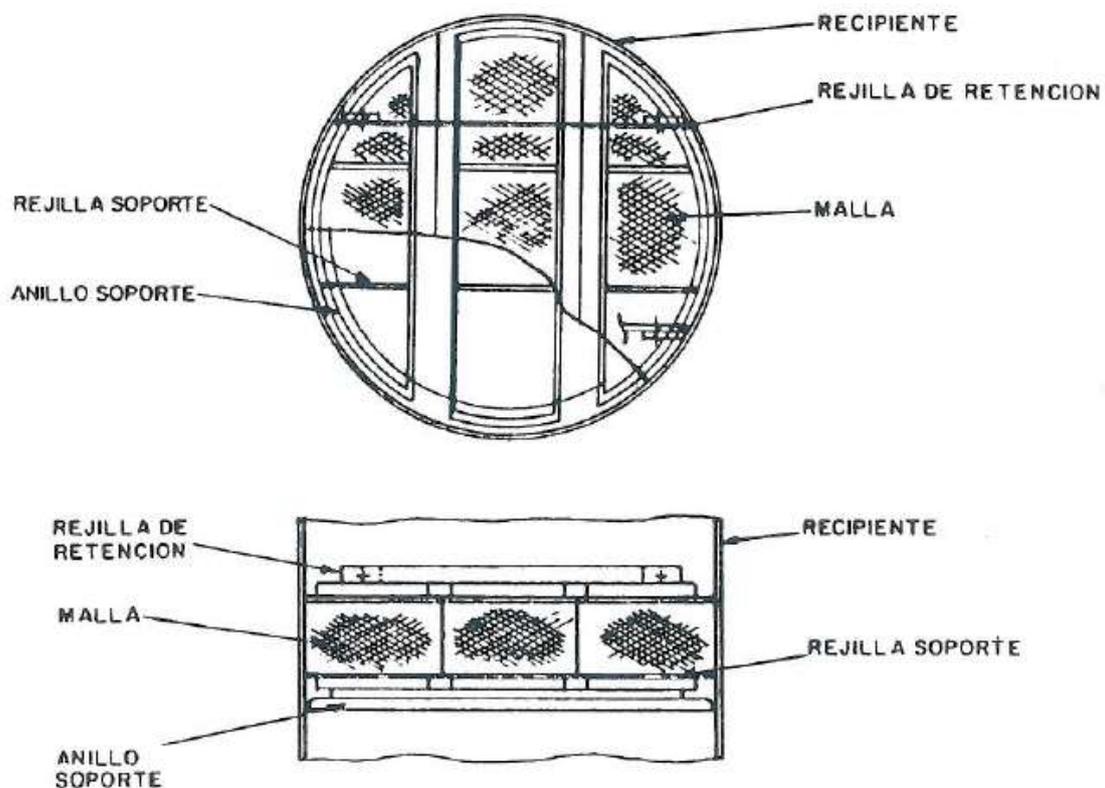


Fig. 1-9. Malla Separadora.

La eficiencia de separación depende de 4 factores principalmente:

- Diámetro de gotas arrastradas
- Diámetro de alambre
- Espacios libres u obstrucciones



- Velocidad del vapor

Un espesor de 6 in resulta adecuado para la mayoría de los servicios, sin embargo, existen casos particulares.

1.2.4. Rompedores de Vórtice

Un vórtice dentro de un recipiente provoca que el vapor se mezcle con el líquido, esto puede causar daños en la bomba, baja eficiencia de la misma, incremento de la caída de presión, flujo a dos fases y pérdidas de vapor, por lo que es importante evitarlo. En ocasiones un vórtice puede aparecer incluso en recipientes a régimen permanente.

Los vórtices pueden presentarse en cualquier boquilla que tenga salida de líquido, por esta razón, debe existir una altura mínima de líquido sobre la boquilla de salida o sobre los bordes del tubo de succión que evite la formación del vórtice, generalmente el nivel mínimo de líquido se establece en 6 in como se menciona en la sección 2.5.7.

La mejor forma de evitar un vórtice es colocando un rompedor de vórtice sobre las boquillas de salida de líquido. Consisten en dos placas planas formando un ángulo de 90° entre ellas, placas acomodadas radialmente (hélices) o en forma de rejilla, se recomienda el último porque ofrece mejor protección con niveles bajos de líquidos.

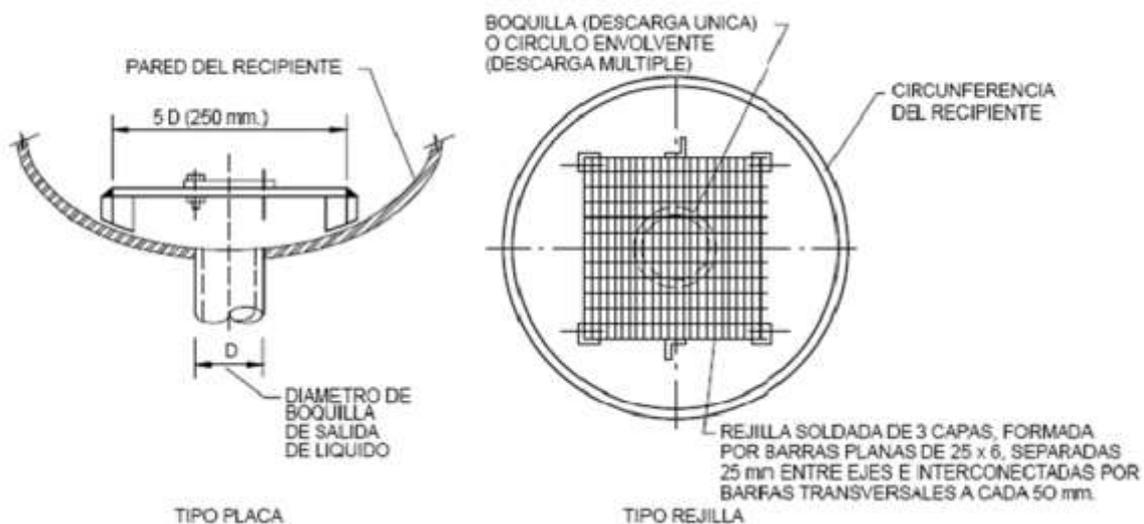


Fig. 1-10. Rompedor de vórtice.



1.2.5. Placa Antiespumante

La espuma en la interfase puede ocurrir cuando las burbujas de gas se rompen en la superficie del líquido. La espuma se puede estabilizar con la adición de químicos, sin embargo, una solución más efectiva es forzar a la espuma a pasar por una serie de placas paralelas que ayudan a eliminar las burbujas.

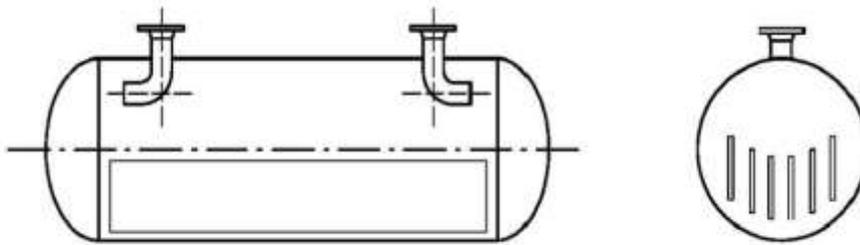


Fig. 1-11. Placa Antiespumante.

1.2.6. Mamparas

Las mamparas son placas metálicas que en ocasiones se utilizan en los recipientes con el fin de:

- Separar dos fases líquidas inmiscibles por decantación.
- Evitar turbulencia en la interfase

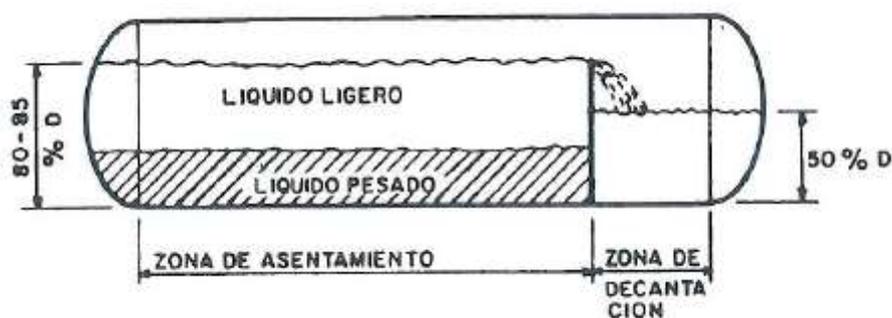


Fig. 1-12. Recipiente con mampara de decantación.

1.3. Aspectos Mecánicos

Para realizar un adecuado diseño mecánico de un recipiente es importante considerar los siguientes aspectos:



1.3.1. Condiciones de Diseño

1.3.1.1. Criterios para Presión de Diseño

Es la presión utilizada en el diseño del recipiente con el fin de determinar el espesor mínimo permisible. En general, se establece a partir de la presión máxima a la cual podría operar el recipiente. Se requiere hacer un análisis para determinar la presión máxima de trabajo y posibles cambios de presión en un futuro. Es práctica común de ingeniería establecer la presión de diseño de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Para presiones superiores a la atmosférica, la presión de diseño es equivalente a la máxima presión de operación más 10% o 2 Kg/cm² de sobrediseño, utilizando la que sea mayor.
- b) En el caso de que la presión de vapor del líquido correspondiente a la temperatura máxima en el recipiente sea superior a lo anterior, considerar una presión de diseño con base en la presión de vapor.
- c) Para presiones de operación atmosférica no se considera un sobrediseño.

1.3.1.2. Criterios para Temperatura de Diseño

La temperatura de diseño es una variable importante en la especificación de un recipiente porque determina el esfuerzo máximo permisible del material de construcción. Es práctica común de ingeniería establecer la temperatura de diseño con base en los siguientes criterios:

- a) La temperatura de diseño es equivalente a la máxima temperatura que puede presentarse en el recipiente, más 15°C de sobrediseño, en el intervalo de -29 a 340°C.
- b) Si la temperatura es mayor a 340°C, se considera como temperatura de diseño la máxima esperada sin sobrediseño adicional.
- c) Si la temperatura es menor a -29°C, se considera como temperatura de diseño a la mínima esperada.

1.3.2. Anillos Atiesadores

La revisión por presión externa se realiza en recipientes horizontales y verticales que operan a presión interna y contienen un líquido extraído por bombeo, o bien, que por las condiciones de operación puedan presentar vacío en su interior. La revisión consiste en comprobar los espesores para



una presión externa de 2.5 psia, es decir, en condición de vacío (ausencia de contenido).

Si se considera la posibilidad de que un recipiente a presión pueda presentar condiciones de vacío, o bien, si un recipiente atmosférico no posee la rigidez necesaria para tener una estabilidad estructural, se necesita de un refuerzo adicional que puede suministrarse en dos formas:

- 1) Aumentando el espesor de las placas del cuerpo cilíndrico.
- 2) Instalando anillos atiesadores.

La primera alternativa resulta generalmente menos económica, por lo que se opta por colocar un anillo de refuerzo que se encuentra especificado por el código API 650.

Un anillo atiesador tiene como función aumentar la resistencia a presión externa del cilindro, principalmente para evitar la deformación radial del cuerpo y su posible colapso. Son perfiles estructurales soldados al cuerpo cilíndrico del recipiente. La inclusión de anillos atiesadores en el cuerpo de un recipiente, modifica sustancialmente los cálculos de espesor.

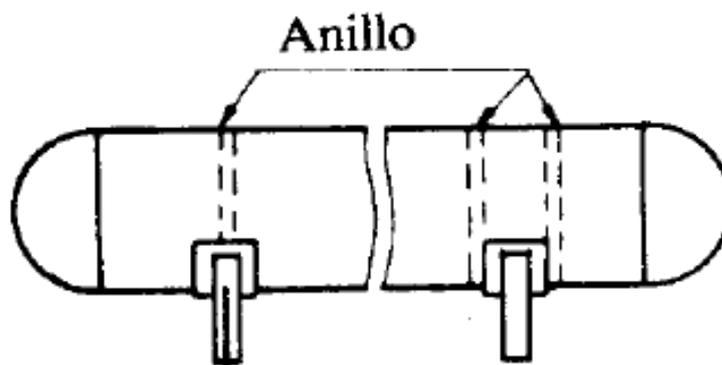


Fig. 1-13. Anillos Atiesadores.

1.3.3. Dispositivos de alivio de Presión

Estos dispositivos pueden ser válvulas de seguridad (PSV) o discos de ruptura. El código ASME establece que debe existir un intervalo entre la presión de operación máxima y el punto de ajuste del dispositivo.

- a) Para una válvula de alivio el intervalo es 10% o 2 Kg/cm² el que resulte mayor (puede ser 20% si el recipiente está expuesto a una fuente de calor).



- b) Mientras que para un disco de ruptura el intervalo es de 30%. La tolerancia es mayor para un disco debido a que es más problemática su reposición que la abertura frecuente de una válvula.

Las válvulas se utilizan con mayor frecuencia porque pueden manejar cualquier presión y pueden actuar varias veces sin dañarse. Los discos de ruptura se utilizan donde no se permite ninguna fuga o si el fluido puede dañar el funcionamiento de una válvula. Normalmente los códigos aplicables son el código ASME, API 520 y API RP2000.

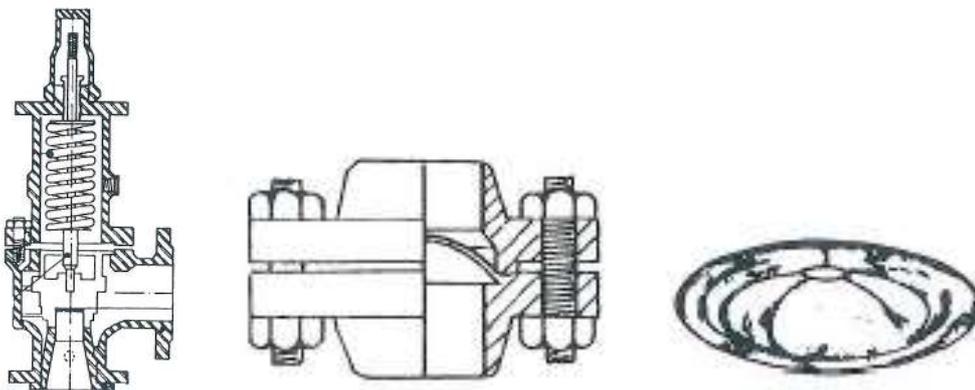


Fig. 1-14. Dispositivos de Alivio de Presión.

1.3.4. Instrumentos de Nivel

Un parámetro importante es la medida y control de niveles en los recipientes. Las funciones de los instrumentos de nivel en un recipiente son:

- Proporcionar información sobre el funcionamiento del recipiente
- Ejercer un control automático del proceso
- Proveer de seguridad al proceso

A continuación, se describen algunos tipos de instrumentos:

- a) *Instrumentos indicadores* que disponen de un indicador y una escala graduada.
- b) *Instrumentos registradores* que trazan continuamente o por puntos la variable de instrumentación.
- c) *Instrumentos controladores* que comparan la variable de proceso con un valor deseado y ejercen una acción de control correctiva.



- d) *Instrumentos transmisores* captan la variable de proceso a través de un elemento primario y la transmiten a distancia de forma neumática o de corriente.

Para cumplir con las funciones, se debe emplear un ciclo de control que consiste en un elemento de medición, un controlador, un elemento de control y una variable de proceso.

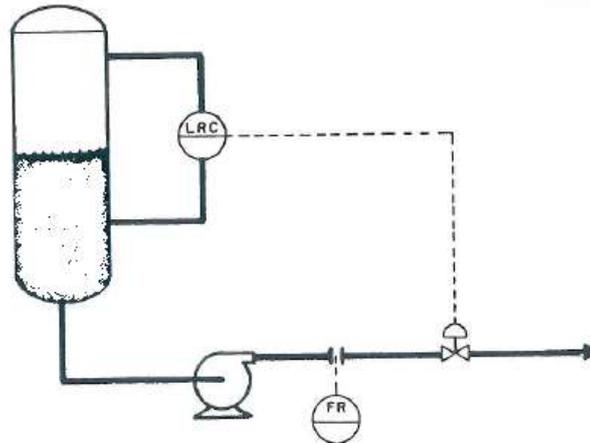


Fig. 1-15. Ciclo de Control.

El diseño de un recipiente debe proporcionar un adecuado control sobre el nivel del líquido con una respuesta automática a posibles fallos, así como un sistema de alarma.

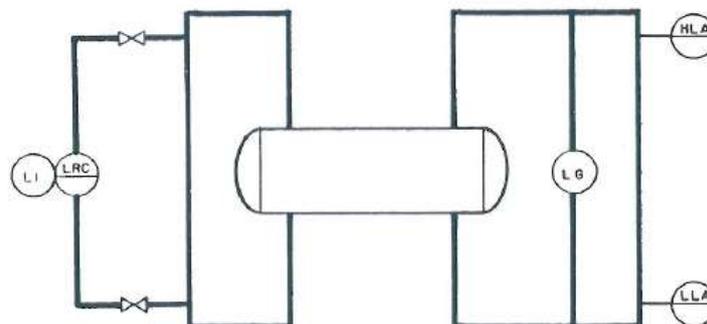


Fig. 1-16. Instrumentos de Nivel en un recipiente.

1.3.5. Soldadura en Recipientes a Presión

El procedimiento más utilizado actualmente en la fabricación de recipientes a presión es el de soldadura, sin embargo, en ocasiones se utilizan recipientes forjados donde el espesor es muy grande e impide las placas soldadas o laminadas.



Los requerimientos para los recipientes a presión fabricados por soldadura se encuentran en el código ASME sección IX “Requisitos de Soldadura” y en la AWS (American Welding Society).

Todas las soldaduras deben ser aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico sumergido, el material de soldadura debe ser compatible con el material a soldar. Los recipientes pueden fabricarse de cualquiera de los materiales aprobados por el código ASME. Los tipos de soldadura que se usan con mayor frecuencia son:

- Soldadura doble
- Soldadura simple con banda de respaldo
- Soldadura simple sin banda de respaldo



Fig. 1-17. Tipos de Soldadura.

Las más utilizadas son las de soldadura doble, ya que no tienen restricciones de aplicación, son por ensamble con soldadura doble para obtener la misma calidad de metal soldado por ambos lados de la junta.

Para verificar que una soldadura ha sido bien hecha se utilizan diversas formas de inspección, por ejemplo: radiografiado, la prueba de líquidos penetrantes, ultrasonido, etc., siendo el radiografiado el más utilizado.

1.3.6. Pruebas en Recipientes a Presión

Durante la fabricación de cualquier recipiente a presión, se realizan diferentes pruebas para supervisar la calidad del recipiente, como se mencionó anteriormente. Una vez que se han terminado de fabricar, generalmente se aplica la prueba hidrostática, aunque también existe la prueba neumática, estas pruebas son para examinar el recipiente, donde se pueden detectar fallas en el material, diseño inadecuado y fugas en conexiones.



1.3.6.1. Prueba Hidrostática

En esta prueba el recipiente es sometido a una presión 1.5 veces la máxima presión de trabajo permisible que será estampada en el recipiente, durante el tiempo suficiente para verificar que no existen fallas en el recipiente, lo anterior está señalado en la sección VIII, división I del código ASME, así como otras pruebas que requieran ser aplicadas a los recipientes.

1.3.6.2. Prueba Neumática

La diferencia básica entre esta prueba y la prueba hidrostática es el valor de la presión de prueba y el fluido a utilizar, la presión de prueba es alcanzada mediante la inyección de gases, el código ASME recomienda 1.25 veces la máxima presión de trabajo permisible. Sin embargo, estas pruebas son peligrosas y tienden a dañar los equipos.

1.3.6.3. Relevado de Esfuerzos

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos en diferentes partes del recipiente, principalmente alrededor de las soldaduras y provocan debilidad en la estructura. Los esfuerzos son de diferente intensidad dependiendo de la carga, la geometría y la construcción del recipiente.

En los casos que se requiera de máxima seguridad, se deben relevar los esfuerzos mediante un proceso de recocido o tratamiento térmico que dependen del material de construcción. Principalmente, se requiere de un relevado de esfuerzos para las siguientes condiciones: placas gruesas (espesor mayor a $\frac{1}{4}$ in), servicio a bajas temperaturas, contenidos altos de carbono y cuando se manejen sustancias tóxicas y corrosivas.

En ocasiones se cree que dichas pruebas garantizan la seguridad de un recipiente, sin embargo, no es así. Solo es un recipiente más seguro que uno no probado. El buen diseño, la selección adecuada del material, la fabricación y las pruebas contribuyen a garantizar la integridad de un recipiente.

1.3.7. Boquillas

Todos los recipientes a presión deben estar provistos de boquillas. Las boquillas adaptan o conectan al recipiente con líneas de proceso o con dispositivos auxiliares, se unen al tanque por medio de soldadura y son



construidas de pequeñas secciones de tubería. En la Fig. 1-18 se observan las principales boquillas instaladas en un recipiente.

Las boquillas que se instalen en un recipiente cilíndrico, secciones cónicas o tapas, producen una concentración de esfuerzos y debilitan esta parte del recipiente, para minimizar este efecto se recomienda la forma circular para las boquillas. Las boquillas pueden ser de otra forma cuando no van adaptadas a tuberías.

En la sección VIII, división I del código ASME se establece que todas las boquillas mayores de 3 in de diámetro en recipientes a presión, deben tener una placa de refuerzo en la unión del cuello de la boquilla con el recipiente.

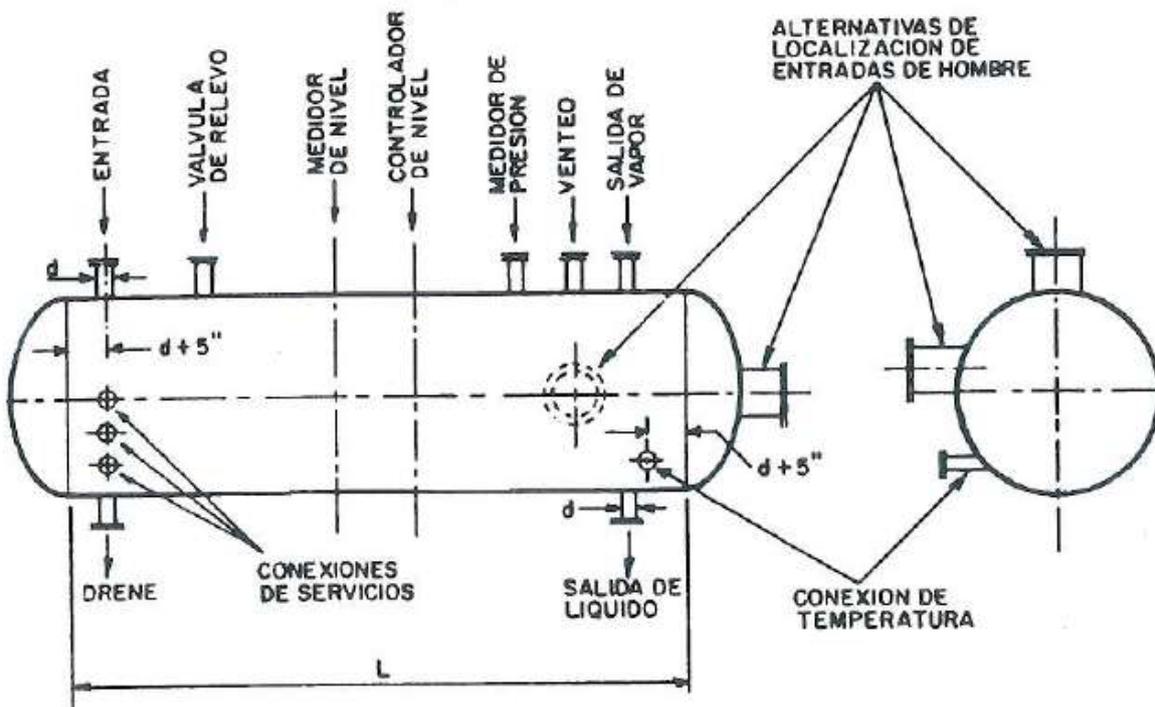


Fig. 1-18. Boquillas en un Recipiente.

A continuación se describen algunas de las boquillas que se deben instalar en los recipientes a presión:

1.3.7.1. Registro Hombre/Mano

Todos los recipientes sujetos a presión y aquellos sometidos a corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, deben proveerse de un registro para



hombre, un registro mano u otras aberturas de inspección para ser revisados y limpiados. En el código ASME se establece:

- a) No se requiere Registro Hombre en recipientes menores a 12 in de diámetro, si se tienen por lo menos dos conexiones removibles para tubo de $\frac{3}{4}$ in.
- b) Recipientes con diámetro mayor de 12 in y menor de 18 in deben tener dos aberturas con tubo roscado de $1 \frac{1}{2}$ in de diámetro.
- c) Recipientes con diámetro interno entre 18 in y 36 in deben tener al menos 1 registro hombre con mínimo 15 in de diámetro, 2 registros de mano o 2 conexiones de servicio de 2 in de diámetro.
- d) Los recipientes mayores a 36 in deben tener un registro hombre con un mínimo de 15 in de diámetro; si no es posible su instalación, entonces se tendrán por lo menos 2 registro mano de 6 in como mínimo, colocados uno opuesto del otro.

Normalmente se consideran registros hombre de 18 in (nominal), excepto en el caso de recipientes con malla, se recomienda utilizar registros de 24 in. Solo es necesario un registro hombre, exceptuando los casos como desaladoras, reactores, etc., que pueden requerir un número mayor.

1.3.7.2. Boquilla Venteo

Se instalan normalmente sobre las tuberías conectadas en la parte superior del recipiente, se recomienda no colocar válvulas o bridas ciegas entre el recipiente y el venteo.

Es común especificar el diámetro de la boquilla al menos dos diámetros nominales inferior al de la tubería donde se conectará dicha boquilla. El diámetro mínimo de una boquilla de venteo es de $1 \frac{1}{2}$ in. Las boquillas de venteo dependen de la capacidad volumétrica del recipiente. En la Tabla 1-1. se muestran algunas recomendaciones.

Capacidad del Recipiente (L)	Diámetro de Boquilla (in)	Instalación
$\leq 1,400$	$\frac{3}{4}$	Sobre tubería
1,401 – 17,000	1	Sobre tubería
17,001 – 71,000	$1 \frac{1}{2}$	Sobre tubería o Recipiente
$> 71,001$	2	Sobre tubería o Recipiente

Tabla 1-1. Boquillas de Venteo.



1.3.7.3. Boquilla de drenaje

Se instalan normalmente en el punto inferior de los recipientes, excepto cuando la línea de descarga del líquido no tenga proyección interna. Es común especificar el diámetro de la boquilla al menos dos diámetros nominales inferior al de la tubería donde se conectará dicha boquilla. Las boquillas de drenaje dependen de la capacidad volumétrica del recipiente. En la Tabla 1-2. se muestran algunas recomendaciones.

Capacidad del Recipiente (L)	Diámetro de Boquilla (in)	Instalación
≤ 1,400	1	Sobre tubería
1,401 – 5,700	1 ½	Sobre tubería o Recipiente
5,701 – 17,000	2	Sobre tubería o Recipiente
> 17,001	3	Sobre tubería o Recipiente

Tabla 1-2. Boquillas de Drene.

1.3.7.4. Conexiones de válvula de Seguridad

Se instalan normalmente sobre las líneas asociadas a los recipientes correspondientes, excepto cuando debido al diámetro de las válvulas sea necesario instalarlas sobre el propio recipiente. El dimensionamiento de estos dispositivos de seguridad corresponde al departamento de sistemas.

1.3.7.5. Conexiones de servicio

Las boquillas de servicio son de 2 in, se colocan en la parte inferior lateral del recipiente. Se instalan donde se requiera.

1.3.7.6. Boquillas de control de nivel

Normalmente se colocan dos boquillas para el control de nivel. En la mayoría de los casos se especifica 2 in, como diámetro nominal si están asociados a un árbol externo y 1 ½ in, si se conectan individualmente. La conexión de nivel mínimo se coloca a la altura de éste y la de nivel máximo 6 in, por encima de él.



1.3.7.7. Boquillas para control de presión

Se localizan en el recipiente, se especifican conexiones de 1 ½ in de diámetro. Se instalan donde se requiera.

1.3.8. Materiales de Construcción

Los materiales de construcción son de relevante importancia en el diseño del recipiente, sin embargo, es un tema muy amplio y en la literatura existe información suficiente. Para la selección de materiales se utiliza la Sección II del Código ASME y el ASTM (American Society of Testing Materials).

El tipo de material para la construcción de un recipiente no solo se selecciona con base en aspectos mecánicos, se elige en función al tipo de fluidos que se manejen y las condiciones de operación a las que estará sometido, principalmente temperatura y presión. Se deben tomar en cuenta características importantes como pH, componentes corrosivos, y presencia de inhibidores de corrosión. En la Tabla 1-3, se hacen recomendaciones de materiales con base en las condiciones de servicio.

Forma	Composición	Especificación	Aplicación. Condiciones de Servicio.
Placa	C	SA 283 C	Estructural
	C	SA 285 C	Usado en Calderas
	C – Si	SA 515 – Gr 55	Temperaturas medias y altas
	C – Si	SA 515 – Gr 60	
	C – Si	SA 515 – Gr 65	
	C – Si	SA 515 – Gr 70	
	C – Si	SA 516 – Gr 55	Temperaturas medias y bajas
	C – Si	SA 516 – Gr 60	
	C – Mn – Si	SA 516 – Gr 65	
	C – Mn – Si	SA 516 – Gr 70	
Bridas y Accesorios	C – Mn – Si	SA 105	Temperaturas altas
	C – Si	SA 181 – Gr 1	Servicio general
	C – Mn	SA 350 – Gr B LF 1	Temperaturas bajas
	C – Mn – Si	SA 350 – Gr B LF 2	
Tubería	C – Mn	SA 53 – Gr B	Servicio General
	C – Mn	SA 106 – Gr B	Temperaturas altas

Tabla 1-3. Materiales Recomendables.



Los materiales de construcción para un recipiente se clasifican en dos grupos:

- a) Metálicos: Se incluyen aceros al carbón, aceros inoxidables, aleaciones de cobre, níquel y otros muy especiales como el titanio y la plata.
- b) No metálicos: La mayoría se utiliza como recubrimiento en equipos de acero al carbón. Por mencionar algunos: vidrio, cerámica, ladrillo, cemento, caucho y otros plásticos.

La selección final debe hacerse después de consultar con especialistas y fabricantes de materiales, en casos donde no se cuente con información, se requiere llevar a cabo pruebas de laboratorio. Cuando en la selección final del material existe más de uno, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Costo del material
- Costo de mantenimiento
- Costo en la degradación del producto
- Confiabilidad en el manejo de sustancias peligrosas

El material que más se usa para las placas de los recipientes a presión, es el acero al carbón en un rango de temperatura de -320°F a 1200°F . El acero tipo SA 285 grado C, es uno de los más empleados en la fabricación de recipientes a presión, por su ductibilidad, maleabilidad y facilidad de soldadura, además es uno de los más económicos, se utiliza para temperaturas moderadas de 61°F a 650°F . Otro acero empleado comúnmente es el tipo SA 516 grado 70 (hasta 775°F), el cuál tiene mayor resistencia y conlleva un menor peso.

Para tapas, boquillas y soportes se pueden utilizar los aceros estructurales del tipo SA 360 o SA 283, grados A, B, C y D, siempre y cuando el espesor de la placa no exceda $5/8$ in.

1.3.8.1. Margen de Corrosión en Materiales

Los recipientes o partes de los mismos que estén sujetos a corrosión deben tener un margen de espesor para lograr la vida deseada, aumentando convenientemente el espesor del material respecto al calculado, o utilizando un método adecuado de protección (ASME UG-25 b).



Las normativas no señalan el margen de corrosión excepto para recipientes con espesor mínimo requerido, menor a $\frac{1}{4}$ in, que se utilizan para servicio de vapor de agua, agua o aire comprimido, para los cuales se indica un margen por corrosión no menor a la sexta parte del espesor de placa calculado. No es necesario que la suma de ambos espesores exceda $\frac{1}{4}$ in.

Para otros recipientes en los que sea predecible un desgaste por corrosión, la vida esperada del recipiente determina el margen de corrosión y si el efecto de la corrosión no puede ser determinado, el margen será definido por el diseñador de acuerdo a su experiencia. Es práctica común de ingeniería establecer:

- Margen de corrosión en 5 milésimas de in/año ($\frac{1}{8}$ in para 20 años), en recipientes y tuberías.
- Los principales recipientes generalmente se diseñan para 15-20 años, mientras que los recipientes secundarios se diseñan para períodos de 8-10 años.
- No es necesario aplicar el mismo margen por corrosión a todas las partes del recipiente si se esperan diferentes grados de ataque para distintas partes.
- De acuerdo al código ASME, los recipientes sujetos a corrosión deberán tener una salida de purga y una abertura de inspección.
- Velocidad de corrosión en 0.1 mm/año e incluso 5-6 mm/año dependiendo de la experiencia, el costo de mantenimiento, costo de paro del equipo y el grado de contaminación tolerable.

Para eliminar la corrosión se utilizan materiales resistentes para fabricar el recipiente o para recubrimientos internos, los cuales se abordan en la siguiente sección.

1.3.9. Aislantes y Recubrimientos.

Aislantes.

Son materiales cuya principal característica física es su baja conductividad térmica, se emplean para aislar térmicamente una superficie reduciendo la transferencia de calor hacia o desde el ambiente. Los principales objetivos de un aislante son:



1. Minimizar las pérdidas de energía por transferencia de calor hacia o desde el ambiente.
2. Proteger al personal y los equipos.
3. Proteger el ambiente.

Los termoaislantes deben cumplir con los estándares ASTM C 692, C 795 y C 871, referentes a los tipos de termoaislantes y su influencia en aceros inoxidable. Los principales materiales aplicables para los sistemas de aislamiento térmico se muestran en la Tabla 1-4, siendo la Perlita el material más utilizado.

Material	Tipo Genérico	Formas de presentación y aplicación
Lana de Roca	Fibras Minerales	Placas Colchas Preformados Cemento Monolítico
Fibra de Vidrio	Fibras Minerales	Placas Colchas Preformados
<i>Perlita Expandida</i>	<i>Granulares</i>	<i>Placas Preformados</i>
Silicato de Calcio	Granulares	Placas Preformados

Tabla 1-4. Aislantes Térmicos.

Generalmente se aplican aislamientos en las siguientes condiciones:

- a) Todos los recipientes, equipo y tubería, cuya temperatura de operación sea de 35 °C o mayor.
- b) No se aislarán exteriormente los recipientes y tuberías con revestimiento interior, a menos que se indique lo contrario.
- c) Se instalará aislamiento de protección al personal en todos aquellos recipientes, equipo y tubería, cuya temperatura de operación sea de 65 °C o mayor.
- d) Los recipientes que operen a 35 °C o menor deberán indicarse como aislamiento de conservación a baja temperatura.



Recubrimientos.

El objetivo principal de los recubrimientos y pinturas es la conservación de las superficies de acero, retardando la corrosión en dos formas:

1. Evita el contacto de los agentes corrosivos con la superficie del recipiente.
2. Provoca una acción inhibitoria a la oxidación debido a las propiedades electroquímicas de la pintura.

En ocasiones es conveniente fabricar un recipiente con acero al carbón y recubrirlo total o parcialmente con alguna aleación; principalmente se aplican tres procedimientos para recubrimiento:

- *Linning.* Consiste en soldar por puntos placas del material del recubrimiento, esta operación se efectúa y prueba con aire a presión.
- *Clad.* Consiste en la placa con su respectivo recubrimiento metálico, éste se usa para fabricar el recipiente.
- *Overlay.* Consiste en recubrir la parte que se desee del recipiente, con cordones traslapados de soldadura.

Sin embargo, el tipo de recubrimiento y pintura que se aplique en un recipiente a presión depende de la condición de exposición y la zona donde se encuentren instalados. El requisito principal para recubrir o pintar con éxito una superficie es que la superficie este libre de escamas de laminación, herrumbre, suciedad, grasa, aceites y materia extraña.

1.3.10. Selección de Tapas

El código ASME sección VIII, división I, establece lo siguiente: “Si el fluido que se maneja es tóxico, combustible o gaseoso en condiciones de almacenamiento, o si la presión de operación es mayor a la atmosférica, se requiere tenerlo cerrado”.

Para fluidos a presión atmosférica, generalmente se utilizan tanques cilíndricos con fondo plano y techo cónico, estos equipos están normalizados por el código API 650. La mayoría de los recipientes a presión utilizados en la industria se especifican tapas con curvatura, porque dicha forma es óptima para resistir presión.



Los cuatro tipos de tapas más utilizados en la industria de proceso son:

- a) **Planas.** Generalmente se utilizan para cerrar recipientes a presión atmosférica, o en algunos casos dentro del intervalo de 15-30 psia. Su costo es el más bajo respecto a las otras tapas, se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.
- b) **Toriféricas.** Son las de mayor aceptación en la industria, el espesor es mayor que el de la coraza y tiene mayores esfuerzos en las uniones que las elípticas y hemisféricas, por lo que se recomiendan cuando se tienen presiones de diseño hasta de 100 psi y vacío, porque son económicas en dicho intervalo.
- c) **Elípticas.** Se recomiendan para presiones medias, de 100 – 450 psi, y para espesores mayores a 4 in. Normalmente se encuentran en el mercado a partir de 3.5 ft hasta 18 ft en intervalos de 0.5 ft.
- d) **Semiesféricas.** Son las más caras porque su diseño es especializado y por su método de fabricación que se complica con el aumento en el diámetro del recipiente, la ventaja es que tiene menor espesor. Se recomiendan para presiones mayores a 450 psi.

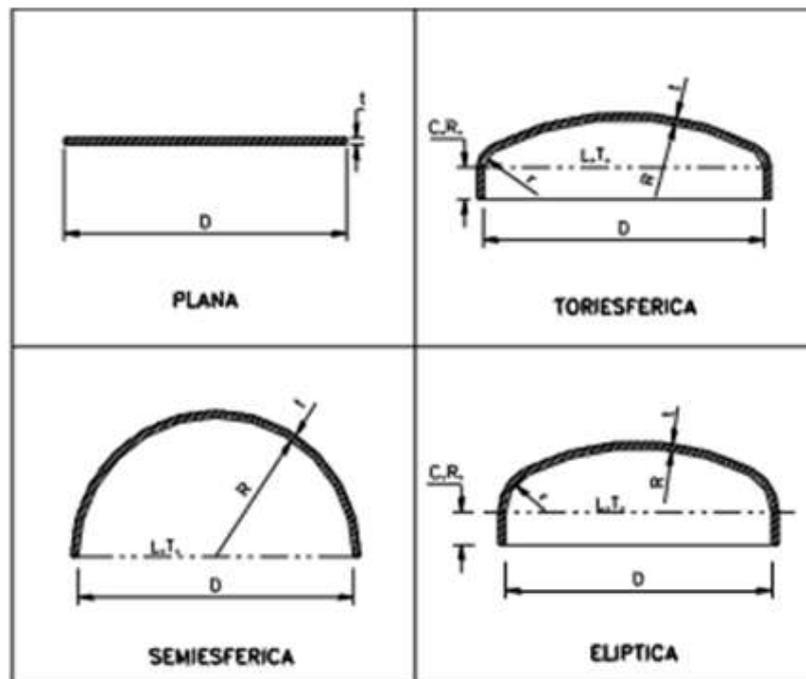


Fig. 1-20. Tipos de Tapas para Recipientes.



1.4. Códigos Aplicables

- *Código API (American Petroleum Institute)*

Los códigos API son establecidos para tratar problemas generales. En general estos códigos son revisados y modificados al menos cada cinco años. Los códigos API son publicados para llevar a buen término prácticas de Ingeniería y Operación.

Código API 650. Tanques de acero soldados para el almacenamiento de Petróleo.

Se emplea en la construcción y diseño de tanques de almacenamiento a presiones atmosféricas o bajas presiones y de tamaños relativamente grandes. Está basado en el conocimiento y la experiencia de fabricantes y usuarios en tanques de almacenamiento que no exceda 2.5 psi de presión interna. Las reglas de diseño establecidas en el código son requerimientos mínimos. Ref(2).

Código API 653. Inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques.

Este código tiene como objetivo proveer una guía para la inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques de almacenamiento en acero construidos bajo el estándar API 650 y su precursor API 12C. Si un tanque se inspecciona, altera o reconstruye, de acuerdo a este código, el usuario puede elegir entre modificar, quitar o ampliar secciones del tanque. Las reglas de diseño establecidas en el código son requerimientos mínimos. Ref(3).

Código API 12J. Especificación para Separadores Oil-Gas.

Las especificaciones de este código cubren los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación y pruebas de equipo para separadores bifásicos y trifásicos. Los separadores cubiertos por esta especificación pueden ser vertical, horizontal y esféricos. Los términos de jurisdicción de esta especificación están basados en la Sección VIII, División I del código ASME "Calentadores y Recipientes a Presión". No es objetivo de la especificación cubrir separadores centrifugos, filtros separadores y separadores desaladores. Ref(1).



- *Código ASME (American Society of Mechanical Engineers)*

En México como en Estados Unidos y otros países, los recipientes a presión son diseñados, contruidos, provados y estampados con base en el código ASME, Sección VIII, división I para “*Calentadores y Recipientes a Presión*”.

El Código ASME, sección VIII, división I cubre el diseño de calentadores y recipientes a presión, la división 2 contiene otras alternativas para el cálculo de recipientes a presión y la división 3 contiene reglas alternativas para la construcción de recipientes a alta presión.



CAPÍTULO 2. PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN

2.1. Importancia de la Separación de Fases

Los equipos de separación, como su nombre lo indica, se utilizan en la industria para separar mezclas de líquidos y vapor. Algunas de las razones principales por las que es importante efectuar una separación adecuada de líquido y vapor son:

- Hay líneas en las que aparentemente se maneja solo líquido o vapor, pero debido a los cambios de presión y temperatura que se producen, existe vaporización de líquido o condensación de vapor, dando lugar al flujo de dos fases.
- En ocasiones el flujo de vapor arrastra líquidos en cantidades apreciables a los equipos de procesamiento.
- En campos donde el gas es quemado y no se tiene equipo adecuado de separación, una cantidad considerable de aceite es arrastrado por el flujo de gas, causando pérdidas económicas.
- En la transportación de gas se debe eliminar la mayor cantidad de líquido para evitar problemas como: corrosión del equipo de transporte, aumento en las caídas de presión, etc.

Por lo anterior, es conveniente seleccionar adecuadamente las variables de dimensionamiento de los separadores de dos y tres fases, ya sean verticales u horizontales, para obtener una eficiente separación de fases.

2.2. Descripción de un separador

Generalmente, un separador consta de las siguientes secciones:

- **Separación Primaria.** La línea de proceso que entra al equipo choca con un deflector de alimentación que divide el flujo, el choque provoca que las gotas de líquido arrastradas por el vapor se contengan en la mampara y se adhieran al cuerpo del separador, posteriormente las gotas escurren hacia abajo. Con el cambio de dirección y la fuerza centrífuga resultante, se logra una separación eficiente.
- **Separación Secundaria.** En esta sección se separa la máxima cantidad de gotas de líquido de la corriente de gas. Las gotas se separan principalmente por la gravedad por lo que la turbulencia del

flujo debe ser mínima. Para esto el separador debe tener suficiente longitud. En algunos diseños se utilizan accesorios internos para reducir la turbulencia, sirviendo al mismo tiempo como superficies colectoras de gotas de líquido. La eficiencia de separación en esta sección, depende principalmente del tamaño de las gotas de líquido suspendidas y del grado de turbulencia.

- **Extracción de Niebla.** En esta sección se separan las gotas pequeñas de líquido de la corriente de vapor. Las pequeñas gotas se acumulan y forman gotas más grandes por coalescencia, que se separan por gravedad.
- **Sección de almacenamiento de líquidos.** En esta sección se almacena y descarga el líquido separado de la corriente de gas. Esta parte del separador debe tener la capacidad suficiente para manejar los posibles baches de líquido que se pueden presentar en una operación normal. Además debe tener la instrumentación adecuada para controlar el nivel de líquido en el separador.

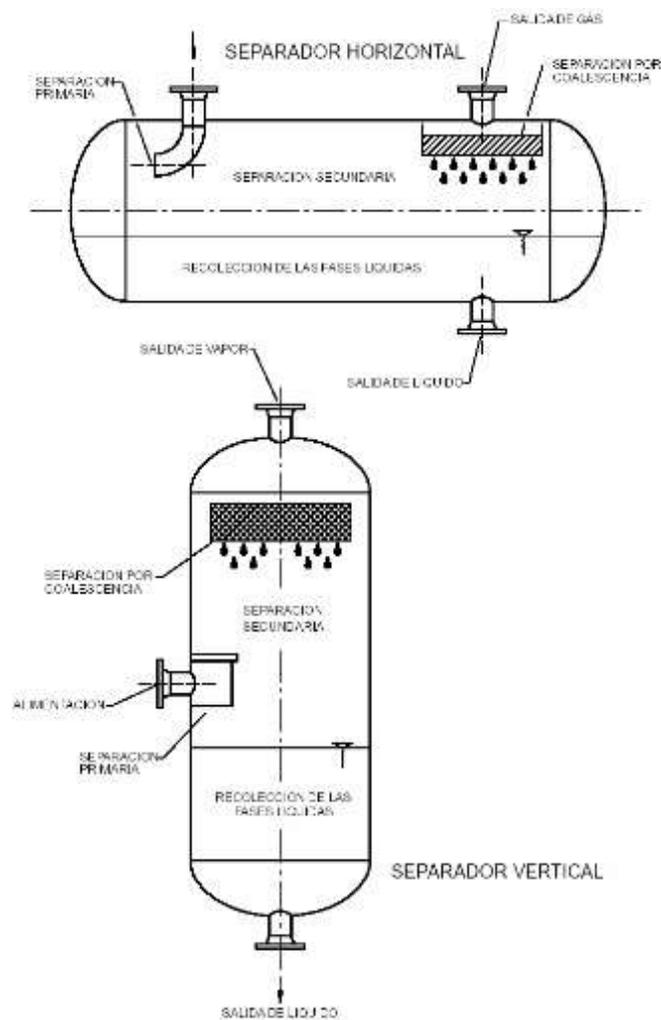


Fig. 2-1. Descripción de un separador



Aparte de las secciones antes descritas, el separador debe tener dispositivos de seguridad tales como: válvula de seguridad, tubo desviador de seguridad y controles de contra presión adecuados.

2.3. Mecanismos de Separación

La separación de la mezcla de líquido y vapor, se logra mediante la combinación de factores como gravedad, fuerza centrífuga y choque.

2.3.1. Separación por Gravedad

Es el mecanismo de separación más utilizado, basta con una sección amplia dentro del recipiente, dicha sección actúa como asentador de las gotas de líquido suspendidas en la corriente de vapor, por la diferencia de densidades o la fuerza de gravedad. El asentamiento se debe a que se reduce la velocidad de flujo. Dentro de un separador este mecanismo se lleva a cabo principalmente en la sección secundaria.

Lo anterior se logra solo si la velocidad del vapor es suficientemente baja, en los separadores, las velocidades altas inducen turbulencia a la corriente de vapor, ocasionando que algunas partículas de líquido de mayor tamaño sean arrastradas por el vapor.

2.3.2. Separación por Fuerza Centrífuga

La fuerza centrífuga que se induce a las partículas de líquido suspendidas en una corriente de vapor, es más grande que la fuerza de gravedad que actúa sobre las mismas partículas. Si a una corriente de vapor que arrastra cierta cantidad de líquido, se le aplica un movimiento que aumente su velocidad, la fuerza centrífuga llevará las gotas hacia las paredes del recipiente. Este principio mecánico de separación se emplea en un separador en la sección primaria y en ocasiones en la sección de extracción de niebla.

2.3.3. Separación por Coalescencia

Es el mecanismo de separación empleado para la eliminación de partículas pequeñas de líquido suspendidas en la corriente de gas. Las partículas de líquido suspendidas en el flujo de vapor, chocan con obstrucciones donde quedan adheridas, se forman gotas más grandes y caen por gravedad. La separación por choque se emplea principalmente en los extractores de niebla.



2.4. Selección de un Separador

Los recipientes de proceso generalmente son construidos en dos configuraciones: vertical y horizontal, cada uno con ventajas y desventajas. La selección de configuración se basa generalmente en el servicio, construcción, instalación y costo de mantenimiento. En la Tabla 2-1 se muestra una comparación de las posibles configuraciones de un recipiente.

Consideraciones	Horizontal	Vertical	Esférico
Eficiencia de Separación	1	2	3
Estabilización de fluidos	1	2	3
Adaptación a condiciones de variación	1	2	3
Flexibilidad de operación	2	1	3
Capacidad (el mismo diámetro)	1	2	3
Costo	1	2	3
Habilidad para manejar material externo	3	1	2
Habilidad para manejar solo líquido	1	2	3
Adaptabilidad para uso portable	1	3	2
Espacio requerido para instalación	3	1	2
Facilidad de instalación	2	3	1
Facilidad de inspección y mantenimiento	1	3	2
*Calificaciones: (1) Más favorable; (2) Intermedio; (3) Menos favorable			

Tabla 2-1. Comparación en la orientación de Recipientes bifásicos y trifásicos

Algunas de las aplicaciones de un separador vertical son:

- Fluidos con una baja relación líquido/vapor
- Fluidos que contienen una apreciable cantidad de sólidos
- Instalaciones con limitado espacio para una configuración horizontal
- Servicios donde el volumen de líquido es intermitente
- Donde la economía favorece el separador vertical



Situaciones aplicables para separadores horizontales:

- a) Separación líquido-líquido en un separador trifásico para obtener una separación más eficiente
- b) Fluidos con una alta relación líquido/vapor
- c) Servicios con un flujo de líquido relativamente constante
- d) Donde la economía favorece el separador horizontal

2.5. Variables de Diseño

2.5.1. Tiempo de Residencia

Es el tiempo mínimo necesario para proporcionar flexibilidad de operación, es decir, capacidad de respuesta ante posibles oscilaciones o interrupciones procedentes de procesos anteriores y mantener una operación segura. Este tiempo debe ser suficiente para que el operador detecte y corrija las fallas, debe permitir la separación de fases, evitar la descomposición del producto o la formación de incrustaciones en el caso de operar a altas temperaturas.

En la práctica se define como el tiempo necesario para vaciar el líquido desde el nivel máximo al mínimo. Para determinar el tiempo de residencia adecuado se considera la necesidad de regular el sistema de acuerdo al servicio en cada situación.

En la Tabla 1-7 del Anexo A, se hacen recomendaciones de tiempo de residencia de acuerdo al servicio, tiempos basados en un personal experimentado y unidades bien instrumentadas.

2.5.2. Tiempo de retención (t_H) y carga (t_S)

Estos tiempos de residencia se basan en los niveles de líquido en el interior del recipiente que se establecen en la sección 2.5.7: nivel mínimo de líquido (LLL), nivel normal de líquido (NLL) y nivel máximo de líquido (HLL).

El tiempo de retención (*Holdup Time*) se define como el tiempo que toma reducir el nivel del líquido desde el nivel normal (NLL) hasta el nivel mínimo (LLL), mientras se mantiene una salida normal de flujo y sin alimentación, está basado en un buen control y seguridad en la operación.

El tiempo de carga (*Surge Time*) se define como el tiempo que toma en ascender el líquido desde el nivel normal (NLL) hasta el nivel máximo (HLL)



mientras se mantiene una alimentación normal y sin salida de flujo, está basado en los requerimientos de acumulación.

En la Tabla 1-8 del Anexo A, se hacen recomendaciones para *Holdup Time* y *Surge time*.

2.5.3. Velocidad de Asentamiento

En la separación por asentamiento de dos fases líquidas inmiscibles, las gotas de la fase pesada tienden a separarse de la fase ligera por acción de la gravedad, esta acción aplica en la separación de la fase ligera desde la fase pesada, con la diferencia de que el movimiento de las gotas ligeras es ascendente.

Las gotas de la fase pesada salen de la fase ligera con velocidad constante, conocida como velocidad libre de asentamiento basada en la Ley de Stokes.

$$U_T = 2.06151 \times 10^{-5} \frac{D_p^2 (\rho_H - \rho_L)}{\mu_c}, \text{ in/min}$$

La determinación del diámetro de gota es complicada y la información experimental no es suficiente. Se puede simplificar la ecuación anterior de la siguiente forma:

$$U_T = \frac{k_s (\rho_H - \rho_L)}{\mu_c}, \text{ in/min}$$

Donde $k_s = 2.06151 \times 10^{-5} * D_p^2$

En la Tabla 1-9 del Anexo A, se incluyen valores estimados de diámetro de gota y el factor K_s para algunos servicios. La recomendación es que el valor calculado no sea mayor a 10 in/min, fuera de este rango es posible considerar el diseño como deficiente.

2.5.4. Velocidad del Vapor

Es la velocidad máxima permisible de flujo para que una corriente gaseosa no arrastre gotas de líquido. Se determina mediante la modificación a la ley de Stokes propuesta por Souders-Brown.

$$U_{max} = K \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V}}, \text{ ft/s}$$



La constante de velocidad (K) involucra el tipo de eliminador de niebla, tensión superficial del líquido, tamaño de gota y presión de operación del sistema, siendo este último de mayor importancia. La Tabla 1-10 del Anexo A señala diferentes formas de calcular el factor K con base en la presión.

Generalmente se utiliza como velocidad de diseño el 75% de la velocidad máxima del vapor.

$$U_d = 0.75 * U_{max}$$

Es recomendable que la velocidad del vapor sea mayor al 30% de la velocidad máxima para evitar que gotas de líquido sean arrastradas sin chocar con la malla, y menor a 110% ya que las gotas no podrían caer por la alta velocidad del vapor y volverían a mezclarse en la parte superior de la malla.

2.5.5. Tiempo de separación Líquido-Líquido

Es el tiempo necesario para que las gotas de una fase inmisible abandonen la fase ligera o pesada con una determinada velocidad de asentamiento (U_T). Se determina a partir de la altura correspondiente a la fase de donde se separa la gota y la velocidad:

$$t = h/U_T$$

Una vez calculado el tiempo de separación se verifica que sea menor al tiempo de residencia de la otra fase.

$$\theta_{r\text{ pesado}} > t_{\text{ligero}}$$

$$\theta_{r\text{ ligero}} > t_{\text{pesado}}$$

1.6.6. Relación Longitud/Diámetro (L/D)

El propósito de la relación L/D es simplificar los cálculos del recipiente. Es importante hacer una buena selección de la relación L/D, que se ve afectado por factores como:

- 1) Consideraciones de proceso como tiempo de residencia, velocidad de asentamiento, área de vapor, margen de corrosión, etc.
- 2) Limitaciones de localización y especificaciones del cliente.
- 3) Es difícil construir, operar y dar mantenimiento a recipientes con diámetros menores a 2 ft, especialmente si incluyen accesorios internos.
- 4) La relación L/D no es tan importante si el recipiente es considerado como diseño especial.



Las consideraciones de costo ofrecen una relación óptima L/D para cualquier volumen, sin embargo, es importante mencionar que las consideraciones de proceso son predominantes sobre las de costo. Un criterio importante para obtener costos de diseño “casi mínimos” en la mayoría de los casos es:

- a) Que la mayoría de los recipientes de proceso deben ubicarse dentro del rango:

$$1 \leq L/D \leq 5$$

- b) A partir de la gráfica de Abakians se obtiene el diámetro óptimo, debiendo quedar la relación L/D dentro del rango establecido anteriormente.

En la Tabla 1-11 del Anexo A, se hacen recomendaciones de L/D con base en la presión de diseño ya que la relación L/D es función de la presión de diseño.

1.6.7. Niveles de Líquido

Generalmente se utilizan los siguientes criterios:

Nivel Mínimo. Es la altura más baja de interfase, el objetivo es evitar que el recipiente se vacíe, conservando un sello de líquido y asegurando protección a equipos. La recomendación es considerar 6 in de distancia entre el fondo del recipiente y el nivel mínimo.

Nivel Normal. Es la altura a la que estará normalmente el líquido durante la operación del recipiente. Se recomienda establecer el nivel normal como el 60% entre el nivel máximo y el mínimo.

Nivel máximo. Es la altura máxima que podría alcanzar el nivel de interfase, si existe una sobrecarga en el recipiente. Se considera tener espacio libre sobre el nivel máximo para evitar que el líquido sea arrastrado por el vapor.

1.6.8. Alarmas de Nivel

Para el control de nivel como las alarmas de nivel se consideran los siguientes criterios:



- La alarma por alto nivel, se coloca al 80% entre el nivel mínimo y el nivel máximo.
- La alarma por bajo nivel, se coloca al 25% entre el nivel mínimo y el nivel máximo.
- En los recipientes de succión a compresión, teóricamente sin separación de líquido, se considera el nivel de alarma por alto nivel a 24 in de la tangente inferior y el nivel de paro a 12 in del nivel de alarma.



CAPÍTULO 3. RECIPIENTES DE BALANCE

3.1. Introducción

Estos recipientes se utilizan para proporcionar el tiempo de retención suficiente a una corriente de líquido libre de gas o a una corriente de gas libre de líquido y tener así las alimentaciones a equipos o unidades subsecuentes con un flujo constante y controlado.

Debido a la función de éste tipo de recipientes se prefiere que posición sea horizontal para un balance de líquido y vertical para un balance de gas.

En un tanque de balance líquido una modificación en el flujo de alimentación se refleja en un cambio pequeño en el nivel de líquido lo cual proporciona tiempo suficiente al operador para corregir la falla. Si se quisiera colocar en posición vertical la variación de nivel con el tiempo es mayor que en el caso anterior, lo que puede limitar la respuesta de control, además las dimensiones del tanque requieren un mayor gasto en la cimentación, sin embargo, si la disposición de espacio es limitada, se recomienda colocarlo en posición vertical.

3.2. Recipiente de Balance Horizontal

El dimensionamiento de estos recipientes se basa únicamente en el tiempo de retención que requiere el proceso.

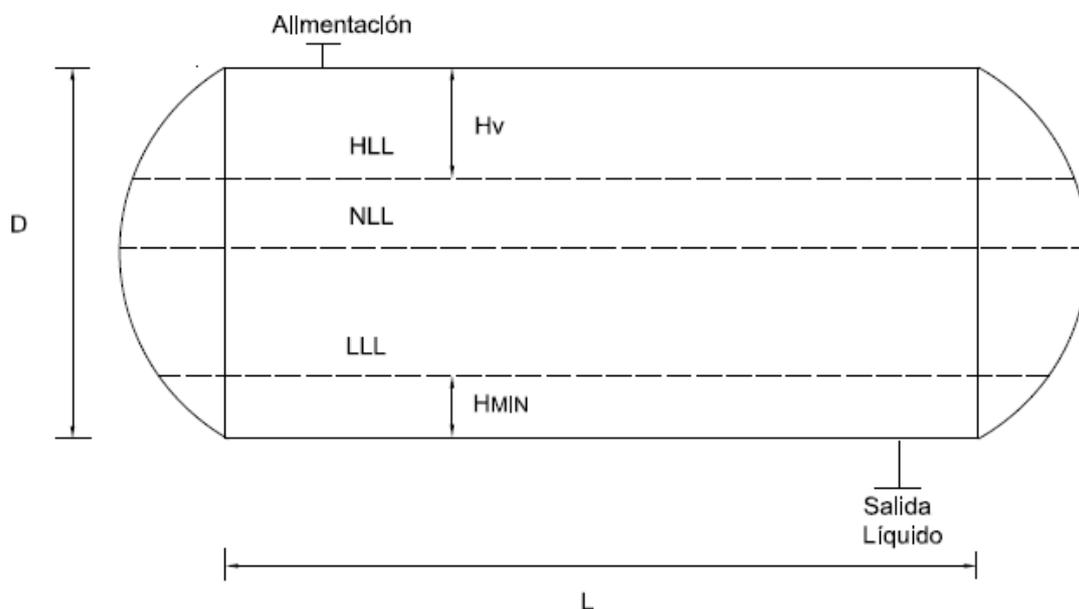


Fig. 3-1. Recipiente de Balance Horizontal.



1. De acuerdo al servicio que proporcionará el recipiente se selecciona un tiempo de residencia para el líquido, con base en la Tabla 1-7 del Anexo A.
2. Calcular el volumen de líquido que manejará el recipiente en el tiempo de residencia seleccionado:

$$Q_L = \frac{w_L}{\rho_L * 60}, \frac{ft^3}{min}$$

$$V_L = Q_L * \theta_r, ft^3$$

3. Seleccionar de la Tabla 1-11 en el Anexo A, la relación L/D recomendada con base en la presión de operación. Calcular el diámetro del recipiente, tomando en cuenta el tiempo de residencia y un espacio adicional para posibles vaporizaciones. También se considera el nivel mínimo de líquido para evitar que el recipiente se vacíe:

$$D = 1.15 * \left(\frac{V_L}{L/D} \right)^{1/3}, ft$$

Redondear el diámetro calculado al 0.5 ft inmediato. Generalmente todos los tipos de tapas se fabrican con una variación de 0.5 ft entre sí.

4. Calcular la distancia tangente-tangente, es decir, la longitud del recipiente. No se toma en cuenta el volumen de las tapas, lo que brinda un factor de seguridad en el tiempo de residencia del líquido.

$$L = D * L/D, ft$$

Redondear la longitud al 0.5 ft inmediato.

5. Especificar espacio vapor (H_V) y nivel mínimo (H_{MIN}):

Sí $D < 7$ ft entonces $H_V = 1$ ft

Sí $D \geq 7$ ft entonces $H_V = 0.15 * D$

Sí $D < 5$ ft entonces $H_{MIN} = 0.1 * D$

Sí $D \geq 5$ ft entonces $H_{MIN} = 0.5$ ft

3.3. Recipiente de Balance Horizontal con Bota ó Pierna

El algoritmo presentado anteriormente, es aplicable para un recipiente con Bota. El tamaño del recipiente se modifica incluyendo un método que tiene como objetivo calcular el espacio requerido para el asentamiento de la fase



pesada. Se determinana el espacio requerido con base en la velocidad de separación entre ambas fases.

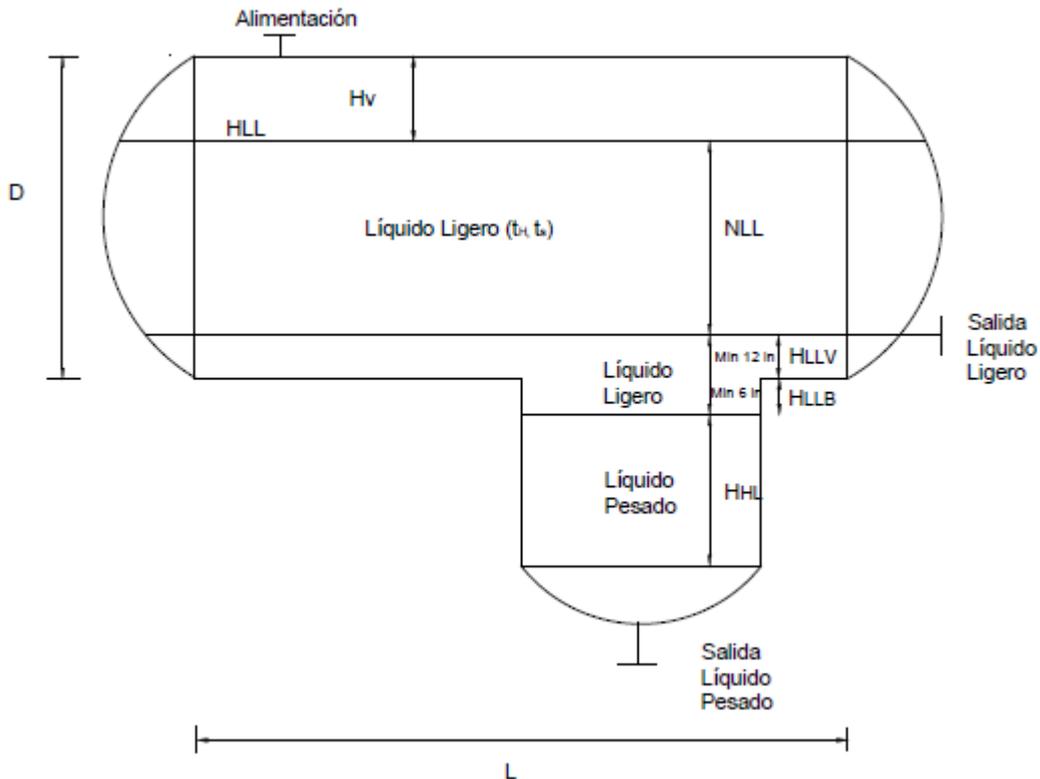


Fig. 3-2. Tanque de Balance Horizontal con Bota.

1. Calcular las dimensiones del Tanque de Balance con la metodología de la sección 3.2.
2. Establecer la altura del líquido pesado H_{HL} , se recomienda de 2 a 3 ft. Calcular el flujo volumétrico de la fase pesada:

$$Q_{HL} = \frac{W_{HL}}{60 \cdot \rho_H}, \text{ ft}^3 / \text{min}$$

3. Calcular la velocidad de asendencia del líquido ligero fuera de la fase pesada:

$$U_{LH} = \frac{k_s(\rho_H - \rho_L)}{\mu_H}, \text{ in} / \text{min}$$

4. Establecer la velocidad de diseño de la siguiente forma:

$$U_d = 0.75 * U_{LH}, \text{ in} / \text{min}$$



5. Calcular el diámetro de la bota para el líquido pesado:

$$D_B = \sqrt{\frac{4 \cdot 12 Q_{HL}}{\pi U_d}}, \text{ ft}$$

Redondear el diámetro calculado al 0.5ft inmediato.

6. Calcular el tiempo de asentamiento de la fase pesada:

$$t_{LH} = \frac{12 \cdot H_{HL}}{U_{LH}}, \text{ min}$$

7. Calcular el tiempo de residencia de la fase pesada:

$$\theta_{HL} = \frac{\pi D_B^2 H_{HL}}{4 Q_{HL}}, \text{ min}$$

8. Si $\theta_{HL} < t_{LH}$ incrementar el diámetro de la bota en cambios de 0.5ft

3.4. Recipiente de Balance Vertical

El dimensionamiento de este recipiente es similar al balance horizontal, la diferencia consiste en los criterios para el espacio vapor y los niveles mínimos.

1. De acuerdo al servicio que proporcionará el recipiente se selecciona un tiempo de residencia para el líquido, con base en la Tabla 1-7 del Anexo A.

2. Calcular el volúmen de líquido que manejará el recipiente en el tiempo de residencia seleccionado:

$$Q_L = \frac{w_L}{\rho_L \cdot 60}, \frac{ft^3}{min}$$

$$V_L = Q_L \cdot \theta_r, ft^3$$

3. Seleccionar de la Tabla 1-11 en el Anexo A, la relación L/D recomendada con base en la presión de operación.
4. Calcular el diámetro del recipiente, tomando en cuenta el tiempo de residencia y un espacio adicional para posibles vaporizaciones. También se considera el nivel mínimo de líquido para evitar que el recipiente se vacíe:

$$D = 1.17 \cdot \left(\frac{V_L}{L/D} \right)^{1/3}, \text{ ft}$$

Redondear el diámetro calculado al 0.5 ft inmediato.



5. Calcular la distancia tangente-tangente, es decir, la longitud del recipiente. No se toma en cuenta el volumen de las tapas, lo que brinda un factor de seguridad en el tiempo de residencia del líquido.

$$L = D * L/D , \text{ ft}$$

Redondear la altura al 0.5 ft inmediato.

6. Especificar espacio vapor (H_v) y nivel mínimo (H_{MIN}):
- Sí $L < 10$ ft entonces $H_v = 1$ ft
 - Sí $L \geq 10$ ft entonces $H_v = 0.1 * D$
 - Sí $L < 5$ ft entonces $H_{MIN} = 0.5$ ft
 - Sí $L \geq 5$ ft entonces $H_{MIN} = 0.1 * L$



CAPÍTULO 4. SEPARADORES LÍQUIDO - VAPOR

4.1. Introducción

La separación de flujo de gas y líquido, es una etapa crítica en las operaciones, por lo tanto, los separadores deben ser dimensionados y operados en forma apropiada que permita cumplir las especificaciones del proceso, mejorando la producción.

La función principal de estos recipientes es la de separar mezclas líquido – vapor y obtener corrientes en una sola fase para proveer a otros procesos o enviarse a límite de batería. El recipiente debe permitir la separación de la fase vapor fuera de la fase líquida y proporcionar un tiempo de residencia para éste.

Si el vapor separado se requiere libre de líquido, como en el caso de la succión de un compresor, se debe proporcionar un medio eficiente de separación, esto se logra principalmente mediante un deflector de alimentación y haciendo pasar el vapor a través de una malla separadora.

Se propone el siguiente algoritmo para la elección de un recipiente bifásico:

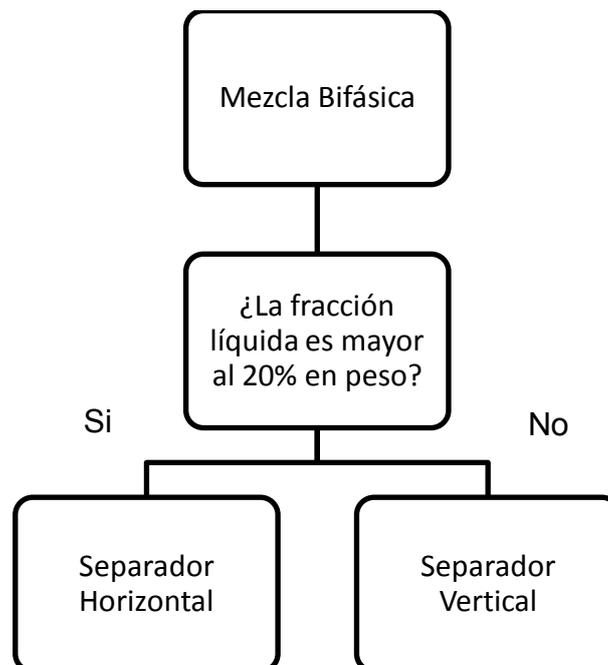


Fig. 4-1. Selección de un Recipiente Bifásico.



4.2. Recipiente Separador Líquido – Vapor (Horizontal)

El dimensionamiento de estos recipientes se basa en el tiempo de residencia de la fase líquida, la velocidad superficial del vapor a través de la malla separadora y algunos criterios heurísticos.

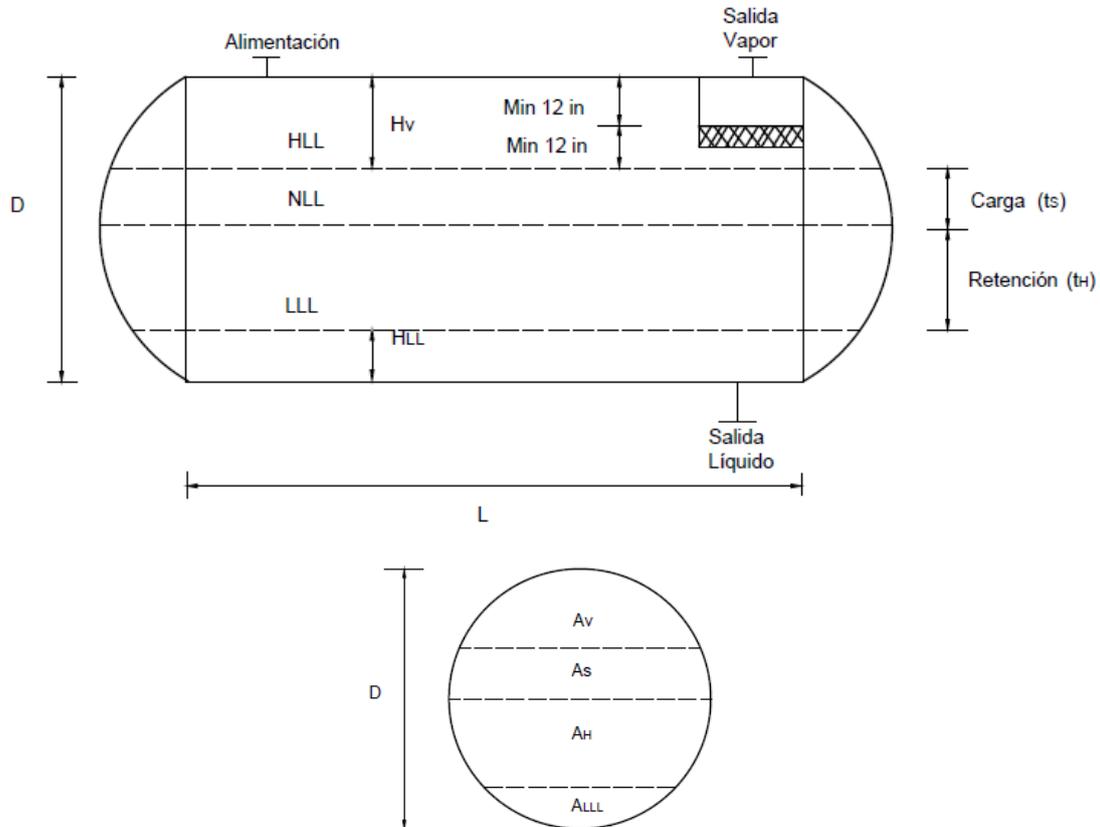


Fig. 4-2. Recipiente Bifásico Horizontal.

1. Calcular el flujo de vapor volumétrico:

$$Q_v = \frac{w_v}{3600 \cdot \rho_v}, \text{ ft}^3/\text{s}$$

2. Calcular el flujo de líquido volumétrico:

$$Q_L = \frac{w_L}{60 \cdot \rho_L}, \text{ ft}^3/\text{min}$$

3. Calcular el factor K a partir de la Tabla 1-10 del Anexo A.



4. Calcular la velocidad de vapor vertical:

$$U_t = K \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{1/2}, \text{ ft/s}$$

5. Establecer la velocidad de diseño como:

$$U_v = 0.75 * U_t, \text{ ft/s}$$

6. Seleccionar tiempos de residencia para t_H y t_S de la Tabla 1-8 del Anexo A. Calcular el *volumen de retención* (V_H) y *volumen de carga* (V_S):

$$V_H = t_H * Q_L, \text{ ft}^3$$

$$V_S = t_S * Q_L, \text{ ft}^3$$

7. Obtener un estimado de L/D de la Tabla 1-11 del Anexo A. Calcular el diámetro del recipiente:

$$D = \left(\frac{4(V_H + V_S)}{\pi * 0.6 * L/D} \right)^{1/3}, \text{ ft}$$

Redondear el diámetro calculado al 0.5 ft inmediato.

8. Calcular el área total transversal:

$$A_T = \frac{\pi}{4} * D^2, \text{ ft}^2$$

9. Calcular el nivel mínimo de líquido:

$$H_{LLL} = 0.5 * D + 7, \text{ in}$$

Sí $D \leq 4$ ft, entonces $H_{LLL} = 9$ in

10. Con la relación H_{LLL}/D obtener A_{LLL} utilizando la metodología indicada en la Tabla 1-13 del Anexo A.

$$A_{LLL} = Y * A_T$$

11. Si no hay malla separadora, la altura mínima (H_V) para el área de vapor (A_V) se considera como el 20% del diámetro del recipiente $H_V = 0.2 * D$ ó 1 ft, el que resulte más grande.

Si hay malla separadora, la altura mínima para el área de vapor se considera como el 20% del diámetro del recipiente $H_V = 0.2 * D$ ó 2 ft, el que resulte más grande.

12. Usando H_V/D obtener A_V a partir de la Tabla 1-13 del Anexo A.

$$A_V = Y * A_T$$



13. Calcular la longitud mínima para asentar el volumen de *retención y carga*:

$$L_{MIN} = \frac{V_H + V_S}{A_T - A_V - A_{LLL}}, \text{ ft}$$

14. Calcular el tiempo de separación del líquido:

$$\phi = \frac{H_v}{U_v}, \text{ s}$$

15. Calcular la velocidad actual del vapor:

$$U_{VA} = \frac{Q_v}{A_v}, \text{ ft/s}$$

16. Calcular la longitud mínima requerida para el diseño del separador:

$$L_{MIN} = U_{VA}\phi, \text{ ft}$$

17. Establecer la longitud del recipiente:

- Si $L < L_{MIN}$ entonces establecer $L = L_{MIN}$, porque controla la separación líquido – vapor y solo se refleja en un poco de retención extra.
- Si $L_{MIN} \gg L$, entonces incrementar H_v y repetir el algoritmo desde el paso 10.
- Si $L > L_{MIN}$ el diseño es aceptable para para el separador.
- Si $L \gg L_{MIN}$ la retención del líquido es controlante, L solo puede disminuir si H_v decrece y H_v puede disminuir hasta el valor mínimo indicado en el paso 10. Repetir el algoritmo desde el paso 10.
- Por último, redondear al 0.5 ft inmediato.

NOTA: Se considera mucho más grande (\gg) a partir de una diferencia del 20%.

18. Calcular la relación L/D:

- Si $L/D > 6$, entonces incrementar D y repetir los calculos desde el paso 8.
- Si $L/D < 1.5$, entonces disminuir D y repetir los calculos desde el paso 8.



4.3. Recipiente Separador Líquido – Vapor (Vertical)

El dimensionamiento de estos recipientes se basa en la velocidad del vapor a través de una malla separadora y criterios heurísticos.

NOTA: En ausencia de líquido, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Flujo de líquido en 10-15% de flujo de vapor
- Densidad recomendada de 46.14 lb/ft^3 (gasolina)
- Indicar de 2-3 minutos para el tiempo de residencia

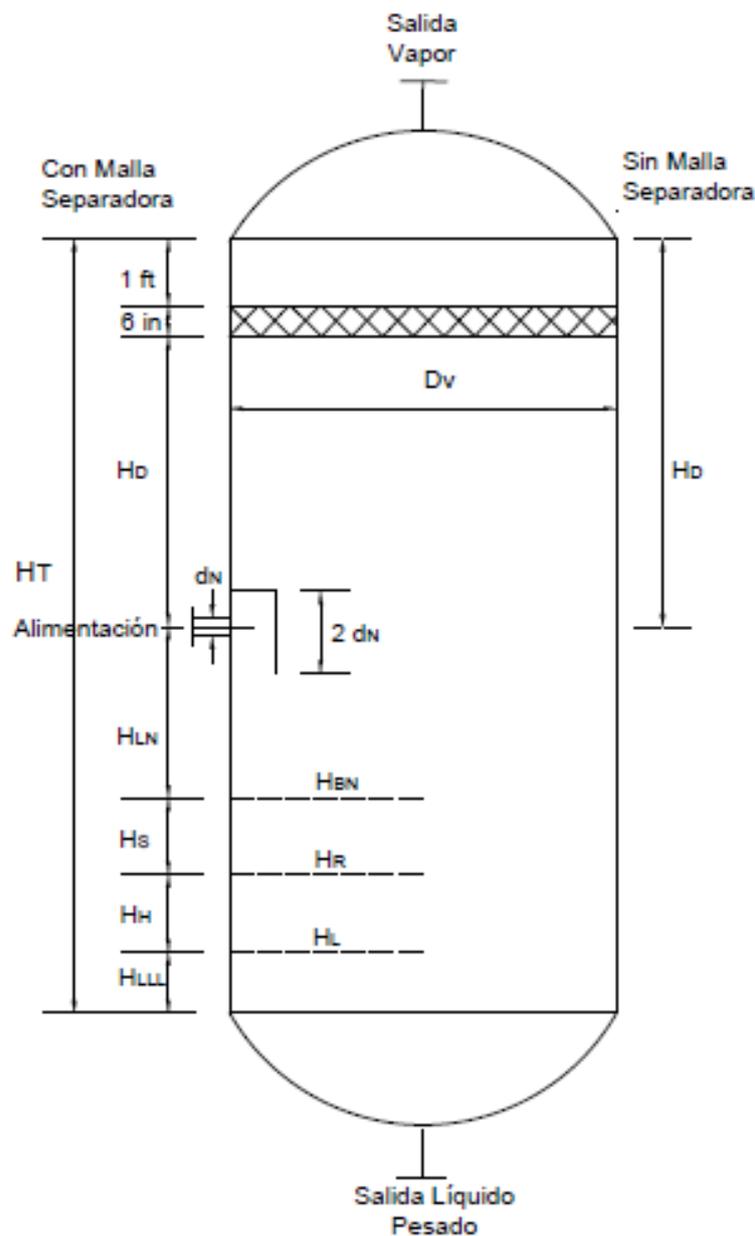


Fig. 4-3. Recipiente Bifásico Vertical.



1. Calcular el factor K a partir de la Tabla 1-10 del Anexo A.

2. Calcular la velocidad de vapor vertical:

$$U_t = K \left(\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{1/2}, \text{ ft/s}$$

3. Establecer la velocidad de diseño como:

$$U_v = 0.75 * U_t, \text{ ft/s}$$

4. Calcular el flujo de vapor volumétrico:

$$Q_v = \frac{W_v}{3600 * \rho_v}, \text{ ft}^3/\text{s}$$

5. Calcular el diámetro interno del recipiente:

$$D_v = \left(\frac{4Q_v}{\pi U_v} \right)^{1/2}, \text{ ft}$$

Si hay presencia de malla separadora, incrementar el diámetro de 3-6 in para el soporte del anillo. Redondear el diámetro calculado al 0.5 ft inmediato.

6. Calcular el flujo de líquido volumétrico:

$$Q_L = \frac{W_L}{60 * \rho_L}, \text{ ft}^3/\text{min}$$

7. Seleccionar tiempos de residencia para t_H y t_S de la Tabla 1-8 del Anexo A.

A. Calcular el *volumen de retención* (V_H) y *volumen de carga* (V_S):

$$V_H = t_H * Q_L, \text{ ft}^3$$

$$V_S = t_S * Q_L, \text{ ft}^3$$

8. Obtener la altura del nivel mínimo de líquido (H_{LLL}) de la Tabla 1-12 del Anexo A.

9. Calcular la altura desde el nivel mínimo de líquido al nivel normal de líquido:

$$H_H = \frac{V_H}{\frac{\pi}{4} * D_v^2}, \text{ ft}$$

1 ft como mínimo.

10. Calcular la altura desde el nivel normal de líquido al nivel máximo de líquido o el nivel de alarma:

$$H_S = \frac{V_S}{\frac{\pi}{4} * D_v^2}, \text{ ft}$$

6 in como mínimo.



11. Calcular la altura desde el nivel máximo de líquido al centro de la boquilla de entrada:

$$H_{LN} = 12 + d_N, \text{ in (con mampara de choque)}$$
$$H_{LN} = 12 + \frac{1}{2} * d_N, \text{ in (sin mampara de choque)}$$

Donde d_N se calcula de la siguiente forma:

$$d_N \geq \left(\frac{4Q_M \sqrt{P_M}}{\pi 60} \right)^{1/2}, \text{ ft}$$
$$Q_M = Q_L + Q_V, \text{ ft}^3/\text{s}$$
$$P_M = \rho_L * \lambda + \rho_V * (1 - \lambda), \text{ lb/ft}^3$$
$$\lambda = \frac{Q_L}{Q_L + Q_V}$$

12. Calcular la altura desde el centro de la boquilla de entrada a:

A) La tangente superior del recipiente, si no se emplea malla separadora

$$H_D = 0.5D_V, \text{ ft ó un mínimo de}$$
$$H_D = 36 + \frac{1}{2} d_N, \text{ in}$$

B) El fondo de la malla separadora, si se emplea malla separadora

$$H_D = 0.5D_V, \text{ ft ó un mínimo de}$$
$$H_D = 24 + \frac{1}{2} d_N, \text{ in}$$

13. Si se emplea malla separadora, tomar 6 in para la malla y 1 ft desde la parte superior de la malla a la tangente superior del recipiente (H_{ME}), si no se utiliza malla $H_{ME} = 0$.

14. Calcular la altura total del recipiente:

$$H_T = H_{LLL} + H_H + H_S + H_{LN} + H_D + H_{ME}, \text{ ft}$$

15. Calcular la relación L/D:

- Si $L/D > 6$, entonces incrementar D y repetir los calculos desde el paso 8.
- Si $L/D < 1.5$, entonces disminuir D y repetir los calculos desde el paso 8.
- Redondear el diámetro calculado al 0.5 ft inmediato.



CAPÍTULO 5. SEPARADORES LÍQUIDO - LÍQUIDO - VAPOR

5.1. Introducción

Estos recipientes se utilizan para separar dos líquidos inmiscibles y una tercera fase vapor. La separación se efectúa por acción de la gravedad aprovechando la diferencia de densidades. Operativamente para lograr la separación entre las fases líquidas, se proporciona suficiente tiempo de residencia y se deposita en un espacio donde no hay turbulencia.

La velocidad con que se lleva a cabo es función de la viscosidad y el tamaño de las gotas (Ley de Stokes). El siguiente diagrama es una propuesta para la selección de un separador trifásico:

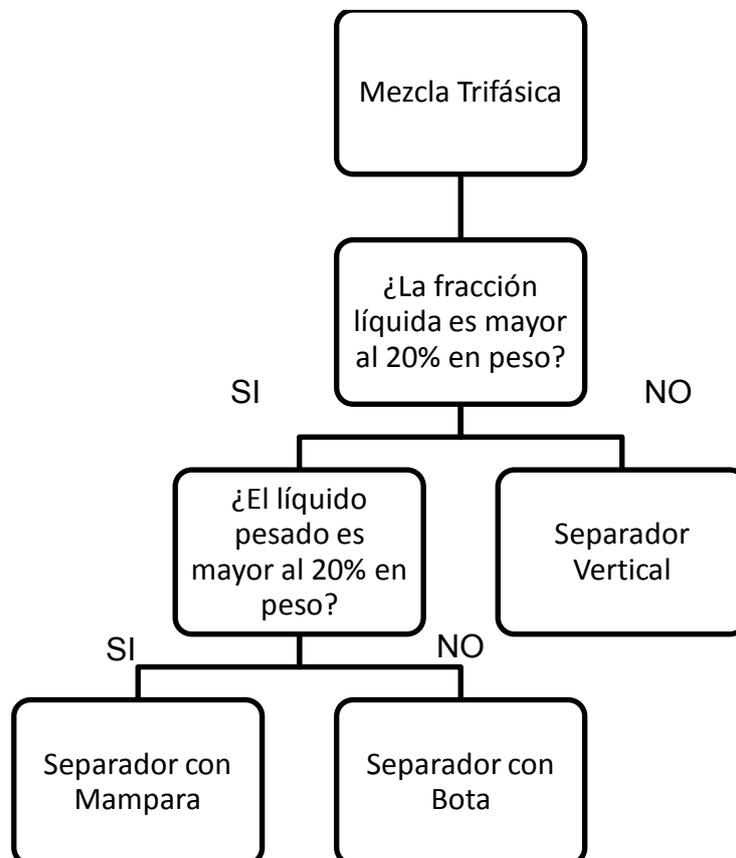


Fig. 5-1. Selección de un Recipiente Trifásico.



5.2. Separador Líquido – Líquido – Vapor (Horizontal con Bota)

El dimensionamiento de estos recipientes se basa en el tiempo de residencia de la fase líquida y la velocidad superficial del vapor a través de la malla separadora.

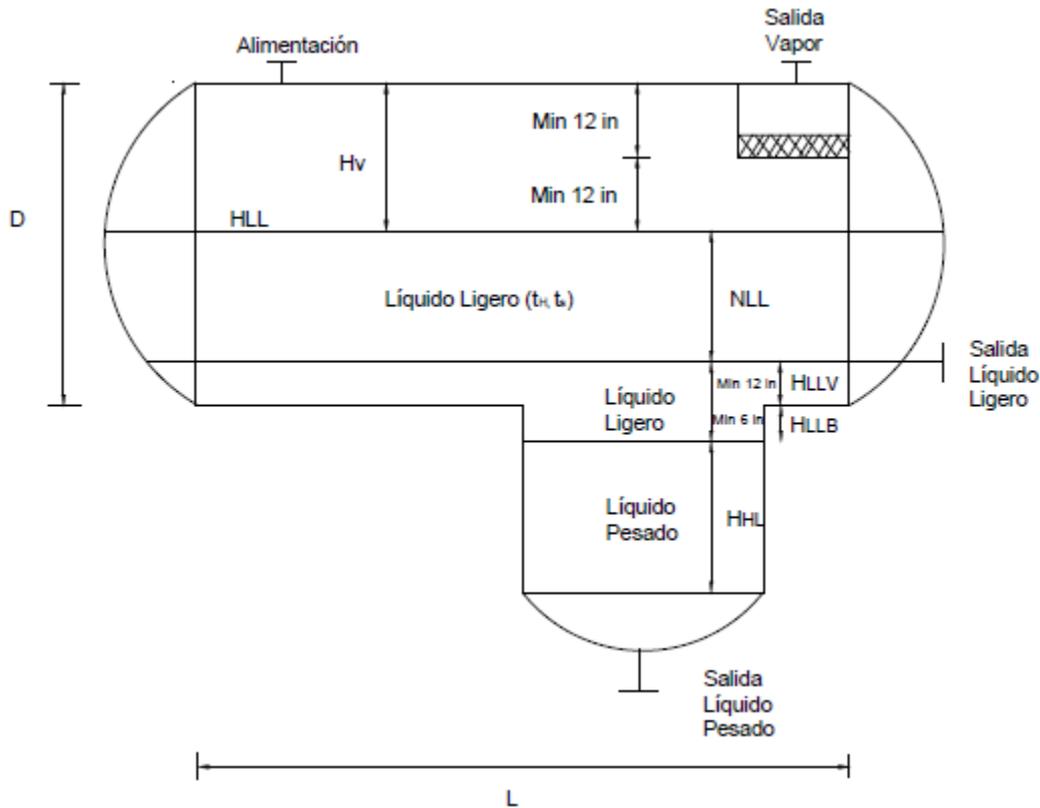


Fig. 5-2. Recipiente Trifásico Horizontal con Bota

1. Calcular el flujo de vapor volumétrico:

$$Q_v = \frac{W_v}{3600 \cdot \rho_v}, \text{ ft}^3/\text{s}$$

2. Calcular el flujo volumétrico de líquido ligero (Q_{LL}) y líquido pesado (Q_{HL}):

$$Q_{LL} = \frac{W_{LL}}{60 \cdot \rho_L}; \quad Q_{HL} = \frac{W_{HL}}{60 \cdot \rho_H}; \text{ ft}^3/\text{min}$$

3. Calcular el factor K a partir de la Tabla 1-10 del Anexo A.
4. Calcular la velocidad de vapor vertical:

$$U_t = K \left(\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{1/2}, \text{ ft/s}$$



5. Establecer la velocidad de diseño como:

$$U_v = 0.75 * U_t, \text{ ft/s}$$

6. Seleccionar tiempos de residencia para t_H y t_S de la Tabla 1-8 del Anexo A, calcular el volumen de retención (V_H) y volumen de carga (V_S):

$$V_H = t_H * Q_L, \text{ ft}^3$$
$$V_S = t_S * Q_L, \text{ ft}^3$$

7. Obtener un estimado de L/D de la Tabla 1-11 del Anexo A y calcular el diámetro del recipiente:

$$D = \left(\frac{4(V_H + V_S)}{\pi * 0.6 * L/D} \right)^{1/3}, \text{ ft}$$

Redondear al 0.5 ft inmediato.

8. Calcular el área total transversal:

$$A_T = \frac{\pi}{4} * D^2, \text{ ft}^2$$

9. Si no hay malla separadora, la altura mínima para el espacio vapor (H_V) se considera como el 20% del diámetro del recipiente $H_V = 0.2 * D$ ó 1 ft, el que resulte más grande.

Si hay malla separadora, la altura mínima para el espacio vapor se considera como el 20% del diámetro del recipiente $H_V = 0.2 * D$ ó 2 ft, el que resulte más grande.

10. Usando H_V/D obtener A_V utilizando la metodología indicada en la Tabla 1-13 del Anexo A.

$$A_V = A_T * Y; \text{ ft}^2$$

11. Establecer la altura del líquido ligero con H_{LLV} y H_{LLB} , como se observa en la Fig. 5-2. Se recomienda como mínimo:

$$1 \text{ ft para } H_{LLV}$$
$$\frac{1}{2} \text{ ft para } H_{LLB}$$

12. Calcular el área seccional del líquido ligero en el fondo del recipiente A_{LLV} con base en la Tabla 1-13 del Anexo A.

$$A_{LLV} = A_T * Y; \text{ ft}^2$$



13. Calcular la longitud mínima para acomodar el volumen de *retención y carga*:

$$L = \frac{V_H + V_S}{A_T - A_V - A_{LLV}}, \text{ ft}$$

14. Calcular el tiempo de separación del líquido:

$$\phi = \frac{H_v}{U_v}, \text{ s}$$

15. Calcular la velocidad actual del vapor:

$$U_{VA} = \frac{Q_v}{A_v}, \text{ ft/s}$$

16. Calcular la longitud mínima requerida para el diseño del separador:

$$L_{MIN} = U_{VA}\phi, \text{ ft}$$

Redondear al 0.5 ft inmediato.

17. Establecer la longitud del recipiente:

- Si $L < L_{MIN}$ entonces establecer $L = L_{MIN}$, porque controla la separación líquido – vapor y solo se refleja en un poco de retención extra.
- Si $L_{MIN} \gg L$, entonces incrementar H_v y repetir el algoritmo desde el paso 9.
- Si $L > L_{MIN}$ el diseño es aceptable para para el separador.
- Si $L \gg L_{MIN}$ la retención del líquido es controlante, L solo puede disminuir si H_v decrece y H_v puede disminuir hasta el valor mínimo indicado en el paso 10. Repetir el algoritmo desde el paso 10.
- Redondear la longitud al 0.5 ft inmediato.

NOTA: Se considera mucho más grande (\gg) a partir de una diferencia del 20%.

18. Calcular la velocidad de separación del líquido pesado fuera del líquido ligero (U_{HL}), empleando la Ley de Stokes. El factor k_s se obtiene de la Tabla 1-9 del Anexo A.

$$U_{HL} = \frac{k_s(\rho_H - \rho_L)}{\mu_L}, \text{ in/min}$$

19. Calcular el tiempo de separación del líquido pesado fuera del líquido ligero (U_{HL}):

$$t_{HL} = \frac{12*(H_{LLB} + D - H_v)}{U_{HL}}, \text{ min}$$

20. Calcular el tiempo de residencia del líquido ligero:



$$\theta_{LL} = \frac{(A_T - A_V)L}{Q_{LL}}, \text{ min}$$

NOTA: Este volumen calculado ignora el líquido ligero contenido en la bota.

21. Si $\theta_{LL} < t_{HL}$ entonces incrementar la longitud del recipiente de la siguiente forma (controla la separación líquida):

$$L = \frac{t_{HL}Q_{LL}}{(A_T - A_V)}, \text{ ft}$$

Redondear la longitud calculada al 0.5 ft inmediato.

22. Calcular la relación L/D:

- Si $L/D > 6$, entonces incrementar D y repetir los calculos desde el paso 8.
- Si $L/D < 1.5$, entonces disminuir D y repetir los calculos desde el paso 8.

Diseño de la bota para el líquido pesado:

23. Establecer la altura del líquido pesado (altura de bota) H_{HL} como se observa en la Fig. 5-2. Se recomienda de 2–3 ft.

24. Calcular la velocidad de ascenso del líquido ligero fuera del líquido pesado. Tabla 1-9 del Anexo A.

$$U_{LH} = \frac{k_s(\rho_H - \rho_L)}{\mu_H}, \text{ in/min}$$

Para el diseño establecer $U_b = 0.75 * U_{LH}$

25. Calcular el diámetro de bota:

$$D_B = \left(\frac{4 * 12 * Q_{HL}}{\pi U_b} \right)^{1/2}, \text{ ft}$$

Redondear al 0.5 ft inmediato.

26. Calcular el tiempo de separación del líquido ligero fuera del líquido pesado:

$$t_{LH} = \frac{12 * H_{HL}}{U_{LH}}, \text{ min}$$

27. Calcular el tiempo de residencia del líquido pesado:

$$\theta_{HL} = \frac{\pi D_B^2 H_{HL}}{4 Q_{HL}}, \text{ min}$$

28. Si $\theta_{HL} < t_{LH}$, entonces incrementar el diámetro de bota.



5.3. Separador Líquido – Líquido – Vapor (Horizontal con Mampara)

Los recipientes que utilizan mampara, se requieren cuando la cantidad de líquido pesado es muy grande y el diámetro de la bota excede los límites establecidos en la siguiente tabla:

Diámetro del Recipiente (ft)	Límites del diámetro de la pierna (ft)
$D < 4$	$1 \leq D_B \leq \frac{1}{2} D$
$4 \leq D \leq 8$	$1.3 \leq D_B \leq \frac{1}{2} D$
$D > 8$	$2 \leq D_B \leq \frac{1}{3} D$

Tabla 5-1. Límites para emplear bota en un recipiente trifásico.

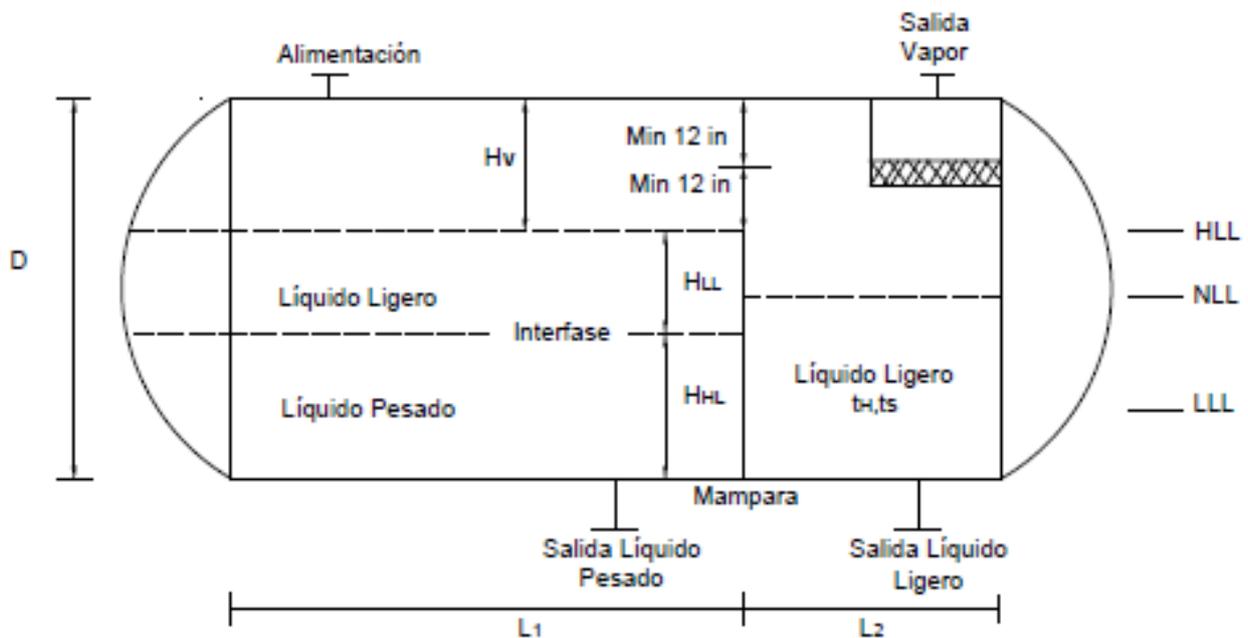


Fig. 5-3. Recipiente Trifásico Horizontal con Mampara.

1. Calcular el flujo de vapor volumétrico:

$$Q_v = \frac{W_v}{3600 \cdot \rho_v}, \text{ ft}^3/\text{s}$$



2. Calcular el flujo volumétrico de líquido ligero (Q_{LL}) y líquido pesado (Q_{HL}):

$$Q_{LL} = \frac{W_{LL}}{60 * \rho_L} ; \quad Q_{HL} = \frac{W_{HL}}{60 * \rho_H} ; \quad ft^3/min$$

3. Calcular el factor K a partir de la Tabla 1-10 del Anexo A.

4. Calcular la velocidad de vapor vertical:

$$U_t = K \left(\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{1/2} , \quad ft/s$$

5. Establecer la velocidad de diseño como:

$$U_v = 0.75 * U_t , \quad ft/s$$

6. Seleccionar tiempos de residencia para t_H y t_S de la Tabla 1-8 del Anexo A, calcular el volumen de retención (V_H) y volumen de carga (V_S):

$$V_H = t_H * Q_H , \quad ft^3$$

$$V_S = t_S * Q_L , \quad ft^3$$

7. Obtener un estimado de L/D de la Tabla 1-11 del Anexo A, calcular el diámetro del recipiente:

$$D = \left(\frac{16(V_H + V_S)}{\pi * 0.6 * L/D} \right)^{1/3} , \quad ft$$

Redondear el diámetro calculado al 0.5 ft inmediato.

8. Calcular el área total transversal:

$$A_T = \frac{\pi}{4} * D^2 , \quad ft^2$$

9. Si no hay malla separadora, la altura mínima para el espacio vapor (H_V) se considera como el 20% del diámetro del recipiente $H_V = 0.2 * D$ ó 1 ft, el que resulte más grande.

Si hay malla separadora, la altura mínima para el espacio vapor se considera como el 20% del diámetro del recipiente $H_V = 0.2 * D$ ó 2 ft, el que resulte más grande.

10. Usando H_V/D obtener A_V a partir de la Tabla 1-13 del anexo A.

$$A_v = A_T * Y , \quad ft^2$$

11. Establecer el nivel mínimo de líquido en el compartimiento de líquido ligero utilizando la Tabla 1-12 del Anexo A ó empleando la siguiente relación:

$$H_{LLL} = 0.5 * D + 7 , \quad in$$



Si $D \leq 4$ ft, entonces $H_{LLL} = 9$ in. Utilizando H_{LLL}/D obtener A_{LLL} a partir de la Tabla 1-13 del anexo A.

12. Establecer la altura de mampara como:

$$H_W = D - H_v, \text{ ft}$$

Si $H_W < 2$ ft, incrementar D en 0.5 ft y repetir desde el paso 9.

13. Calcular la longitud mínima del compartimiento del líquido ligero, como se aprecia en la Fig. 5-3:

$$L_2 = \frac{V_H + V_S}{A_T - A_V - A_{LLL}}, \text{ ft}$$

Redondear la longitud calculada al 0.5 ft inmediato. El valor mínimo para $L_2 = d_N + 12$, in.

14. Se recomienda establecer la altura de la interfase entre líquidos como $H_W/2$, se obtienen las alturas del líquido pesado (H_{HL}) y ligero (H_{LL}), como se observa en la Fig. 5-3.

15. Para el compartimiento de estabilización del líquido, calcular el área seccional del líquido pesado, A_{HL} utilizando la relación H_{HL}/D a partir de la Tabla 1-13 del Anexo A. Calcular el área seccional del líquido ligero, A_{LL} :

$$A_{LL} = A_T - A_v - A_{HL}, \text{ ft}^2$$

16. Calcular las velocidades de separación, el líquido pesado fuera del líquido ligero (U_{HL}) y el líquido ligero fuera del líquido pesado (U_{LH}). El factor k_s se obtiene de la Tabla 1-9 del Anexo A.

$$U_{HL} = \frac{k_s(\rho_H - \rho_L)}{\mu_L}, \text{ in/min}$$

$$U_{LH} = \frac{k_s(\rho_H - \rho_L)}{\mu_H}, \text{ in/min}$$

17. Calcular el tiempo de separación, el líquido pesado fuera del líquido ligero (t_{HL}) y el líquido ligero fuera del líquido pesado (t_{LH}):

$$t_{HL} = \frac{12 \cdot H_{LL}}{U_{HL}}, \text{ min}$$

$$t_{LH} = \frac{12 \cdot H_{HL}}{U_{LH}}, \text{ min}$$



NOTA: No se calcula el tiempo de residencia (Θ_i) porque domina el tiempo de separación.

18. Calcular la longitud mínima del compartimiento de estabilización, para facilitar la separación líquido - líquido :

$$L_1 = \max\left(\frac{t_{LH}Q_{HL}}{A_{HL}}, \frac{t_{HL}Q_{LL}}{A_{LL}}\right), \text{ ft}$$

Redondear al 0.5 ft inmediato.

19. Establecer la longitud total del recipiente:

$$L = L_1 + L_2, \text{ ft}$$

20. Calcular el tiempo de separación del líquido:

$$\phi = \frac{H_v}{U_v}, \text{ s}$$

21. Calcular la velocidad actual del vapor:

$$U_{VA} = \frac{Q_v}{A_v}, \text{ ft/s}$$

22. Calcular la longitud mínima requerida para el diseño del separador:

$$L_{MIN} = U_{VA}\phi, \text{ ft}$$

23. Establecer la longitud del recipiente:

- Si $L < L_{MIN}$ entonces establecer $L = L_{MIN}$, porque controla la separación líquido – vapor y solo se refleja en un poco de retención extra.
- Si $L_{MIN} \gg L$, entonces incrementar H_v y repetir el algoritmo desde el paso 9.
- Si $L > L_{MIN}$ el diseño es aceptable para para el separador.
- Si $L \gg L_{MIN}$ la retención del líquido es controlante, L solo puede disminuir si H_v decrece y H_v puede disminuir hasta el valor mínimo indicado en el paso 8. Repetir el algoritmo desde el paso 9.
- Redondear la longitud al 0.5 ft inmediato.

NOTA: Se considera mucho más grande (\gg) a partir de una diferencia del 20%.

24. Calcular la relación L/D:

- Si $L/D > 6$, entonces incrementar D y repetir los calculos desde el paso 8.



- Si $L/D < 1.5$, entonces disminuir D y repetir los cálculos desde el paso 8.

5.4. Separador Líquido – Líquido – Vapor (Vertical)

No se utilizan comumente ya que requieren de una mampara especial con el objeto de proporcionar una zona de baja turbulencia para la interfase líquido – líquido y así efectuar una buena separación. Su utilización se limita a aplicaciones donde no hay disponibilidad de espacio o por criterios del diseñador.

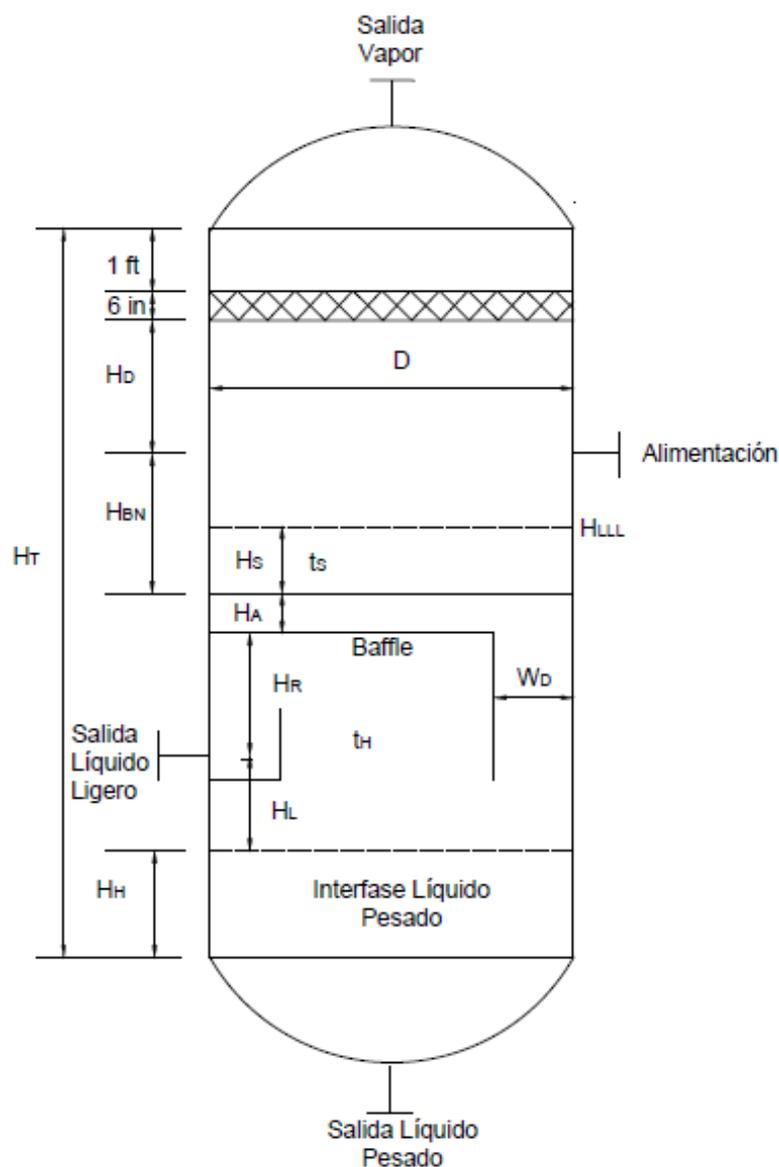


Fig. 5-4. Recipiente Trifásico Vertical.

1. Calcular el factor K a partir de la Tabla 1-10 del Anexo A.



2. Calcular la velocidad de vapor vertical:

$$U_t = K \left(\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{1/2}, \text{ ft/s}$$

3. Establecer la velocidad de diseño como:

$$U_v = 0.75 * U_t, \text{ ft/s}$$

4. Calcular el flujo de vapor volumétrico:

$$Q_v = \frac{W_v}{3600 * \rho_v}, \text{ ft}^3/\text{s}$$

5. Calcular el diámetro interno del recipiente:

$$D_v = \left(\frac{4Q_v}{\pi U_v} \right)^{1/2}, \text{ ft}$$

Si hay presencia de malla separadora, incrementar el diámetro de 3-6 in para el soporte del anillo. Redondear al 0.5 ft inmediato.

6. Calcular las velocidades de separación, el líquido pesado fuera del líquido ligero (U_{HL}) y el líquido ligero fuera del líquido pesado (U_{LH}). El factor k_s se obtiene de la Tabla 1-9 del Anexo A.

$$U_{HL} = \frac{k_s(\rho_H - \rho_L)}{\mu_L}, \text{ in/min}$$

$$U_{LH} = \frac{k_s(\rho_H - \rho_L)}{\mu_H}, \text{ in/min}$$

7. Calcular el flujo volumétrico de líquido ligero (Q_{LL}) y líquido pesado (Q_{HL}):

$$Q_{LL} = \frac{W_{LL}}{60 * \rho_L}; \quad Q_{HL} = \frac{W_{HL}}{60 * \rho_H}; \text{ ft}^3/\text{min}$$

8. Establecer la altura H_L , desde la interfase líquida a la mitad de la boquilla del líquido ligero, se recomienda 1 ft como mínimo. Calcular el tiempo de asentamiento de las gotas de líquido pesado a través de H_L :

$$t_{HL} = \frac{12H_L}{U_{HL}}, \text{ min}$$

9. Establecer la altura H_H , desde la tangente inferior del recipiente a la interfase líquida, se recomienda 1 ft como mínimo. Calcular el tiempo para que las gotas de líquido ligero asciendan a través de H_H :

$$t_{LH} = \frac{12H_H}{U_{LH}}, \text{ min}$$



10. Si hay presencia de mampara (Baffle):

- Calcular $(\rho_L - \rho_v)$.
- Estimar la altura H_R , se recomienda 9 in como mínimo y calcular $H_L + H_R$.
- A partir de lo anterior, con base en la Fig. 5-5 obtener el Factor G.
- Calcular:

$$A_{D1} = \left(\frac{7.48 \text{ gal}}{\text{ft}^3}\right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}\right) \left(\frac{Q_{LL} + Q_{HL}}{G}\right), \text{ ft}^2$$

- Estimar W_D , se recomienda 4 in.
- A partir de W_D/D obtener A_{D2} con base en la Tabla 1-13 del Anexo A.
- Calcular A_T :

$$A_T = \frac{\pi}{4} * D^2$$

- Calcular:

$$A_{D2} = Y * A_T$$

- Seleccionar el valor mayor de A_D .
- Calcular el área del Baffle, se considera igual al área de estabilización para el líquido ligero:

$$A_L = A - A_D, \text{ ft}^2$$

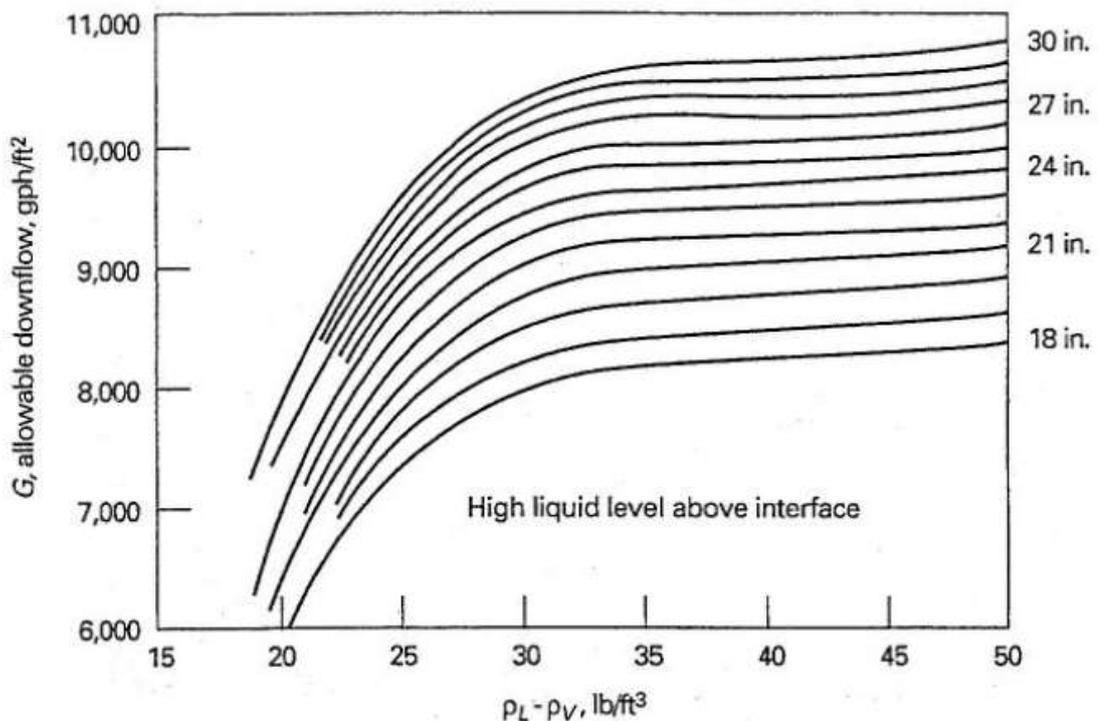


Fig. 5-5. Obtención del factor G.



11. Calcular el tiempo de residencia de cada fase basado en el volumen ocupado por la fase ligera (θ_{LL}) y pesada (θ_{HL}):

$$\theta_{LL} = \frac{H_L A_L}{Q_{LL}}, \text{ min}$$
$$\theta_{HL} = \frac{H_H A_H}{Q_{HL}}, \text{ min}$$

Si $\theta_{LL} < t_{HL}$ o $\theta_{HL} < t_{LH}$, incrementar el diámetro y repetir desde el paso 8. La separación líquida es controlante.

12. Calcular la altura de líquido ligero sobre la mitad de la boquilla, basado en el tiempo de retención (t_H) necesario:

$$H_R = \frac{Q_{LL} t_H}{A_L}, \text{ ft}$$

Comparar con el valor supuesto en paso el 9b, para asegurarse de que el valor asumido es razonable.

13. Calcular la altura de estabilización, basado en el tiempo de carga (t_S):

$$H_S = \frac{(Q_{LL} + Q_{HL}) t_S}{A_T}, \text{ ft}$$

El valor mínimo es de 6 in.

14. Calcular la altura del recipiente como:

$$H_A = 6 \text{ in, mínimo}$$

$$H_{BN} = \frac{1}{2} d_N + \text{el valor mayor de } (2 \text{ ft } \text{ ó } H_S + 0.5 \text{ ft})$$

$$H_D = 0.5D \text{ ó un mínimo de:}$$

$$\text{Sin malla separadora: } 36 \text{ in} + \frac{1}{2} d_N$$

$$\text{Con malla separadora: } 24 \text{ in} + \frac{1}{2} d_N$$

15. Si se emplea malla separadora, tomar 6 in para la malla y 1 ft desde la parte superior de la malla a la tangente superior del recipiente (H_{ME}), si no se utiliza malla $H_{ME} = 0$.

16. Establecer la altura total del recipiente:

$$H_T = H_H + H_L + H_R + H_A + H_{BN} + H_D + H_{ME}, \text{ ft}$$



17. Calcular la relación L/D :

- Si $L/D > 6$, entonces incrementar D y repetir los cálculos desde el paso 10b.
- Si $L/D < 1.5$, entonces disminuir D y repetir los cálculos desde el paso 10b.



CAPÍTULO 6. DESARROLLO DEL SOFTWARE

6.1. Introducción a VBA de Excel

Visual Basic para Aplicaciones (VBA) es una combinación de un entorno de programación integrado (Editor de Visual Basic) y del lenguaje de programación Visual Basic con importantes añadidos, que permite diseñar y desarrollar aplicaciones con facilidad.

VBA constituye un Entorno de Desarrollo Integral (IDE) que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, consiste en un editor de código (se escriben los códigos), un depurador (se señalan los errores del código escrito), un compilador (traducción a lenguaje máquina) y un constructor de interfaz gráfica (predeterminado).

VBA, apareció por primera vez en Excel 5, un producto de Microsoft, que salió al mercado en 1994. En esta versión el módulo VBA aparecía en el libro de Excel como una hoja separada. Ya en Excel 97, se introduce el editor de Visual Basic para trabajar con los módulos.

6.2. Características Principales de VBA

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó el editor de Visual Basic incorporado en Microsoft Office Excel 2010. Este tipo de programación es conocida como “Programación Orientada a Objetos”, que permite trabajar sobre los objetos característicos de Excel, así como crear objetos propios. La diferencia respecto a la programación clásica o estructurada, es que las instrucciones hacen referencia a objetos ya establecidos; y todos los datos y acciones que se hacen con ellos o sobre ellos, están ocultas en el objeto.

El editor de Visual Basic es una aplicación separada que trabaja integrada en Excel, es decir, no se puede ejecutar el editor de Visual Basic por separado. Se puede acceder al editor de la siguiente forma:

- Desde el teclado: Alt+F11
- Desde el menú Programador>Visual Basic
- Desde el menú Herramientas>Macro>Editor de Visual Basic (Versiones Anteriores)

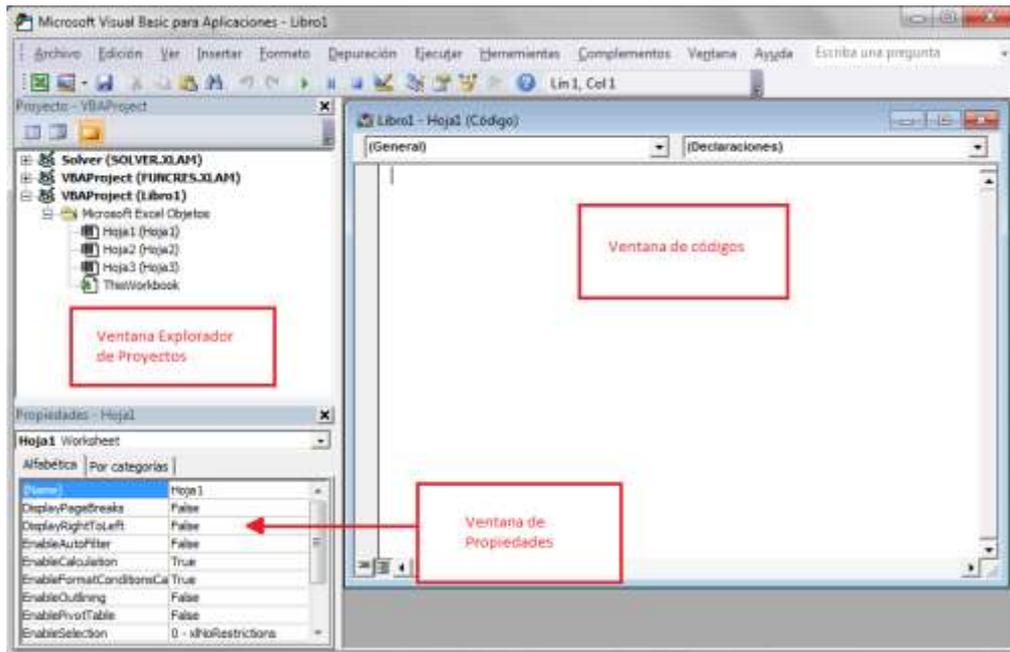


Fig. 6-1. Editor de Visual Basic.

En la Fig. 6-1 se muestra el editor de Visual Basic. El editor tiene tres ventanas principales:

- Ventana Explorador de Proyectos: En esta ventana se muestra un organigrama que incluye todos los libros que estén abiertos en Excel en ese momento.
- Ventana de Código: Es el área donde se escriben los códigos VBA.
- Ventana Propiedades: Muestra un menú de las características principales del elemento seleccionado.

6.2.1. Userforms y Macros

Visual Basic para Aplicaciones es un lenguaje de macros que permite crear programas estructurados directamente en Excel, los UserForms y macros se guardan en el libro de trabajo pero no son visibles para el usuario final.

Macros. Una macro es un conjunto de instrucciones de código programado que permite realizar una tarea determinada.

UserForms. Un UserForm se utiliza para crear un cuadro de diálogo donde el usuario interactúa con la aplicación desarrollada. Este tipo de cuadros se utiliza mucho en todo tipo de programas. En el presente trabajo, los UserForms se utilizan para que el usuario introduzca los datos necesarios o elija opciones. En la Fig. 6-2 se muestra un ejemplo de un UserForm.

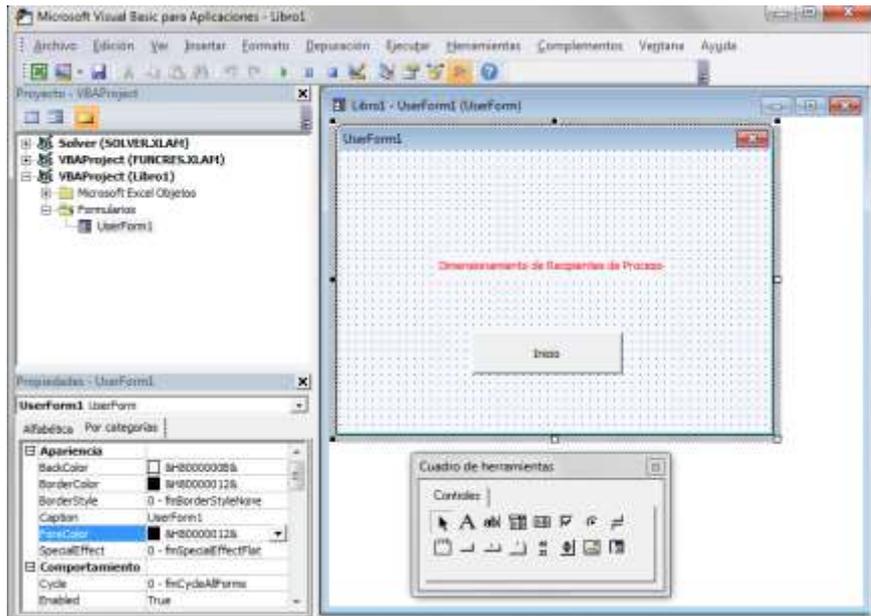


Fig. 6-2. Creación de un UserForm.

6.3. Programación de la Aplicación

La herramienta desarrollada, es una aplicación visual fácil de entender y utilizar. Está construida con la intención de guiar al usuario en el diseño de recipientes de proceso.

6.3.1. Visualización de la Aplicación

Al iniciar la Aplicación se muestra una presentación como la siguiente:

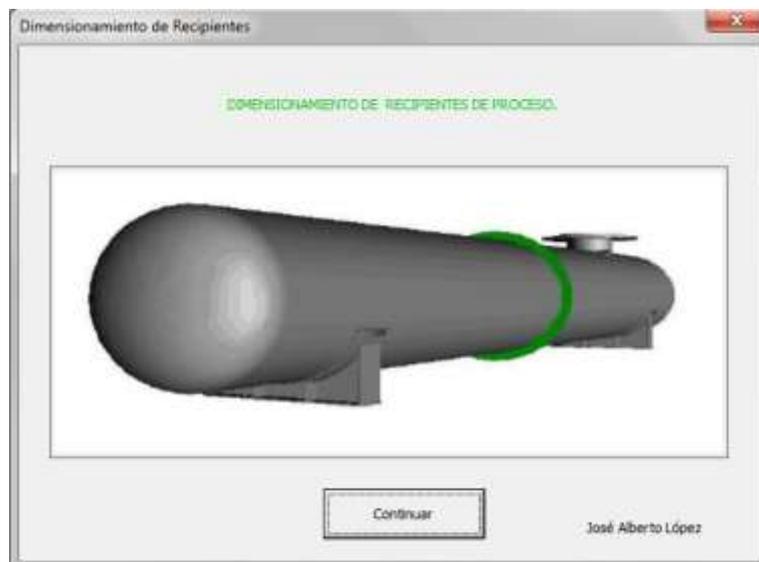


Fig. 6-3. Presentación de la Aplicación.



Con el botón continuar, se muestra la ventana de inicio:

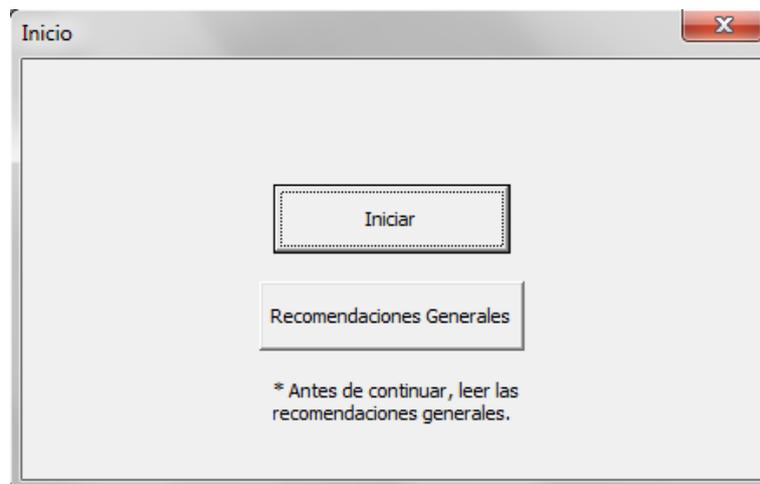


Fig. 6-4. Ventana de Inicio.

Como se puede observar en la figura anterior se aconseja leer las recomendaciones generales y de conversión antes de iniciar. En las recomendaciones generales se describe cómo funciona la herramienta desarrollada, mientras que las recomendaciones de conversión se refieren a las advertencias que pueden ser indicadas por medio de ventanas emergentes.

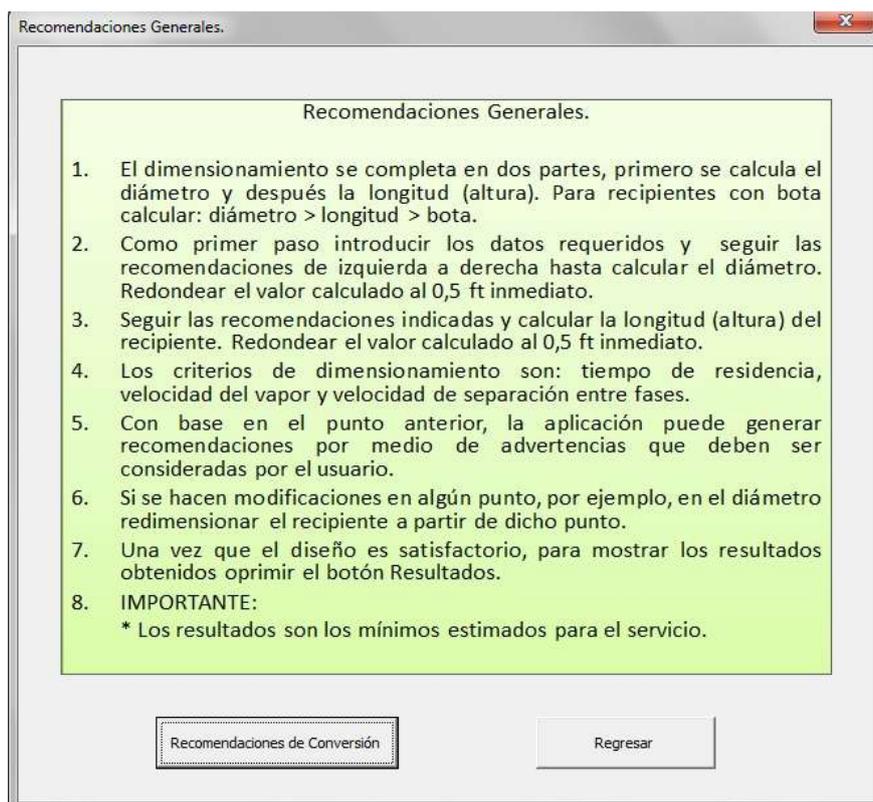


Fig. 6-5. Ventana de Recomendaciones Generales.



Para regresar a la ventana de presentación (Fig. 6-3), seleccionar el menú Programador > Dimensión de Recipientes > Dimensionamiento.

Continuando con la selección del recipiente a dimensionar (Fig. 6-6), como ejemplo, se selecciona un recipiente bifásico, enseguida se despliega la ventana para elegir la orientación del recipiente. Se incluye una recomendación para la orientación como se menciona en la sección 4.1.

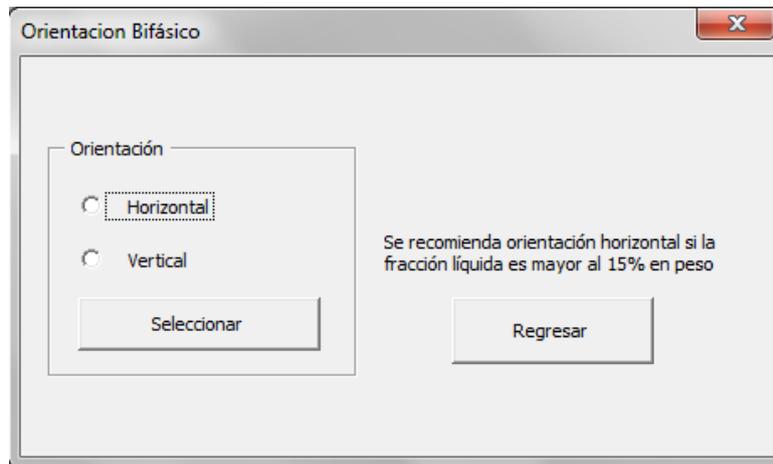


Fig. 6-8. Orientación para Recipiente Bifásico.

Al seleccionar la opción horizontal, se muestra la siguiente ventana:

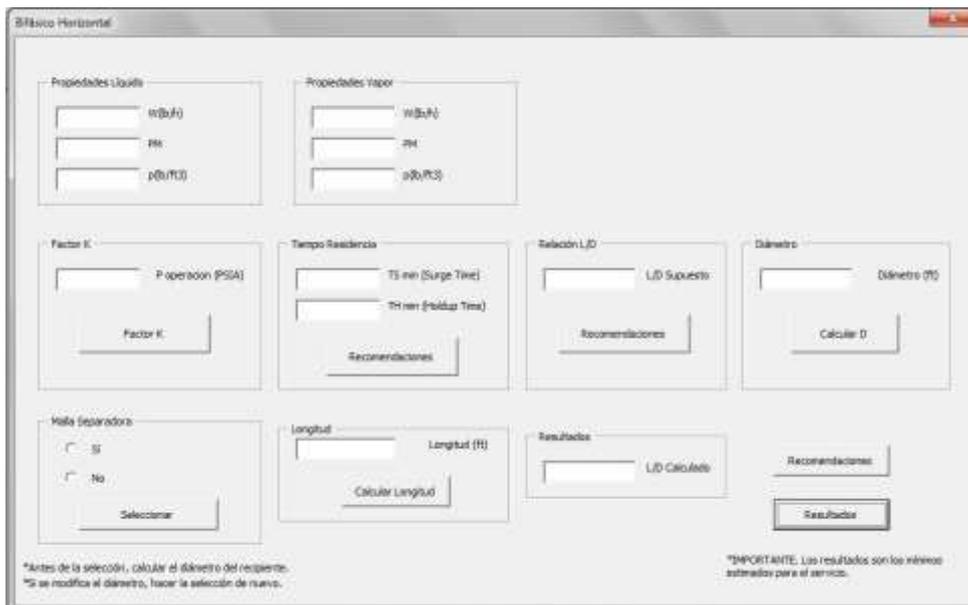


Fig. 6-9. Ventana de Trabajo para Recipiente Bifásico Horizontal.

La Fig. 6-9 es la ventana que paso a paso, sirve de guía para realizar el dimensionamiento. Se introducen los datos requeridos y se siguen las recomendaciones para completar el diseño.



Una vez que se introducen las propiedades requeridas, para el dimensionamiento de un recipiente bifásico horizontal, la primer recomendación es el cálculo del factor K. El factor K como se menciona en la sección 2.5.4, involucra la velocidad máxima permisible del vapor con el objetivo de no arrastrar gotas de líquido.

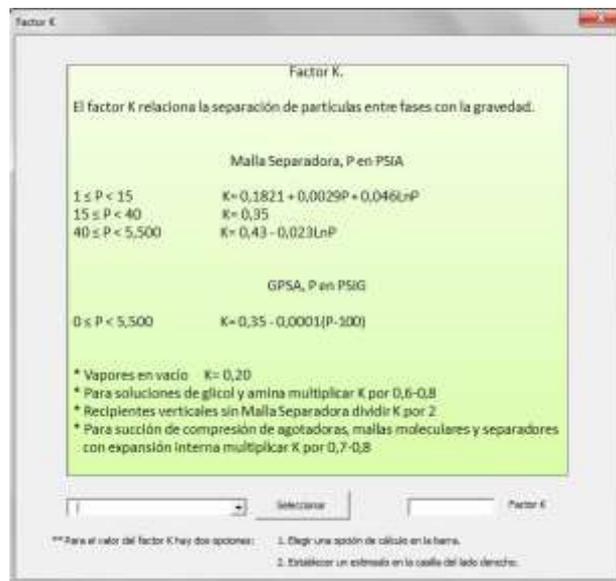


Fig. 6-10. Ventana de Cálculo para Factor K.

La segunda recomendación es para el tiempo de residencia, basado en el tiempo de retención (t_H) y tiempo de carga (t_s), como se establece en la sección 2.5.2.



Fig. 6-11. Ventana de Recomendaciones para Tiempo de Residencia.



Otra de las recomendaciones es la relación L/D, esta recomendación se hace con base en la presión de operación, como se aprecia en la sección 2.5.6.



Relación L/D (Longitud/Diámetro)

Presión Operación, PSIG	L/D Recomendado
$0 < P \leq 250$	1,5 – 3,0
$250 < P \leq 500$	3,0 – 4,0
$500 < P$	4,0 – 6,0

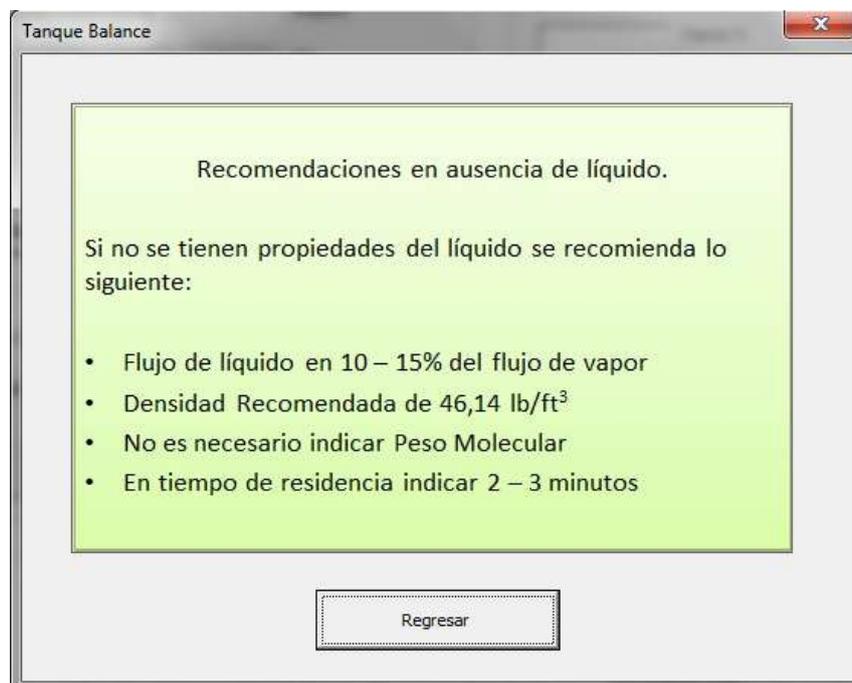
Regresar

Fig. 6-12. Ventana de Recomendaciones para Relación L/D.

Otras de las recomendaciones incluidas en la aplicación son:

- Para el dimensionamiento de un recipiente vertical:

En ausencia de líquido, se recomienda lo siguiente, como se indica en el capítulo 4:



Tanque Balance

Recomendaciones en ausencia de líquido.

Si no se tienen propiedades del líquido se recomienda lo siguiente:

- Flujo de líquido en 10 – 15% del flujo de vapor
- Densidad Recomendada de 46,14 lb/ft³
- No es necesario indicar Peso Molecular
- En tiempo de residencia indicar 2 – 3 minutos

Regresar

Fig. 6-13. Ventana de Recomendaciones para ausencia de Líquido.



La altura del nivel mínimo de líquido (H_{LLL}) se basa en el diámetro del recipiente, como se menciona en la sección 4.4:

Altura Mínima de Líquido

Nivel Mínimo de Líquido (H_{LLL})			
Diámetro Recipiente (ft)	H_{LLL} Vertical (in)		H_{LLL} Horizontal (in)
	< 300 PSIA	> 300 PSIA	
≤ 4	15	6	9
6	15	6	10
8	15	6	11
10	6	6	12
12	6	6	13
16	6	6	15

Regresar

Fig. 6-14. Ventana de Recomendaciones para nivel mínimo de líquido (H_{LLL}).

- Para un tanque de balance y un recipiente trifásico con bota:

El factor K_s involucra la separación por asentamiento de dos fases líquidas inmiscibles, como se menciona en la sección 2.5.3:

Recomendaciones Factor K_s

Factor K_s , separación Líquido - Líquido			
Líquido Ligero		Diámetro de gota (Micras)	K_s
Hidrocarburos	Agua o cáusticos		
Sg a 60 F < 0,85	Agua o cáusticos	127	0,333
Sg a 60 F > 0,85	Sulfuros	89	0,163
Agua	Agua	89	0,163
Metiletilcetona	Agua	89	0,163
Alcohol Sec-butílico	Agua	89	0,163
Metil isobutil cetona	Agua	89	0,163
Nonyl alcohol	Agua	89	0,162

Regresar

Fig. 6-15. Ventana de Recomendaciones para factor K_s

Por último, una vez que las dimensiones estimadas satisfacen los criterios del diseñador, los resultados son desplegados en una Hoja de Datos para el respectivo recipiente, en este caso, para un recipiente bifásico horizontal:

EjTesis.LogoFac. - Microsoft Excel

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

PROCESO PARA RECIPIENTES

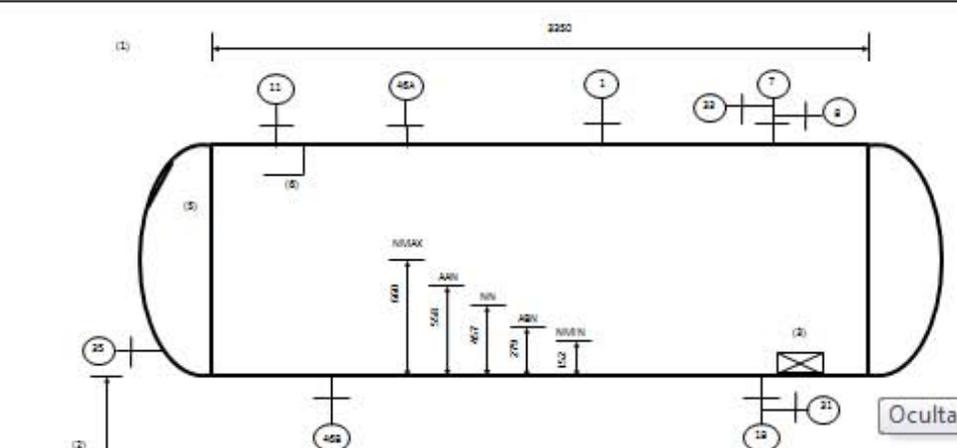
CLIENTE:	PROYECTO		
PLANTA:	HOJA	1	DE 1
LOCALIZACIÓN:	REQ. / O.C. No.		
CLAVE DEL EQUIPO:	No. DE UNIDADE UNA		
SERVICIO:	POSICIÓN HORIZONTAL		

Tipo de Fluido:	Líquido:	Flujo:	0.0 m ³ /h	Densidad:	989 kg/m ³	
	Vapor o Gas	Flujo:	1300 m ³ /h	Densidad:	2,604 kg/m ³	
Temperatura:	Operación:	°C	Máxima:	°C	Diseño:	°C
Presión:	Operación:	kg/cm ² man	Máxima:	kg/cm ² man	Diseño:	kg/cm ² man
Dimensiones:	Longitud:	333 mm	Diámetro:	610 mm	Cap. Total:	0.0 m ³ (T-T)
Nivel: H ₂ O/HC	Normal:	390 mm	Máximo:	549 mm	Mínimo:	153 mm
Alarmas: H ₂ O/HC	Alto nivel:	470 mm	Bajo Nivel:	252 mm	Nivel de Parc:	- mm
Materiales:	Cascarón:	-	Cabezas:	-	Malla Separadora	Espesor: - mm
Tipo Circular:	Diámetro:	- mm	Tipo Rectangular:	Longitud - mm	Ancho:	- mm
Corrosión Perm.:	Cascarón:	- mm	Cabezas:	- mm	Aislamiento	Recub. Int.:
Relevado de esfuerzos:	- stampado ASME					

BOQUILLAS			NOTAS:
No.	Cant.	D.N.	Servicio
1			Registro de hombre
7			Salida de vapor
8			Venteeo (en línea)
11			Alimentación
18			Salida de Líquido
31			Drene (en línea)
33	(4)		Válvula de seguridad (en línea)
35			Conexión de Servicio
46AB			Instrumentos de nivel

NOTAS:

- 1) Acotaciones en mm
- 2) Mínimo por tuberías
- 3) Rompedor de Vórtices. Estándar IMP
- 4) Por contratista del IPC
- 5) Placa de desgaste, en tapa de 2 veces el φ boquilla
- 6) De acuerdo a estándar del IMP



Ocultar espacio en blanco

Dimensión | Antoine | HojaDBHB | HojaDBV | Hoja |

Listo | Página: 1 de 1 | 40%

Fig. 6-16. Hoja de Datos para Recipiente Bifásico Horizontal.



6.3.2. Utilización de la Aplicación

El entorno gráfico del programa hace que sea de fácil manejo, sin embargo, se hacen las siguientes recomendaciones. Todos los recipientes, siguen el mismo patrón:

- Antes de iniciar leer las recomendaciones generales, posteriormente elegir el tipo de recipiente a dimensionar.
- Se introducen los datos requeridos de cada corriente, estos se guardan para realizar los cálculos necesarios. En todas las casillas se indican las unidades requeridas (Sistema Inglés).
- Una vez que se introducen las propiedades iniciales, se siguen las recomendaciones de izquierda a derecha hasta llegar al cálculo del diámetro, se recomienda redondear el diámetro calculado y es preciso realizar los cálculos siguientes con la corrección de diámetro.
- El siguiente paso es el cálculo de la longitud o altura del recipiente, de igual forma se recomienda redondear la longitud (altura) a tamaños comerciales (intervalos de 0.5 ft).
- Se pueden repetir los cálculos las veces que se requiera, sin embargo, es conveniente revisar las dependencias entre cálculos (capítulos 3, 4 y 5), para hacer las consideraciones necesarias. Por ejemplo, la selección de Malla Separadora involucra el diámetro del recipiente, entonces, si se cambia el diámetro del recipiente hay que seleccionar nuevamente la opción elegida para la Malla Separadora.
- Las casillas no están restringidas, es decir, en cualquier momento se pueden modificar los valores.
- La aplicación tiene programadas algunas advertencias, que pueden ser para verificar datos, hacer comprobaciones, recomendaciones o indicar errores.
- Una vez que el diseño es satisfactorio, para desplegar los resultados en una hoja de datos oprimir el botón Resultados. Al oprimir el botón se calculan los niveles de líquido y las alarmas de nivel, establecidos en el capítulo 2.



CAPÍTULO 7. VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN

El siguiente punto en el desarrollo de la herramienta construida es el proceso de validación, el cual corresponde a comprobar el correcto funcionamiento y demostrar su confiabilidad en los resultados.

7.1 Ejemplos desarrollados con la Aplicación

Los siguientes ejemplos corresponden a equipos reales, actualmente en operación. El dimensionamiento se realiza a partir de datos correspondientes al balance de materia.

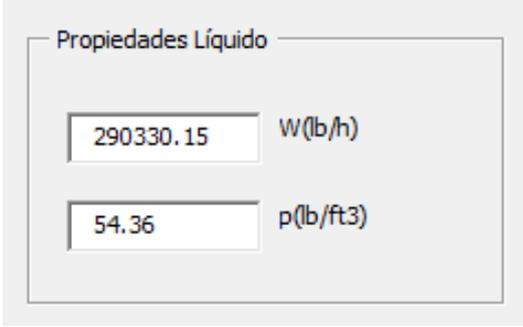
7.1.1 Acumulador de Carga

La corriente proveniente del límite de batería debe tener tiempo de residencia suficiente para asegurar un flujo continuo en el proceso, adicionalmente se integra una bota para captar trazas de contaminantes. Las condiciones de la corriente de entrada son:

Fase	Líquido Ligero	Líquido Pesado
Flujo (lb/h)	290,330.15	2,435.86
Densidad (lb/ft ³)	54.36	62.49
Presión (PSIA)	69.09	69.09
Temperatura (°F)	262.4	262.4

Tabla 7-1. Ejemplo Tanque de Balance.

De acuerdo con la Fig. 5-1 en el capítulo 5, si el líquido pesado es menor al 20% se recomienda un separador con bota. Se introducen los datos del líquido ligero:



Propiedades Líquido

290330.15 W(lb/h)

54.36 ρ(lb/ft³)

Fig. 7-1. Propiedades líquido ligero Tanque de Balance.



Se elige tiempo de residencia y relación L/D, de acuerdo a las recomendaciones establecidas en el Anexo A.

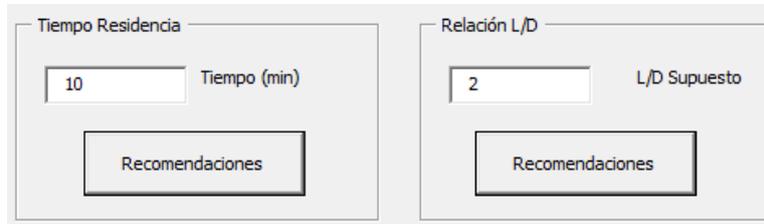


Fig. 7-2. Tiempo de residencia y relación L/D Tanque de Balance.

En primer lugar se calcula el diámetro, como se puede apreciar se hace la modificación a diámetro comercial, enseguida se calcula la longitud del recipiente, de igual forma se modifica a tamaños comerciales. Para dimensionar la bota seleccionar la opción tanque con Bota.

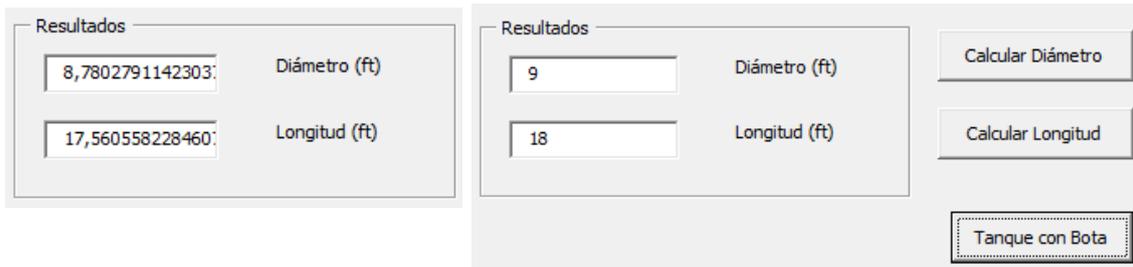
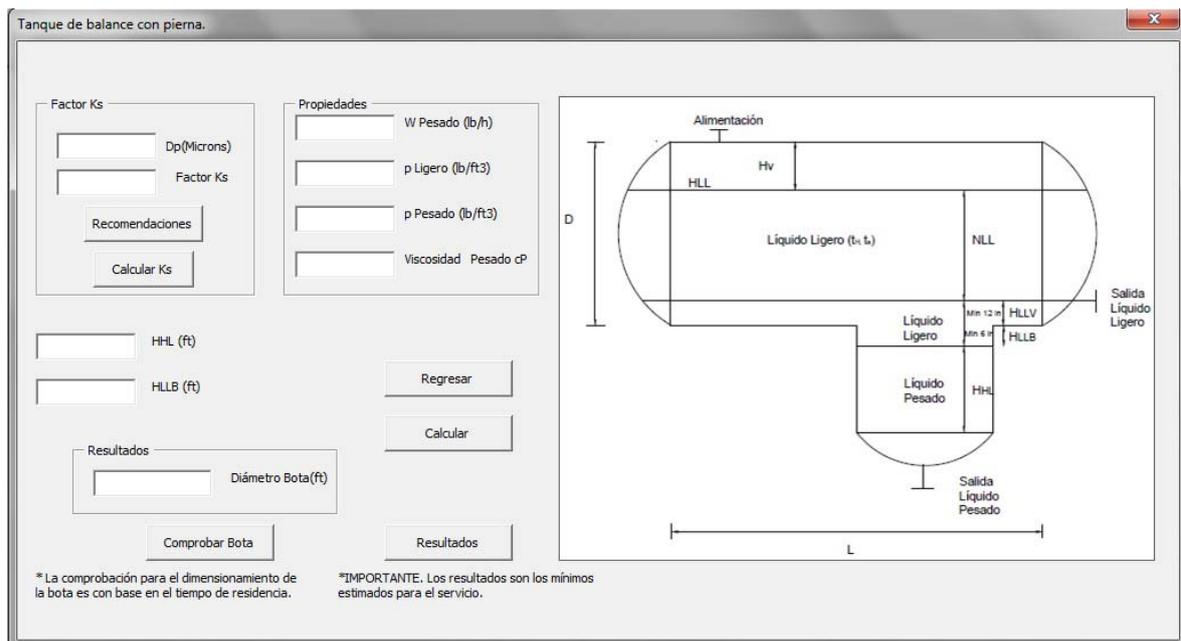


Fig. 7-3. Diámetro y Longitud del Tanque de Balance.

Se despliega la siguiente ventana:



* La comprobación para el dimensionamiento de la bota es con base en el tiempo de residencia.

*IMPORTANTE. Los resultados son los mínimos estimados para el servicio.

Fig. 7-4. Dimensionamiento de bota Tanque de Balance.



La primera consideración es el factor K_s , que involucra la separación de líquidos inmiscibles, con base en las recomendaciones se selecciona un aproximado.

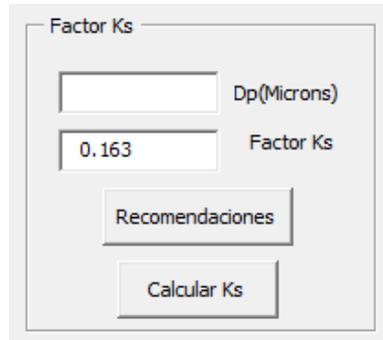


Fig. 7-5. Factor K_s Tanque de Balance.

NOTA: Si se ingresa el factor K_s no es necesario indicar el diámetro de partícula (D_p).

Indicar las propiedades requeridas:

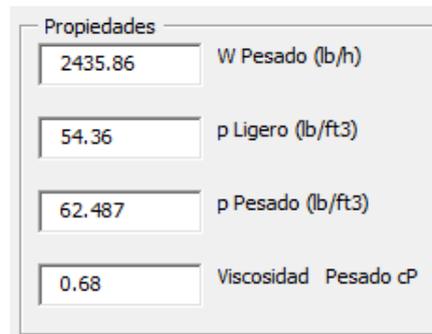


Fig. 7-6. Propiedades para dimensionamiento de bota en Tanque de Balance.

Indicar las alturas H_{HL} y H_{LLB} , se establecen 3 ft para H_{HL} y 0.5 ft para H_{LLB} , como se indica en la sección 3.3.



Fig. 7-7. Altura de la bota Tanque de Balance.

Se calcula el diámetro de la bota. Si se hace la comprobación con el diámetro calculado, se visualiza la siguiente recomendación:

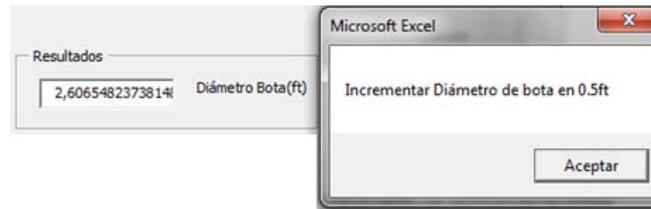


Fig. 7-8. Diámetro de bota Tanque de Balance.

Se hace la corrección a tamaños comerciales, 3 ft. Con una nueva comprobación no se indica la advertencia anterior. La Hoja de Datos se presenta en el Anexo B.

7.1.2 Separador Bifásico.

El siguiente equipo cubre el servicio de un separador caliente de alta presión. Las propiedades de líquido y vapor son las siguientes:

Fase	Líquido	Vapor
Flujo (lb/h)	282,010.1	37,790.72
Densidad (lb/ft³)	46.36	0.6303
Presión (PSIA)	1952.16	1952.16
Temperatura (°F)	554	554

Tabla 7-2. Ejemplo Separador Bifásico.

En primer lugar se establece la orientación del recipiente. De acuerdo con la sección 4.1, si el flujo de líquido es mayor a 20% se recomienda orientación horizontal, sin embargo, en ocasiones por experiencia o por criterios del diseñador la orientación puede ser diferente como en este ejemplo, es decir, se elige orientación vertical.

Una vez determinada la orientación del recipiente, se introducen las propiedades de líquido y vapor:

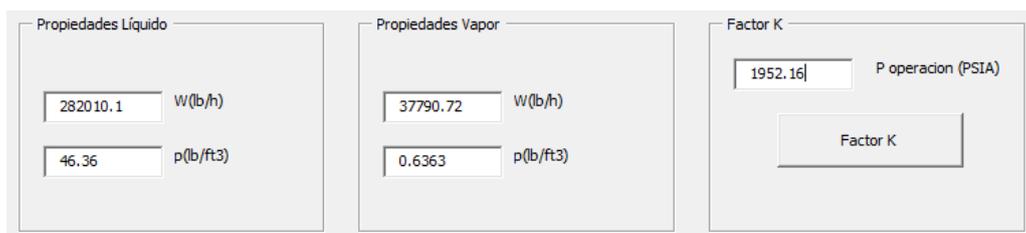
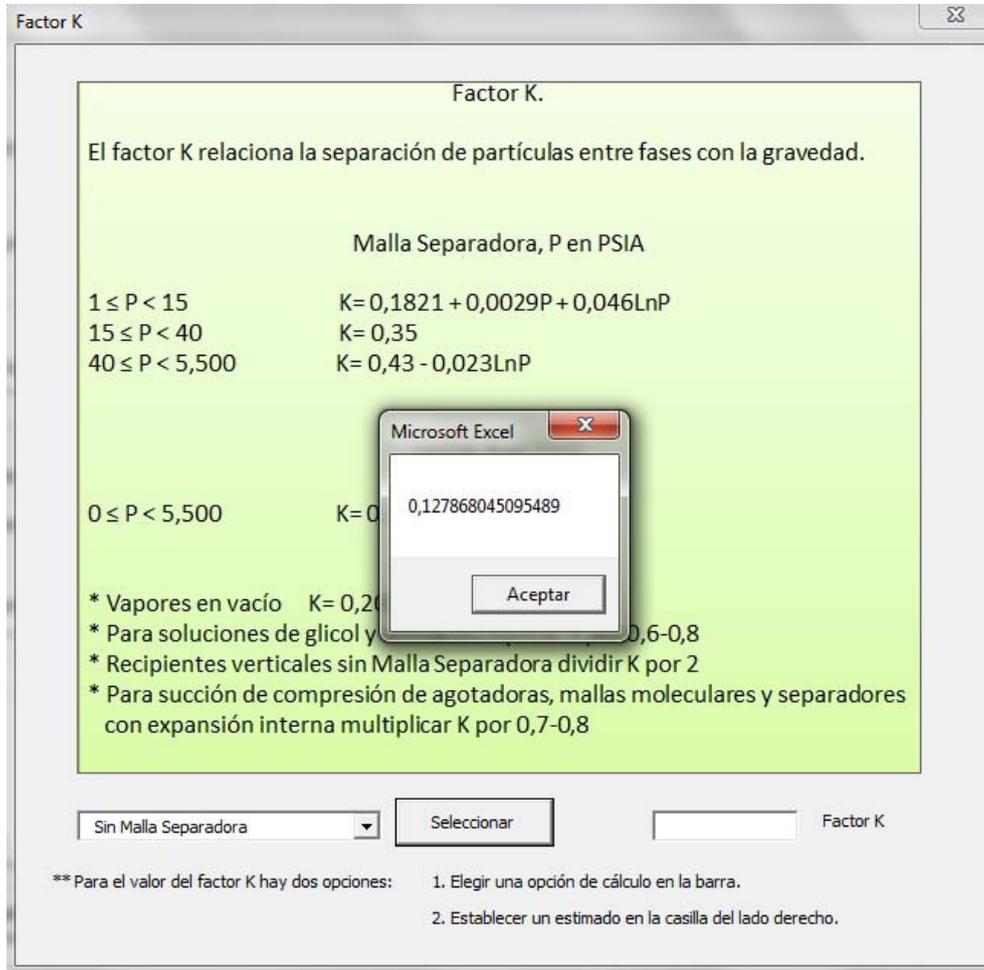


Fig. 7-9. Propiedades de líquido y vapor Recipiente Bifásico Vertical.



El siguiente paso es el cálculo del factor K, para este servicio no es necesario la presencia de malla separadora, por esta razón se selecciona la opción Sin Malla Separadora.



Factor K.

El factor K relaciona la separación de partículas entre fases con la gravedad.

Malla Separadora, P en PSIA

$1 \leq P < 15$	$K = 0,1821 + 0,0029P + 0,046 \ln P$
$15 \leq P < 40$	$K = 0,35$
$40 \leq P < 5,500$	$K = 0,43 - 0,023 \ln P$

$0 \leq P < 5,500$ $K = 0$

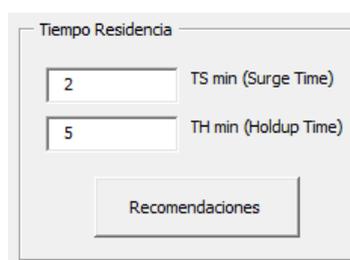
* Vapores en vacío $K = 0,2$
 * Para soluciones de glicol y $0,6-0,8$
 * Recipientes verticales sin Malla Separadora dividir K por 2
 * Para succión de compresión de agotadoras, mallas moleculares y separadores con expansión interna multiplicar K por $0,7-0,8$

Sin Malla Separadora Seleccionar Factor K

** Para el valor del factor K hay dos opciones:
 1. Elegir una opción de cálculo en la barra.
 2. Establecer un estimado en la casilla del lado derecho.

Fig. 7-10. Cálculo de Factor K Recipiente Bifásico.

El siguiente paso es establecer estimados para el tiempo de residencia:



Tiempo Residencia

2 TS min (Surge Time)

5 TH min (Holdup Time)

Recomendaciones

Fig. 7-11. Tiempo de Residencia Recipiente Bifásico.

Se calcula el diámetro del recipiente. En la siguiente figura se muestra una recomendación respecto a la malla separadora, como se planteó anteriormente



para este ejemplo no es necesaria, es decir, solo se redondea el resultado a un tamaño comercial 5.5 ft.

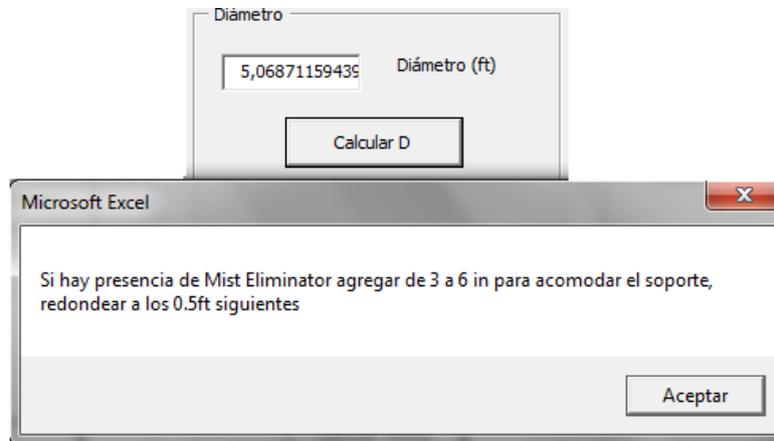


Fig. 7-12. Diámetro de Recipiente Bifásico Vertical.

Posteriormente con base en las recomendaciones integradas se elige la altura mínima de líquido (H_{LLL}). A la izquierda se observa la modificación en el diámetro.

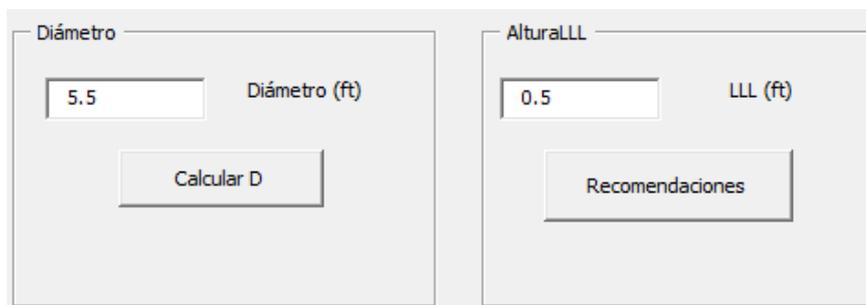


Fig. 7-13. Altura mínima de líquido Recipiente Bifásico.

Hay presencia de mampara pero no de malla separadora:

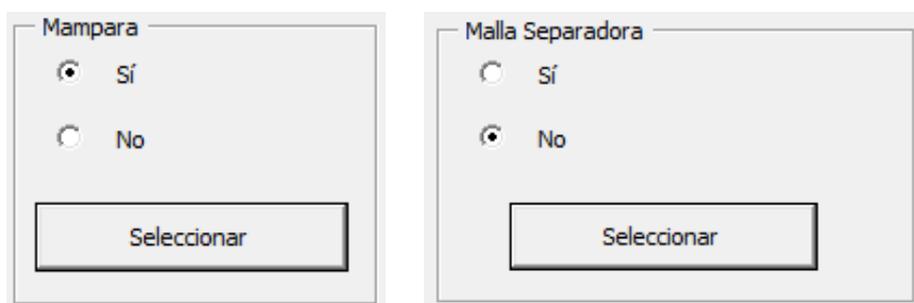


Fig. 7-14. Selección de Mampara y Malla Separadora Recipiente Bifásico.



Por último se calcula la altura del recipiente, sin embargo, se muestra la siguiente advertencia:



Fig. 7-15. Advertencia de relación L/D en un Recipiente Bifásico.

Esta advertencia se muestra hasta cumplir los criterios de L/D establecidos en la sección 4.3. De acuerdo con lo anterior, se establece el diámetro del recipiente en 6.5 ft y se repiten los pasos hasta el cálculo de la altura del recipiente. Los resultados finales son:

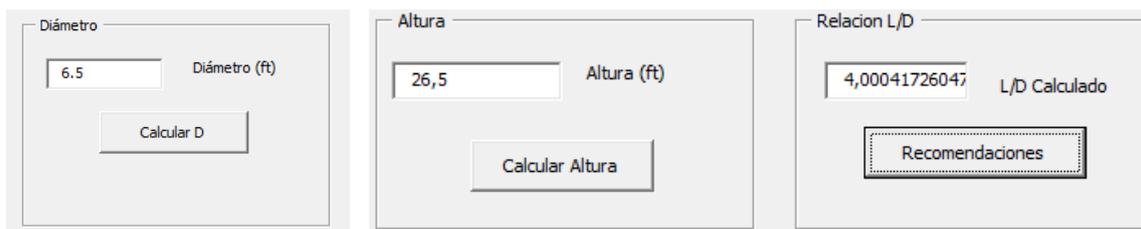


Fig. 7-16. Resultados Recipiente Bifásico.

La Hoja de Datos se puede observar en el Anexo B.

7.1.3 Tanque de Succión a Compresor.

El servicio del siguiente ejemplo es proveer de vapor libre de líquido a un compresor, para garantizar lo anterior se recomienda la presencia de malla separadora. Las propiedades de la corriente de alimentación son las siguientes:

	Vapor
Flujo (lb/h)	26,054.28
Densidad (lb/ft³)	0.7373
Presión (PSIA)	1899.2
Temperatura (°F)	131

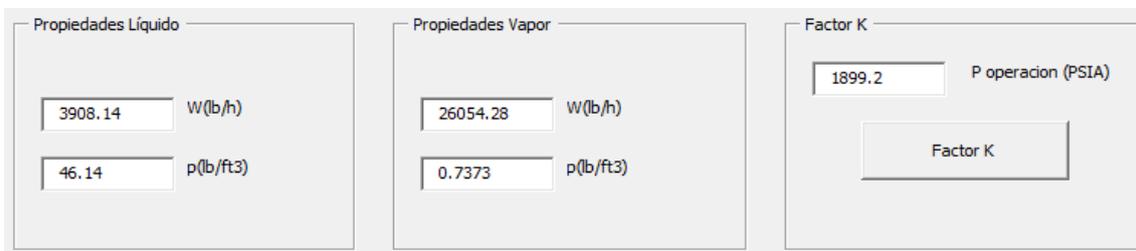
Tabla 7-3. Ejemplo Tanque de Succión.



De acuerdo con la sección 4.3, las recomendaciones en ausencia de líquido son:

1. Establecer el flujo de líquido como el 15% del flujo de vapor:
 $W_v = 0.15 * 26,054.28 \text{ lb/h} = 3,908.14 \text{ lb/h}$
2. Densidad recomendada $\rho_v = 46.14 \text{ lb/ft}^3$
3. Tiempo de residencia de 2-3 minutos

Se establece la presencia de líquido en 15%, por esta razón se elige orientación vertical de acuerdo con la sección 4.1. El siguiente paso es introducir los datos de la corriente líquida y la corriente de vapor:

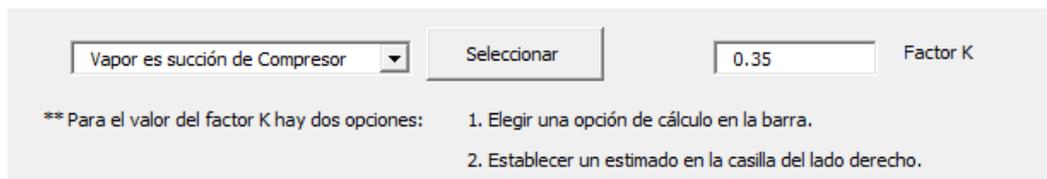


The screenshot shows three panels:

- Propiedades Líquido:** W(lb/h) = 3908.14, ρ (lb/ft³) = 46.14
- Propiedades Vapor:** W(lb/h) = 26054.28, ρ (lb/ft³) = 0.7373
- Factor K:** P operacion (PSIA) = 1899.2, Factor K = 0.35

Fig. 7-17. Propiedades de líquido y vapor Tanque de Succión.

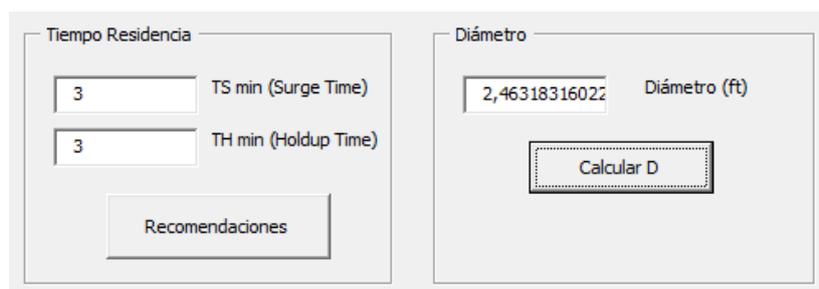
Se calcula el factor K. Se recomienda la opción Vapor es Succión de Compresor, sin embargo, como se mencionó anteriormente pueden seleccionarse otros criterios de acuerdo a la experiencia del diseñador. Se selecciona un factor de 0.35



The screenshot shows a dropdown menu with "Vapor es succión de Compresor" selected, a "Seleccionar" button, and a text box with "0.35" for Factor K. Below the interface, there is explanatory text: "** Para el valor del factor K hay dos opciones: 1. Elegir una opción de cálculo en la barra. 2. Establecer un estimado en la casilla del lado derecho."

Fig. 7-18. Factor K Tanque de Succión.

Se introducen los tiempos de residencia y se calcula el diámetro del recipiente. Se hace la misma recomendación que se observa en la Fig. 7-12.



The screenshot shows two panels:

- Tiempo Residencia:** TS min (Surge Time) = 3, TH min (Holdup Time) = 3. A "Recomendaciones" button is also present.
- Diámetro:** Diámetro (ft) = 2,46318316022. A "Calcular D" button is present.

Fig. 7-19. Tiempo de residencia y diámetro Tanque de Succión.



Se recomienda aumentar el diámetro para acomodar el soporte de la malla separadora, por lo tanto, se establece el diámetro del recipiente en 3 ft.

Enseguida se establece la altura del nivel mínimo de líquido (LLL), las recomendaciones son:

Diámetro Recipiente (ft)	Vertical LLL (in)		Horizontal LLL (in)
	<300psia	>300psia	
≤ 4	15	6	9
6	15	6	10
8	15	6	11
10	6	6	12
12	6	6	13
16	6	6	15

Fig. 7-20. Nivel mínimo de líquido Tanque de Succión.

De acuerdo con la tabla anterior, la altura (LLL) es de 6 in = 0.5 ft. También se puede observar la corrección en el diámetro en la Fig. 7-21.

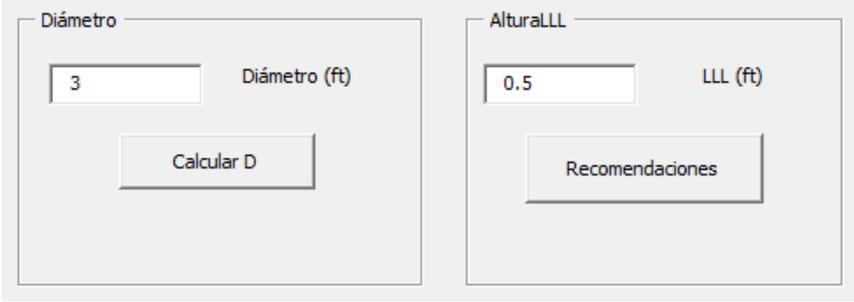


Fig. 7-21. Nivel mínimo de líquido Tanque de Succión.

No hay presencia de mampara, pero sí de malla separadora:



Fig. 7-22. Selección de Mampara y Malla Separadora.

Una vez establecido lo anterior se calcula la altura del recipiente:

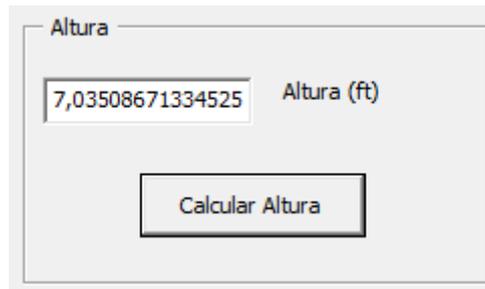



Fig. 7-23. Altura calculada del Tanque de Succión.

Se redondea el valor obtenido en 7.5 ft, como no hay advertencias en el Software se consideran como finales los valores estimados.

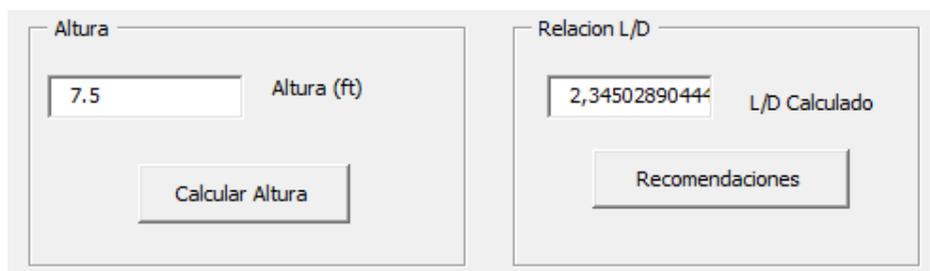


Fig. 7-24. Altura final Tanque de Succión.

La Hoja de Datos se puede observar en el Anexo B.

7.1.4 Separador Trifásico.

La corriente de entrada es un vapor que proviene de un separador caliente a alta presión, se requiere separar líquido y vapor, así como un posible contaminante de agua amarga. Las características de la corriente de alimentación son:

Fase	Líquido Ligero	Líquido Pesado	Vapor
Flujo (lb/h)	3347.04	36951.76	32723.92
Densidad (lb/ft ³)	48.736	60.342	0.9298
Presión (PSIA)	1905.12	1905.12	1905.12
Temperatura (°F)	120.2	120.2	120.2
Viscosidad (cp)	0.7	0.53	0.01

Tabla 7-4. Ejemplo Separador Trifásico.

La recomendación de la Fig. 5-1 en el capítulo 5 es un separador con bota. Se introducen las propiedades requeridas:



Líquido Ligero	Líquido Pesado	Vapor
<input type="text" value="3347.04"/> W(lb/h)	<input type="text" value="36951.76"/> W(lb/h)	<input type="text" value="32723.92"/> W(lb/h)
<input type="text" value="48.736"/> ρ (lb/ft ³)	<input type="text" value="60.342"/> ρ (lb/ft ³)	<input type="text" value="0.9298"/> ρ (lb/ft ³)
<input type="text" value="0.7"/> viscosidad cP	<input type="text" value="0.53"/> viscosidad cP	

Fig. 7-25. Propiedades de líquido y vapor Separador Trifásico.

Calcular los factores K y ks, se recomienda la presencia de Malla separadora:

Factor K	Factor Ks
<input type="text" value="1905.12"/> P (PSIA)	<input type="text"/> Dp(Microns)
<input type="text"/>	<input type="text" value="0.333"/> Factor Ks
<input type="button" value="Factor K"/>	<input type="button" value="Recomendaciones"/>
	<input type="button" value="Calcular Ks"/>

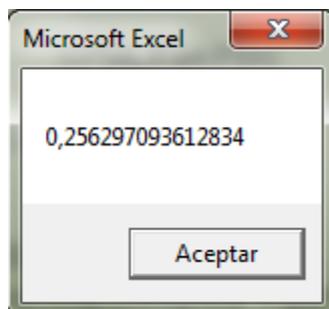


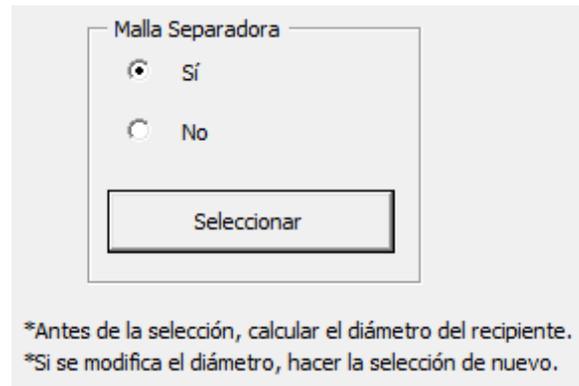
Fig. 7-26. Factor K y ks Separador Trifásico.

Seleccionar tiempos de residencia y la relación L/D:

Tiempo Residencia	Relacion L/D
<input type="text" value="10"/> TS (min)	<input type="text" value="5"/> L/D
<input type="text" value="15"/> TH (min)	<input type="button" value="Recomendaciones"/>
<input type="button" value="Recomendaciones"/>	

Fig. 7-27. Tiempo de residencia y relación L/D Separador Trifásico.

Como se mencionó anteriormente se recomienda Malla Separadora.



Malla Separadora

Sí

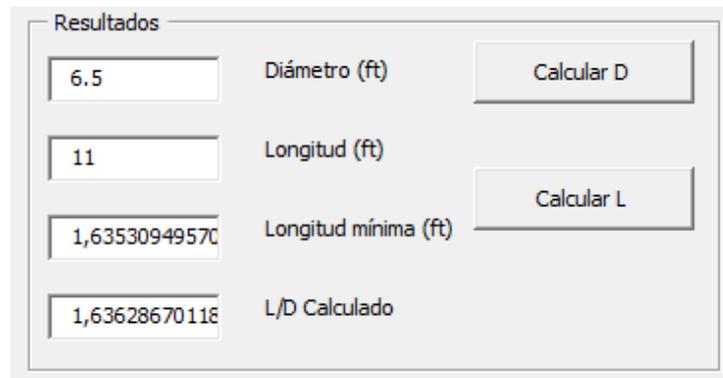
No

Seleccionar

*Antes de la selección, calcular el diámetro del recipiente.
*Si se modifica el diámetro, hacer la selección de nuevo.

Fig. 7-28. Selección de Malla Separadora Separador Trifásico.

Como en los ejemplos anteriores, se recomienda establecer diámetro y longitud en tamaños comerciales. Los resultados obtenidos son:



Resultados

6.5	Diámetro (ft)	Calcular D
11	Longitud (ft)	Calcular L
1,63530949570	Longitud mínima (ft)	
1,63628670118	L/D Calculado	

Fig. 7-29. Resultados Recipiente Trifásico.

La Hoja de Datos se puede observar en el Anexo B.



7.2. Comparación de los estimados vs. Recipiente Real

Como se estableció en la sección anterior el proceso de validación consiste en demostrar el buen funcionamiento de la herramienta desarrollada, así como, la confiabilidad en los resultados. Para lo anterior se desarrolla una tabla comparativa con las dimensiones estimadas y las dimensiones reales:

	Dimensiones Estimadas		Dimensiones Reales	
	Diámetro (ft)	Longitud (ft)	Diámetro (ft)	Longitud (ft)
Acumulador de carga	9	18	8,5	18,5
Separador Bifásico	6,5	26,5	6	27,5
Succión a Compresión	3	7,5	3	8,5
Separador Trifásico	6,5	11	7	11

Tabla 7-5. Comparación de Resultados.

En la tabla anterior, se puede observar que las dimensiones estimadas son similares respecto a los reales, los resultados difieren entre 0.5 ft y 1 ft. Estas diferencias pueden atribuirse a diversas situaciones, por mencionar algunas: criterios del diseñador, experiencia del diseñador, sobrediseño, etc.

Para el presente trabajo se desarrollaron cuatro ejemplos aleatorios. Sin embargo, se hicieron diversas pruebas de dimensionamiento con ejemplos reales para cada uno de los equipos incluidos en la Aplicación desarrollada.

Con base en lo anterior se demuestra el buen funcionamiento del Software y se considera que los resultados generados son confiables. Es importante mencionar que la herramienta desarrollada estima los valores mínimos para el recipiente.



CONCLUSIONES

El presente trabajo, tiene como finalidad, proporcionar información disponible en la literatura respecto al dimensionamiento de equipos de proceso, específicamente para Tanques de Balance, Separadores Bifásicos y Separadores Trifásicos. Se incluyen variables de diseño, internos de recipientes, aspectos mecánicos, normas aplicables, principios de separación, así como algoritmos de cálculo.

Lo anterior está incluido en la herramienta desarrollada, dicha herramienta es una aplicación de Excel, similar a un software, la cual busca unificar criterios y servir de guía para los usuarios, además de presentar los resultados en un mismo formato (Hoja de Datos). Como se comentó en capítulos anteriores en ocasiones por experiencia o por criterios del diseñador, se considera elegir opciones diferentes a las recomendaciones establecidas. Lo anterior es considerado por la aplicación porque cuenta con la flexibilidad de introducir diferentes criterios a los establecidos. Es importante aclarar, que este trabajo está enfocado en el aspecto hidráulico y no es objeto cubrir el diseño mecánico de los recipientes.

El proceso de validación indica que la herramienta funciona adecuadamente, es fácil de utilizar y los resultados son confiables, con la consideración de que los resultados son estimados que el diseñador deberá validar considerando aspectos de experiencia y flexibilidad operativa.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Petroleum Institute (API) 12j, *Specification for Oil and Gas Separators*, 2008.
2. API Standar 650, *Welded Steel Storage Tanks*, 10^o ed ,1998.
3. API Standar 653, *Tanks Inspection, Repair, Alterations and Reconstruction*, 3^a ed, 2001.
4. American Society of Mechanical Engineers (ASME), *Boiler and Pressure Vessel Code*, Secc. VIII Div. 1, 2010.
5. Becerra H., Abrajan R., *Diseño de Recipientes de Proceso*, 1985.
6. Bradley M., *Petroleum Engineering Handbook*, 1997.
7. León J.M., *Diseño y cálculo de recipientes a presión*, Ed. Inglesa, 2001.
8. Megyesy, E.F., *Manual de Recipientes a Presión. Diseño y Cálculo*, Ed. Limusa, 1^a ed, 1992.
9. Monnery W.D., Svrcek W.Y., *Design Two-Phase Separators within the Right Limits*, Chemical Engineering Progress, 1993.
10. Monnery W.D., Svrcek W.Y., *Successfully Three-Phase Separators*, Chemical Engineering Progress, 1994.
11. Moss, D.R., *Pressure vessel design manual*, Ed. Elsevier, 3^a ed, 2004.
12. Walkenbach J., *Excel 2003. Programación con VBA*, Ed. Anaya Multimedia, 2004.



GLOSARIO

Brida. Accesorio para acoplamiento de tuberías.

Corrosión. Es el ataque destructivo de un metal por su medio ambiente, el mecanismo del ataque puede ser una reacción química o electroquímica.

Eficiencia de soldadura. Valor numérico dado por el código o estándar correspondiente (grado de confiabilidad).

Esfuerzo permisible. Es el máximo esfuerzo al que puede ser sometido un material con cierto grado de seguridad para evitar deformaciones permanentes.

Forjadura. Proceso de fabricación que consiste en la deformación del material aplicando fuerzas de compresión en caliente o frío.

Interfase. Superficie de contacto entre dos fases.

Pontón. Es un casco de acero o plástico usado como soporte para flotar.

Recipiente. Depósito cerrado que aloja un fluido a presión manométrica.

Soldadura por arco eléctrico sumergido. Se caracteriza por la creación y mantenimiento de un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza a soldar, induciendo una diferencia de potencial, la zona fundida y la zona del arco están protegidos de la contaminación por estar sumergida bajo un flujo granular (elementos antioxidantes).

Tanque. Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presiones relativamente bajas.

Vacío. Falta de contenido en el interior de un recipiente.



NOMENCLATURA

A_T =área transversal, ft^2	H_W =altura mampara, ft
A_L =área de la fase ligera, ft^2	H_T =altura tangente-tangente del recipiente, ft
A_V =área vapor, ft^2	H_H =altura del volumen de drenado, ft
A_{LV} =área líquido-vapor, ft^2	H_S =altura del volumen de carga, ft
A_H =área fase pesada, ft^2	H_V =altura vapor, ft
A_D =área seccional de la bajante, ft^2	H_{LIN} =altura del nivel máximo de líquido a el centro de la boquilla de alimentación, ft
A_{HL} =área nivel máximo de líquido, ft^2	K_s =constante de velocidad terminal, ft/s
A_{LL} =área nivel bajo de líquido, ft^2	LLL =nivel mínimo de líquido
A_{LLL} =área nivel mínimo de líquido, ft^2	L =longitud, ft
D =diámetro, ft	L_{MIN} =longitud mínima, ft
D_B =diámetro de la bota, ft	μ =viscosidad de fase continua, cp
D_p =diámetro de la partícula, micras	μ_L =viscosidad de fase ligera, cp
d_N =diámetro de boquilla, ft	μ_H =viscosidad de fase pesada, cp
ρ_L =densidad líquido, lb/ft^3	NLL =nivel normal de líquido
ρ_{LL} =densidad líquido ligero, lb/ft^3	P =presión en psia, psig o psi
ρ_{HL} =densidad líquido pesado, lb/ft^3	Q_{LL} =flujo volumétrico fase ligera, ft^3/min
ρ_V =densidad vapor, lb/ft^3	Q_{HL} =flujo volumétrico fase pesada, ft^3/min
G =flujo descendente permisible	Q_V =flujo volumétrico fase vapor, ft^3/min
HLL =nivel máximo de líquido	T =temperatura en $^{\circ}C$ o $^{\circ}F$
H_{LLL} =altura nivel mínimo de líquido, ft	Θ_R =tiempo de residencia, min
H_{HLL} =altura nivel máximo de líquido, ft	t_H =tiempo de retención, min
H_{NLL} =altura nivel normal de líquido, ft	t_S =tiempo de carga, min
H_{HL} =altura líquido pesado, ft	t_{HL} =tiempo de sedimentación fase ligera, min
H_{LL} =altura líquido ligero, ft	
H_L =altura de la interfase líquida a la boquilla de líquido ligero, ft	
H_R = altura de la boquilla de líquido ligero a la mampara, ft	



t_{LH} = tiempo de ascenso fase pesada ,
min

φ = tiempo de caída del líquido, s

U_T = velocidad de asentamiento, ft/s

U_{HL} = velocidad de asentamiento fase
ligera, ft/s

U_{LH} = velocidad de asentamiento fase
pesada, ft/s

U_V = velocidad de vapor, ft/s

U_B = velocidad de asentamiento bota,
ft/s

V_H = volumen de retención, ft³

V_S = volumen de carga, ft³

V_{HH} = volumen de asentamiento fase
pesada, ft³

V_{HL} = volumen de asentamiento fase
ligera, ft³

W_V = flujo másico vapor, lb/h

W_{LL} = flujo másico líquido ligero, lb/h

W_{HL} = flujo másico líquido ligero, lb/h

ANEXO A

TABLA 1-7. TIEMPOS DE RESIDENCIA POR SERVICIO

Servicio	Ør (min)
TANQUE DE BALANCE	
Recibe alimentación de otra unidad ligada a un cuarto de control separado para alimentar a una unidad de proceso dada.	20
Igual que el anterior, recibe alimentación de una unidad ligada al mismo cuarto de control.	15
Alimenta una unidad de proceso, recibe líquido de L.B.	15
Alimenta a una torre ligada a un cuarto de control separado.	12
Alimentación a una torre ligada al mismo cuarto de control.	8
Alimenta a un horno.	20
Alimenta un rehervidor a fuego directo.	5
Alimenta a Reactor.	25
Alimenta a otro tanque fuera de L.B. o a un tanque de alimentación para otra unidad (flujo por gravedad).	3
Igual que el anterior, pero el líquido se bombea desde el tanque de balance.	5
Alimenta un tanque fuera de L.B. o a otro tanque de alimentación, a través de un cambiador de calor.	5
TANQUE DE REFLUJO	
Acumulador de reflujo.	5
Acumulador de reflujo y se envía producto a almacenamiento.	2 – 5
El producto alimenta a un intercambiador de calor.	5
El producto alimenta a una torre.	15
SEPARADORES LÍQUIDO – VAPOR	
Recipiente entre una unidad de alta y otra de baja presión.	4
Tanque separador de arrastre que alimenta a compresor de refrigeración. Tanque a la presión mayor.	15
Tanque separador de arrastre que alimenta a compresor de refrigeración. Tanque inter-etapa.	3
Tanque separador de arrastre que alimenta a compresor de proceso.	10
Tanque separador de arrastre que alimenta una etapa de compresión alta o un tanque de balance.	5
El líquido se bombea a otra unidad.	3 - 5

TABLA 1-8. TIEMPO DE RETENCIÓN (t_H) Y TIEMPO DE CARGA (t_S).

Servicio	Holdup Time (min)	Surge Time (min)
A. Alimentación de Bateria	10	5
B. Separadores		
1. Alimentación a columna	5	3
2. Alimentación a tanque o recipiente		
a) Con bomba o a través de intercambiador	5	2
b) Sin bomba	2	1
3. Alimentación a cambiador	10	3
C. Reflujo o Acumulador		
1. Solo reflujo	3	2
2. Reflujo y producto	3+(B1,B2,B3)	2+(B1,B2,B3)
D. Fondo de Columna		
1. Alimentación a otra columna	5	2
2. Alimentación a tanque o recipiente		
a) Con bomba a través de intercambiador	5	2
b) Sin bomba	2	1
3. Alimentación a reboiler	5-8+(D1,D2)	2-4+(D1,D2)

TABLA 1-9. VALORES TÍPICOS DE K_s EN LA SEPARACIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO.

Líquido Ligero	Líquido Pesado	Diámetro de gota mínimo (micras)	K_s
Hidrocarburos			
Sg a 60 °F < 0.85	Agua o cáusticos	127	0.333
Sg a 60 °F > 0.85	Agua o cáusticos	89	0.163
Agua	Sulfuros	89	0.163
Metil etil cetona	Agua	89	0.163
Alcohol Sec-butilico	Agua	89	0.163
Metil isobutil cetona	Agua	89	0.163

Nonyl Alcohol	Agua	89	0.162
---------------	------	----	-------

TABLA 1-10. CALCULO DE K PARA LA ECUACIÓN DE SOUDERS-BROWN.

Factor K	
Malla separadora, P en PSIA	
1 ≤ P < 15	K = 0.1821 – 0.0029P + 0.0460lnP
15 ≤ P < 40	K = 0.35
40 ≤ P < 150	K = 0.43 – 0.023lnP
Gas Processors Suppliers Asociation (GPSA), P en PSIG	
0 ≤ P < 5.500	K = 0.35 – 0.0001(P-100)
<ul style="list-style-type: none"> • Vapores al vacío K = 0.20 • Para soluciones de glicol y amina multiplicar K por 0.6 - 0.8 • Recipientes verticales sin malla separadora dividir K entre 2 • Para succión de compresión de agotadoras, mallas moleculares y separadores con expansión interna multiplicar K por 0.7 – 0.8 	
Sin Malla separadora (Teórico)	
$K = \sqrt{\frac{4 * g_c * D_p}{3 * C_D}}$	
$C_D = \exp(Y)$	
$Y = 8.411 - 2.243X + 0.273X^2 - 1.865 * 10^{-2}X^3 + 5.201 * 10^{-4}X^4$	
$X = \ln\left(\frac{0.95 * 10^3 \rho_v D_p^3 (\rho_L - \rho_v)}{H_v^2}\right)$	
Dp en ft ; 1 micra = 3.28084 * 10 ⁻⁶ ft	

TABLA 1-11. RELACIÓN L/D.

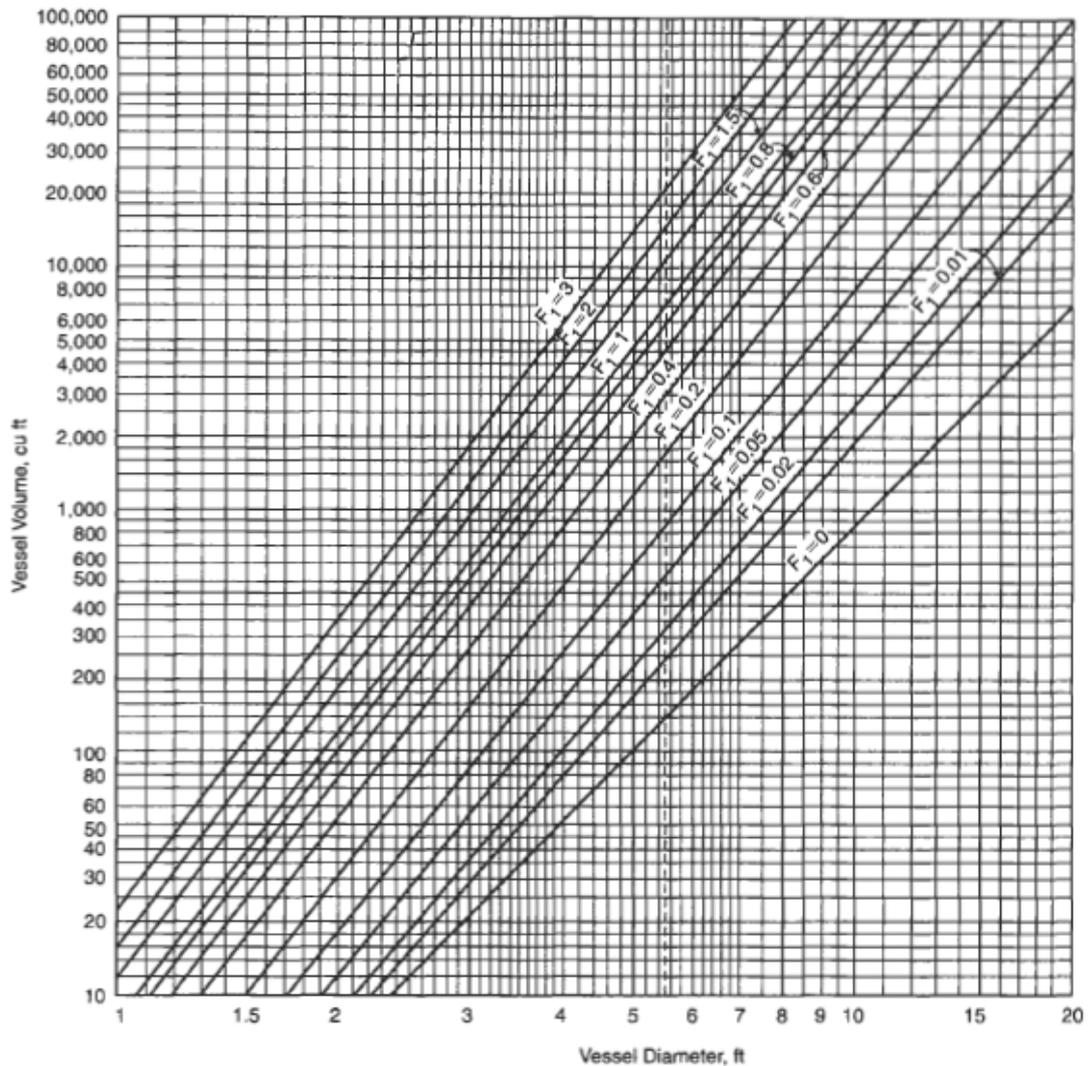
Presión de Operación, PSIG	L/D
1 < P ≤ 250	1.5 – 3.0
250 < P ≤ 500	3.0 – 4.0
500 < P	4.0 – 6.0

** RELACIÓN L/D ÓPTIMO.

Es posible obtener un valor óptimo de L/D, se obtiene el factor F1, utilizando F1 y el volumen del recipiente se determina el diámetro del recipiente a partir del siguiente diagrama. Para mayor información consultar la Ref. (11).

$$F1 = \frac{P}{CSE}$$

P=Presión interna en PSIG, C=Margen de corrosión en in, S=esfuerzo permitido en PSI, E=eficiencia de la junta



(A partir de K. Abakians, Hydrocarbon Processing and Petroleum Refiner, June 1963).

TABLA 1-12. NIVEL MÍNIMO DE LÍQUIDO.

Diámetro Recipiente (ft)	Vertical LLL (in)		Horizontal LLL (in)
	<300psia	>300psia	
≤ 4	15	6	9
6	15	6	10
8	15	6	11
10	6	6	12
12	6	6	13
16	6	6	15

TABLA 1-13. OBTENCIÓN DE ÁREA SECCIONAL.

Para pasar de H/D a Ai/A _T	
$Y = \frac{a + cX + eX^2 + gX^3 + iX^4}{1.0 + bX + dX^2 + fX^3 + hX^4}$	
Dónde:	
Y=Ai/A _T	X=H/D
Constantes:	
a=	-4,755930E-05
b=	3,924091
c=	0,174875
d=	-6,358805
e=	5,668973
f=	4,018448
g=	-4,916411
h=	-1,801705
i=	-0,145348

ANEXO B

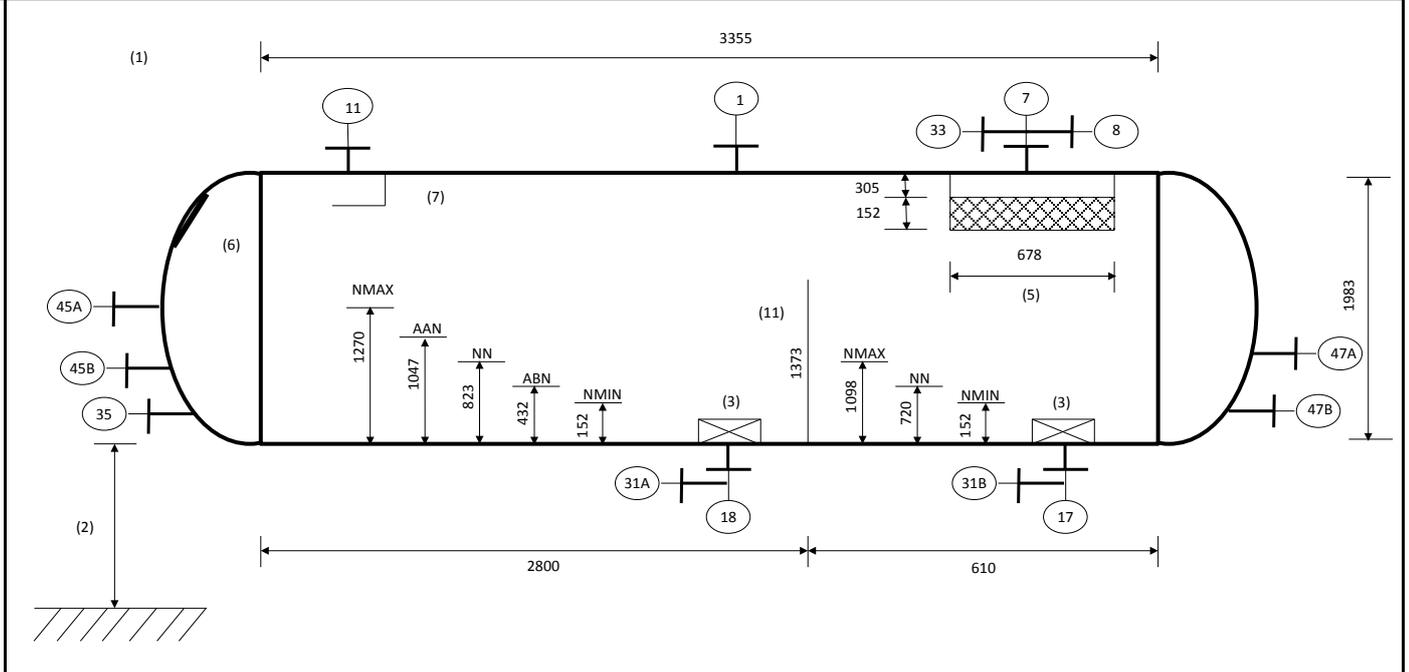
EJEMPLO 4. HOJA DE DATOS SEPARADOR TRIFÁSICO CON MAMPARA.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA</p>	HOJAS DE DATOS DE PROCESO PARA RECIPIENTES	
---	---	--

CLIENTE:	PROYECTO: TESIS
PLANTA:	HOJA 1 DE 1
LOCALIZACIÓN:	
CLAVE DEL EQUIPO: FA-104	REQ. / O.C. No.
SERVICIO: SEPARADOR FRÍO DE ALTA PRESIÓN	No. DE UNIDADES UNA
	POSICIÓN HORIZONTAL

Tipo de Fluido:	Líquido: HC/H2O	Flujo: 1,95/17,35 m ³ /h	Densidad: 781/967 kg/m ³
	Vapor o Gas: HIDRÓGENO Y LIGEROS	Flujo: 997,365 m ³ /h	Densidad: 14,900 kg/m ³
Temperatura:	Operación: 49 °C	Máxima: 49 °C	Diseño: 64 °C
Presión:	Operación: 1905,12 kg/cm ² man	Máxima: 1905,12 kg/cm ² man	Diseño: 2095,6 kg/cm ² man
Dimensiones:	Longitud: 3.355 mm	Diámetro: 1.983 mm	Cap. Total: 10,4 m ³ (T-T)
Nivel:	Normal: 823/720 mm	Máximo: 1270/1098 mm	Mínimo: 152 mm
Alarmas:	Alto nivel: 1047 mm	Bajo Nivel: 432 mm	Nivel de Paro: - mm
Materiales:	Cascarón: SA-516-70	Cabezas: SA-516-70	Malla Separadora: Espesor: 152 mm Material: (8)
Tipo Circular:	Diámetro: - mm	Tipo Rectangular: Longitud: (8) mm Ancho: 152 mm	
Corrosión Perm.:	Cascarón: - mm	Cabezas: - mm	Aislamiento: - Recub. Int.: -
Relevado de esfuerzos:	-	Estampado ASME: -	-

BOQUILLAS				NOTAS:
No.	Cant.	D.N.	Servicio	
1	1	610	Registro de hombre	1) Acotaciones en mm
7	1	(4)	Salida de gas	2) Altura mínima por NPSH de Bomba
8	1	25	Venteo (en línea)	3) Rompedor de Vórtices
11	1	(4)	Alimentación	4) Por departamento de tuberías
17	1	(4)	Salida de Líquido Ligero	5) Malla Separadora
18	1	(4)	Salida de Líquido Pesado	6) Placa de desgaste en tapa, 2 veces el φ de boquilla
31AB	2	51	Drene (en línea)	7) Deflector de alimentación
33	1	(8)	Válvula de Seguridad (en línea)	8) Por contratista IPC
35	1	51	Conexión de Servicio	
45AB	2	51	Instrumentos de Nivel Fase Pesada	
47AB	2	51	Instrumentos de Nivel Fase Ligera	



Revisión	0	1	2	3	4	5	6
Fecha	26-ago-13						
Elaborado por	JALL						
Aprobado por							
Rev. Dis. Mecánico							