

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES DE PRODUCCIÓN Y PRUEBA
PARA EL CAMPO MARK 2 MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO HALF FULL”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEOS

Israel Hadnán Palma Salcedo

William David Oña Gonza

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento
Al **Master Fidel Chuchuca**, docente
de la FICT y amigo quien como
profesor nos enseñó más allá de lo
académico brindando consejos que
nos sirvieron para la elaboración de
este logro.

A los MASTER **ROMMEL ERAZO**,
KENNY ESCOBAR, **ALBERTO**
GALARZA, quienes nos formaron
como profesionales con mucha
dedicación y respeto.

DEDICATORIA

Esta meta alcanzada se la dedico enteramente a mis amados padres, **CARMEN** y **PEDRO**, quienes fueron fuente de apoyo inquebrantable durante estos años de lucha y superación.

A todos mis familiares, profesores y amigos, quienes en el transcurso de este viaje, me ayudaron de una u otra manera cuando lo necesité.

A mis grandes amigos de la carrera, con quienes compartí experiencias y momentos inolvidables.

A mi compañero de tesis **WILLIAM OÑA**, y en especial a **LUIS GONZÁLES**, guía en este proceso.

Israel Hadnán Palma Salcedo

DEDICATORIA

A DIOS por confiar en este humilde servidor.

A mis queridos padres **JUANITO** y **ROSITA** por el amor, y consejos que sembraron en mi ser; permitiéndome sobrellevar con humildad los grandes desafíos de la vida. A mis hermanos **DANNY** y **CESAR**, que son mi esperanza y los grandiosos pilares que fortalecieron en mi vida.

Al apoyo incondicional de **SANDRINE, MAMOU Y MARINE** que me abrieron muchas puertas de

oportunidades y ambición de superación.

A mi compañero **ISRAEL PALMA** que con su apoyo sacamos este proyecto adelante.

William David Oña Gonza.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Fidel Chuchuca Aguilar
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

MSc. Kenny Escobar Segovia
PROFESOR EVALUADOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Israel Hadnán Palma Salcedo

William David Oña Gonza

RESUMEN

El presente informe de proyecto integrador trata acerca del “Dimensionamiento de Separadores de Producción y Prueba para el Campo Mark 2 mediante el uso del Método Half Full”.

Se establece todo el marco teórico acerca de los componentes, funciones y requisitos de diseño de los separadores, así como las características del campo y del fluido con el que se va a trabajar, brindando información clara y puntual acerca de cada tópico. Para diseñar las facilidades de producción, debe considerarse la estrecha relación que existe entre la calidad y cantidad de los fluidos que se estiman producir; no es igual producir sólo gas en volúmenes considerables y con una alta presión, que petróleo con bajo GOR y alto corte de agua. Los sistemas descritos requieren distintos elementos, equipos, dimensiones y condiciones generales para el diseño final de la facilidad.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se explica la teoría de dimensionamiento a utilizar para realizar el utilitario en la plataforma Excel, desde las teorías de dimensionamiento y restricciones a considerar en el proceso, hasta el proceso de dimensionamiento a seguir para dimensionar separadores tanto bifásicos como trifásicos.

La acción que se realiza con mayor frecuencia en un manifold es usualmente dirigir un pozo en particular hacia un Separador de prueba con la finalidad de

determinar su producción, proceso que se lleva a cabo por elementos y equipos de medición, entre otros componentes, instaladas dentro del separador.

Para poder dimensionar dicho separador, incluyendo también el separador de Producción, a continuación se muestra el proceso de elaboración del utilitario en la plataforma Excel, desde el ingreso de datos hasta la implementación de las ecuaciones respectivas en el programa.

En el capítulo final se presentan los resultados finales de diseño obtenidos a partir del utilitario elaborado en la plataforma Excel, de acuerdo a las consideraciones y ecuaciones establecidas en el capítulo 2. Se presentan resultados tanto para el campo Mark 2, como para otro campo distinto.

Se finaliza el informe con las Conclusiones y Recomendaciones del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| RESUMEN | I |
| ÍNDICE GENERAL..... | II |
| ABREVIATURAS | III |
| SIMBOLOGÍA | IV |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | V |
| INDICE DE TABLAS | VI |
| INTRODUCCIÓN | VII |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL..... | 1 |
| 1.1 Introducción a separadores cilíndricos..... | 1 |
| 1.2 Definiciones | 1 |
| 1.2.1 Separador..... | 1 |
| 1.2.2 Secciones del separador | 3 |
| 1.2.3 Funciones de un Separador | 5 |
| 1.2.4 Requisitos necesarios para dimensionar un separador | 5 |
| 1.2.5 Separador horizontal..... | 6 |
| 1.2.6 Componentes de un separador..... | 7 |
| 1.2.7 Ventajas y Desventajas de un Separador..... | 11 |
| 1.3 Características del fluido | 12 |
| 1.4 Características del campo | 14 |
| CAPÍTULO 2..... | 18 |
| 2. TEORÍA DE DIMENSIONAMIENTO PARA SEPARADORES BIFÁSICOS Y TRIFÁSICOS HORIZONTALES (HALF FULL)..... | 18 |
| 2.1 Teoría de dimensionamiento | 18 |
| 2.1.1 Tamaño de la Gota | 21 |
| 2.1.2 Tiempo de Retención | 21 |
| 2.1.3 Diseño de separador horizontal HALF FULL | 22 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| 2.1.4 | Restricción de capacidad de gas | 23 |
| 2.1.5 | Restricción de capacidad de liquido | 24 |
| 2.1.6 | Longitud de costura-costura | 24 |
| 2.1.7 | Relación de Esbeltez..... | 26 |
| 2.2 | Proceso de dimensionamiento de separador HALF FULL..... | 26 |
| 2.3 | Separador horizontal trifásico (producción)..... | 28 |
| 2.3.1 | Teoría de dimensionamiento | 28 |
| 2.3.2 | Dimensionamiento de separador trifásico horizontal HALF FULL..... | 31 |
| 2.3.3 | Restricción de la capacidad de gas | 32 |
| 2.3.4 | Restricción del tiempo de retención | 33 |
| 2.3.5 | Asentamiento de las gotas de agua desde la fase de petróleo | 33 |
| 2.3.6 | Separador de gotas de petróleo de la fase de agua | 35 |
| 2.3.7 | Longitud de costura-costura | 36 |
| 2.3.8 | Relación de Esbeltez..... | 37 |
| 2.4 | Proceso de Dimensionamiento de Separador Trifásico Horizontal-HALF FULL | 37 |
| CAPÍTULO 3..... | | 39 |
| 3. | ELABORACIÓN DEL MÉTODO HALF-FULL EN LA PLATAFORMA EXCEL..... | 39 |
| 3.1 | Introducción..... | 39 |
| 3.2 | Utilitario de dimensionamiento de separador bifásico horizontal (prueba) | 40 |
| 3.3 | Utilitario de dimensionamiento de separador trifásico horizontal (producción)..... | 44 |
| CAPÍTULO 4..... | | 48 |
| 4. | DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES DE PRUEBA Y PRODUCCION MEDIANTE EL UTILITARIO EN LA PLATAFORMA EXCEL. 48 | |
| 4.1 | Introducción..... | 48 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.2 | Consideraciones y Proyecciones | 48 |
| 4.3 | Proceso de Dimensionamiento y Selección de Equipo | 50 |
| 4.4 | Uso del Utilitario en un Escenario Distinto | 57 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 63 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 67 |

ABREVIATURAS

| | |
|------------------|------------------------------|
| Lbm | libra masa |
| Ft | Pies |
| BFPD | Barriles de fluido por día |
| BPPD | Barriles de petróleo por día |
| BAPD | Barriles de agua por día |
| SCFD | Standard Cubic Feet/Day |
| Psia | Libras por pulgada cuadrada |
| ° F | Grados Fahrenheit |
| Lb | Libras |
| lb _f | Libras fuerza |
| seg ² | Segundos al cuadrado |
| μm | Micrómetro |
| cp | Centipoise |
| ln | Pulgadas |
| R° | Grados rankine |

PVT Presión Volumen Temperatura

STB Stock Tank Barrels

SIMBOLOGÍA

| | |
|-------------|--|
| t_r | Tiempo de retención de líquido deseado |
| Q_l | Caudal de flujo de líquido |
| F_D | Fuerza de arrastre |
| C_D | Coficiente de arrastre |
| A_d | Área transversal de la gota |
| ρ | Densidad de la fase continua |
| V_t | Velocidad terminal de asentamiento de la gota |
| g | Constante gravitacional |
| Re | Número de Reynolds |
| ΔSG | Diferencia en gravedad específica relativa al agua de la gota y el gas |
| d_m | Diámetro de la gota |
| μ | Viscosidad del gas |
| ρ_l | Densidad del líquido |
| ρ_g | Densidad del gas |
| d | Diámetro interno del recipiente |

| | |
|-----------|---|
| L_{eff} | Longitud efectiva del recipiente donde ocurre la separación |
| T | Temperatura de operación |
| Q_g | Caudal de gas |
| P | Presión de operación |
| Z | Compresibilidad de gas |
| t_r | Tiempo de retención de líquido deseado |
| Q_l | Caudal de flujo de líquido |
| Q_w | Caudal de agua |
| Q_o | Caudal de petróleo |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Secciones de un Separador..... | 4 |
| Figura 2 Componentes del Separador, | 7 |
| Figura 3 Desviador tipo Ciclón | 8 |
| Figura 4 Platina Desviadora..... | 8 |
| Figura 5 Platinas Antiespumantes | 9 |
| Figura 6 Extractor de Neblina | 9 |
| Figura 7 Rompedores de Vórtice | 10 |
| Figura 8 Esclusa | 11 |
| Figura 9 Tiempos de retención para separadores bifásicos | 22 |
| Figura 10 Descripción de longitud costura-costura y efectiva | 25 |
| Figura 11 Tiempos de retención de petróleo | 31 |
| Figura 12 Coeficiente β para cilindros llenos a la mitad de líquido | 35 |
| Figura 13 Banco de ingreso de datos | 41 |
| Figura 14 Cálculos preliminares..... | 41 |
| Figura 15 Proceso para encontrar CD | 42 |
| Figura 16 Resultados del proceso iterativo..... | 43 |
| Figura 17 Resultados finales de dimensionamiento..... | 43 |
| Figura 18 Resultados del proceso iterativo..... | 44 |
| Figura 19 Valores requeridos para hallar el coeficiente β | 45 |
| Figura 20 Gráfica para hallar el coeficiente β | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 Resultados finales de dimensionamiento..... | 47 |
| Figura 22 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal | 50 |
| Figura 23 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal | 50 |
| Figura 24 Cálculos realizados por el utilitario | 51 |
| Figura 25 Resultados finales realizados por el utilitario | 52 |
| Figura 26 Tamaños para Separadores Horizontales con su presión de operación máxima permitida-Normativa API 12J..... | 52 |
| Figura 27 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal | 54 |
| Figura 28 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal | 54 |
| Figura 29 Resultados obtenidos por el utilitario | 55 |
| Figura 30 Gráfica para obtener el valor β | 56 |
| Figura 31 Resultados finales obtenidos por el utilitario..... | 56 |
| Figura 32 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal | 58 |
| Figura 33 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal | 58 |
| Figura 34 Resultados obtenidos por el utilitario | 59 |
| Figura 35 Resultados finales obtenidos por el utilitario..... | 59 |
| Figura 36 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal | 60 |
| Figura 37 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal | 60 |
| Figura 38 Resultados calculados por el utilitario..... | 61 |
| Figura 39 Gráfica para obtener el valor β | 61 |
| Figura 40 Resultados finales obtenidos por el utilitario..... | 62 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla I Características del Fluido..... | 13 |
| Tabla II Parámetros de los fluidos..... | 14 |
| Tabla III Datos de Producción..... | 15 |
| Tabla IV Datos de Prueba..... | 15 |
| Tabla V Parámetros PVT- Cromatografía | 16 |
| Tabla VI Condiciones de Operación | 17 |
| Tabla VII Unidades respectivas de los datos | 40 |

INTRODUCCIÓN

Este proyecto está enfocado en el dimensionamiento de separadores tanto de producción como de prueba, con datos disponibles del campo Mark 2, ubicado en la península de Santa Elena, con la finalidad de establecer las especificaciones con que deben ser construidos. En el campo se realizaron nuevos trabajos de perforación luego de haberse llevado a cabo los estudios que determinaron nuevas reservas, así como la mejora de los sistemas de levantamiento que se usan para la extracción del crudo, tales como el Swab o pistoneo, bombeo mecánico, levantamiento por gas lift, plunger lift, para incrementar la productividad. Las condiciones operacionales serán consideradas constantes, tales como la temperatura del medio (península de Santa Elena), así como la presión operativa de entrada al tren de separación durante el tiempo de funcionamiento de las facilidades de separación.

El proceso de dimensionamiento tendrá el objetivo de establecer los separadores que garanticen eficiencia en la separación, operación, y el tipo de separador designado tanto para los servicios de producción, como de prueba.

Objetivo General

- Dimensionar separadores cilíndricos para separar con eficiencia la producción del Campo Petrolero Mark 2 en sus componentes, dadas las características y parámetros de los fluidos y producción, mediante el desarrollo de un utilitario computacional en la plataforma Excel.

Objetivos Específicos

- Dimensionar separadores bifásicos y trifásicos horizontales con especificaciones que establezcan: diámetro interno del recipiente, longitud costura-costura, longitud efectiva de separación, niveles aproximados de fluido, relación de esbeltez.
- Emplear el software Microsoft Excel para elaborar un utilitario que facilite los cálculos y procedimientos implicados en el dimensionamiento de separadores horizontales bifásicos y trifásicos.

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL.

1.1 Introducción a separadores cilíndricos.

Un separador es un recipiente cerrado de forma cilíndrica o esférica, cuyo propósito es, como su nombre lo indica, la separación de los fluidos procedentes de los pozos en componentes gaseosos y líquidos. En la industria se usa generalmente separadores cilíndricos, los cuales a su vez pueden ubicarse en posición horizontal o vertical.

Los separadores pueden ser diseñados para trabajar en un rango variado de presiones, ya sea baja, mediana o alta.

1.2 Definiciones

1.2.1 Separador

El separador normalmente es el recipiente inicial de procesamiento en cualquier campo petrolero. Los separadores de gas y petróleo tienen como

objetivo separar los componentes de gas y líquidos que se encuentran a una presión y temperatura específicas, para luego procesarlos en productos vendibles. El mal diseño de un separador puede provocar embotellamiento y reducir la capacidad de una instalación completa; se clasifican en:

- Bifásicos
- Trifásicos

En el presente proyecto se va a dimensionar separadores bifásicos y trifásicos (prueba y producción respectivamente).

Es muy común que los separadores también tengan el nombre de Depuradores de gas, de acuerdo a la tasa de gas-liquido muy alta; en otros casos lo llaman Trampa debido a que manejan el flujo directamente del pozo. Se debe tomar en cuenta la forma del separador de acuerdo al hidrocarburo que se va a producir. La forma del separador puede ser cilíndrica o esférica; por lo general los más usados son los cilíndricos ya que los esféricos son usados para campos que producen gas y tienen altas presiones, los cilíndricos son verticales y horizontales. Nuestro proyecto se va a enfocar en dimensionar dos separadores horizontales.

Las presiones de trabajo también son tomadas en cuenta ya que pueden dividirse en rangos como los siguientes:

- Baja presión (10 hasta 225 psig)

- Media presión (230 hasta 700 psig)
- Alta presión (750 hasta 1500 psig)

De acuerdo a su función los separadores son:

- Separador de medición
- Separador de espuma
- Separador de baja temperatura
- Separador de producción
- Separador de prueba

1.2.2 Secciones del separador

Las secciones de un separador tienen su grado de importancia, dependiendo del tipo de separador éstas podrían variar. Por lo general son cuatro secciones, que son las siguientes:

A. Sección de separación primaria: En esta sección se observa un cambio de dirección del flujo, esto se produce con una entrada tangencial de los fluidos al separador; o bien se puede instalar una placa desviadora a la entrada. De cualquiera método se induce una fuerza centrífuga al flujo, donde separa el gas de grandes volúmenes de líquido.

B. Sección de separación de secundaria: En esta sección se va a separar la mayor cantidad de gotas de líquido de la corriente de gas, las turbulencias del fluido deben ser mínimas para que las gotas se separen principalmente

por la gravedad. La eficiencia depende principalmente de las propiedades físicas del líquido y gas.

C. Sección de extracción de niebla: En esta sección se utiliza la fuerza centrífuga o efecto de choque para eliminar las gotas pequeñas de líquido que no se pudieron eliminar en las dos secciones anteriores. Durante este mecanismo se logra acumular y forma gotas más grandes y se drena por un conducto a la sección de acumulación de líquidos.

D. Sección de almacenamiento de líquidos: Esta sección debe tener una capacidad suficiente para manejar los posibles baches de líquido, además debe controlar el nivel de líquido en el separador; estos pueden ser un controlador, indicador de nivel, válvula de descarga o flotador.

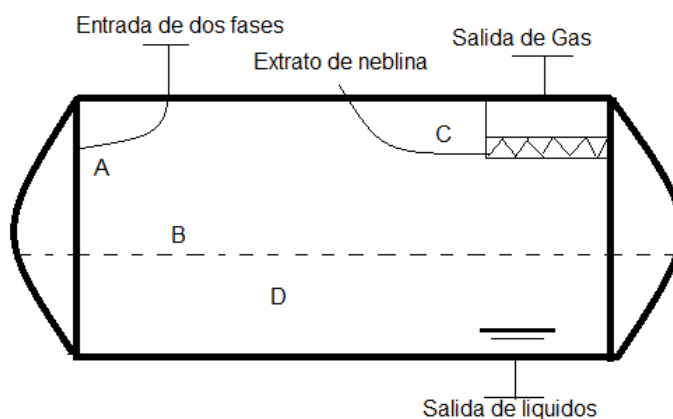


Figura 1 Secciones de un Separador

Fuente: Israel Palma y William Oña, 2016

1.2.3 Funciones de un Separador

Un separador bien diseñado hace posible la separación del gas libre de los diferentes fluidos. Para un buen desempeño de sus actividades debe cumplir las siguientes funciones:

- Permitir una separación primaria entre los hidrocarburos, especialmente entre gaseosos y líquidos.
- Refinar aún más el proceso, mediante la recolección de partículas líquidas atrapadas en la fase gaseosa (Martinez, 2011, pág. 6).
- Liberar parte de la fracción gaseosa que pueda permanecer en la fase líquida (Martinez, 2011, pág. 6).
- Descargar, por separado, las fases líquida y gaseosa, para evitar que se puedan volver a mezclar, parcial o totalmente. (Martinez, 2011, pág. 6).

1.2.4 Requisitos necesarios para dimensionar un separador

Es necesario tomar en cuenta varios requisitos para satisfacer las funciones que debe cumplir un separador, y son las siguientes:

- Controlar la energía que posee el fluido al entrar al separador.
- Las tasas de flujo de las fases líquida y gaseosa deben estar comprendidas dentro de ciertos límites, que serán definidos a medidas que se analice el diseño. Esto hace posible que inicialmente la separación se efectúe gracias a las fuerzas gravitacionales, las cuales actúan sobre esos fluidos y que se establezca un equilibrio entre las fases líquido-vapor (Martinez, 2011, pág. 8).

- En la sección ocupada por el gas la turbulencia que se presenta debe ser minimizada.
- Controlar la acumulación de espuma y partículas.
- Es necesario controles de presión y/o nivel en la salida de los fluidos.
- Se requiere válvulas de alivio.
- En la sección donde se depositan los sólidos, tener las provisiones para la remoción de esos sólidos.
- Para hacer posibles revisiones visuales es necesario que el separador esté dotado con manómetros, termómetros y controles de nivel.

1.2.5 Separador horizontal

Una vez que el fluido entra a un separador tiene un movimiento brusco en el momento y se realiza una separación de líquido, esto es causado por el choque que hace el fluido con el desviador o placa que se encuentra en la entrada del separador, por medio de la gravedad el líquido se separa y cae a la sección de acumulación de líquidos, el tiempo de retención para facilitar la salida del gas y el desplazamiento al espacio de vapor, para manejar los sobrepesos intermitentes del líquido provee el volumen de oleada, luego el fluido se drena por una válvula de descarga que es controlada por niveles.

El gas entra y choca con el desviador, fluye horizontalmente donde en la sección de asentamiento de gravedad sobre el líquido, algunas gotas de agua no fueron separadas por el desviador ya que son gotas muy pequeñas y antes que estas gotas salgan del separador pasan por la sección de fundición, donde se encuentra un extractor de neblina.

Para controlar las presiones se tiene una válvula la cual se abre y se cierra, esta válvula se encuentra en la salida del gas. Por lo general estos separadores horizontales se operan llenados solo hasta la mitad debido a que se quiere maximizar la interfaz de gas-liquido.

1.2.6 Componentes de un separador

El separador está compuesto por varios componentes, entre ellos constan los siguientes:

➤ Desviador: se encuentra en la parte de inicial del separador y el objetivo de este componente es cambiar de la dirección y velocidad al fluido, en la Figura 2 podemos observar como es el movimiento del fluido al instante que ingresa al separador.

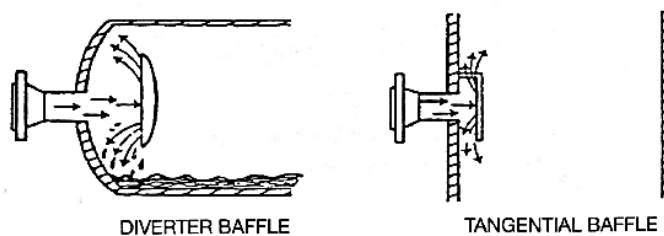


Figura 2 Componentes del Separador,
Fuente: Julio Villamizar (2011)

En la actualidad encontramos varios tipos de desviadores pero los más usados son los siguientes:

- Platina desviadora

- Desviador tipo ciclón

Tipo ciclón

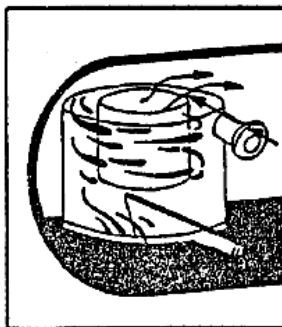


Figura 3 Desviador tipo Ciclón

Fuente: Julio Villamizar (2011)

Tipo placa

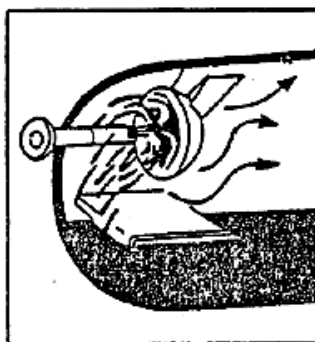


Figura 4 Platina Desviadora

Fuente: Julio Villamizar (2011)

- Platinas Antiespumantes: por lo general en el caudal de producción de crudo encontramos la presencia de espuma la cual es tratada por adiciones de productos químicos. Para obtener una solución efectiva, se

instalan platinas en forma paralela e inclinada, lo cual va a ayudar al rompimiento de las burbujas de espuma.

Normalmente estas platinas no son utilizadas cuando hay presencia de parafinas o producción de arena debido a que podría taponar el proceso en el separador.

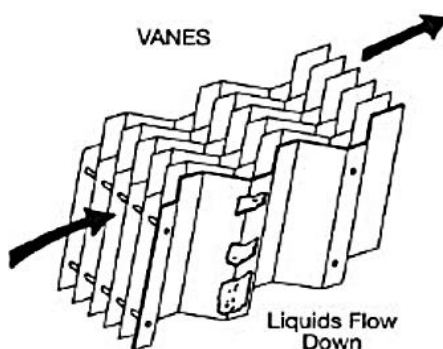


Figura 5 Platinas Anti-espumas

Fuente: Julio Villamizar (2011)

➤ Extractor de Neblina: este componente se encuentra en la parte de descarga de gas del respectivo separador, y es un componente principal de la sección de coalescencia, en la Figura 6 se observa la ubicación del extractor de neblina en un separador.

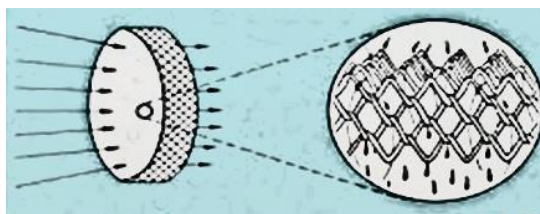


Figura 6 Extractor de Neblina

Fuente: Julio Villamizar (2011)

Los más comunes que se conocen son los siguientes:

- Paquetes de mal
 - Paquetes de platinas en paralelo
- Rompedores de vórtice: la función principal de este componente es contrarrestar el efecto remolino que ocurre cuando el aceite y el agua salen del separador por sus respectivas salidas.

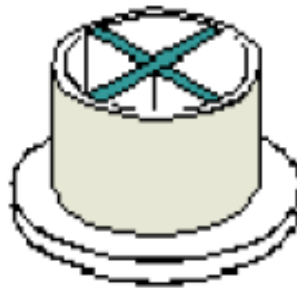


Figura 7 Rompedores de Vórtice

Fuente: Julio Villamizar (2011)

- Esclusa: esta placa divide al separador en dos compartimientos: agua y aceite. Se encuentra en el fondo del recipiente y permite medir el nivel de agua; además permite que el nivel de aceite sólo rebose el compartimiento de aceite. En la Figura 8 se observa la división de estos dos compartimientos.

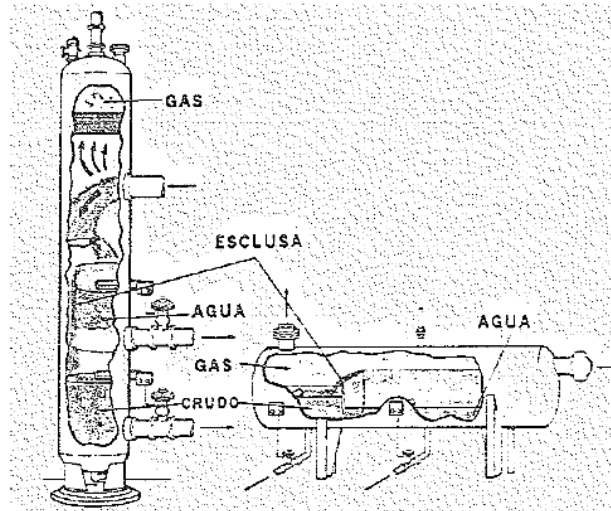


Figura 8 Esclusa

Fuente: Julio Villamizar (2011)

1.2.7 Ventajas y Desventajas de un Separador

VENTAJAS:

- Gran control de turbulencia
- Mayo área de superficie líquida
- Fácil mantenimiento y servicio
- Mejor para el manejo de espuma
- La dirección del flujo no se opone al drenado en la extracción de neblina
- Mejor manejo para la retención de volumen

DESVENTAJAS:

- Mal desempeño a la presencia de sedimentos o lodos
- Los extractos de neblina en ocasiones se tapan o explotan
- Se necesita mayor espacio físico

1.3 Características del fluido

Para realizar el dimensionamiento de un separador, deben tomarse en cuenta las características del fluido, junto con el conocimiento de los análisis de gas y sus componentes (C1, C2, C3, i-C4, n-C4, i-C5, n-C5, C6, C7+, CO₂, H₂S, N₂, H₂O), ya que esto determina qué tipo de separador va a implementarse (bifásico, trifásico, horizontal o vertical).

Además, los componentes del gas definen las propiedades de la mezcla y por consiguiente las dimensiones que el fluido deberá ocupar. El tiempo de retención también es un factor importante dado que, dependiendo de la densidad del crudo, va a ser mayor (crudo pesado), o va a ser menor (crudo liviano).

| Componentes | yj(mol fraction) |
|--------------------|-------------------------|
| c1 | 64,69 |
| c2 | 9,31 |
| c3 | 7,51 |
| iso-c4 | 3,06 |
| n-c4 | 3,88 |
| iso-c5 | 2,76 |
| n-c5 | 1,42 |
| c-6 | 5,38 |
| n2 | 1,03 |
| co2 | 0,96 |
| | 100 |

Tabla I Características del Fluido

| | |
|---|--------------|
| Z | 0,965 |
| ρ_g (lbm/ft³) | 0,506084 |
| μ_g (cp) | 0,01 |
| Sgo | 0,85 |

| | |
|---------------------------------|---------|
| ρ_o (lbm/ft ³) | 53,0145 |
| μ_o (cp) | 5,957 |
| μ_w (cp) | 0,85 |
| S_{gw} | 1,05 |

Tabla II Parámetros de los fluidos

1.4 Características del campo

El campo MARK 2 ha ido incrementando su producción en los últimos años, debido a los nuevos pozos perforados, así como por los nuevos sistemas de levantamiento artificial que se han implementado, por lo que es necesario realizar un nuevo dimensionamiento de los separadores de prueba y producción que cumplan con los requerimientos de producción y parámetros PVT del campo.

A continuación se muestran todo el conjunto de datos que se utilizarán para el proceso de dimensionamiento:

Datos de Producción:

| | |
|---------------------|--------|
| Q_f (BFPD) | 10.000 |
| BSW (fracción) | 0,30 |
| Q_{oil} (BPPD) | 7000 |
| Q_w (BAPD) | 3000 |

| | |
|--------------------------------|-------------|
| Qg(mmSCFD) | 5 |
| μ_w (cp) | 0,85 |
| °API | 40 |

Tabla III Datos de Producción

Datos de Prueba:

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Qf(BFPD) | 4.000 |
| BSW (fracción) | 0,30 |
| Qoil(BPPD) | 2800 |
| Qw(BAPD) | 1200 |
| Qg(mmSCFD) | 2 |
| μ_w (cp) | 0,85 |
| °API | 40 |

Tabla IV Datos de Prueba

Parámetros PVT-Cromatografía del gas proveniente de los pozos:

| Componentes | Yj(mol fraction) | Mwj | Mwj*yj | Tcj (°R) | yj*Tcj | Pcj (psia) | yj*Pcj | SGg |
|-------------|------------------|------------|---------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| c1 | 64,69 | 16 | 10,3504 | 343,3 | 222,08077 | 666,4 | 431,09416 | 0,99482913 |
| c2 | 9,31 | 30 | 2,793 | 549,9 | 51,19569 | 706,5 | 65,77515 | |
| c3 | 7,51 | 44 | 3,3044 | 666,1 | 50,02411 | 616 | 46,2616 | |
| iso-c4 | 3,06 | 58 | 1,7748 | 734,5 | 22,4757 | 527,9 | 16,15374 | |
| n-c4 | 3,88 | 58 | 2,2504 | 765,6 | 29,70528 | 550,6 | 21,36328 | |
| iso-c5 | 2,76 | 72 | 1,9872 | 829,1 | 22,88316 | 490,1 | 13,52676 | |
| n-c5 | 1,42 | 72 | 1,0224 | 845,8 | 12,01036 | 488,6 | 6,93812 | |
| c-6 | 5,38 | 86 | 4,6268 | 913,6 | 49,15168 | 436,9 | 23,50522 | |
| n2 | 1,03 | 28 | 0,2884 | 227,5 | 2,34325 | 493,1 | 5,07893 | |
| co2 | 0,96 | 44 | 0,4224 | 547,9 | 5,25984 | 1710 | 16,416 | |
| | 100 | Mwa | 28,8202 | Tpc | 467,12984 | Ppc | 646,11296 | |

Tabla V Parámetros PVT- Cromatografía

Adicionalmente, se trabajará con condiciones de operación constantes:

| | |
|-------------------|------------|
| Pop (psia) | 100 |
| Top (° F) | 90 |

Tabla VI Condiciones de Operación

CAPÍTULO 2

2. TEORÍA DE DIMENSIONAMIENTO PARA SEPARADORES BIFÁSICOS Y TRIFÁSICOS HORIZONTALES (HALF FULL).

2.1 Teoría de dimensionamiento

En la sección de separación por gravedad, las pequeñas gotas de líquido son removidas, como su nombre lo indica, usando la fuerza de gravedad. Las gotas se asientan a una determinada “velocidad de asentamiento”. A ésta velocidad, la fuerza de gravedad sobre la gota o llamada también “fuerza de flotación negativa”, es igual a la fuerza de arrastre ejercida sobre la gota debido a su movimiento a través de la fase continua de gas.

La fuerza de arrastre sobre la gota puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$F_D = C_D A_d \rho \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (\text{ecu. 2.1})$$

Donde:

- F_D : fuerza de arrastre (lb)
- C_D : coeficiente de arrastre
- A_d : área transversal de la gota (ft^2)

- ρ : densidad de la fase continua (lb/ft^3)
- V_t : velocidad terminal de asentamiento de la gota (ft/seg)
- g : constante gravitacional, 32.2 ($lb_m ft / lb_f seg^2$)

Si el flujo alrededor de la gota es laminar, entonces se aplica la Ley de Stokes:

$$C_D = \frac{24}{Re}, Re: \text{número de Reynolds, adimensional. (ecu. 2.2)}$$

Se ha demostrado que en el gas la velocidad de asentamiento de la gota está dada por:

$$V_t = \frac{1.78 \times 10^{-6} (\Delta SG) d^2 m}{\mu} \left(ft/seg \right) \quad (ecu. 2.3)$$

Dónde:

- ΔSG : diferencia en gravedad específica relativa al agua de la gota y el gas
- dm : diámetro de la gota (μm)
- μ : viscosidad del gas (cp)

En la práctica, para el diseño de las facilidades de producción la Ley de Stokes no gobierna, por lo que se requiere el uso de la siguiente ecuación más completa:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{1/2}} + 0.34 \quad (ecu. 2.4)$$

Igualando la fuerza de arrastre y de flotación, la velocidad terminal de asentamiento estará dada por:

$$V_t = 0.0119 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{dm}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}} \left(ft/seg \right) \quad (ecu. 2.5)$$

Dónde:

- ρ_l : densidad del líquido (lb/ft^3)
- ρ_g : densidad del gas a presión y temperatura en el separador (lb/ft^3)
- C_D : constante

Para un $C_D = 0.34$:

$$V_t = 0.0204 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) dm \right]^{\frac{1}{2}} (ft/seg) \quad (ecu. 2.6)$$

Las ecuaciones 2.4 y 2.5 se resuelven mediante procesos iterativos. Se comienza por asumir un valor de C_D de 0.34 para posteriormente hallar V_t , luego usando el V_t encontrado, se resuelve para Re. Después de estos pasos se puede usar la ecuación 2.4. Si el valor calculado de C_D es igual al valor asumido, entonces se puede concluir que se alcanzó la solución. Si esto no se logra, el procedimiento debe ser repetido usando el C_D calculado previamente como nueva asunción. La asunción original de $C_D = 0.34$ se emplea porque éste es un valor límite para un valor alto de número de Reynolds.

El procedimiento iterativo es el siguiente (unidades de campo):

- a) Empezar con un $C_D = 0.34$:

$$V_t = 0.0204 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) dm \right]^{\frac{1}{2}}$$

- b) Calcular Re:

$$Re = 0.0049 \frac{\rho_g dm V}{\mu}$$

- c) Del Re, calcular C_D usando:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{1/2}} + 0.34$$

d) Recalcular V_t empleando:

$$V_t = 0.0119 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{dm}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

e) Regresar al paso *b)* e iterar.

2.1.1 Tamaño de la Gota

Se debe seleccionar un tamaño de gota de líquido el cual va a ser removido. La experiencia indica que aparentemente si gotas de 140 μm son removidas en la sección de asentamiento por gravedad, el extractor de niebla no se verá inundado y será capaz de desempeñar su función de remover gotas de entre 10 y 140 μm de diámetro (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

Las ecuaciones de diseño de capacidad de gas en ésta sección están basadas en un diámetro de 140 μm a remover.

2.1.2 Tiempo de Retención

Para asegurar que el gas y el líquido alcancen el equilibrio a la presión del separador, se requiere almacenar una cierta cantidad de líquido. Esto se define como “tiempo de retención” o el tiempo promedio en que una molécula de líquido es retenida en el recipiente, asumiendo flujo de pistón. El tiempo de retención es entonces, el volumen de líquido almacenado en el recipiente

dividido para el caudal de flujo (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Para la mayoría de aplicaciones se ha encontrado que valores de tiempo de retención entre 30 segundos y 3 minutos son suficientes. Cuando hay presencia de espuma se puede llegar a necesitar tiempos de hasta 4 veces los mencionados anteriormente.

| <i>°API Gravity</i> | <i>Retention Time (min)</i> |
|---------------------|-----------------------------|
| 35+ | 0.5-1 |
| 30 | 2 |
| 25 | 3 |
| 20- | 4+ |

If foam exists, increase above retention times by a factor of 2-4.
If high CO₂ exists, use a minimum of 5-min retention time.

Figura 9 Tiempos de retención para separadores bifásicos

Fuente: Gas-Liquid and Liquid-Liquid, Maurice Stewart and Ken Arnold

2.1.3 Diseño de separador horizontal HALF FULL

La guía presente será empleada para dimensionar un separador horizontal lleno al 50% de capacidad de líquido. Al dimensionar un separador horizontal, es necesario escoger una longitud costura-costura del recipiente y el diámetro del mismo. Esta decisión debe satisfacer las condiciones de capacidad del gas que permitan a las gotas de líquido caer del gas al volumen de líquido mientras que el gas atraviesa la longitud efectiva del recipiente. Asimismo, debe proveer suficiente tiempo de retención para que el líquido pueda alcanzar el equilibrio (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

2.1.4 Restricción de capacidad de gas

Las ecuaciones de restricción de capacidad del gas se centran en establecer el tiempo de retención del gas igual al tiempo requerido por una gota para asentarse en la interface de líquido (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Para un recipiente con el 50% de líquido, y una separación de 100 μm de gota de líquido, la ecuación es la siguiente:

$$dL_{eff} = 420 \left[\frac{TZQ_g}{P} \right] \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{dm} \right]^{1/2} \quad (\text{ecu. 2.7})$$

Donde:

- d : diámetro interno del recipiente (in)
- L_{eff} : longitud efectiva del recipiente donde ocurre la separación (ft)
- T : temperatura de operación (R^o)
- Q_g : caudal de gas (MMscfd)
- P : presión de operación (psia)
- Z : compresibilidad del gas
- C_D : coeficiente de arrastre
- dm : gota de líquido a ser separada (micrómetro)
- ρ_l : densidad del líquido (lb/ft^3)
- ρ_g : densidad del gas (lb/ft^3)

2.1.5 Restricción de capacidad de líquido

Los separadores bifásicos deben ser dimensionados de manera que puedan proveer cierto tiempo de retención de líquido, para que el líquido alcance la fase de equilibrio con el gas. Para un recipiente lleno al 50% de líquido, con un caudal especificado, la ecuación recomendada es la siguiente:

$$d^2 L_{eff} = \frac{t_r Q_l}{0.7} \quad (\text{ecu. 2.8})$$

Donde:

- t_r : tiempo de retención de líquido deseado (min)
- Q_l : caudal de flujo de líquido (bpd)

2.1.6 Longitud de costura-costura

La longitud efectiva puede ser calculada mediante la ecuación 2.7. El valor actual requerido de longitud costura-costura dependerá del diseño físico de los elementos internos del recipiente.

Para un recipiente dimensionado en base a capacidad de gas, se requiere que cierto segmento de longitud del recipiente distribuya equitativamente el flujo cerca del desviador de la entrada. Otro segmento de longitud del recipiente se requiere para el extractor de niebla. La longitud del recipiente entre el desviador de entrada y el extractor de niebla con flujo distribuido

equitativamente se denomina L_{eff} , y se calcula con la ecuación 2.7 (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Mientras el diámetro del recipiente se incrementa, se requerirá de una mayor longitud para distribuir equitativamente el flujo de gas.

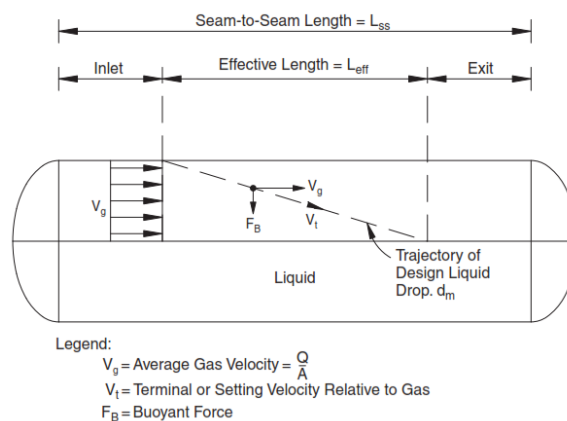


Figura 10 Descripción de longitud costura-costura y efectiva

Fuente: Gas-Liquid and Liquid-Liquid, Maurice Stewart and Ken Arnold

Basado en estos conceptos, en conjunto con la experiencia de campo, la longitud costura-costura del recipiente puede ser estimada mediante:

$$L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12} \text{ para capacidad de gas (ecu. 2.9)}$$

Para recipientes dimensionados con fundamentos de capacidad de líquido, cierta parte del recipiente se requiere para la distribución del flujo en el desviador de entrada y en la salida del flujo. La longitud costura-costura no debería exceder lo siguiente:

$$L_{ss} = \frac{4}{3}L_{eff} \quad (ecu. 2.10)$$

2.1.7 Relación de Esbeltez

La ecuación 2.7 permite escoger varios diámetros y longitudes para el separador. Para cada diseño de recipiente, existe una combinación de L_{eff} y d que minimiza el costo de elaboración del recipiente.

Es notable que mientras más pequeño es el diámetro, menor es el peso del recipiente y por lo tanto menor el costo. Sin embargo, existe un punto en el que disminuir el diámetro incrementa la posibilidad de que se dé una alta velocidad en el flujo de gas, lo que producirá olas que a su vez ocasionará que se reintegre líquido en la interfaz gas-líquido.

La experiencia indica que si la capacidad del gas gobierna y la longitud dividida para el diámetro, denominada "Relación de esbeltez", es mayor a 4 o 5, el arrastre puede volverse un problema. La mayoría de separadores bifásicos están diseñados para relaciones de esbeltez entre 3 y 4. Se puede usar relaciones de esbeltez fuera del rango 3-4, pero el diseño deberá ser revisado para asegurar que el arrastre no ocurra (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

2.2 Proceso de dimensionamiento de separador HALF FULL

- a) Establecer los fundamentos de diseño. Esto incluye especificar

los caudales máximo y mínimo de flujo, la temperatura y presión de operación, tamaño de gota a ser removida, etc.

b) Preparar una tabla con valores calculados de L_{eff} para valores seleccionados de d que satisfagan la ecuación 2.7 y las restricciones de capacidad de gas. Calcular L_{SS} con la ecuación 2.9.

c) Para los mismo valores de d , calcular valores de L_{eff} usando la ecuación 2.8 para capacidad de líquido y enlistar esos valores en una tabla. Calcular L_{SS} con la ecuación 2.10.

d) Para cada d , deberá ser usada la L_{eff} más larga.

e) Calcular la relación de esbeltez y hacer una lista para cada d . Seleccionar una combinación de d y L_{SS} que tenga una relación de esbeltez entre 3 y 4. Se pueden escoger bajos valores de relaciones si hay espacio disponible, pero esto probablemente será más caro.

f) Cuando se efectúe una selección final, siempre resulta más económico seleccionar un tamaño de recipiente estándar. Recipientes con diámetros externos de hasta 24 in (600 mm) tienen dimensiones de tubería nominal. Recipientes con diámetro externo mayor a 24 in son típicamente enrollados con un incremento de diámetro de 6 in (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Se obtienen tamaños de recipientes estándar de la normativa API 12 J.

2.3 Separador horizontal trifásico (producción)

Separador trifásico y Free-Water Knockout son términos usados para describir recipientes a presión que están diseñados para separar y remover el agua libre de una mezcla de crudo y agua (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Dado que el flujo normalmente ingresa al recipiente directamente de un pozo productor o de otro separador que opera a una mayor presión, el recipiente debe estar diseñado para separar el gas que escapa del líquido así como separar el petróleo y el agua.

La separación por gravedad es más eficiente en recipientes horizontales que en verticales. En la sección de asentamiento por gravedad de un recipiente horizontal la velocidad de asentamiento y la velocidad de flujo son perpendiculares. Los separadores horizontales tienen mayores áreas de interface, lo que mejora el equilibrio de fases. Esto es particularmente cierto si se acumulan emulsiones o espuma en la interfaz petróleo-agua (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

2.3.1 Teoría de dimensionamiento

❖ **Separación del gas:** los conceptos y ecuaciones pertinentes al separador bifásico descritos anteriormente, se aplican de igual manera para

un separador trifásico.

❖ **Asentamiento de agua y petróleo:** está demostrado que el flujo alrededor de las gotas de petróleo, que se asientan en el agua, o gotas de agua en petróleo, es laminar, por lo que rige la Ley de Stokes (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). La velocidad terminal de la gota es:

$$V_t = \frac{1.78 \times 10^{-6} (\Delta SG) d_m^2}{\mu} \quad (\text{ecu. 2.11})$$

Dónde:

- V_t : *velocidad terminal de asentamiento* (ft/seg)
- ΔSG : *diferencia entre gravedades específicas relativas al agua entre la fase de petróleo y la fase de agua*
- d_m : *tamaño de la gota* (μm)
- μ : *viscosidad de la fase continua* (cp)

❖ **Tamaño de la gota de petróleo en el agua:** se han obtenido buenos resultados estableciendo el tamaño de la almohadilla de petróleo tal que gotas de agua de 500 μm y más grandes se asienten (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

❖ **Tamaño de la gota de petróleo en el agua:** de la ecuación 2.11 se puede observar que la separación de gotas de petróleo del agua es más

sencilla que la separación de gotas de agua del petróleo (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). El propósito principal de un separador trifásico es preparar el petróleo para tratamientos posteriores. La experiencia de campo indica que el contenido de petróleo en el agua producida de un separador trifásico, dimensionado para remover agua del petróleo, puede esperarse que se encuentre entre unos cientos a 2000 mg/L. Esta agua requerirá de un tratamiento posterior antes de su traspaso (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

❖ **Tiempo de retención:** se requiere de cierta cantidad de petróleo almacenado para asegurar que el petróleo alcance el equilibrio y que el gas es liberado. Se requiere también de un tiempo adicional de almacenamiento para asegurar que el agua libre tendrá tiempo para formarse en gotas con un tamaño suficiente como para caer, concordando con la ecuación 2.11. Es común usar tiempo de retención en el rango de 3 a 30 minutos dependiendo de los datos de laboratorio o de campo (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Si ésta información no está disponible, se sugiere la siguiente guía:

| Oil retention time | |
|----------------------------------|-------------------|
| <i>°API Gravity</i> | <i>Time (Min)</i> |
| Condensate | 2-5 |
| Light crude oil (30°-40°) | 5-7.5 |
| Intermediate crude oil (20°-30°) | 7.5-10 |
| Heavy crude oil (less than 20°) | 10+ |

Note: If an emulsion exists in inlet stream, increase above retention times by a factor of 2-4.

Figura 11 Tiempos de retención de petróleo

Fuente: Gas-Liquid and Liquid-Liquid, Maurice Stewart and Ken Arnold

De manera similar, una cierta cantidad de agua almacenada es requerida para asegurar que la mayoría de las grandes gotas de petróleo arrastradas en el agua tengan suficiente tiempo para coalescer y elevarse hasta la interfaz petróleo-agua. Es común usar tiempos de retención de la fase agua en el rango de 3 a 30 minutos dependiendo de la información de laboratorio o de campo.

Si ésta información no está disponible, se recomienda un tiempo de retención de agua de 10 minutos para el diseño (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

2.3.2 Dimensionamiento de separador trifásico horizontal HALF FULL

Para dimensionar un separador trifásico horizontal es necesario especificar un diámetro de recipiente y una longitud costura-costura. Las consideraciones de capacidad del gas y tiempo de retención establecen

ciertas combinaciones aceptables de diámetro máximo correspondiente al tiempo de retención de líquido dado (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008).

2.3.3 Restricción de la capacidad de gas

Al establecer el tiempo de retención de gas igual al tiempo requerido por una gota para asentarse en la interfaz de líquido, se obtiene la siguiente ecuación (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008):

$$dL_{eff} = 420 \left[\frac{TZQ_g}{P} \right] \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{dm} \right]^{1/2} \quad (\text{ecu. 2.12})$$

Donde:

- d : diámetro interno del recipiente (in)
- L_{eff} : longitud efectiva del recipiente (ft)
- T : temperatura de operación (R°)
- Q_g : caudal de gas (MMscfd)
- P : presión de operación (psia)
- Z : compresibilidad del gas
- C_D : coeficiente de arrastre
- dm : gota de líquido a ser separada (micrómetro)
- ρ_l : densidad del líquido (lb/ft^3)

- ρ_g : densidad del gas (lb/ft^3)

2.3.4 Restricción del tiempo de retención

Se pueden usar restricciones al tiempo de retención para desarrollar la siguiente ecuación, la cual puede ser usada para determinar combinaciones aceptables de d y L_{eff} (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008):

$$d^2 L_{eff} = 1.42[(Q_w)(t_r)_w + (Q_o)(t_r)_o] \quad (ecu. 2.13)$$

Donde:

- Q_w : caudal de agua (BPD)
- $(t_r)_w$: tiempo de retención del agua (min)
- Q_o : caudal de petróleo (BPD)
- $(t_r)_o$: tiempo de retención del petróleo (min)

2.3.5 Asentamiento de las gotas de agua desde la fase de petróleo

La velocidad de asentamiento de las gotas de agua a través del petróleo puede ser calculado usando la Ley de Stokes. De esta velocidad y del tiempo de retención especificado de la fase petróleo, se puede determinar la distancia a la que una gota de agua se asentará. Esta distancia de asentamiento establece un grosor de almohadilla de petróleo máximo dado por la siguiente ecuación:

$$ho = \frac{0.00128(t_r)_o(\Delta SG)d^2m}{\mu} \quad (ecu. 2.14)$$

Este es el máximo grosor que puede tener la capa de petróleo, y aún así permitir a las gotas de agua asentarse a tiempo $(t_r)_o$ (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Para un $dm = 500 \mu m$, la siguiente ecuación puede ser usada:

$$(ho)_{m\acute{a}x} = 320 \frac{(t_r)_o(\Delta SG)}{\mu} \quad (ecu. 2.15)$$

Para un tiempo de retención de petróleo dado $[(t_r)_o]$ y un tiempo de retención de agua dado $[(t_r)_w]$ la restricción del grosor máximo de la capa de petróleo establece un diámetro máximo en concordancia con el siguiente procedimiento:

- ❖ Calcular $(ho)_{m\acute{a}x}$ –usar 500 μm de tamaño gota si es que no hay otra información disponible.
- ❖ Calcular la fracción de área de sección transversal del recipiente ocupada por la fase de agua, dado por

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{Q_w(t_r)_w}{(t_r)_o Q_o + (t_r)_w Q_w} \quad (ecu. 2.16)$$

- ❖ Determinar el coeficiente β de la siguiente figura:

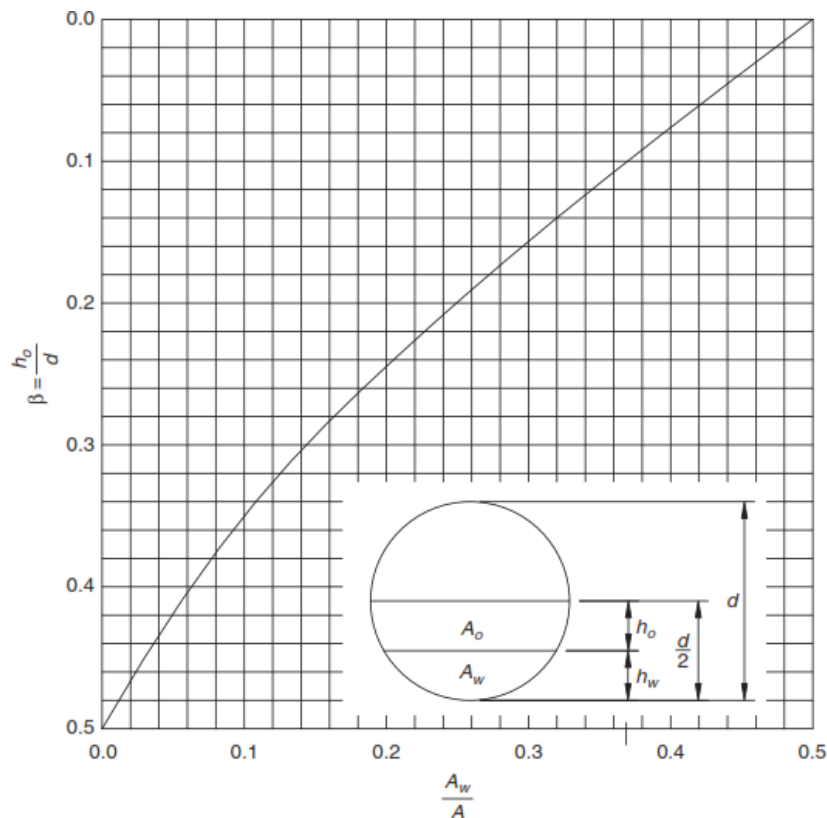


Figura 12 Coeficiente β para cilindros llenos a la mitad de líquido

Fuente: Gas-Liquid and Liquid-Liquid, Maurice Stewart and Ken Arnold

❖ Calcular $d_{m\acute{a}x}$ usando:

$$d_{m\acute{a}x} = \frac{(h_o)_{m\acute{a}x}}{\beta} \quad (\text{ecu. 2.17})$$

Cualquier combinación de d y L_{eff} que satisfaga las ecuaciones 2.12, 2.13 y 2.17 cumplirán los requisitos necesarios.

2.3.6 Separador de gotas de petróleo de la fase de agua

Las gotas de petróleo en la fase agua ascienden a una velocidad terminal definida por la Ley de Stokes. Así como con las gotas de agua en el

petróleo, la velocidad y el tiempo de retención pueden ser usados para determinar un diámetro máximo de recipiente (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Es raro que el diámetro máximo determinado de una gota de petróleo de 200 μm que asciende a través de la fase de agua sea mayor a una gota de 500 μm que cae a través de la fase petróleo. Por lo tanto, el diámetro máximo determinado de una gota de agua de 500 μm asentándose a través de la fase petróleo normalmente gobierna el diseño del recipiente. Para un $dm = 200 \mu\text{m}$ se usa la siguiente ecuación:

$$(h_w)_{\text{máx}} = \frac{(51.2(t_r)_w(\Delta SG))}{\mu_w} \quad (\text{ecu. 2.18})$$

El diámetro máximo se encuentra con la siguiente ecuación:

$$d_{\text{máx}} = \frac{(h_w)_{\text{máx}}}{\beta} \quad (\text{ecu. 2.19})$$

2.3.7 Longitud de costura-costura

La longitud efectiva puede ser calculada de la ecuación 2.18. La longitud costura-costura depende del diseño físico del recipiente. Para recipientes dimensionados en base a la capacidad del gas, se requiere de una parte del recipiente para distribuir uniformemente el flujo cerca del desviador de entrada. Otra porción de longitud del recipiente es requerida por el extractor de niebla. La longitud del recipiente entre el desviador de entrada y el extractor de niebla con flujo uniformemente distribuido es la L_{eff} calculada con la ecuación 2.12. A medida que el diámetro del recipiente aumenta, se requiere de mayor longitud para distribuir el flujo de gas uniformemente. Sin embargo, no importa cuán pequeño el diámetro vaya a ser, aún se necesita una porción de longitud para el extractor de niebla y la distribución del flujo. Basado en estos conceptos, en conjunto con la experiencia de campo, la longitud costura-costura de un recipiente puede ser estimada mediante

(Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008):

$$L_{ss} = \frac{4}{3}L_{eff} \quad (ecu. 2.20)$$

En unidades de campo:

$$L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12} \quad (ecu. 2.21)$$

2.3.8 Relación de Esbeltez

Para todo diseño de recipiente existe una combinación de L_{eff} y d que minimizará el costo del mismo. En general, mientras menor sea el diámetro del recipiente, costará menos. Sin embargo, la disminución del diámetro incrementa la velocidad del flujo y la turbulencia. Mientras que el diámetro del recipiente disminuye, se incrementa la posibilidad de reingreso del gas al líquido o la destrucción de la interface petróleo/agua. La experiencia indica que la relación de longitud costura-costura dividida para el diámetro externo debería estar entre un valor de 3 y 5 (Stewart & Arnold, Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, 2008). Esta relación es referida como la “Relación de Esbeltez” (RE o SR) del recipiente. Se pueden usar relaciones de esbeltez fuera del rango 3-5, pero el diseño debe ser revisado para asegurar que el reingreso del líquido no ocurra.

2.4 Proceso de Dimensionamiento de Separador Trifásico Horizontal-HALF FULL

a) El primer paso para dimensionar un separador horizontal es establecer las bases de diseño. Esto incluye especificar las tasas de flujo máximo y mínimo, presión y temperatura de operación, tamaño de gota a ser

removida, entre otros.

- b) Seleccionar un $(t_r)_o$ y un $(t_r)_w$.
- c) Calcular $(ho)_{m\acute{a}x}$. Usar un tama\~no de gota de 500 μm si no hay otra informaci\~on disponible. Usar las ecuaciones 2.14 y 2.15.
- d) Calcular $\frac{A_w}{A}$ usando la ecuaci\~on 2.16.
- e) Determinar β usando la Figura 2.4.
- f) Calcular $d_{m\acute{a}x}$ usando la ecuaci\~on 2.17. ($d_{m\acute{a}x}$ depende de Q_o , Q_w , $(t_r)_o$ y $(t_r)_w$).
- g) Calcular combinaciones de d y L_{eff} para un d menor que $d_{m\acute{a}x}$, que satisfaga las restricciones de capacidad de gas. Usar un tama\~no de gota de 100 μm si no hay otra informaci\~on disponible. Usar la ecuaci\~on 2.12.
- h) Calcular combinaciones de d y L_{eff} para un d menor que $d_{m\acute{a}x}$, que satisfaga las restricciones del tiempo de retenci\~on del petr\~oleo y agua. Usar la ecuaci\~on 2.13.
- i) Estimar la longitud costura-costura. Usar las ecuaciones 2.20 y 2.21 correspondientes a capacidad de l\~iquido y capacidad de gas respectivamente.
- j) Seleccionar un di\~ametro y longitud razonables. Son comunes relaciones de esbeltez ($12\frac{L_{ss}}{d}$) en el orden de 3 a 5.
- k) Cuando se realice una selecci\~on final, siempre es m\~as econ\~omico escoger un tama\~no de recipiente est\~andar. La norma API 12 J ofrece tama\~nos para recipientes peque\~nos.

CAPÍTULO 3

3. ELABORACIÓN DEL MÉTODO HALF-FULL EN LA PLATAFORMA EXCEL.

3.1 Introducción

A continuación se presenta el proceso de elaboración del método Half Full en la plataforma Excel, con el uso de todas las ecuaciones y consideraciones establecidas en el Capítulo 2.

Los valores de los datos usados para el programa están establecidos en unidades de campo, mostrados en la siguiente tabla:

| | |
|-----------------|---------------------|
| Z | adimensional |
| ρ_g | lbm/ft ³ |
| μ_g | cp |
| S _{go} | adimensional |
| ρ_o | lbm/ft ³ |
| μ_o | cp |

| | |
|----------------------|--------------------|
| μ_w | cp |
| Sgw | adimensional |
| Qf | BFPD |
| BSW | adimensional |
| Qoil | BPPD |
| Qw | BAPD |
| Qg | mmSCFD |
| μ_w | cp |
| $^{\circ}\text{API}$ | |
| Pop | psia |
| Top | $^{\circ}\text{F}$ |

Tabla VII Unidades respectivas de los datos

3.2 Utilitario de dimensionamiento de separador bifásico horizontal (prueba)

El proceso inicia con la elaboración del banco de ingreso de datos requeridos para los cálculos posteriores.

| | | | | |
|----|--------------------------|------------|----|---------------------------------|
| 2 | | | 18 | |
| 3 | Separador: | Bifásico | 19 | PARÁMETROS PVT |
| 4 | Orientación: | Horizontal | 20 | z= |
| 5 | | | 21 | ρ_g (lb/ft ³)= |
| 6 | | | 22 | μ_g (cp)= |
| 7 | DATOS | | 23 | S _{go} = |
| 8 | BSW (fracción)= | | 24 | ρ_o (lb/ft ³)= |
| 9 | Q _o (BFPD)= | | 25 | μ_o (cp)= |
| 10 | Q _w (BAPD)= | | 26 | μ_w (cp)= |
| 11 | Q _g (MMSCFD)= | | 27 | S _{gw} = |
| 12 | μ_w (cp)= | | 28 | |
| 13 | °API= | | 29 | CONDICIONES DE OPERACIÓN |
| 14 | Tr (min)= | | 30 | Pop (psia)= |
| 15 | dm g (μm)= | | 31 | Top (° F)= |
| 16 | dm w (μm)= | | 32 | |
| 17 | dm o (μm)= | | | |
| 18 | | | | |

Figura 13 Banco de ingreso de datos

Una vez realizado el banco de ingreso de datos, se requiere de cálculos preliminares que facilitarán el proceso iterativo para hallar el Coeficiente de arrastre (C_D).

| | | |
|---------------------------------------|--|----------|
| | | |
| SG prom. Líquido= | | 0 |
| ρ_l (lb/ft ³)= | | 0 |
| $((\rho_l - \rho_g / \rho_g) * dm)$ = | | #¡DIV/0! |
| $(\rho_g * dm / \mu_g)$ = | | #¡DIV/0! |

Figura 14 Cálculos preliminares

Para el cálculo de la SG promedio de líquido, se usó la siguiente ecuación:

$$SG \text{ prom. líquido} = [(1 - BSW) * S_{go}] * [BSW * S_{gw}]$$

El cálculo de la densidad de líquido mediante la ecuación:

$$\rho_l = SG * 62.4, \text{ siendo } 62.4 \text{ la densidad del agua en } (lb/ft^3)$$

Los siguientes factores se calculan para agilizar el proceso general del dimensionamiento:

$$[(\rho_l - \rho_g) / \rho_g] * dm$$

$$((\rho_g * dm) / \mu_g)$$

Posterior a estos cálculos, el proceso iterativo para hallar el C_D se realiza exactamente como se especifica en el Capítulo 2.

| Iteración # | $(\rho_l - \rho_g / \rho_g) * dm$ | Vt (ft/seg) | $(\rho_g * dm / \mu g)$ | Re | C _D |
|-------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| 0 | #_iDIV/0! | 0 | #_iDIV/0! | 0 | 0,34 |
| 1 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 2 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 3 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 4 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 5 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 6 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 7 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 8 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 9 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 10 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 11 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |
| 12 | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! | #_iDIV/0! |

Figura 15 Proceso para encontrar C_D

En la Tabla 9 se ubican los resultados de los factores obtenidos en el paso anterior, lo que agiliza el uso de las siguientes ecuaciones que permiten encontrar el valor final de C_D:

$$V_t = 0.0204 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) dm \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Re = 0.0049 \frac{\rho_g dm V}{\mu}$$

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{\frac{1}{2}}} + 0.34$$

$$V_t = 0.0119 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{dm}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Al final, los resultados a usar en el proceso siguiente aparecerán en la tabla mostrada:

| | |
|---------------------------------|----------|
| $C_D=$ | #jDIV/0! |
| $d*Leff=$ | #jDIV/0! |
| $(d^2)*Leff=$ | 0 |

Figura 16 Resultados del proceso iterativo

Para finalizar, se elaboró una tabla con distintos valores de diámetro, con el respectivo cálculo de longitudes efectivas y costura-costura y relación de esbeltez para cada valor específico de diámetro. Con los valores obtenidos en la tabla anterior, los cálculos en ésta parte se agilitan. Al final, se usa una condición que establece la aceptación o el rechazo del diseño, de acuerdo al valor de relación de esbeltez obtenido; para el caso del separador de prueba, el valor debe estar entre el rango de 3 a 4.

| E | F | G | H | I | J | K | L |
|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|------------|----------|----------|
| Diámetro (in) | $d*Leff$ gas | $Leff$ g (ft) | $(d^2)*Leff$ | $Leff$ l (ft) | Lss (ft) | Esbeltez | Diseño |
| 16 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 20 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 24 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 30 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 36 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 42 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 48 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 54 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 60 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 72 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 84 | #jDIV/0! | #jDIV/0! | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |

Figura 17 Resultados finales de dimensionamiento

Las ecuaciones usadas en esta última sección son:

$$dL_{eff} = 420 \left[\frac{TZQ_g}{P} \right] \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{dm} \right]^{1/2}$$

$$d^2L_{eff} = \frac{t_r Q_l}{0.7}$$

$$L_{ss} = \frac{4}{3} L_{eff}$$

$$\text{Esbeltez} = \left(12 \frac{L_{ss}}{d} \right)$$

3.3 Utilitario de dimensionamiento de separador trifásico horizontal (producción)

Para elaborar el utilitario del separador de producción, se emplea el mismo proceso desde el ingreso de datos hasta la tabla con los valores de resultados finales del proceso iterativo, ya que las ecuaciones usadas hasta ese punto son las mismas.

| | |
|---|-----------|
| C_D= | #j DIV/0! |
| d*L_{eff}= | #j DIV/0! |
| (d²)*L_{eff}= | 0 |

Figura 18 Resultados del proceso iterativo

El siguiente paso, es calcular el valor del colchón de petróleo máximo $Ho_{m\acute{a}x}$ y el valor de la fracci3n de 3rea de secci3n transversal del recipiente ocupada por la fase de agua A_w/A , para as3 poder hallar mediante la gr3fica el coeficiente β . Estos valores se usan para calcular el di3metro m3ximo que puede tener el separador ($d_{m\acute{a}x}$).

| | K | L |
|-------------------------------------|----------|---|
| Ho m3x= | #¡DIV/0! | |
| Aw/A= | #¡DIV/0! | |
| β= | 0,2900 | |
| <i>Valor obtenido de la gr3fica</i> | | |

Figura 19 Valores requeridos para hallar el coeficiente β

$$h_o = \frac{0.00128(t_r)_o(\Delta SG)d^2 m}{\mu}$$

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{Q_w(t_r)_w}{(t_r)_o Q_o + (t_r)_w Q_w}$$

El coeficiente β se lo encuentra mediante la gr3fica:

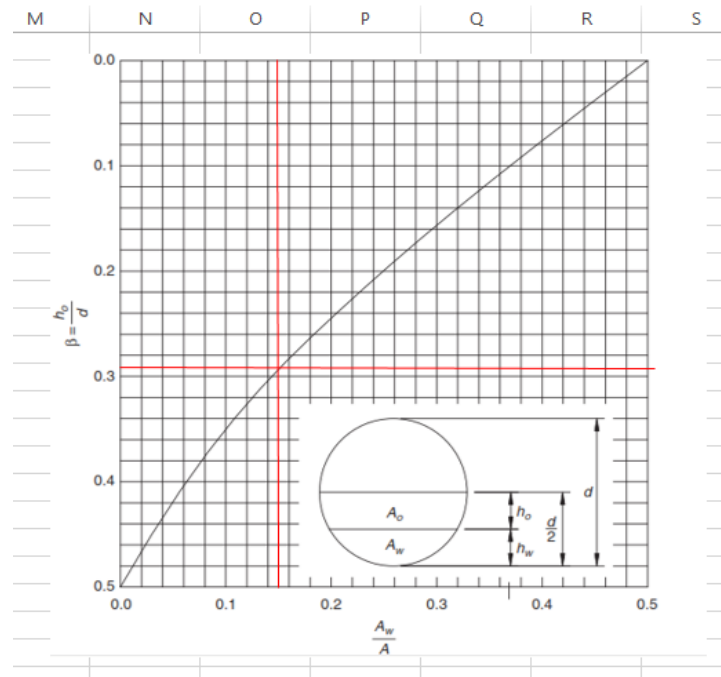


Figura 20 Gráfica para hallar el coeficiente β

El diámetro máximo se encuentra mediante la ecuación:

$$d_{\text{máx}} = \frac{(h_o)_{\text{máx}}}{\beta}$$

Al final, se necesitan hallar los mismos valores que en el caso del separador de prueba, usando de igual manera las mismas ecuaciones. Se tiene un cambio en la condición de aceptación o rechazo del diseño; el rango está entre el valor de 3 a 5.

| E | F | G | H | I | J | K | L |
|---------------|------------|-------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| Diámetro (in) | d*Leff gas | Leff g (ft) | (d^2)*Leff | Leff l (ft) | Lss (ft) | Esbeltez | Diseño |
| 16 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 20 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 24 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 30 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 36 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 42 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 48 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 54 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 60 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 72 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 84 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 96 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |
| 108 | #¡DIV/0! | #¡DIV/0! | 0 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | RECHAZAR |

Figura 21 Resultados finales de dimensionamiento

$$dL_{eff} = 420 \left[\frac{TZQ_g}{P} \right] \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{dm} \right]^{1/2}$$

$$L_{ss} = \frac{4}{3} L_{eff}$$

$$\text{Esbeltez} = \left(12 \frac{L_{ss}}{d} \right)$$

CAPÍTULO 4

4. DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES DE PRUEBA Y PRODUCCION MEDIANTE EL UTILITARIO EN LA PLATAFORMA EXCEL.

4.1 Introducción

Mediante el uso de un utilitario elaborado en la plataforma Excel, se obtuvieron las respectivas dimensiones para el diseño correspondientes a los separadores bifásicos y trifásicos, ambos horizontales. Se usaron los datos disponibles del campo Mark 2, y adicionalmente se corrió el programa con el uso de datos de otro campo para verificar el correcto funcionamiento del mismo.

4.2 Consideraciones y Proyecciones

Con el fin de obtener buenos resultados en los cálculos de diseño, se establecieron ciertas consideraciones y proyecciones respecto al campo:

- ❖ El yacimiento produce a una presión mayor a la presión de burbuja, por lo que la relación gas/líquido se mantiene relativamente constante en el tiempo (GLR= 500 Scf/Stb).
- ❖ La producción de fluido del campo no va a aumentar por encima del valor de 10000 BFPD dado, debido a que éste va a ser el valor con el que se va a diseñar el separador de producción. Si dicho valor aumentara, ya sea por nuevos proyectos de perforación, estimulación o recuperación secundaria (entre otros), debe realizarse un nuevo diseño con las medidas de fluido que se esperan obtener luego de dichos proyectos, ya que el separador no tendrá un desempeño eficiente.
- ❖ El valor del corte de agua de 30% se obtiene de la producción actual, sin embargo, debe considerarse que éste porcentaje va a aumentar con el tiempo, dado que el agua tiene mayor movilidad.
- ❖ Se mantendrán constantes las condiciones de operación, éstas son la temperatura del medio, asumida a un valor promedio de 32 °C (90 °F), y la presión de operación no menor a 100 psia, asumiendo que el yacimiento brindará una presión de entrada al tren de separación no menor al valor dado.

4.3 Proceso de Dimensionamiento y Selección de Equipo

Los procedimientos y ecuaciones descritas en el capítulo 2 fueron aplicados para la elaboración del utilitario.

Al iniciar, se dispone de tablas en donde se deben ingresar todos los parámetros y datos solicitados para el diseño, así como la especificación de si el separador es bifásico o trifásico.

| | | |
|----|----------------------------------|------------|
| 2 | | |
| 3 | Separador: | Bifásico |
| 4 | Orientación: | Horizontal |
| 5 | | |
| 6 | DATOS | |
| 7 | Qf (BFPD)= | 4000 |
| 8 | BSW (fracción)= | 0,3 |
| 9 | Qo (BPPD)= | 2800 |
| 10 | Qw (BAPD)= | 1200 |
| 11 | Qg (MMSCFD)= | 2 |
| 12 | μ_w (cp)= | 0,85 |
| 13 | $^{\circ}$API= | 40 |
| 14 | Tr (min)= | 4 |
| 15 | dm g (μm)= | 140 |
| 16 | dm w (μm)= | 500 |
| 17 | dm o (μm)= | 200 |
| 18 | | |

Figura 22 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal

| | | |
|----|---|---------|
| 18 | | |
| 19 | PARÁMETROS PVT | |
| 20 | z= | 0,965 |
| 21 | ρ_g (lb/ft³)= | 0,506 |
| 22 | μ_g (cp)= | 0,01 |
| 23 | Sgo= | 0,85 |
| 24 | ρ_o (lb/ft³)= | 53,0145 |
| 25 | μ_o (cp)= | 5,957 |
| 26 | μ_w (cp)= | 0,85 |
| 27 | Sgw= | 1,05 |
| 28 | | |
| 29 | CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| 30 | Pop (psia)= | 100 |
| 31 | Top ($^{\circ}$ F)= | 90 |
| 32 | | |

Figura 23 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal

Una vez hecho esto, el programa se encarga de realizar todos los cálculos necesarios para determinar las medidas óptimas del recipiente.

| SG prom. Líquido= | 0,91 | | | C_D = | 1,32400 |
|--|------------------------------------|----------------|--------------------------|------------------|-----------|
| ρ_l (lb/ft ³)= | 56,784 | | | d^*Leff = | 41,1107 |
| $((\rho_l - \rho_g / \rho_g) * d_m)$ = | 15570,9881 | | | $(d^*2)^*Leff$ = | 22857,143 |
| $(\rho_g * d_m / \mu_g)$ = | 7084 | | | | |
| | | | | | |
| Iteración # | $(\rho_l - \rho_g / \rho_g) * d_m$ | V_t (ft/seg) | $(\rho_g * d_m / \mu_g)$ | Re | C_D |
| 0 | 15570,9881 | 0 | 7084 | 0 | 0,34 |
| 1 | 15570,9881 | 2,5466 | 7084 | 88,3975 | 0,93058 |
| 2 | 15570,9881 | 1,5393 | 7084 | 53,4321 | 1,19958 |
| 3 | 15570,9881 | 1,3558 | 7084 | 47,0614 | 1,28728 |
| 4 | 15570,9881 | 1,3088 | 7084 | 45,4300 | 1,31338 |
| 5 | 15570,9881 | 1,2957 | 7084 | 44,9764 | 1,32094 |
| 6 | 15570,9881 | 1,2920 | 7084 | 44,8474 | 1,32312 |
| 7 | 15570,9881 | 1,2909 | 7084 | 44,8105 | 1,32375 |
| 8 | 15570,9881 | 1,2906 | 7084 | 44,7999 | 1,32393 |
| 9 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7969 | 1,32398 |
| 10 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7960 | 1,32399 |
| 11 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7958 | 1,32400 |
| 12 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7957 | 1,32400 |

Figura 24 Cálculos realizados por el utilitario

Como se puede observar, el utilitario se basa en las ecuaciones y procedimientos explicados en el capítulo 2 para dimensionar separadores bifásicos horizontales, considerando recipientes llenos a la mitad de su capacidad (half-full). Se empieza por calcular valores de gravedad específica y densidades; luego, se asume un primer valor de Coeficiente de arrastre (C_D) igual a 0.34, que es un valor estándar para el procedimiento. Posterior a esto se calcula la Velocidad terminal de asentamiento de la gota, y se ejecuta el proceso iterativo hasta hallar el Coeficiente de arrastre final, con un error menor a 0.001.

| Diámetro (in) | d*Leff gas | Leff g (ft) | (d^2)*Leff | Leff l (ft) | Lss (ft) | Esbeltez | Diseño |
|---------------|------------|-------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| 16 | 41,1107 | 2,5694 | 22857,1429 | 89,2857 | 119,0476 | 89,2857 | RECHAZAR |
| 20 | 41,1107 | 2,0555 | 22857,1429 | 57,1429 | 76,1905 | 45,7143 | RECHAZAR |
| 24 | 41,1107 | 1,7129 | 22857,1429 | 39,6825 | 52,9101 | 26,4550 | RECHAZAR |
| 30 | 41,1107 | 1,3704 | 22857,1429 | 25,3968 | 33,8624 | 13,5450 | RECHAZAR |
| 36 | 41,1107 | 1,1420 | 22857,1429 | 17,6367 | 23,5156 | 7,8385 | RECHAZAR |
| 42 | 41,1107 | 0,9788 | 22857,1429 | 12,9576 | 17,2768 | 4,9362 | RECHAZAR |
| 48 | 41,1107 | 0,8565 | 22857,1429 | 9,9206 | 13,2275 | 3,3069 | ACEPTAR |
| 54 | 41,1107 | 0,7613 | 22857,1429 | 7,8385 | 10,4514 | 2,3225 | RECHAZAR |
| 60 | 41,1107 | 0,6852 | 22857,1429 | 6,3492 | 8,4656 | 1,6931 | RECHAZAR |
| 72 | 41,1107 | 0,5710 | 22857,1429 | 4,4092 | 5,8789 | 0,9798 | RECHAZAR |
| 84 | 41,1107 | 0,4894 | 22857,1429 | 3,2394 | 4,3192 | 0,6170 | RECHAZAR |

Figura 25 Resultados finales realizados por el utilitario

La tabla 19 muestra la tabla de datos final de todo el proceso de dimensionamiento del Separador bifásico horizontal. Se tomaron medidas de diámetro estándares establecidas en la normativa API 12 J para separadores.

| Nominal Diameter in. | Maximum Allowable Working Pressure psig @ 130°F | | | | | | |
|--------------------------------|--|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| | — | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 12 ³ / ₄ | — | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 16 | — | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 20 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 24 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 30 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 36 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 42 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 48 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 54 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |
| 60 | 125 | 230 | 600 | 1,000 | 1,200 | 1,440 | 2,000 |

NOTE 1 Shell length is generally expanded in 2 1/2-ft increments measured from head seam to head seam and is typically 5 ft, 7 1/2 ft, or 10 ft. A minimum length-to-diameter ratio of 2.0 is normally used.

NOTE 2 Vessel diameter is generally expanded in 6-in. increments, measured either as outside diameter (OD) or inside diameter (ID). OD separators are normally furnished up to 24-in. diameter. Separators above this size may be either OD or ID vessels.

Figura 26 Tamaños para Separadores Horizontales con su presión de operación máxima permitida-Normativa API 12J

En ésta sección, se realizan los cálculos para obtener las medidas de Longitud efectiva (L_{eff}), Longitud costura-costura (L_{ss}), y la relación de Esbeltez. La relación de esbeltez se calcula considerando la restricción de capacidad de líquido, dado que proporciona valores de esbeltez entre 3 y 4, que es el rango en el que se recomienda seleccionar las medidas del recipiente, en el caso de un separador bifásico horizontal.

El utilitario indica al usuario si el diseño debe ser aceptado o rechazado, en base a todas las consideraciones presentadas en el capítulo 2. Al final se escogen los valores de: Diámetro, Longitud efectiva y Longitud costura-costura. Cabe recalcar que los valores de longitudes deben ser redondeados al valor próximo, por ejemplo, en el caso del Separador de Prueba para el campo Mark 2, las medidas serán:

- Diámetro (in): 48
- Longitud costura-costura (ft): 14
- Longitud efectiva (ft): 10

Para el caso del Separador trifásico horizontal (producción), el proceso es muy similar al mencionado anteriormente. Se dispone de tablas en donde se debe ingresar toda la información requerida para que el programa efectúe el diseño:

| | | |
|---|----------------------------------|------------|
| 2 | | |
| 3 | Separador: | Trifásico |
| 4 | Orientación: | Horizontal |
| 5 | | |
| 5 | DATOS | |
| 7 | Qf (BFPD)= | 10000 |
| 8 | BSW (fracción)= | 0,3 |
| 9 | Qo (BPPD)= | 7000 |
| 0 | Qw (BAPD)= | 3000 |
| 1 | Qg (MMSCFD)= | 5 |
| 2 | μ_w (cp)= | 0,85 |
| 3 | α_{PI}= | 40 |
| 4 | Tr (min)= | 10 |
| 5 | dm g (μm)= | 140 |
| 6 | dm w (μm)= | 500 |
| 7 | dm o (μm)= | 200 |
| 8 | | |

Figura 27 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal

| | | |
|----|---|---------|
| 18 | | |
| 19 | PARÁMETROS PVT | |
| 20 | z= | 0,965 |
| 21 | ρ_g (lb/ft³)= | 0,506 |
| 22 | μ_g (cp)= | 0,01 |
| 23 | S_{go}= | 0,85 |
| 24 | ρ_o (lb/ft³)= | 53,0145 |
| 25 | μ_o (cp)= | 5,957 |
| 26 | μ_w (cp)= | 0,85 |
| 27 | S_{gw}= | 1,05 |
| 28 | | |
| 29 | CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| 30 | Pop (psia)= | 100 |
| 31 | Top (° F)= | 90 |
| 32 | | |

Figura 28 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal

Luego, se realiza el mismo procedimiento iterativo del separador bifásico para obtener el valor del coeficiente de arrastre.

| | | | | | | |
|--|--|--------------------|--|-----------|-------------------------------------|----------|
| SG prom. Líquido= | 0,91 | | C_D = | 1,32400 | H_o máx= | 107,4366 |
| ρ_l (lb/ft ³)= | 56,784 | | $d \cdot Le_{ff}$ = | 102,7768 | A_w/A = | 0,1500 |
| $((\rho_l - \rho_g / \rho_g) \cdot d_m)$ = | 15570,9881 | | $(d^2) \cdot Le_{ff}$ = | 142000 | β = | 0,2900 |
| $(\rho_g \cdot d_m / \mu_g)$ = | 7084 | | | | <i>Valor obtenido de la gráfica</i> | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Iteración # | $(\rho_l - \rho_g / \rho_g) \cdot d_m$ | Vt (ft/seg) | $(\rho_g \cdot d_m / \mu_g)$ | Re | C_D | |
| 0 | 15570,9881 | 0 | 7084 | 0 | 0,34 | |
| 1 | 15570,9881 | 2,5466 | 7084 | 88,3975 | 0,9306 | |
| 2 | 15570,9881 | 1,5393 | 7084 | 53,4321 | 1,19958 | |
| 3 | 15570,9881 | 1,3558 | 7084 | 47,0614 | 1,28728 | |
| 4 | 15570,9881 | 1,3088 | 7084 | 45,4300 | 1,31338 | |
| 5 | 15570,9881 | 1,2957 | 7084 | 44,9764 | 1,32094 | |
| 6 | 15570,9881 | 1,2920 | 7084 | 44,8474 | 1,32312 | |
| 7 | 15570,9881 | 1,2909 | 7084 | 44,8105 | 1,32375 | |
| 8 | 15570,9881 | 1,2906 | 7084 | 44,7999 | 1,32393 | |
| 9 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7969 | 1,32398 | |
| 10 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7960 | 1,32399 | |
| 11 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7958 | 1,32400 | |
| 12 | 15570,9881 | 1,2905 | 7084 | 44,7957 | 1,32400 | |

Figura 29 Resultados obtenidos por el utilitario

Para el separador trifásico, el utilitario proporciona el cálculo del colchón de petróleo (H_o), así como la fracción de área de sección transversal del recipiente ocupado por la fase de agua (A_w/A), para que, posteriormente, el usuario encuentre el valor del coeficiente β en la gráfica incorporada, haciendo uso de las dos líneas rojas dispuestas para ese propósito.

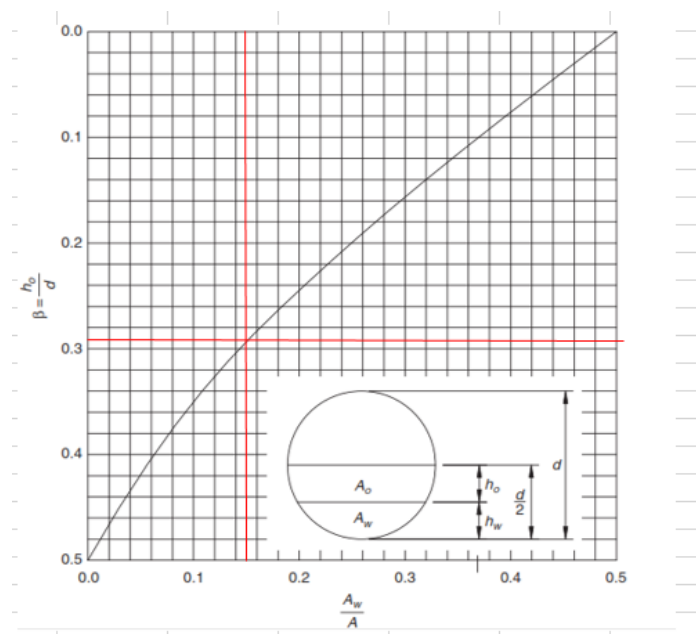


Figura 30 Gráfica para obtener el valor β

| d máx (in)= | 370,4711 | | | | | | |
|---------------|------------|-------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| Díámetro (in) | d*Leff gas | Leff g (ft) | (d^2)*Leff | Leff l (ft) | Lss (ft) | Esbeltez | Diseño |
| 16 | 102,7768 | 6,4235 | 142000 | 554,6875 | 739,5833 | 554,6875 | RECHAZAR |
| 20 | 102,7768 | 5,1388 | 142000 | 355,0000 | 473,3333 | 284,0000 | RECHAZAR |
| 24 | 102,7768 | 4,2824 | 142000 | 246,5278 | 328,7037 | 164,3519 | RECHAZAR |
| 30 | 102,7768 | 3,4259 | 142000 | 157,7778 | 210,3704 | 84,1481 | RECHAZAR |
| 36 | 102,7768 | 2,8549 | 142000 | 109,5679 | 146,0905 | 48,6968 | RECHAZAR |
| 42 | 102,7768 | 2,4471 | 142000 | 80,4989 | 107,3318 | 30,6662 | RECHAZAR |
| 48 | 102,7768 | 2,1412 | 142000 | 61,6319 | 82,1759 | 20,5440 | RECHAZAR |
| 54 | 102,7768 | 1,9033 | 142000 | 48,6968 | 64,9291 | 14,4287 | RECHAZAR |
| 60 | 102,7768 | 1,7129 | 142000 | 39,4444 | 52,5926 | 10,5185 | RECHAZAR |
| 72 | 102,7768 | 1,4275 | 142000 | 27,3920 | 36,5226 | 6,0871 | RECHAZAR |
| 84 | 102,7768 | 1,2235 | 142000 | 20,1247 | 26,8330 | 3,8333 | ACEPTAR |
| 96 | 102,7768 | 1,0706 | 142000 | 15,4080 | 20,5440 | 2,5680 | RECHAZAR |
| 108 | 102,7768 | 0,9516 | 142000 | 12,1742 | 16,2323 | 1,8036 | RECHAZAR |

Figura 31 Resultados finales obtenidos por el utilitario

Finalmente, como en el caso del separador de prueba, se obtienen los resultados de longitudes efectivas, costura-costura, y esbeltez, así como la

sugerencia de si el diseño debe ser aceptado o rechazado. Los cálculos se basan en las consideraciones descritas en el capítulo 2; la relación de esbeltez se calcula considerando la restricción de capacidad de líquido, dado que proporciona valores de esbeltez entre 3 y 5, que es el rango en el que se recomienda seleccionar las medidas del recipiente, en el caso de un separador trifásico horizontal.

Debe considerarse además que el valor del diámetro seleccionado no sobrepase el valor de diámetro máximo proporcionado por el utilitario. De la misma manera que en el separador de prueba, al hacer una selección final los valores de longitudes deben redondearse.

Por lo tanto, el Separador de Producción para el campo Mark 2 tendrá las medidas siguientes:

- Diámetro (in): 84
- Longitud costura-costura (ft): 27
- Longitud efectiva (ft): 21

4.4 Uso del Utilitario en un Escenario Distinto

Se hizo uso del programa con datos disponibles de otro campo, para corroborar el correcto funcionamiento del mismo. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

❖ Separador de prueba:

| | | |
|----|----------------------------------|------------|
| 2 | | |
| 3 | Separador: | Bifásico |
| 4 | Orientación: | Horizontal |
| 5 | | |
| 6 | DATOS | |
| 7 | Qf (BFPD)= | 2900 |
| 8 | BSW (fracción)= | 0,6 |
| 9 | Qo (BPPD)= | 2000 |
| 10 | Qw (BAPD)= | 900 |
| 11 | Qg (MMSCFD)= | 10 |
| 12 | μ_w (cp)= | 0,85 |
| 13 | $^{\circ}$API= | 35 |
| 14 | Tr (min)= | 4 |
| 15 | dm g (μm)= | 140 |
| 16 | dm w (μm)= | 500 |
| 17 | dm o (μm)= | 200 |
| 18 | | |

Figura 32 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal

| | | |
|----|---|---------|
| 18 | | |
| 19 | PARÁMETROS PVT | |
| 20 | z= | 0,97 |
| 21 | ρ_g (lb/ft³)= | 0,506 |
| 22 | μ_g (cp)= | 0,013 |
| 23 | S_{go}= | 0,85 |
| 24 | ρ_o (lb/ft³)= | 53,0145 |
| 25 | μ_o (cp)= | 5,91 |
| 26 | μ_w (cp)= | 0,85 |
| 27 | S_{gw}= | 1,03 |
| 28 | | |
| 29 | CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| 30 | Pop (psia)= | 200 |
| 31 | Top ($^{\circ}$ F)= | 60 |
| 32 | | |

Figura 33 Ingreso de datos para separador bifásico horizontal

| | | | | | |
|--|--|--------------------|--|-----------|----------------------|
| SG prom. Líquido= | 0,958 | | C_D = | 1,62188 | |
| ρ_l (lb/ft ³)= | 59,7792 | | d*Leff = | 105,3382 | |
| $((\rho_l - \rho_g / \rho_g) * d_m) =$ | 16399,6996 | | (d²)*Leff = | 16571,429 | |
| $(\rho_g * d_m / \mu_g) =$ | 5449,230769 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Iteración # | $(\rho_l - \rho_g / \rho_g) * d_m$ | Vt (ft/seg) | $(\rho_g * d_m / \mu_g)$ | Re | C_D |
| 0 | 16399,6996 | 0 | 5449,23077 | 0 | 0,34 |
| 1 | 16399,6996 | 2,6135 | 5449,23077 | 69,7841 | 1,04304 |
| 2 | 16399,6996 | 1,4922 | 5449,23077 | 39,8424 | 1,41765 |
| 3 | 16399,6996 | 1,2799 | 5449,23077 | 34,1752 | 1,55544 |
| 4 | 16399,6996 | 1,2219 | 5449,23077 | 32,6264 | 1,60081 |
| 5 | 16399,6996 | 1,2045 | 5449,23077 | 32,1607 | 1,61526 |
| 6 | 16399,6996 | 1,1991 | 5449,23077 | 32,0166 | 1,61980 |
| 7 | 16399,6996 | 1,1974 | 5449,23077 | 31,9717 | 1,62123 |
| 8 | 16399,6996 | 1,1969 | 5449,23077 | 31,9576 | 1,62168 |
| 9 | 16399,6996 | 1,1967 | 5449,23077 | 31,9532 | 1,62182 |
| 10 | 16399,6996 | 1,1966 | 5449,23077 | 31,9518 | 1,62186 |
| 11 | 16399,6996 | 1,1966 | 5449,23077 | 31,9514 | 1,62188 |
| 12 | 16399,6996 | 1,1966 | 5449,23077 | 31,9512 | 1,62188 |

Figura 34 Resultados obtenidos por el utilitario

| Diámetro (in) | d*Leff gas | Leff g (ft) | (d ²)*Leff | Leff l (ft) | Lss (ft) | Esbeltez | Diseño |
|---------------|------------|-------------|------------------------|-------------|----------|----------|----------|
| 16 | 105,3382 | 6,5836 | 16571,4286 | 64,7321 | 86,3095 | 64,7321 | RECHAZAR |
| 20 | 105,3382 | 5,2669 | 16571,4286 | 41,4286 | 55,2381 | 33,1429 | RECHAZAR |
| 24 | 105,3382 | 4,3891 | 16571,4286 | 28,7698 | 38,3598 | 19,1799 | RECHAZAR |
| 30 | 105,3382 | 3,5113 | 16571,4286 | 18,4127 | 24,5503 | 9,8201 | RECHAZAR |
| 36 | 105,3382 | 2,9261 | 16571,4286 | 12,7866 | 17,0488 | 5,6829 | RECHAZAR |
| 42 | 105,3382 | 2,5081 | 16571,4286 | 9,3942 | 12,5256 | 3,5788 | ACEPTAR |
| 48 | 105,3382 | 2,1945 | 16571,4286 | 7,1925 | 9,5899 | 2,3975 | RECHAZAR |
| 54 | 105,3382 | 1,9507 | 16571,4286 | 5,6829 | 7,5772 | 1,6838 | RECHAZAR |
| 60 | 105,3382 | 1,7556 | 16571,4286 | 4,6032 | 6,1376 | 1,2275 | RECHAZAR |
| 72 | 105,3382 | 1,4630 | 16571,4286 | 3,1966 | 4,2622 | 0,7104 | RECHAZAR |
| 84 | 105,3382 | 1,2540 | 16571,4286 | 2,3486 | 3,1314 | 0,4473 | RECHAZAR |

Figura 35 Resultados finales obtenidos por el utilitario

Finalmente, para éste campo en particular, el separador bifásico horizontal (prueba) tendrá las siguientes dimensiones:

- Diámetro (in): 42
- Longitud costura-costura (ft): 13
- Longitud efectiva (ft): 10
- ❖ Separador de producción:

| | | |
|----|----------------------------------|------------|
| 2 | | |
| 3 | Separador: | Trifásico |
| 4 | Orientación: | Horizontal |
| 5 | | |
| 6 | DATOS | |
| 7 | Qf (BFPD)= | 8000 |
| 8 | BSW (fracción)= | 0,6 |
| 9 | Qo (BPPD)= | 5000 |
| 10 | Qw (BAPD)= | 3000 |
| 11 | Qg (MMSCFD)= | 5 |
| 12 | μ_w (cp)= | 0,63 |
| 13 | $^{\circ}$API= | 30 |
| 14 | Tr (min)= | 10 |
| 15 | dm g (μm)= | 140 |
| 16 | dm w (μm)= | 500 |
| 17 | dm o (μm)= | 200 |
| 18 | | |

Figura 36 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal

| | | |
|----|---|-------|
| 18 | | |
| 19 | PARÁMETROS PVT | |
| 20 | z= | 0,965 |
| 21 | ρ_g (lb/ft³)= | 0,506 |
| 22 | μ_g (cp)= | 0,012 |
| 23 | Sgo= | 0,85 |
| 24 | ρ_o (lb/ft³)= | 62,83 |
| 25 | μ_o (cp)= | 10 |
| 26 | μ_w (cp)= | 0,63 |
| 27 | Sgw= | 1,05 |
| 28 | | |
| 29 | CONDICIONES DE OPERACIÓN | |
| 30 | Pop (psia)= | 140 |
| 31 | Top ($^{\circ}$ F)= | 100 |
| 32 | | |

Figura 37 Ingreso de datos para separador trifásico horizontal

| | | | | | |
|--------------------------------------|------------|-----------------|---------|------------------------------|---------|
| SG prom. Líquido= | 0,97 | $C_D=$ | 1,50160 | $H_o \text{ máx}=$ | 64,0000 |
| ρ_l (lb/ft ³)= | 60,528 | $d^*Leff=$ | 77,0797 | $A_w/A=$ | 0,1875 |
| $((\rho_l - \rho_g / \rho_g) * dm)=$ | 16606,8775 | $(d^*2)^*Leff=$ | 113600 | $\beta=$ | 0,2600 |
| $(\rho_g * dm / \mu g)=$ | 5903,33333 | | | Valor obtenido de la gráfica | |

| Iteración # | $(\rho_l - \rho_g / \rho_g) * dm$ | V_t (ft/seg) | $(\rho_g * dm / \mu g)$ | Re | C_D |
|-------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|---------|---------|
| 0 | 16606,8775 | 0 | 5903,33333 | 0 | 0,34 |
| 1 | 16606,8775 | 2,6300 | 5903,33333 | 76,0755 | 0,9994 |
| 2 | 16606,8775 | 1,5340 | 5903,33333 | 44,3719 | 1,33125 |
| 3 | 16606,8775 | 1,3291 | 5903,33333 | 38,4463 | 1,44808 |
| 4 | 16606,8775 | 1,2744 | 5903,33333 | 36,8628 | 1,48518 |
| 5 | 16606,8775 | 1,2584 | 5903,33333 | 36,3995 | 1,49660 |
| 6 | 16606,8775 | 1,2535 | 5903,33333 | 36,2603 | 1,50008 |
| 7 | 16606,8775 | 1,2521 | 5903,33333 | 36,2182 | 1,50114 |
| 8 | 16606,8775 | 1,2516 | 5903,33333 | 36,2054 | 1,50146 |
| 9 | 16606,8775 | 1,2515 | 5903,33333 | 36,2015 | 1,50156 |
| 10 | 16606,8775 | 1,2515 | 5903,33333 | 36,2003 | 1,50159 |
| 11 | 16606,8775 | 1,2515 | 5903,33333 | 36,2000 | 1,50160 |
| 12 | 16606,8775 | 1,2515 | 5903,33333 | 36,1999 | 1,50160 |

Figura 38 Resultados calculados por el utilitario

El factor β debe ser hallado por el usuario mediante la gráfica:

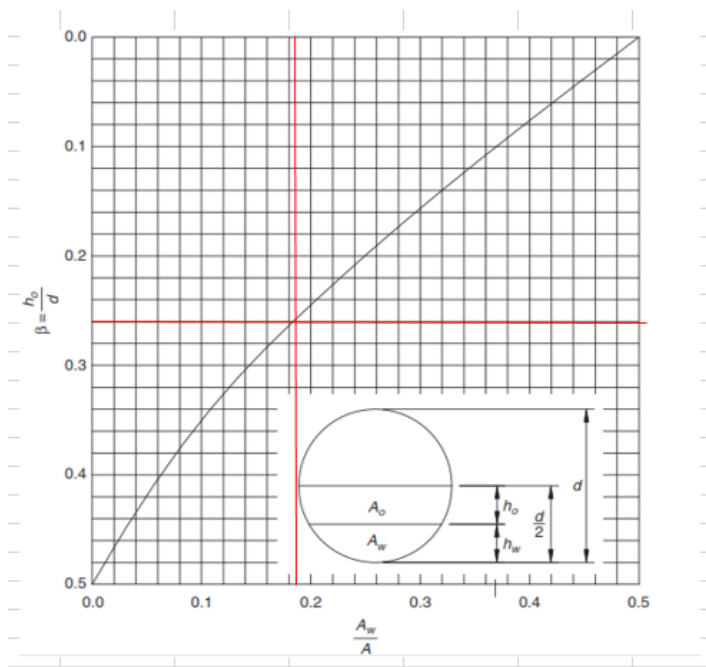


Figura 39 Gráfica para obtener el valor β

| d máx (in)= | 246,1538 | | | | | | |
|---------------|------------|-------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | |
| Diámetro (in) | d*Leff gas | Leff g (ft) | (d^2)*Leff | Leff l (ft) | Lss (ft) | Esbeltez | Diseño |
| 16 | 77,0797 | 4,8175 | 113600 | 443,7500 | 591,6667 | 443,7500 | RECHAZAR |
| 20 | 77,0797 | 3,8540 | 113600 | 284,0000 | 378,6667 | 227,2000 | RECHAZAR |
| 24 | 77,0797 | 3,2117 | 113600 | 197,2222 | 262,9630 | 131,4815 | RECHAZAR |
| 30 | 77,0797 | 2,5693 | 113600 | 126,2222 | 168,2963 | 67,3185 | RECHAZAR |
| 36 | 77,0797 | 2,1411 | 113600 | 87,6543 | 116,8724 | 38,9575 | RECHAZAR |
| 42 | 77,0797 | 1,8352 | 113600 | 64,3991 | 85,8655 | 24,5330 | RECHAZAR |
| 48 | 77,0797 | 1,6058 | 113600 | 49,3056 | 65,7407 | 16,4352 | RECHAZAR |
| 54 | 77,0797 | 1,4274 | 113600 | 38,9575 | 51,9433 | 11,5430 | RECHAZAR |
| 60 | 77,0797 | 1,2847 | 113600 | 31,5556 | 42,0741 | 8,4148 | RECHAZAR |
| 72 | 77,0797 | 1,0706 | 113600 | 21,9136 | 29,2181 | 4,8697 | ACEPTAR |
| 84 | 77,0797 | 0,9176 | 113600 | 16,0998 | 21,4664 | 3,0666 | ACEPTAR |
| 96 | 77,0797 | 0,8029 | 113600 | 12,3264 | 16,4352 | 2,0544 | RECHAZAR |
| 108 | 77,0797 | 0,7137 | 113600 | 9,7394 | 12,9858 | 1,4429 | RECHAZAR |

Figura 40 Resultados finales obtenidos por el utilitario

Finalmente, para éste campo en particular, el separador trifásico horizontal (producción) tendrá las siguientes dimensiones:

- Diámetro (in): 72
- Longitud costura-costura (ft): 30
- Longitud efectiva (ft): 22

En ambos casos se debe recordar redondear los valores de longitudes. Con el método usado se han obtenido buenos resultados en campo, y con el utilitario todo el proceso se vuelve mucho más sencillo y rápido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Para el servicio de separador de prueba del campo Mark 2, al Separador Bifásico Horizontal de 48"x14', el cual manejará 4000 BFPD. Al ser un separador horizontal, se obtiene una mayor separación primaria gas-líquido, así como la dispersión de espuma, por tener un área mayor a la de un separador vertical. El tiempo de retención establecido de 4 minutos garantiza que los procesos mencionados se cumplan.

2. Para el servicio de separador de producción del campo Mark 2, al Free Water Knockout horizontal de 84"x27', el cual manejará 10000 BFPD. Al tener un separador trifásico horizontal, con las dimensiones establecidas, aparte de las ventajas de eficiencia de separación por disponer de un área mayor y el tiempo de residencia considerado de 10 minutos, junto con el control de espumas, se tiene una ventaja adicional que es la de reducir el costo de dimensionamiento del tanque de lavado (que es el siguiente paso en el proceso de separación de fluidos), al necesitar de un tanque más pequeño ya que el fluido que va a ingresar al mismo tendrá un menor contenido de agua.

3. El utilitario proporciona un único dimensionamiento a escoger, es decir, es muy difícil que al final se presenten dos tipos de diseño con dimensiones distintas, todo esto basándose en la relación de esbeltez.

4. El nivel de fluido aproximado para los separadores de ambos campos es de 50% de la capacidad del recipiente; para niveles superiores al asumido ya no será correcto el uso del programa aquí presentado, porque todas las consideraciones y ecuaciones cambian.

Recomendaciones

1. El dimensionamiento de los separadores está relacionado de manera directa con los parámetros PVT, características de los fluidos y condiciones de operación, por lo que se debe trabajar con datos confiables para evitar incoherencias en resultados y posibles errores de dimensionamiento.
2. Si se diera el caso en que el programa proporcione dos dimensionamiento aceptables, para efectos de reducción de costos en la construcción del separador, se recomienda escoger el recipiente con menores dimensiones, ya que será mucho más barato de construir por requerir menos material.
3. Se consideraron 12 iteraciones para hallar el valor del Coeficiente arrastre, dado que ésta proporciona un valor aceptable con un error menor al 0.001; si el usuario quisiera realizar más iteraciones, la plataforma Excel le permite hacerlo sin problemas.
4. Tener siempre presente al momento de dimensionar el separador trifásico,

que el coeficiente β debe ser hallado manualmente por el usuario en la gráfica correspondiente.

5. Si en algún caso se necesita más valores de diámetro estándares que los proporcionados por el utilitario, se recomienda recurrir a la normativa API 12 J, en donde se especifican éstos valores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Stewart, M., & Arnold, K. (1999). *Surface Production Operations*. Burlington, USA: Gulf Professional Publishing-Elsevier.
2. Stewart, M., & Arnold, K. (2008). *Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators*. Burlington: Elsevier Inc.
3. Villamizar, J. (2011). *Separadores de Producción*. SENA. Institute, A. P. (2008). *Specification for Oil and Gas Separators*. Washington, D.C.: API Publishing Services.
4. Martinez, M. (2011). *Diseño Conceptual de Separadores*. Maracaibo, Venezuela.
5. Martínez, O., & Canelones, M. (1992). *Estaciones Recolectoras de Flujo*. Venezuela: PDVSA-CEPET.
6. Gomez, A., Becerril, F., & Flores, L. (1986). *Apuntes de Manejo de la Producción en la Superficie*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.