

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, 26 de Octubre del 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

\_\_\_\_ JHON JAIRO LÓPEZ AMADOR \_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_ 1075239428 \_\_\_\_\_,  
 \_JÓSE RICARDO MARTÍNEZ MONTENEGRO\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_ 83254448 \_\_\_\_\_,  
 \_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,  
 \_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

títulado \_\_\_\_\_ DIMENSIONAMIENTO DE MÚLTIPLES Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN  
 PROGRAMA COMPUTACIONAL \_\_\_\_\_

presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de

\_\_\_\_\_ INGENIERO DE PETROLEOS \_\_\_\_\_;

autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.



CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

• Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DIMENSIONAMIENTO DE MULTIPLES Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL**

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
LÓPEZ AMADOR	JHON JAIRO
MARTÍNEZ MONTENEGRO	JOSÉ RICARDO

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
BOTERO ROJAS	LUZ MARINA

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO DE PETROLEOS**

**FACULTAD: INGENIERIA**

**PROGRAMA O POSGRADO: PETROLEOS**

**CIUDAD: NEIVA      AÑO DE PRESENTACIÓN: 2015      NÚMERO DE PÁGINAS: 107**

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Diagramas\_X\_ Fotografías\_\_\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general\_X\_ Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_  
Litografías\_\_\_ Mapas\_X\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_\_\_ Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros\_X\_

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):**

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						 ISO 9001 SC 7384-1	 GP 205-1	 CERTIFIED iNet MANAGEMENT SYSTEM CO-SC 7384-1
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>								
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 3</b>		

Cont..... TRABAJO: DIMENSIONAMIENTO DE MULTIPLES Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL.

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. PROGRAMA	PROGRAM	2. MULTIPLES	MANIFOLDS
3. SEPARADORES	SEPARATORS	4. DIMENSIONAMIENTO	SIZING
5. PETROLEO	OIL		

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El proyecto "DIMENSIONAMIENTO DE MÚLTIPLES Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL" posee un componente teórico que busca fortalecer los recursos didácticos en el área de producción de petróleo y a través de él, contribuir al mejoramiento de la calidad académica que imparte el programa de Ingeniería de Petróleos a los futuros profesionales.

La intención de este trabajo es hacer el dimensionamiento de múltiples y separadores de petróleo mediante un programa computacional. Los métodos descritos en la literatura para el diseño de estos equipos son manuales de prueba y error con uso de tablas muy extensas que requieren aplicaciones de reglas prácticas, haciendo que el modelo sea de difícil modificación. El programa computacional nos admite especificar las variables importantes como diámetro y longitud del separador, diámetro de boquilla de entrada y salida como también espesor de cabezas, cascaron y soporte o faldón del separador para escoger el equipo más conveniente.

Como un gran apoyo para alcanzar el objetivo de este trabajo de grado, la dividimos en dos partes muy importantes, las cuales se relacionan estrechamente; la primera, en donde se describen claramente las formulas y la teoría para el correcto dimensionamiento de múltiples y separadores de petróleo, información que es utilizada para el desarrollo de la segunda etapa en donde se implementan estas fórmulas en un software que permita dimensionar de forma sencilla, ágil y correcta los múltiples y separadores.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The "SIZING MANIFOLD AND SEPARATORS BY A COMPUTER PROGRAM" has a theoretical component that seeks to strengthen the teaching resources in the area of oil production and through it, to help improve the academic quality that imparts Engineering program Petroleum future professionals.



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

**Cont..... TRABAJO: DIMENSIONAMIENTO DE MULTIPLES Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL.**

**The intention of this work is to do multiple sizing and oil separators by a computer program. The methods described in the literature for the design of this equipment is manual trial and error with use of very large tables that require applications of practical rules, doing that model is difficult to modify. The computer program allows us to specify the important variables such as diameter and length of the spacer, nozzle diameter input and output as thick head, shell and skirt support or separator to choose the most suitable equipment.**

**As a great support to attain the objective of this undergraduate work, we divide it into two important parts, which are closely related; first, where it is clearly described formulas and theory for correct sizing of manifolds and oil separators, information which is used for developing the second step where these formulas are implemented in software that allows sizing easily agile and correct the manifold and separators.**

#### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: ERVIN ARANDA ARANDA

Firma:

Nombre Jurado: HAYDE MORALES

Firma:

**DIMENSIONAMIENTO DE MANIFOLD Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN  
PROGRAMA COMPUTACIONAL**

**JHON JAIRO LOPEZ AMADOR  
JOSE RICARDO MARTINEZ MONTENEGRO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE PETROLEOS  
NEIVA  
2014**

**IMENSIONAMIENTO DE MANIFOLD Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN  
PROGRAMA COMPUTACIONAL**

**JHON JAIRO LOPEZ AMADOR  
JOSE RICARDO MARTINEZ MONTENEGRO**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para  
optar al título de Ingeniero de Petróleos

Director:  
**LUZ MARINA BOTERO**  
Ingeniera Química

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE PETROLEOS  
NEIVA  
2014**

## DEDICATORIA

*Dedico este logro a*

*A DIOS por permitir que cumpliera uno de mis mayores sueños el ser profesional y por ser mi guía, mi refugio y llenar toda mi vida de bendiciones.*

*A mi mamá Orly Amador porque sus valiosos consejos y el infinito amor que ha brindado en mi vida fueron y serán una fortaleza siempre para afrontar cada una de las metas propuestas.*

*A mi papá Jairo López Moreno por todos sus sacrificios, sus consejos, por la paciencia que me tuvo en los momentos más difíciles y por el inmenso amor que me ha brindado siempre.*

*A mis hermana Leidy Andrea López, por su continuo apoyo para que mi carrera siempre fuera un hecho, porque sus palabras me han llenado de ánimo y de fuerza para salir adelante en los momentos en que más los he necesitado.*

*JHON JAIRO LOPEZ AMADOR*

*Dedico y doy gracias a DIOS por concederme sabiduría, fortaleza y bendiciones en mi vida y lograr ascender un peldaño más en mi formación profesional y personal.*

*A mis padres, por su guía y amor constante, quienes en medio de su humildad y sacrificio me entregaron dos de los mejores tesoros: la educación y la responsabilidad; porque hicieron posible mi gran sueño, haciéndolo suyo también.*

*Agradezco también a todos mis compañeros, amigos de la U y del trabajo, profesores y demás personas que de una u otra manera contribuyeron a mi formación profesional y a lograr esta meta.*

*JOSE RICARDO MARTÍNEZ MONTENEGRO.*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores ofrecen sus agradecimientos a:

A la ingeniera **Luz Marina Botero**, profesora de la Universidad Surcolombiana, directora del proyecto por su colaboración, su constante e incansable enseñanza y su apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto.

A **Ervin Aranda Aranda** y **Hayde Morales**, profesores de la Universidad Surcolombiana y evaluadores de este proyecto, por su gran disposición, interés y acertadas observaciones.

A **Elcy Obregón** secretaria del programa de ingeniería de petróleos por toda la colaboración y apoyo prestado durante nuestro paso por la universidad.

A **Todos**, los que de una u otra forma influyeron en el desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	11
CAPITULO 1	15
MARCO REFERENCIAL	15
1.1 PROPIEDADES	15
1.1.1 Gravedad específica del gas	15
1.1.2 Ecuaciones de Estado para gas no ideal	15
1.1.3 Propiedades Reducidas	16
1.1.4 Densidad y Gravedad Específica del Líquido	16
1.1.5. Viscosidad	17
1.1.6. Flujo Erosional	17
1.2 TEORÍA DEL DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES	18
1.2.1 Separación de Petróleo y Gas	18
1.2.1.1 Asentamiento del líquido en el gas	18
1.2.1.2 Tamaño de la Gota	19
1.2.1.3 Tiempo de Retención	20
1.2.2 Separación de Petróleo y Agua	20
1.2.2.1 Asentamiento del agua en el aceite	20
1.2.2.2 Tiempo de retención	21
1.3. SECCIONES FUNCIONALES DE UN SEPARADOR	21
1.3.1. Sección de desviador de entrada	21
1.3.2. Sección de colección de líquido	21
1.3.3. Sección de asentamiento por gravedad	22
1.3.4. Sección de extractor de neblina	22
1.4. PROBLEMAS POTENCIALES DE OPERACIÓN	23
1.4.1. Crudo espumoso	23
1.4.2. Parafina	23
1.4.3. Arena	24
1.4.4. Slugs líquidos	26
1.5. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO	26
1.5.1. Previsión de la corrosión	27
1.5.2. Soldadura en las juntas o uniones	27

1.5.3. Estimación del peso	27
CAPITULO 2	29
2.1 DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES BIFÁSICOS	29
2.1.1 Separadores horizontales bifásicos	29
2.1.1.1 Capacidad de Gas	29
2.1.1.2 Capaidad de Liquido	30
2.1.1.3 Longitud Costura a Costura	30
2.1.1.4 Relación de Esbeltez	31
2.1.1.5 Diámetros de boquillas de entrada y salida	31
2.1.2 Separadores verticales bifásicos	32
2.1.2.1 Capacidad de Gas	32
2.1.2.2 Capacidad de Líquido	32
2.1.2.3 Longitud de costura a costura.	33
2.1.2.4 Relación de Esbeltez	34
2.1.2.5 Diámetros de boquillas de entrada y salida	34
2.2 DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES TRIFÁSICOS	34
2.2.1 Separadores horizontales trifásico	34
2.2.1.1 Capacidad de gas	34
2.2.1.2 Tiempo de retención	35
2.2.1.3 Longitud de costura a costura.	35
2.2.2 Separadores verticales trifásicos	35
2.2.2.1 Capacidad de Gas	35
2.2.2.2 Tiempo de Retención	36
2.2.2.3 Longitud costura a costura.	36
2.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MULTIPLES DE RECOLECCION	36
2.3.1. Cantidad de flautas	37
2.3.2. Colectores	37
2.3.3. Válvulas	37
2.3.4. Accesorios indicadores	38
CAPITULO 3	39
3.1 ESQUEMA DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL	39
3.2 MENÚ PARA SELECCIÓN DEL EQUIPO A DIMENSIONAR	39
3.3. DATOS DE ENTRADA	39
3.3.1. Manifolds	40
3.3.2. Separador bifásico horizontal o vertical	40
3.3.3. Separador trifásico horizontal o vertical	41

3.3.4. Dimensionamiento mecánico de separadores horizontales	41
3.3.5. Dimensionamiento mecánico separadores verticales	42
<b>3.4. EJECUCIÓN DEL PROCEDIMIENTO</b>	<b>44</b>
3.4.1. Manifolds	44
3.4.2. Separador bifásico horizontal	45
3.4.3. Separador bifásico vertical	50
3.4.4. Separador trifásico horizontal	51
3.4.5. Separador trifásico vertical	53
3.4.6. Ejecución para el dimensionamiento mecánico de separadores horizontales.	55
3.4.7. Ejecución para el dimensionamiento mecánico de separadores verticales	56
<b>3.5. DATOS DE SALIDA</b>	<b>57</b>
3.5.1. Manifolds	57
3.5.2. Separador bifásico horizontal	58
3.5.3. Separador bifásico vertical	59
3.5.4. Separador trifásico horizontal	59
3.5.5. Separador trifásico vertical	60
3.5.6. Dimensionamiento mecánico Separadores horizontales bifásico y Trifásico	61
3.5.7. Dimensionamiento mecánico Separadores Verticales bifásico y Trifásico	62
<b>CAPITULO 4</b>	<b>64</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>64</b>
4.1. Validación del dimensionamiento de un separador Bifásico Horizontal	64
4.2. Validación del dimensionamiento de un separador Bifásico Vertical	66
4.3. Validación del dimensionamiento de un separador Trifásico Horizontal	67
4.4. Validación del dimensionamiento de un separador Trifásico Vertical	69
4.5. Validación del dimensionamiento mecánico de un separador	71
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempo de retención de liquido	20
Tabla 2. Tiempo de retención de aceite	21
Tabla 3. Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador bifásico horizontal	64
Tabla 4. Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Horizontal	64
Tabla 5. Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador bifásico Vertical	66
Tabla 6. Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Vertical	66
Tabla 7. Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador Trifásico Horizontal	67
Tabla 8. Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Horizontal	68
Tabla 9. Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador Trifásico Vertical	69
Tabla 10. Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Vertical	70
Tabla 11. Datos de entrada para el dimensionamiento mecánico de un separador Trifásico Vertical.	71
Tabla 12. Resultados Dimensionamiento Mecanico Separador Trifásico Vertical	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Esquema separador horizontal.	22
Fig. 2 Esquema separador vertical.	23
Fig. 3 Esquema de un separador horizontal equipado con chorros de arena y canal invertido.	24
Fig. 4 Separador vertical con una presión que contiene parte inferior del cono utilizado para recoger los sólidos.	25
Fig. 5 Separador vertical equipado en la parte inferior con un cono interno y una línea de compensación.	25
Fig. 6 Fórmulas para Recipientes bajo presión Interna.	26
Fig. 7 Longitud Aproximada Costura a Costura de un Separador Horizontal.	29
Fig. 8 Longitud Aproximada Costura a Costura de un Separador Vertical.	33
Fig. 9 Ventana de menú	39
Fig. 10 Entrada de datos Manifold	40
Fig. 11 Ventana de entrada de datos separador bifásico horizontal	40
Fig. 12 Ventana de entrada de datos separador trifásico vertical	41
Fig. 13 Ventana dimensionamiento mecánico separadores horizontales.	42
Fig. 14 Ventana para el cálculo de pesos con espesores estándar	42
Fig. 15 Ventana dimensionamiento mecánico separadores verticales	43
Fig. 16 Ventana para el cálculo de pesos con espesores Estándar.	43
Fig. 17 Ventana de resultados Manifolds	57
Fig. 18 Ventana de resultados separador bifásico horizontal.	59
Fig. 19 Ventana de resultados separador bifásico vertical	60
Fig. 20 Ventana de resultados separador Trifásico horizontal	60
Fig. 21 Ventana de resultados separador trifásico vertical	60
Fig. 22 Ventana de datos calculados separador bifásico horizontal	61
Fig. 23 Ventana de datos calculados separador Trifásico horizontal dimensionamiento mecánico.	62
Fig. 24 Ventana de datos calculados separador bifásico vertical	62
Fig. 25 Ventana de datos calculados separador Trifásico vertical Dimensionamiento mecánico	63
Fig. 26 Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Horizontal. Programa Computacional	65
Fig. 27 Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Vertical. Programa Computacional	67
Fig. 28 Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Horizontal. Programa Computacional	68
Fig. 29 Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Vertical. Programa Computacional	70
Fig. 30 Resultados Dimensionamiento Mecánico Separador Trifásico Vertical. Programa Computacional	72

## INTRODUCCION

Dos de las operaciones básicas en la producción, procesamiento y tratamiento de petróleo y gas son: (1) El recibimiento, centralización y conducción hecha con **Manifolds** y (2) La dispersión física en fases líquida y gaseosa forjada con **Separadores** de los fluidos producidos por el yacimiento.

Los Manifolds son tuberías que permiten el flujo procedente de uno o varios pozos que se mezclan en una instalación central para luego ser dirigidas a cualquiera de los sistemas de producción. Estos reciben el fluido específicamente de cada pozo en una flauta, que se encarga de individualizar la corriente por medio de válvulas de corte. Luego pasa al colector el cual envía la circulación a un sitio determinado en la batería, tales como separadores, calentadores, etc. Detalladamente debe de hallarse dos tipos de colectores, uno de prueba y otro general; y opcionalmente uno de seguridad y otro de recirculación.

Los separadores son recipientes en acero a presión que reciben el fluido proveniente, ya sea, de un pozo, manifold o un separador que opera a una presión más alta. Los tipos de separadores más utilizados en las baterías de producción son los verticales y horizontales, que pueden ser bifásicos o trifásicos. La diferencia en la configuración utilizada radica en el tipo y cantidad de fluido que se vaya a manejar como también la disponibilidad del espacio en la planta. El separador se divide en cuatro secciones internas principales. En la primera sección se busca eliminar la mayor parte de líquido a la entrada de la corriente. En la sección secundaria la sedimentación es provocada por la gravedad y su validez resulta de las propiedades del líquido, tamaño de partícula, y del grado de turbulencia de gas. La tercera sección es la del extractor de neblina, aquí las gotas de líquido pequeñas que no sedimentan fuera de la corriente de gas en la sección de separación secundaria se eliminan. En la cuarta sección recoge todo el líquido separado de la corriente de entrada. Los separadores son comúnmente diseñados para cumplir con ciertas especificaciones y requisitos impuestos por el comprador. En su fabricación no solo se tiene en cuenta la longitud y el diámetro. Los esfuerzos y cargas a que se somete el recipiente, asimismo el tipo de material, requieren seguir reglas las cuales por medio de un código o norma se establecen los criterios de diseño. Debido a esto, los separadores pueden estar equipados con más y otras características.

Para el dimensionamiento de Manifold y separadores convencionales los procedimientos son manuales de prueba y error con uso de tablas muy extensas que requieren aplicaciones de reglas prácticas. Son herramientas restringidas, lo cual, hacen que el modelo sea de difícil modificación. El diseño inadecuado de

estos componentes de proceso puede reducir la capacidad de toda la instalación. Por otra parte, dicho programa no representa una interfaz de análisis eficiente para la evaluación de la optimización y flexibilidad de su diseño.

La finalidad de este proyecto es presentar un informe sobre los parámetros y características de dimensionamiento de los manifolds y separadores en un software didáctico, el cual permite evaluar de una manera rápida y segura, cada una de las posibles alternativas de diseño. La verificación de la funcionalidad de la herramienta nos ayudara a soportar estas alternativas y agilizar el aprendizaje.

## RESUMEN

El proyecto “DIMENSIONAMIENTO DE MANIFOLD Y SEPARADORES POR MEDIO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL” posee un componente teórico que busca fortalecer los recursos didácticos en el área de producción de petróleo y a través de él, contribuir al mejoramiento de la calidad académica que imparte el programa de Ingeniería de Petróleos a los futuros profesionales.

La intención de este trabajo es hacer el dimensionamiento de manifolds y separadores de petróleo mediante un programa computacional. Los métodos descritos en la literatura para el diseño de estos equipos son manuales de prueba y error con uso de tablas muy extensas que requieren aplicaciones de reglas prácticas. Son herramientas restringidas, lo cual, hacen que el modelo sea de difícil modificación. El programa computacional nos admite especificar las variables importantes como diámetro y longitud del separador, diámetro de boquilla de entrada y salida como también espesor de cabezas, cascaron y soporte o faldón del separador para escoger el equipo más conveniente.

Como un gran apoyo para alcanzar el objetivo de esta tesis, la dividimos en dos partes muy importantes, las cuales se relacionan estrechamente; la primera, en donde se describen claramente las formulas y la teoría para el correcto dimensionamiento de manifold y separadores de petróleo, información que es utilizada para el desarrollo de la segunda etapa en donde se implementan estas fórmulas en un software que permita dimensionar de forma sencilla, ágil y correcta los manifold y separadores.

La primera etapa se desarrolla en los primeros dos capítulos del documento en donde se presentan los conceptos básicos para determinar las características, parámetros y normas sobre diseño y dimensionamiento de los manifold y separadores que serán de gran importancia para el entendimiento y mejor uso del software desarrollado.

La segunda etapa corresponde al desarrollo del software, el cual se describe en el capítulo octavo con apoyo de imágenes que permiten visualizar por medio de pantallazos las diferentes opciones a las cuales se puede acceder y así determinar los valores de dimensionamiento de cada uno de los elementos del manifold y de los separadores, se presenta también un ejercicio de aplicación y los códigos del lenguaje de programación utilizado para el desarrollo del software.

## ABSTRACT

The Project “Multiple Sizing and Separation Using a Software” has a theoretical component which seeks to strengthen didactic resources in a petroleum production area and through it, be able to contribute to improve academic quality which is given by petroleum Engineering Program to future professionals.

The intention of this work is to make the sizing of manifolds and oil separators using a computer program. The methods described in the literature for the design of these devices are manual trial and error with use of tables that require very extensive applications of practical rules. They are restricted tools, which make the model is difficult to modify. The computer program allowed us to specify the important variables such as diameter and length of the spacer, nozzle diameter input and output as thickheads, shell and skirt support or separator to choose the most suitable equipment

As a great support to achieve the objective of this thesis, we divide it into two major parts, which are closely related; the first, which clearly describe the formulas and theory for proper sizing of manifold and oil separators, information which is used for developing the second step where these formulas are implemented in software which allows dimensioning easily agile and correct the manifold and separators.

The first stage takes place in the first seven chapters of the document where the basics are presented to determine the characteristics, parameters and standards for design and dimensioning of the manifold and separators will be of great importance for the understanding and better use of software developed.

The second stage is the development of software, which is described in the eighth with support for viewing images using the different options screenshots which can be accessed and determine the values of sizing each of the elements manifold and separators, also presents an application exercise and codes of the programming language used to develop the software.

# CAPÍTULO 1

## MARCO REFERENCIAL

### 1.1 PROPIEDADES

En el dimensionamiento de separadores y manifolds, es necesario la aplicación de propiedades las cuales influyen en el tipo de selección del equipo.

#### 1.1.1 Gravedad Especifica del gas

La gravedad específica de un gas es la relación de la densidad del gas a la densidad del aire en condiciones normales de temperatura y presión.

$$G.E_g = \frac{\rho_g}{\rho_{aire}} \dots\dots\dots Ec. 1$$

Donde

$\rho_g$  = Densidad del gas (g/ml) (lb/ft<sup>3</sup>)

$\rho_{aire}$  = Densidad del aire (g/ml) (lb/ft<sup>3</sup>)

$G.E_g$  = Gravedad específica del gas

Ambas densidades se deben calcular a la misma presión y temperatura, por lo general en condiciones estándar.

La gravedad específica puede estar también relacionada con el peso molecular:

$$G.E_g = \frac{PM_g}{28.97 \frac{lb}{(lb-mol)}} \dots\dots\dots Ec. 2$$

$PM_g$  = *Peso molecular del Gas* Lb/lb-mol

#### 1.1.2. Ecuaciones de Estado para gas no ideal

Las ecuaciones de Estado del gas ideal describen gases más reales a baja presión, pero no dan resultados razonables a presiones más altas. Muchas ecuaciones PVT se han desarrollado para describir, el comportamiento no ideal de un gas real. Cada una es empírica, correlacionando un conjunto específico de datos utilizando una o más constantes empíricas. Desafortunadamente, no existe una correlación que se utilice para todas las mezclas de gases. Algunas de las ecuaciones de estado más comunes que intentan definir la relación entre Presión, Volumen y Temperatura para los gases reales son:

- Van Der Waals

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \dots\dots\dots \text{Ec. 3}$$

- Peng-Robinson

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)+b(V-b)} \dots\dots\dots \text{Ec. 4}$$

Donde

$a, b$  = Factores de la correlación

$V$  = Volumen Molar

### 1.1.3. Propiedades Reducidas

Propiedades reducidas se utilizan para correlacionar los datos experimentales.

$$P_r = \frac{P}{P_c} \dots\dots\dots \text{Ec. 5}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \dots\dots\dots \text{Ec. 6}$$

Donde

$P_r$  = Presión Reducida

$P_c$  = Presión Crítica

$T_r$  = Temperatura Reducida

$T_c$  = Temperatura Crítica

### 1.1.4. Densidad y Gravedad Especifica del Líquido

La gravedad específica de un líquido es la relación entre la densidad del líquido a 60 °F y la densidad del agua pura. La gravedad API se relaciona con la gravedad específica mediante la siguiente ecuación:

$$^\circ API = \left(\frac{141.5}{G.E_l}\right) - 131.5 \dots\dots\dots \text{Ec. 7}$$

Donde

$G.E_l$  = Gravedad Específica de un líquido

$$G.E_l = \frac{\rho_l}{\rho_w} \dots\dots\dots \text{Ec. 8}$$

Donde

$\rho_l$  = Densidad de un líquido (g/ml) (lb/ft<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = Densidad del Agua (g/ml) (lb/ft<sup>3</sup>)

### 1.1.5. Viscosidad

Esta propiedad de un fluido indica su resistencia al flujo. Es una propiedad importante que se usa en las ecuaciones de flujo y el tamaño del equipo de proceso. Es una propiedad dinámica en que se puede medir sólo cuando el fluido está en movimiento. La viscosidad es un número que representa las fuerzas de arrastre causadas por las fuerzas de atracción en capas de fluido adyacentes. Podría ser considerado como la fricción interna entre las moléculas, que separa entre el fluido y la pared del tubo.

La unidad de la viscosidad en la industria del petróleo es el centipoises, donde

$$1 \text{ Centipoise (cp)} = 0.01 \text{ Dinas/cm}^2$$

$$1 \text{ Centipoise (cp)} = \frac{0.000672 \text{ lbm}}{\text{ft} * \text{sec}}$$

La viscosidad del líquido disminuye al aumentar la temperatura, mientras que la viscosidad del gas disminuye inicialmente con el aumento de temperatura y luego aumenta con el aumento de más temperatura.

### 1.1.6. Flujo Erosional

Flujo Erosional se produce cuando las gotas de líquido impactan en la pared con la fuerza suficiente para erosionar los productos de corrosión, dejando al descubierto el metal al fluido y permitiendo que se produzca más corrosión. Cuanto mayor sea la velocidad del flujo, mayor es la tendencia a que la erosión de fluido que se produzca. Cuando la velocidad del flujo excede el valor dado por la ecuación (1.9) se produce que la erosión de los productos de la corrosión en el flujo de dos fases.

$$V_e = \frac{C}{(\rho_m)^{1/2}} \dots \dots \dots \text{Ec. 9}$$

Donde,

$V_e$  = Velocidad del flujo erosional (pie/seg)

$\rho_m$  = Densidad del fluido (lb/pie<sup>3</sup>)

C = Constante empírica. Toma valores de 100 para servicio continuo y 123 para servicio no continuo.

La densidad de la mezcla se puede expresar por la ecuación (10).

$$\rho_m = \frac{12409 * G.E_l * P + (2.7) * G.E_g * R * P}{(198.7) * P + Z * R * T} \dots\dots\dots \text{Ec. 10}$$

Donde,

- $G.E_l$  = Gravedad específica del líquido
- R = Relación gas/líquido (pie<sup>3</sup>/bbl)
- T = Temperatura de operación (°R)
- $G.E_g$  = Gravedad específica del gas a condiciones estándar
- P = Presión (psia)

## 1.2 TEORÍA DEL DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES

El equilibrio de fase es una condición donde los líquidos y vapores han alcanzado ciertas condiciones de presión y temperatura a la que pueden separarse. En la mayoría de los sistemas de producción, en realidad, nunca se llega al verdadero equilibrio; sin embargo, vapores y líquidos se mueven a través del sistema lo suficientemente lento haciendo que se suponga un "pseudo" o "cuasi" equilibrio. Esta hipótesis simplifica los cálculos del proceso.

### 1.2.1 Separación de Petróleo y Gas

En el dimensionamiento de un separador de aceite y gas, lo que se hace es la separación mecánica en una corriente de hidrocarburo de los componentes líquidos y gaseosos que existen a una temperatura y presión específica.

#### 1.2.1.1 Asentamiento del líquido en el gas

El asentamiento ocurre en una sección del separador, donde las gotas de líquido suspendidas en el gas se asientan por la fuerza de gravedad a una velocidad terminal o velocidad de asentamiento. La fuerza de la gravedad sobre la gota o "fuerza de flotación negativa" es igual a la fuerza de arrastre ejercida sobre la gota debido a su movimiento con esta velocidad a través de la fase de gas continua. La fuerza de arrastre sobre una gota puede ser determinada a partir de la siguiente ecuación:

$$F_D = C_D A d \rho \left[ \frac{V_t^2}{2g} \right] \dots\dots\dots \text{Ec. 11}$$

Donde,

- $F_D$  = Fuerza de Arrastre (lb)
- $C_D$  = Coeficiente de Arrastre (Adimensional)
- A = Área de la gota (pie<sup>2</sup>)
- $\rho$  = Densidad de la fase continua (lb/pie<sup>3</sup>)
- $V_t$  = Velocidad de asentamiento de la gota (pie/seg)

$$g = \text{Constante de Gravedad (32.2 pie/seg}^2\text{)}$$

$$C_D = \frac{24}{Re} \dots\dots\dots \text{Ec. 12}$$

Donde,

$Re$  = Número de Reynolds

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que relaciona las fuerzas inerciales y viscosas. Se expresa de forma general por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho * D_t * V_t}{\mu} \dots\dots\dots \text{Ec.13}$$

Donde,

$D_t$  = Diámetro interno de la tubería (pie)

$\mu$  = Viscosidad (lb/pie-seg<sup>2</sup>)

$$F_D = 3 * \pi * \mu * D * V_t \quad \text{Ley de Stokes} \dots\dots\dots \text{Ec.14}$$

Para los diseños de las instalaciones de producción, la ley de Stokes no gobierna, y para calcular el coeficiente de arrastre, la siguiente ecuación más completa debe ser utilizada:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{1/2}} + 0.34 \dots\dots\dots \text{Ec.15}$$

Igualando las fuerzas de arrastre y boyantes, la velocidad de sedimentación terminal está dada por:

$$V_t = 0.0119 \left[ \left( \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec.16}$$

Donde,

$\rho_l$  = Densidad del líquido, (lb/pie<sup>3</sup>)

$\rho_g$  = Densidad del gas a la temperatura y presión en el separador, (lb/pie<sup>3</sup>)

### 1.2.1.2 Tamaño de la Gota

La finalidad del Extractor de niebla en la sección de sedimentación por gravedad en el recipiente es el acondicionamiento del gas para el tratamiento final. Se selecciona un tamaño de gota de líquido en la aplicación de las ecuaciones de sedimentación. A partir de la experiencia de campo, parece que si las gotas de 140 micras se eliminan en esta sección, el extractor de niebla no llegará a ser inundado y será capaz de realizar su trabajo de quitar esas gotas entre los diámetros de 10 y 140 micras. Las técnicas utilizadas aquí se pueden modificar fácilmente para cualquier tamaño de gota.

### 1.2.1.3 Tiempo de Retención

Para asegurar de que el haya un equilibrio de líquido y gas a presión del separador, se requiere un cierto almacenamiento de líquido. El tiempo de retención es, por lo tanto, el volumen de almacenamiento de líquido en el recipiente dividido por el caudal de líquido.

Para la mayoría de los casos se han utilizado tiempos de retención entre 30 segundos y 3 minutos. Donde hay crudo con formación de espuma, pueden ser necesarios tiempos de retención de hasta cuatro veces esta cantidad. En ausencia de información, se pueden utilizar las pautas que se presentan en la Tabla 1.

°API	TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)
35+	0.5 a 1
30	2
25	3
20	4+
1. Si existe espuma, aumentar por encima de los tiempos de retención por un factor de 2 a 4. 2. Si existe alta [CO <sub>2</sub> ], utilizar un mínimo de tiempo de retención de 5 minutos.	

**Tabla 1.** Tiempo de retención de líquido

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations

## 1.2.2 Separación de Petróleo y Agua

Cuando el aceite y el agua se mezclan con cierta intensidad y luego se deja sedimentar, una capa de agua libre relativamente limpia aparecerá en la parte inferior. La fracción de agua, obtenida a partir de la sedimentación por gravedad, se llama "agua libre". Normalmente es beneficioso para separar el agua libre antes de intentar tratar las capas de petróleo y emulsión restantes. Para la separación y eliminación de agua libre de una mezcla de crudo y agua se hace el dimensionamiento de separadores trifásicos.

### 1.2.2.1 Asentamiento del agua en el aceite

Se puede demostrar que el flujo alrededor de la solución, cuando las gotas de aceite en agua o de agua en aceite caen, es laminar y por lo tanto la ley de Stokes gobierna. La velocidad terminal de caída de es:

$$V_t = \frac{1.78 \times 10^{-6} (\Delta SG) d_m^2}{\mu} \dots \dots \dots \text{Ec.17}$$

Donde,

$V_t$  =Velocidad terminal de asentamiento, pie/s

$\Delta SG$  = Diferencia en la gravedad específica relativa al agua entre el aceite y las fases de agua

$d_m$  =Tamaño de la gota, micrones

$\mu$  =Viscosidad de la fase continua, cp

### 1.2.2.2 Tiempo de retención

Se requiere una cierta cantidad de almacenamiento de aceite para asegurar que el este alcanza el equilibrio y que el gas es liberado. Se requiere una cantidad adicional de almacenamiento para asegurar que el agua libre tiene tiempo para unirse en tamaños de gota suficientes para caer, de acuerdo con las ecuación 15.

Es común el uso de tiempos de retención que van desde 3 a 30 minutos, dependiendo de los datos de laboratorio o en el campo. Si esta información no está disponible, se pueden utilizar las directrices que se presentan en la Tabla 2. Generalmente, el tiempo de retención debe ser aumentada como la gravedad o viscosidad del aceite aumenta.

°API	TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)
Condensado	2 a 5
Aceite crudo liviano (30°-40°)	5-7.5
Aceite crudo intermedio (20°-30°)	7.5-10
Aceite crudo pesado (menor que 20°)	10+
2. Si existe una emulsión en la corriente de entrada, aumentar por encima de los tiempos de retención por un factor de 2 a 4.	

**Tabla 2.** Tiempo de retención de aceite

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition

## 1.3 SECCIONES FUNCIONALES DE UN SEPARADOR

Sin importar el tamaño o la forma, cada separador, bifásico gas-líquido o trifásico líquido-líquido contiene cuatro secciones principales.

### 1.3.1 Sección de desviador de entrada

La corriente de entrada al separador es típicamente una mezcla turbulenta de alta velocidad de gas y líquido. Debido a la alta velocidad, los fluidos entran en el separador con un alto impulso. El desviador de entrada, a veces referido como la sección de separación primaria, cambia bruscamente la dirección del flujo mediante la absorción del impulso, permitiendo que el gas y el líquido se separen.

### 1.3.2 Sección de colección de líquido

La sección de colección de líquido, situada en la parte inferior del recipiente, proporciona el tiempo de retención requerido necesario para que cualquier gas

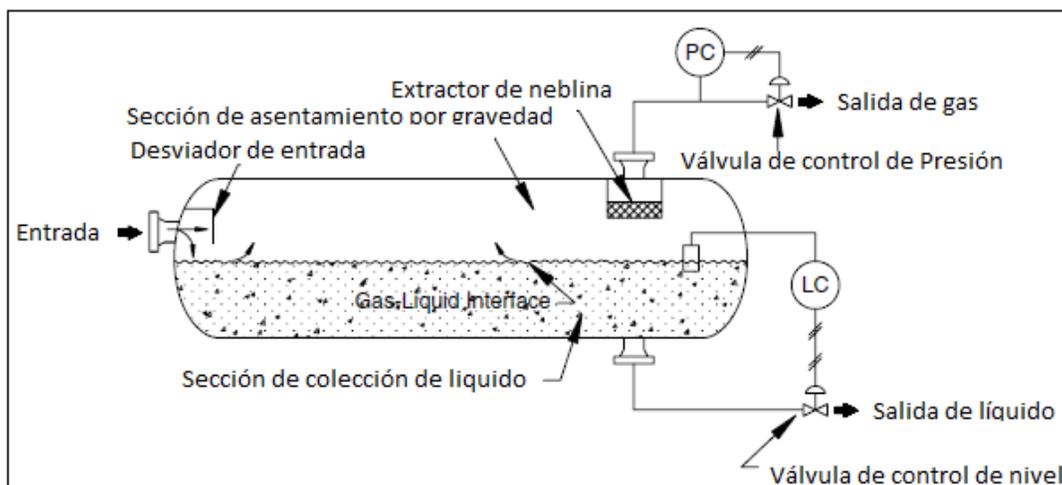
arrastrado en el líquido se escape a la sección de asentamiento por gravedad. Además, proporciona un aumento de volumen para manejar slugs intermitentes. El grado de separación depende del tiempo de retención proporcionado. El tiempo de retención se ve afectado por la cantidad de líquido que el separador puede contener, la velocidad a la que los fluidos entran en el recipiente, y la densidad diferencial de los fluidos. La separación líquido-líquido requiere tiempos de retención más largos que la separación de gas-líquido.

### 1.3.3 Sección de asentamiento por gravedad

Como la corriente de gas entra en la sección de asentamiento por gravedad, su velocidad de caída y las pequeñas gotas de líquido que fueron arrastradas en el gas y no separadas por el desviador de entrada se separan por gravedad y caen a la interfaz gas-líquido. La sección de asentamiento por gravedad está dimensionada de modo que las gotas de líquido mayores de 100 a 140 micras caen a la interfaz de gas-líquido mientras gotas de líquido más pequeñas permanecen con el gas. Gotas de líquido mayor de 100 a 140 micras son indeseables ya que puede sobrecargar el extractor niebla en la salida del separador.

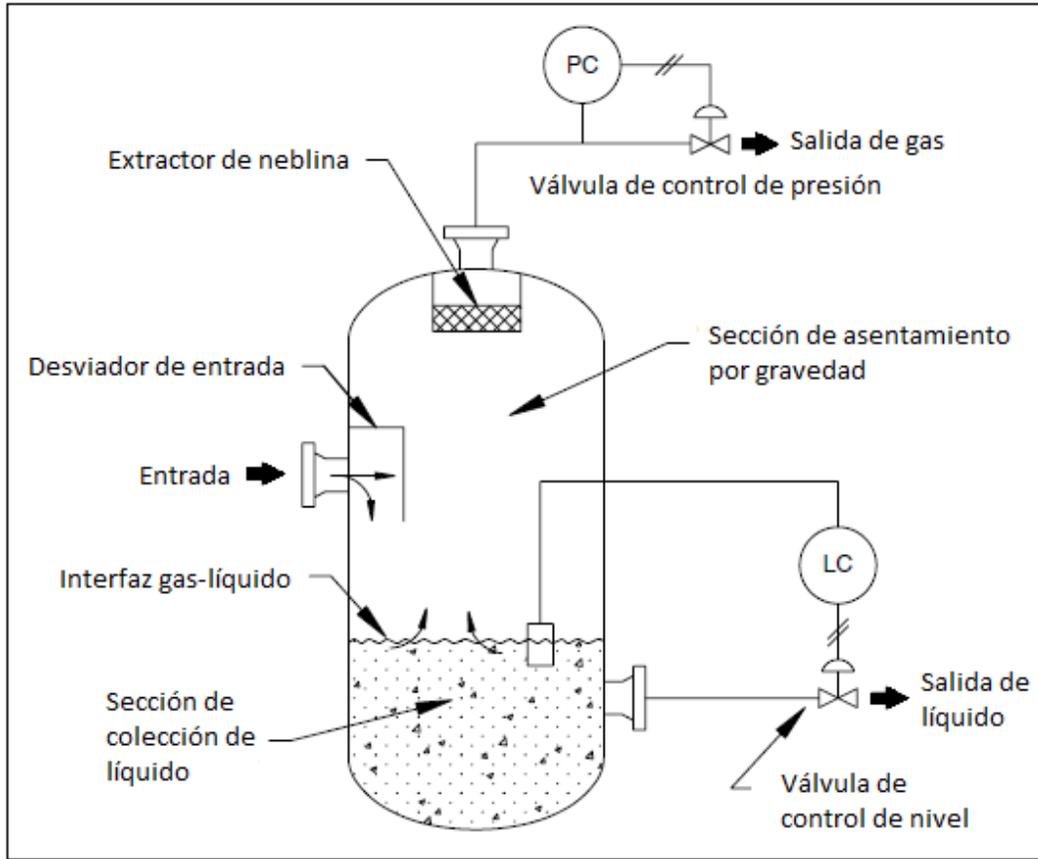
### 1.3.4 Sección de extractor de neblina

El gas que sale de la sección de sedimentación por gravedad contiene pequeñas gotas de líquido, generalmente menos de 100 a 140 micras. Antes de que el gas salga del recipiente, se pasa a través de una sección de coalescencia o extractor niebla. Esta sección utiliza elementos que proporcionan una gran cantidad de superficie utilizada para unir y eliminar las pequeñas gotas de líquido coalescente. Como el gas fluye a través de los elementos coalescentes, este debe hacer numerosos cambios de dirección. Debido a su mayor masa, las gotas de líquido no pueden seguir los rápidos cambios en la dirección del flujo. Estas gotas chocan y se acumulan en los elementos coalescentes, donde caen a la sección de recogida de líquido.



### Figura 1. Esquema separador horizontal

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition



### Figura 2. Esquema separador vertical

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition

## 1.4 PROBLEMAS POTENCIALES DE OPERACIÓN

### 1.4.1 Crudo espumoso

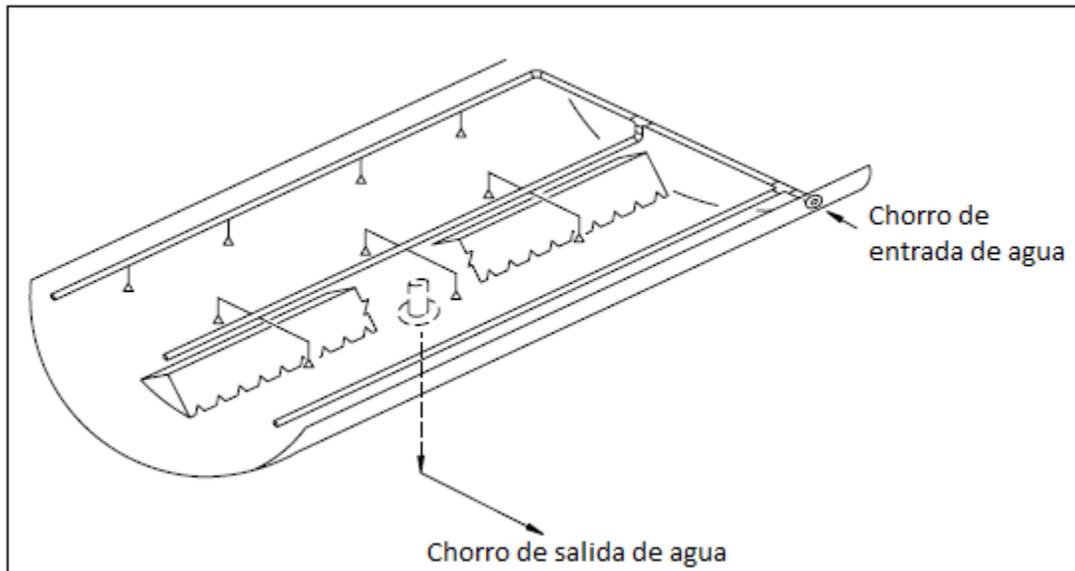
La causa principal de la espuma en el petróleo crudo es la presencia de impurezas, distintos del agua, que son poco prácticos para eliminar antes de la corriente llega al separador. Una impureza que casi siempre produce espuma es el CO<sub>2</sub>. A veces, completamiento y reparación de pozos, los fluidos que son incompatibles con los fluidos del pozo, también pueden causar espuma. Esta no presenta ningún problema dentro de un separador si el dimensionamiento interno asegura un tiempo adecuado o suficiente superficie de coalescencia para "romper" la espuma.

### 1.4.2 Parafina

La operación de separación puede verse afectada negativamente por una acumulación de parafina. Placas para coalescencia en la sección líquido y extractores de neblina en la sección de gas son particularmente propensos a taparse por acumulación de parafina.

### 1.4.3 Arena

La arena puede ser muy problemática en los separadores por causar disminución de la capacidad en la válvula reguladora, el taponamiento interno de los separadores, y la acumulación en la parte inferior del separador. Un ajuste especial puede minimizar los efectos de la arena en las válvulas. Las acumulaciones de arena pueden ser removidas periódicamente mediante la inyección de agua o vapor en el fondo del recipiente con el fin de suspender la arena durante el drenaje. La figura 3 es un esquema de un sistema de lavado de la arena y de drenaje instalado en un separador horizontal equipado con chorros de arena y un canal invertido.

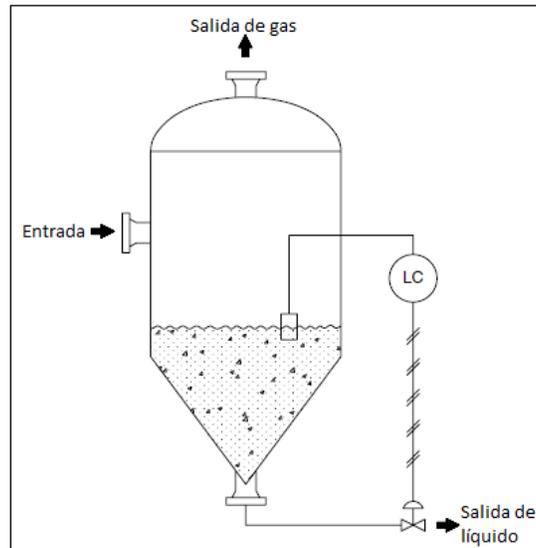


**Figura 3.** Esquema de un separador horizontal equipado con chorros de arena y canal invertido

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition

A veces, un separador vertical está equipado con una parte inferior de cono. Este sistema sería utilizado si se prevé que la producción de arena podría ser un problema importante. El cono está normalmente en un ángulo de entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$  a la horizontal. La Producción de arena puede tener una tendencia a pegarse al acero a  $45^\circ$ . Si se instala un cono, que podría ser parte de las paredes de contención de presión del recipiente (Figura 3), o por razones estructurales, se podría instalar interno en el recipiente (Figura 4). En tal caso, una línea de

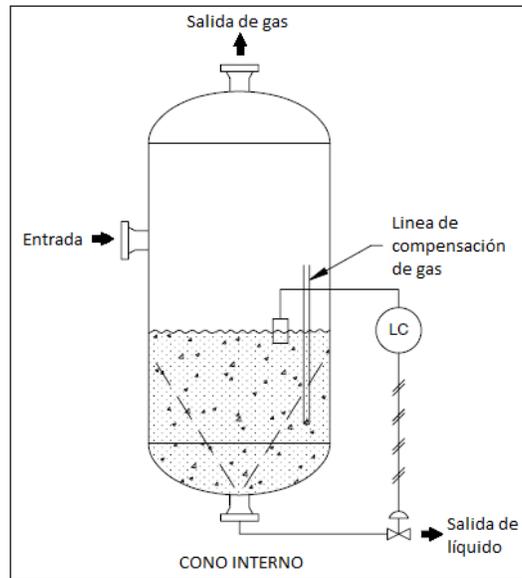
compensación de gas debe ser instalado para asegurar que el vapor detrás del cono está siempre en equilibrio de presión con el espacio de vapor.



**Figura 4.** Separador vertical con una presión que contiene parte inferior del cono utilizado para recoger los sólidos.

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition

El taponamiento de las partes internas de separación es un problema que debe ser considerado en el diseño del separador. Un dimensionamiento que promueva la buena separación y tener un mínimo de trampas para la acumulación de arena puede ser difícil de lograr, ya que el diseño que ofrece el mejor mecanismo para separar las fases de gas, petróleo y agua, probablemente, también proporcionará las zonas de acumulación de arena. Un equilibrio práctico para estos factores es la mejor solución.



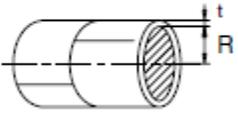
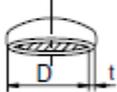
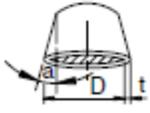
**Figura 5.** Separador vertical equipado en la parte inferior con un cono interno y una línea de compensación

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition

#### 1.4.4 Slugs líquidos

Líneas y tuberías de flujo de dos fases tienden a acumular líquidos en puntos bajos en las líneas. Cuando el nivel de líquido en estos puntos bajos se eleva lo suficientemente alto para bloquear el flujo de gas, entonces el gas empujará el líquido a lo largo de la línea como un slug.

#### 1.5 DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO

FORMULAS PARA RECIPIENTES BAJO PRESIÓN INTERNA	
<b>NOTACIÓN:</b> $\alpha$ = Mitad de ángulo del ápice del cono, Grados. D = Diámetro interno, Pulgadas. E = Eficiencia en las uniones Soldadas P = Presión de diseño o Presión máxima permisible, psig	
En términos de diámetro o radio interno	
<b>Cuerpo Cilíndrico</b>  $t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$	<b>Cabezal o Tapa Elipsoidal 2:1</b>  $t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$
<b>Cabezal o Tapa Hemisférica</b>  $t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$ <b>Esfera</b>	<b>Cabezal o Tapa Cónica</b>  $t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$

**Figura 6.** Fórmulas para Recipientes bajo presión Interna. Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition

La figura 6 contiene las fórmulas utilizadas en este trabajo para el cálculo del espesor de pared del cuerpo o cascara y las tapas o cabezales, donde S es el Valor Máximo permitidos de tensión o esfuerzo para el material y t es el espesor.

### 1.5.1 Previsión de la corrosión

Típicamente, se añade un sobre espesor de corrosión de 0.250 pulg Para prevenir el desgaste corrosivo para el espesor de pared calculado en las ecuaciones de la figura 6.

### 1.5.2 Soldadura en las juntas o uniones

Para este trabajo nos basamos en la categoría 1, en la cual, las juntas van a tope como sujeto por doble soldadura o por otros medios que obtener la misma calidad de metal de soldadura depositada en las superficies interiores. Se excluyen soldaduras utilizando tiras de respaldo de metal que permanecen en el lugar. No tiene ninguna limitación. Para esta categoría utilizamos valores de grado de examen radiográfico: Full = 1.0, Spot = 0.85, None = 0.7.

### 1.5.3 Estimación del peso

El peso de un recipiente se compone del peso del cascaron o cuerpo, el peso de las tapas o cabezas, y el peso de internos, boquillas, pedestales, y faldón.

- Peso del cascaron o cuerpo

$$W_{cuerpo} = 11 * d * t * L \dots\dots\dots Ec. 18$$

Donde,

$W_{cuerpo}$  = Peso del cuerpo o cascaron, (lb)  
d = Diámetro interno, (pulg)  
t = Espesor de pared del cascaron, (pulg)  
L = Longitud del cuerpo o cascaron, (pie)

- Peso del cabezal o tapa hemisférico

$$W_{Cabeza-hemisférica} = 1.57 * d_{interno}^2 * t * \rho_{material} \dots\dots\dots Ec. 19$$

Donde:

$d_{interno}^2$  = diámetro interno del recipiente, (pulg).

t = Espesor de pared del cascarón, (pulg).

$\rho_{material}$  = Densidad del material, (0,28333 Lb/pulg).

- Peso del cabezal elipsoidal

$$W_{Cabeza-elipsoidal} \approx (0.34 * t * d^2) + (1.9 * t * d) \dots\dots\dots 1.24$$

Donde,

t= Espesor de pared del cabezal o tapa elipsoidal, (pulg)  
d= Diámetro interno (pulg)

- Peso del cabezal o sección cónica

$$W_{\text{Cabeza-cónica}} = \frac{(0.23 * t * d^2)}{(\sin \alpha)} \dots\dots\dots \text{Ec. 20}$$

$\alpha$ =Es la mitad del ángulo del ápice del cono, (Grados)

d=Diámetro interno, (pulg)

t = Espesor de pared del cabezal cónico, (pulg)

- Peso de las boquillas y elementos internos

Puede ser estimado del 5 al 10 % de la suma de los pesos del cascarón y cabezas del recipiente.

- Peso del faldón soporte del recipiente cuando es vertical

$$W_{\text{faldón}} = 11 * d * t * L \dots\dots\dots \text{Ec. 21}$$

Donde:

d=Diámetro interno

t=el mismo grosor que del cascarón (despreciando la tolerancia de corrosión)

L=Dependiendo de la cabeza se calcula:

Elipsoidal,

$$L = \frac{0.25 * d}{12} + 2 \dots\dots\dots \text{Ec. 22}$$

Cónica,

$$L = \frac{0.5 * d}{12 * \tan \alpha} + 2 \dots\dots\dots \text{Ec. 23}$$

- Peso de los pedestales soporte cuando el recipiente es horizontal

Puede ser estimado como el 10% del peso total del recipiente.

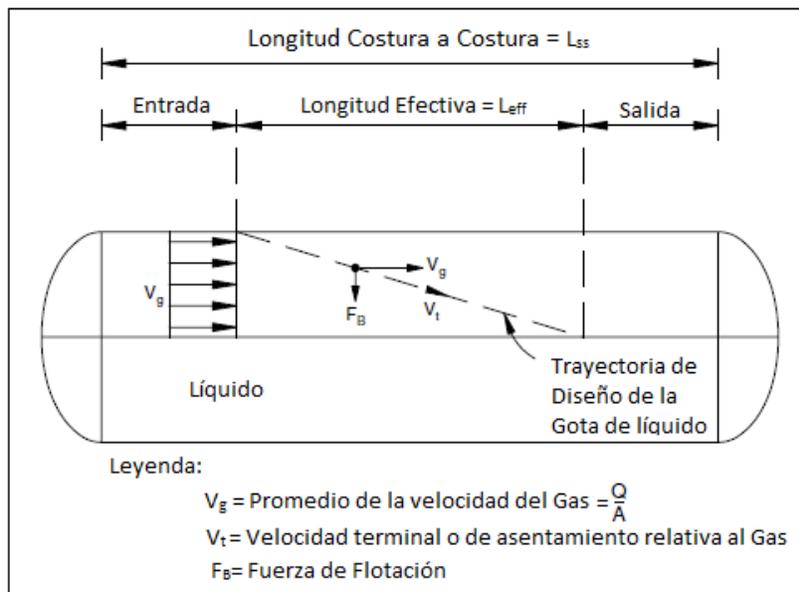
## CAPITULO 2

### 2.1. Dimensionamiento de separadores bifásicos

Se presenta los criterios para el dimensionamiento inicial de los separadores horizontales y verticales bifásicos, con el propósito de mejorar la experiencia operativa

### 2.1.1. Separador Bifásico Horizontal

Para un separador horizontal, se escoge la longitud costura a costura y el diámetro (Figura 7), para satisfacer las propiedades de capacidad de gas que permiten a las gotas de líquido caer desde el gas, que atraviesa la longitud efectiva del recipiente, al volumen de líquido. Además ha de facilitar un tiempo de retención suficiente para permitir que el líquido alcance el equilibrio.



**Figura 7.** Longitud Aproximada Costura a Costura de un Separador Horizontal.

Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. *Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition*

#### 2.1.1.1. Capacidad de Gas

Las ecuaciones de capacidad gas se basan en ajustar el tiempo de retención de gas igual al tiempo requerido para que una gota llegue a la interfaz líquido. Para un separador horizontal se utiliza la ecuación 24.

$$d * L_{eff} = 420 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec. 24}$$

Donde,

d = Diámetro interno del Recipiente, Pulgadas

$L_{eff}$  = Longitud efectiva del recipiente donde ocurre la separación, Pies

T = Temperatura de operación, °R  
 Q<sub>g</sub> = Caudal de flujo de Gas, MMscfd  
 P = Presión de operación, psia  
 Z = Compresibilidad del Gas  
 C<sub>D</sub> = Coeficiente de Arrastre  
 d<sub>m</sub> = Diámetro de gota de líquido a ser separada, micrón  
 ρ<sub>g</sub> = Densidad del Gas, lb/ft<sup>3</sup>  
 ρ<sub>l</sub> = Densidad del líquido, lb/ft<sup>3</sup>

### 2.1.1.2. Capacidad de Líquido

Se dimensiona para proporcionar un tiempo de retención de líquido para que el líquido puede alcanzar el equilibrio de fase con el gas. Para un separador horizontal, con un tiempo de caudal de líquido y de retención especificado, la siguiente ecuación puede ser utilizada para determinar el tamaño del recipiente.

$$d^2 * L_{eff} = \frac{t_{rl} * Q_l}{0.7} \dots\dots\dots \text{Ec. 25}$$

t<sub>rl</sub> = tiempo de retención deseado para el líquido, minutos  
 Q<sub>l</sub> = Caudal de flujo del líquido, bpd

### 2.1.1.3. Longitud Costura a Costura

La longitud real requerida es la longitud costura a costura. Como se muestra en la figura 7, la longitud real está conformada por la longitud necesaria para el desviador de entrada, la longitud efectiva donde ocurre la separación y la longitud donde se coloca el extractor de neblina.

Para capacidad de gas,

$$L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12} \dots\dots\dots \text{Ec. 26}$$

Para capacidad de líquido,

$$L_{ss} = \frac{4}{3} L_{eff} \dots\dots\dots \text{Ec. 27}$$

### 2.1.1.4. Relación de esbeltez

A medida que el separador disminuye el diámetro, menor peso tendrá y por lo tanto menor será su costo. Sin embargo, al disminuir el diámetro presenta situaciones indeseables que pueden afectar la operación.

Al calcular la relación de esbeltez debe dar al menos 1 o más. Los separadores bifásicos están dimensionados para un valor entre 3 y 4, con previa evaluación para evitar problemas de funcionamiento.

$$R = \frac{12 * L_{ss}}{d} \dots\dots\dots \text{Ec. 28}$$

**2.1.1.5. Diámetros de boquillas de entrada y salida**

Teniendo en cuenta la velocidad del fluido, del gas y la densidad de la mezcla se calculan los diámetros. Las mismas ecuaciones se utilizan para cualquier tipo de separador bifásico o trifásico.

Diámetro de boquilla de entrada,

$$\phi_{boquilla-Entrada} = \left( \frac{4 * (Q_o + Q_g)}{\pi * V_{boquilla}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec. 29}$$

Diámetro de boquilla de salida de gas,

$$\phi_{boquilla-salida-gas} = \left( \frac{4 * Q_g}{\pi * V_{boquilla}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec. 30}$$

Diámetro de boquilla de salida de líquido

$$\phi_{boquilla-salida-líquido} = \left( \frac{4 * Q_o}{\pi * V_{boquilla}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec.}$$

Donde,

$Q_g$  = Caudal de gas, MMpcsd

$Q_o$  = Caudal de aceite, bpd

$V_{boquilla}$  = Velocidad de boquilla, pie/seg

### 2.1.2. Separador bifásico Vertical

En un separador vertical, un diámetro mínimo debe mantenerse para permitir que las gotas de líquido se separen del gas que se mueve verticalmente. El requisito de tiempo de retención de líquido se cumple con una combinación de diámetro y altura del volumen de líquido (Figura 8). Cualquier diámetro mayor que el mínimo requerido para la capacidad de gas puede ser elegido.

#### 2.1.2.1. Capacidad de gas

Al establecer el tiempo de retención de gas igual al tiempo requerido para que una gota alcance la interfaz de líquido, la siguiente ecuación se puede utilizar.

$$d^2 = 5040 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec. 32}$$

#### 2.1.2.2. Capacidad de líquido

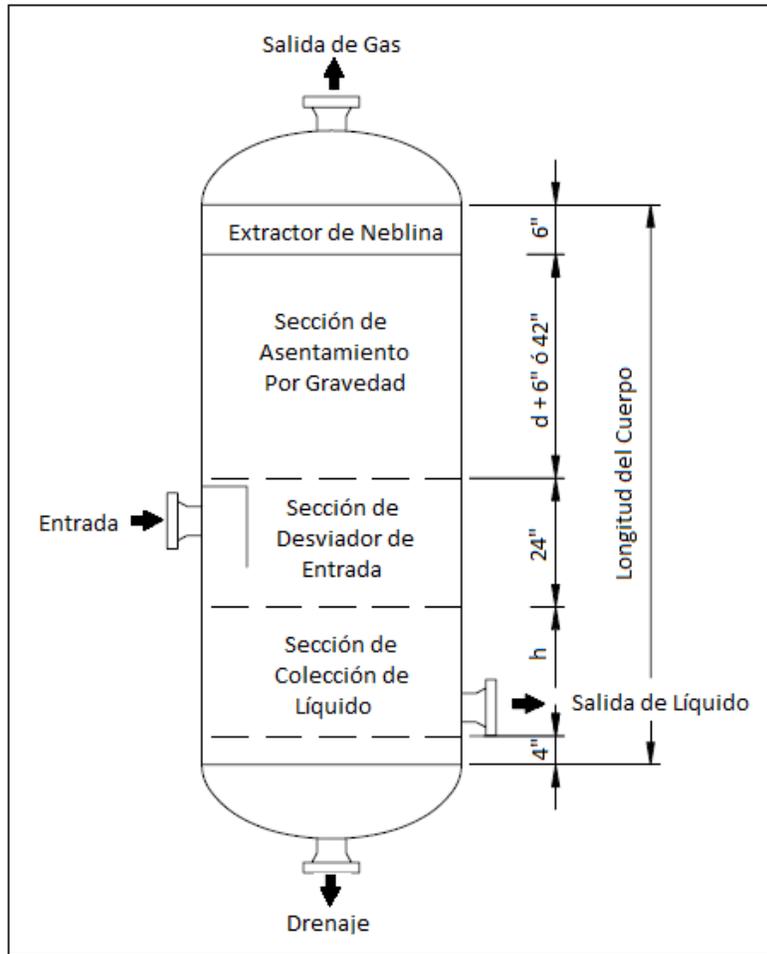
Para que el líquido alcance el equilibrio de fase con el gas se debe proporcionar un tiempo de retención. Para un caudal de líquido con un tiempo de retención especificado se utiliza la siguiente ecuación para calcular el tamaño del recipiente.

$$d^2 * h = \frac{t_r * Q_l}{0.12} \dots\dots\dots \text{Ec. 33}$$

Donde,

$h$  = Altura del líquido

$t_r$  = Tiempo de retención de líquido



**Figura 8.** Longitud Aproximada Costura a Costura de un Separador Vertical.

*Fuente: Ken Arnold y Maurice Stewart. Surface Production Operations. Design of Oil Handling Systems and Facilities. Third edition*

### 2.1.2.3. Longitud Costura a Costura

Teniendo en cuenta el diseño de los elementos internos, la longitud costura a costura de un separador vertical se determina con base al diámetro y la altura del líquido.

Para diámetros  $\leq 36$  pulgadas,

$$L_{ss} = \frac{h+76}{12} \dots\dots\dots \text{Ec. 34}$$

Para diámetros  $> 36$  pulgadas,

$$L_{ss} = \frac{h+d+40}{12} \dots\dots\dots \text{Ec. 35}$$

Donde,

h = Altura de nivel del líquido, pulgadas

d = Diámetro interno del recipiente, pulgadas

#### 2.1.2.4. Relación de esbeltez

En separadores verticales cuyo dimensionamiento domina el líquido, es común elegir relaciones de esbeltez no mayor de 4 para mantener la altura de la sección de colección de líquido a un nivel razonable. Es común elegir una relación entre 3 y 4, aunque las restricciones de altura pueden forzar la elección menor. Para determinar esta, se utiliza la misma ecuación que para horizontales.

#### 2.1.2.5. Diámetros de boquillas de entrada y salida

Para determinar diámetros de boquillas de entrada, salida de gas y salida de líquido se utilizan las ecuaciones de separadores horizontales.

### 2.2. DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES TRIFÁSICOS

Ahora se tendrán en cuenta los criterios de diseño para separadores trifásicos horizontales y verticales.

#### 2.2.1. Separador trifásico horizontal

Para dimensionar este separador se especifica el diámetro y la longitud costura a costura del recipiente. Se considera el tiempo de retención, la capacidad de gas y se determina combinaciones de diámetro y longitud costura a costura.

##### 2.2.1.1. Capacidad de gas

Se establece el tiempo de retención de gas igual al tiempo requerido para que una gota de líquido se una a la interfaz de líquido.

$$d * L_{eff} = 420 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2} \dots\dots\dots Ec.$$

36

Donde,

d = Diámetro interno del Recipiente, Pulgadas

L<sub>eff</sub> = Longitud efectiva del recipiente donde ocurre la separación, Pies

T = Temperatura de operación, °R  
 Q<sub>g</sub> = Caudal de flujo de Gas, MMscfd  
 P = Presión de operación, psia  
 Z = Compresibilidad del Gas  
 C<sub>D</sub> = Coeficiente de Arrastre  
 d<sub>m</sub> = Diámetro de gota de líquido a ser separada, micrón  
 ρ<sub>g</sub> = Densidad del Gas, lb/ft<sup>3</sup>  
 ρ<sub>l</sub> = Densidad del líquido, lb/ft<sup>3</sup>

### 2.2.1.2. Tiempo de retención

Las especificaciones de tiempo de retención de líquido se pueden utilizar para desarrollar la ecuación, que puede ser utilizado para determinar combinaciones aceptables de diámetro y longitud efectiva.

$$d^2 * L_{eff} = 1.42 * [(Q_w * (t_r)_w) + (Q_o * (t_r)_o)] \dots\dots\dots \text{Ec. 37}$$

Donde,

Q<sub>w</sub> = Caudal de agua, BPD  
 Q<sub>o</sub> = Caudal de aceite, BPD  
 (t<sub>r</sub>)<sub>w</sub> = Tiempo de retención del agua, minutos  
 (t<sub>r</sub>)<sub>o</sub> = tiempo de retención del aceite, minutos

### 2.2.1.3. Longitud costura a costura

Para dimensionar el recipiente se basan en la capacidad de gas, se requiere alguna parte de la longitud del recipiente para distribuir el flujo uniformemente cerca del desviador de entrada como también se requiere otra porción de la longitud del recipiente para el extractor de niebla.

$$L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12} \dots\dots\dots \text{Ec. 38}$$

## 2.2.2. Separador trifásico vertical

Al igual que con los separadores verticales bifásicos, un diámetro mínimo se debe conservar para permitir a las gotas de líquido separarse del gas que se mueve verticalmente. También debe mantener un diámetro suficiente para que las gotas de agua en el aceite lleguen a la interfaz del agua.

### 2.2.2.1. Capacidad de gas

Se establece la velocidad del gas igual a la velocidad terminal de una gota.

$$d^2 = 5040 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec. 39}$$

**2.2.2.2. Tiempo de retención**

$$h_o + h_w = \frac{[(Q_w * (t_r)_w) + (Q_o * (t_r)_o)]}{0.12 * d^2} \dots\dots\dots \text{Ec. 40}$$

Donde,

h<sub>o</sub> = Altura del aceite, pulgadas  
 h<sub>w</sub> = Altura del agua, pulgadas

**2.2.2.3. Longitud costura a costura**

Al igual que con separadores trifásicos horizontales, el diseño específico de los elementos internos del recipiente afectará a la longitud costura a costura. La longitud costura a costura de los separadores verticales puede ser estimado basado en el diámetro y la altura del líquido.

Para diámetros ≤ 36 pulgadas

$$L_{SS} = \frac{h_o + h_w + 76}{12} \dots\dots\dots \text{Ec. 41}$$

Para diámetros > 36 pulgadas

$$L_{SS} = \frac{h_o + h_w + d + 40}{12} \dots\dots\dots \text{Ec. 42}$$

Donde,

d = Diámetro mínimo para capacidad de gas.

**2.3. Dimensionamiento de Manifolds o Múltiples de recolección**

Generalmente está conformado por cuatro colectores: De producción general, de prueba, de transferencia y de seguridad, los dos últimos seleccionados de manera opcional. Para realizar este dimensionamiento se debe tener en cuenta el caudal

"Q" y las características del fluido; y luego de forma iterativa se realiza una serie de cálculos.

$$V_e = \frac{C}{(\rho_m)^{1/2}} \dots\dots\dots \text{Ec. 43}$$

$V_e$  = Velocidad erosional, pies/segundo.

$\rho_m$  = Densidad del fluido, lb/pie<sup>3</sup>

C = Constante empírica: 100 para servicio continuo y 123 para servicio no continuo

**2.3.1. Cantidad de flautas,**

$$N^\circ \text{ Flautas} = N^\circ \text{ Lineas} \dots\dots\dots \text{Ec. 44}$$

Donde,

N° Lineas = Lineas provenientes de los pozos

El diámetro de las flautas generalmente es de 3 ó 4 pulgadas, como se mencionó anteriormente.

**2.3.2. Colectores**

Área transversal de la flauta,

$$A_{Flauta}^2 = \frac{\pi * d_{Flauta}^2}{4} \dots\dots\dots \text{Ec. 45}$$

Área del colector,

$$A_{Colector}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{A_{Flauta}^2}{2} \dots\dots\dots \text{Ec. 46}$$

Diámetro del colector,

$$d_{Colector} = \sqrt{\frac{4 * A_{Colector}^2}{\pi}} \dots\dots\dots Ec. 47$$

Donde,

$d_{Flauta}^2$  = Diámetro de la flauta, pulgadas

**2.3.3. Válvulas**

Válvulas de la flauta,

Nº Válvulas cheque = Nº líneas provenientes de los pozos ..... Ec. 48

Nº Válvulas de corte = Nº líneas provenientes de los pozos ..... Ec. 49

Válvulas de colectores,

$Válvulas\ en\ el\ colector = \frac{N^\circ\ Colectores}{Flauta} * N^\circ\ Flautas \dots\dots\dots Ec. 50$

**2.3.4. Accesorios indicadores**

Nº Manómetros = Nº Líneas provenientes de los pozos ..... Ec. 51

Nº Termómetros = Nº Líneas provenientes de los pozos ..... Ec. 52

Nº Toma muestras = Nº Líneas provenientes de los pozos ..... Ec. 53

## **CAPITULO 3**

### **3.1 Esquema del programa computacional**

Programas en computadoras nos brindan la posibilidad de automatizar el procedimiento para dimensionar manifold y separadores de manera muy precisos. A continuación se muestra las operaciones llevadas a cabo por la aplicación.

### **3.2 Menú para selección del equipo a dimensionar**

Se muestra únicamente el menú con la posibilidad de elegir un equipo a dimensionar. Está dividida en tres partes dependiendo el equipo (Manifolds, separadores bifásicos y separadores trifásicos). La manera de elección es dando clic en el botón que indica su función, en el caso de manifold, o su forma, en el caso de los separadores. (Figura 9).



**Figura 9.** Ventana de menú  
*Referencia: Diagrama propio.*

### 3.3. Datos de entrada

Al elegir el equipo que se desea dimensionar se abrirá la ventana de entrada de datos. Cada equipo presenta su respectiva ventana.

#### 3.3.1. Manifolds

Consta de nueve casillas para ingresar los datos con su respectiva etiqueta y dos botones: calcular y menú. (Figura 10)

**Figura 10.** Entrada de datos Manifold  
*Referencia: Diagrama propio.*

### 3.3.2. Separador bifásico horizontal o vertical

Esta ventana consta de siete casillas con etiqueta y dos botones de calcular y menú. Tanto la ventana del horizontal como la del vertical son iguales, lo único diferente es de qué forma será el dimensionamiento. (Figura 11)

**Figura 11.** Ventana de entrada de datos separador bifásico horizontal  
*Referencia: Diagrama propio.*

### 3.3.3. Separador trifásico horizontal o vertical

En este caso la ventana consta de once casillas rotuladas y el botón de calcular y el de menú. Como en el caso del separador bifásico, tanto la del separador horizontal como la del vertical son los mismos datos de entrada. (Figura 12.)

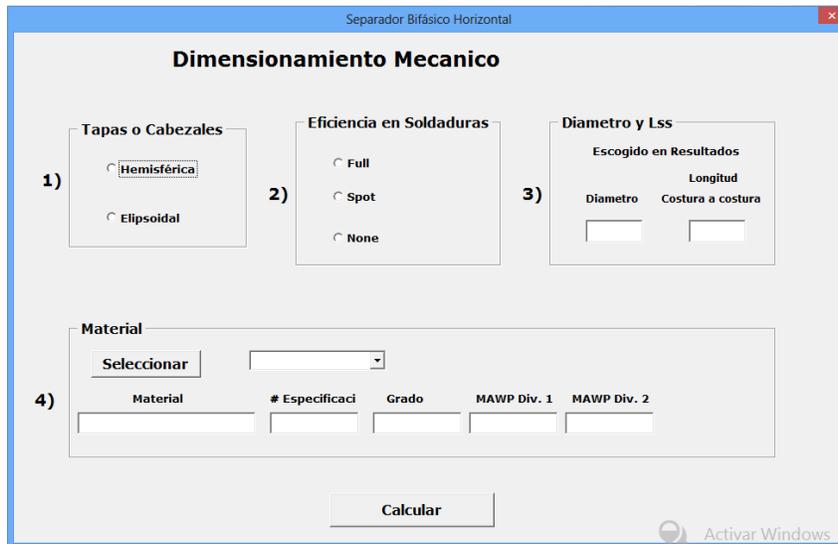
Datos De Entrada:			
Presión (psia)	<input type="text"/>	Tiempo de retención de Aceite (Min)	<input type="text"/>
Temperatura (°F)	<input type="text"/>	Tiempo de Retención del Agua (Min)	<input type="text"/>
Caudal de Petroleo (BOPD)	<input type="text"/>	Viscosidad del Aceite (cp)	<input type="text"/>
Caudal de Gas (MMscfd)	<input type="text"/>	Diametro de la Gota (Micrones)	<input type="text"/>
Caudal de Agua (BWPD)	<input type="text"/>	Gravedad API	<input type="text"/>
Gravedad Especifica del Gas	<input type="text"/>		

**Figura 12.** Ventana de entrada de datos separador trifásico vertical  
*Referencia: Diagrama propio.*

### 3.3.4. Dimensionamiento mecánico de separadores horizontales

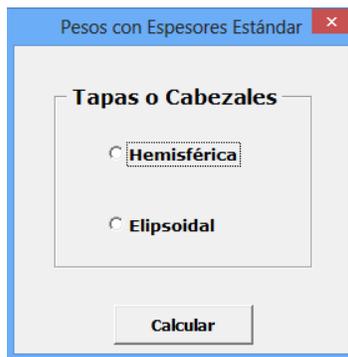
Para el dimensionamiento mecánico, se puede hacer, ya sea bifásico o trifásico, el mismo procedimiento. A continuación se muestra la ventana con la que empieza el dimensionamiento ingresando algunos datos.

La ventana está dividida en cuatro partes donde se selecciona y se ingresan parámetros para el dimensionamiento. La primera es donde se escoge el tipo de cabeza o cabezal del recipiente. La segunda parte es donde se escoge la eficiencia de las juntas o de las soldaduras. La tercera parte se ingresa los datos de diámetro y longitud costura a costura que se escogió de los cálculos anteriores. La cuarta parte es donde se selecciona el material con la que se fabricaría el recipiente.



**Figura 13.** Ventana dimensionamiento mecanico separadores horizontales.  
Referencia: Diagrama propio.

El dimensionamiento mecanico finaliza con hallar los pesos de cada parte del recipiente con datos de espesores estandarizados. En la hoja aparece un boton para habilitar el formulario o ventana donde se escogen algunos parámetros para el cálculo. (Figura 14).



**Figura 14.** Ventana para el cálculo de pesos con espesores estándar  
Referencia: Diagrama propio.

### 3.3.5. Dimensionamiento mecánico separadores verticales

A continuación se muestra la ventana con la que empieza el dimensionamiento para separadores verticales, ingresando algunos datos.

**Figura 15.** Ventana dimensionamiento mecánico separadores verticales  
Referencia: Diagrama propio.

La tercera parte es donde se escoge la eficiencia de las juntas o de las soldaduras. La cuarta parte se ingresa los datos de diámetro y longitud costura a costura que se escogió de los calculos anteriores. La quinta parte es donde se selecciona el material con la se fabricaría el recipiente.

El dimensionamiento mecánico finaliza con el cálculo de pesos con espesores estándar. En la hoja de calculo se halla un boton para que habilite la ventana.

**Figura 16.** Ventana para el cálculo de pesos con espesores Estándar.  
Referencia: Diagrama propio.

### 3.4. Ejecución del procedimiento

A manera de pasos se representará la operación que realiza el programa para el dimensionamiento.

#### 3.4.1. Manifold

1. Calcular la densidad de la mezcla

$$\rho_m = \frac{(12409)(G.E_l)P + (2.7)SRP}{(198.7)P + ZRT}$$

2. Calcular la velocidad erosional

$$V_e = \frac{C}{\rho_m^{1/2}}$$

3. Calcular el número de colectores

Dependiendo del número de pozos y del caudal, la cantidad de colectores será necesaria

4. Calcular el área de la flauta

$$A_{FLAUTA} = \frac{\pi \times d_F^2}{4}$$

5. Calcular el área del colector

$$A_{COLECTOR} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{Fi}}{2}$$

6. Calcular el diámetro del colector

$$d_{COLECTOR} = \sqrt{\frac{4Ac}{\pi}}$$

7. Calcular el número de válvulas para los colectores

$$\text{válvulas en el colector} = \frac{N^{\circ} \text{ colectores}}{\text{Flauta}} \times N^{\circ} \text{ flautas}$$

8. Calcular el espesor del colector

$$t = \left[ t_c + t_{th} + \frac{Pd_o}{2(SE + PY)} \right] \left[ \frac{100}{100 - Tol} \right]$$

### 3.4.2. Separador bifásico horizontal

1. Calcular el factor de compresibilidad (Z)

Presión pseudoreducida

$$P_{pr} = \frac{P}{756.8 - 131 * G.E_g - 3.6 * G.E_g^2}$$

Temperatura Pseudoreducida

$$T_{pr} = \frac{T}{169.2 + 349.5 * G.E_g - 74 * G.E_g^2}$$

Secuencia para hallar Z

$$Z=1$$

$$Z_{old} = 0$$

$$\left| \frac{Z - Z_{old}}{Z + 1 * 10^{-9}} \right|$$

$$Z_{old} = Z$$

Luego se calcula M

$$M = 0.27 * \frac{P_{pr}}{Z * T_{pr}}$$

Después se procede a calcular el factor de compresibilidad

$$z = 1 + \left( 0.3265 - \frac{1.07}{T_{pr}} - \frac{1.07}{T_{pr}} + \frac{0.5339}{T_{pr}^2} - \frac{0.05165}{T_{pr}^5} \right) * M$$

$$+ \left( 0.5475 - \frac{0.7361}{T_{pr}} + \frac{0.1844}{T_{pr}^2} \right) * M^2 - 0.1056 * \left( -\frac{0.7361}{T_{pr}} + \frac{0.1844}{T_{pr}^2} \right)$$

$$* M^5 + 0.6134 * (1 + 0.721 * M^2) * \left( \frac{M^2}{T_{pr}^3} \right) * \text{Exp}(-0.721 * M^2)$$

Iterar hasta que  $Z_{old}$  sea menor o igual a Z con un error de 0.001

## 2. Calcular la viscosidad del gas

Peso molecular del gas:

$$PM_g = G.E_g * 28.97 \left( \frac{lb}{lb - mol} \right)$$

Densidad del gas:

$$\rho_g = \frac{PM_g * P}{10.73 * T * Z}$$

Luego se calculan los parámetros A, B, C

$$A = \frac{(9.379 + 0.0167 * PM_g) * T^{1.5}}{209.2 + 19.26 * PM_g * T}$$

$$B = 3.448 + \frac{986.4}{T} + 0.01009 * PM_g$$

$$C = 2.447 - 0.2224 * B$$

Luego,

$$\mu_g = A * \text{Exp}(B * \rho_g^C) * 1E - 4$$

3. Calcular el coeficiente de arrastre y la velocidad de asentamiento

$$G.E_o = \frac{141.5}{131.5 + \text{°API}}$$

$$\rho_o = G.E_o * 62.4$$

$$V_t = 0.0204 * \left( \frac{((\rho_l - \rho_g) * d_m)}{\rho_g} \right)^{1/2}$$

Luego calcular el número Reynolds

$$Re = 0.0049 * \frac{\rho_g * d_m * V_t}{\mu_g}$$

Coeficiente de arrastre

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

Se vuelve a calcular la velocidad de asentamiento

$$V_t = 0.0204 * \left( \frac{(\rho_l - \rho_g) * d_m}{\rho_g} \right)^{1/2}$$

Se repite el cálculo a partir del número de Reynolds hasta obtener convergencia.

4. Calcular la capacidad de gas

$$d * L_{eff} = 420 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2}$$

Calcular diámetro base

$$d = \frac{\sqrt{12 * ctte}}{R - 1}$$

Luego se calcula  $L_{eff}$  y  $L_{ss}$  para generar la tabla de capacidad de gas

$$L_{eff} = \frac{ctte}{d_{base}}, \quad L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12}$$

5. Calcular capacidad de liquido

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

Determinar  $L_{eff}$ ,  $L_{ss}$  y  $R$  para generar la tabla de capacidad de líquido.

$$L_{eff} = , \quad L_{ss} = \frac{4}{3} L_{eff}, \quad R = 12 * L_{ss} / d, \quad 1.5 < R > 3$$

Comparar las longitudes obtenidas por la capacidad de gas y la capacidad de líquido, predominando el diseño de mayor longitud.

6. Se continua con la iteración del diámetro base para  $R = 3$  hasta obtener el diámetro mínimo. Se procede generando la tabla a partir del diámetro mínimo.

7. Calcular diámetro de la boquilla de entrada

Tasa de gas a condiciones de operación

$$Q_{gop} = \frac{Q_g * PM_g * G.E_g}{379 * 86400 * \rho_g}$$

Densidad de la mezcla

$$G.E_o = \frac{141.5}{131.5 + ^\circ API}$$

$$\rho_o = G.E_o * 62.4$$

$$\rho_m = \frac{Q_o * \rho_o + Q_{gop} * \rho_g}{Q_o + Q_{gop}}$$

Velocidad de la boquilla

$$V_{boq} = \frac{80}{(\rho_{mezcla})^{1/2}}$$

La maxima permitida es de 30 pie/seg, si es mayor se trabaja con 30 pies/seg.

Diametro de la boquilla

$$\phi_{Boquilla-entrada} = \left( \frac{4 * (Q_o + Q_g)}{\pi * V_{boq}} \right)^{1/2}$$

8. Calcular el diametro de la boquilla de salida de gas

$$V_{bg} = \frac{80}{(\rho_g)^{1/2}}$$

Diámetro de boquilla de salida de gas

$$\phi_{Boquilla-salida-gas} = \left( \frac{4 * Q_g}{\pi * V_{boq}} \right)^{1/2}$$

9. Calcular diámetro de la boquilla de salida de liquido

$$\phi_{Boquilla-salida-líquido} = \left( \frac{4 * Q_o}{\pi * V_{bo}} \right)^{1/2}$$

### 3.4.3. Separador bifásico vertical

En el dimensionamiento de un separador bifásico vertical, se repiten los primeros tres pasos del dimensionamiento de un separador bifásico horizontal y continuamos con el cuarto paso.

1. Calculo del factor de compresibilidad (Z)
2. Calculo de la viscosidad del gas
3. Calculo del coeficiente de arrastre
  
4. Calcular la capacidad de gas para determinar el diámetro base

$$d^2 = 5040 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2}$$

5. Calcular la capacidad de líquido con el diámetro base

$$d^2 * h = \frac{t_r * Q_l}{0.12}$$

Calcular la longitud de costura a costura

$$L_{ss} = \frac{h + d + 40}{12}$$

Calcular la relación de longitud

$$R = 12 \frac{L_{ss}}{d}, \quad \text{Rango} \rightarrow 3 < R < 4$$

- Si el valor obtenido de la relación de longitud es menor que tres (3), se toma como diámetro mínimo el de la capacidad de gas, ya que es el diámetro base necesario para separar la tasa de gas especificada. Si la relación de longitud es mayor que tres (3), se genera la tabla a partir de diámetros por encima y por debajo del diámetro mínimo.

Para determinar el tamaño de las boquillas de entrada de líquido, salida de gas y salida de líquido se repiten los pasos con que se dimensiona un separador bifásico horizontal. La única diferencia con este se encuentra en la ubicación.

- Calculo del diámetro de la boquilla de entrada de líquido
- Calculo del diámetro de la boquilla de salida de gas.
- Calculo del diámetro de la boquilla de salida de líquido

#### 3.4.4. Separador trifásico horizontal

En el dimensionamiento de separadores trifásicos horizontales, se repiten los tres primeros pasos que se hacen en el dimensionamiento de los separadores anteriores y se continua con el paso 4.

- Calculo del factor de compresibilidad (Z)
- Calculo de la viscosidad del gas.
- Calculo del coeficiente de arrastre.
- Calcular la capacidad de gas

$$d * L_{eff} = 420 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2}$$

Calcular diámetro base

$$d = \frac{\sqrt{12 * ctte}}{R - 1}$$

Luego se calcula  $L_{eff}$  y  $L_{ss}$  para generar la tabla de capacidad de gas

$$L_{eff} = \frac{ctte}{d_{base}}$$

5. Calcular la retención líquido

$$d^2 * L_{eff} = 1.42 * (Q_o(t_r)_o + Q_w(t_r)_w)$$

Calcular  $L_{eff}$ ,  $L_{ss}$  y  $R$  partiendo del diámetro base y generar la tabla para la retención de líquido.

$$L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12}, \quad R = 12 \frac{L_{ss}}{d}, \quad Rango \rightarrow 3 < R < 5$$

Compara las longitudes obtenidas por la capacidad de gas y la capacidad de líquido, va a predominar en el diseño la longitud mayor.

6. Itera el diámetro con  $R$  igual a 3 partiendo del diámetro base para obtener el diámetro mínimo y generar la tabla de valores.

7. Calcular el diámetro de la boquilla de entrada

Tasa de gas a condiciones de operación

$$Q_{gop} = \frac{Q_g * PM_g * G * E_g}{379 * 86400 * \rho_g}$$

Densidad de la mezcla

$$\rho_m = \frac{Q_o * \rho_o + Q_w * \rho_w + Q_{gop} * \rho_g}{Q_o + Q_w + Q_{gop}}$$

Velocidad de la boquilla

$$V_{boq} = \frac{80}{(\rho_{mezcla})^{1/2}}$$

La máxima velocidad permitida es de 30 pie/seg, si es mayor se trabaja con 30 pie/seg.

Diámetro de la boquilla

$$\phi_{Boquilla-entrada} = \left( \frac{4 * (Q_o + Q_w + Q_g)}{\pi * V_{boq}} \right)^{1/2}$$

8. Calcular el diámetro de la boquilla de salida de gas

Velocidad de la boquilla gas

$$V_{bg} = \frac{80}{(\rho_g)^{1/2}}$$

Diámetro de la boquilla de salida de gas

$$\phi_{Boquilla-salida-gas} = \left( \frac{4 * Q_g}{\pi * V_{boq}} \right)^{1/2}$$

9. Calcular el diámetro de la boquilla de salida de líquido

$$\phi_{Boquilla-salida-líquido} = \left( \frac{4 * (Q_o + Q_w)}{\pi * V_{bl}} \right)^{1/2}$$

La velocidad para la salida del líquido esta entre 1 y 3 pie/seg, se trabaja con el valor de 2 pie/seg.

### 3.4.5. Separador trifásico vertical

En el dimensionamiento de un separador trifásico vertical, se repiten los tres primeros pasos, igual como se hace con los anteriores y se continua con el paso 4.

1. Calculo del factor de compresibilidad (z)

2. Calculo de la viscosidad del gas
3. Calculo del coeficiente de arrastre
  
4. Calculo de la capacidad de gas, para determinar diámetro base

$$d^2 = 5040 * \left[ \frac{T * Z * Q_g}{P} \right] * \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) * \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2}$$

Calcular diámetro base para el agua

$$d^2 = 0.0267 \frac{Q_o * \mu}{\Delta G. E}$$

5. Calculo de la retención de líquido

$$h_o + h_w = \frac{(t_r)_o Q_o + (t_r)_w Q_w}{0.12 * d^2}$$

Calcular longitud de costura a costura

$$L_{ss} = \frac{h_o + h_w + d + 40}{12}$$

Calcular la relación de longitud

$$R = 12 \frac{L_{ss}}{d}, \text{ Rango } \rightarrow 1.5 < R < 3$$

6. Si el valor obtenido de la relación de longitud es menor que tres (3), se toma como diámetro mínimo el de la capacidad de gas. Si la relación de longitud es mayor que tres (3), se genera la tabla a partir de diámetros por encima y por debajo del diámetro mínimo.

Para determinar el tamaño de las boquillas de entrada de líquido, salida de gas y salida de líquido se repiten los pasos del dimensionamiento de separadores utilizados anteriormente

7. Calculo del diámetro de la boquilla de entrada de líquido
8. Calculo del diámetro de la boquilla de salida de gas
9. Calculo del diámetro de la boquilla de salida de líquido

### 3.4.6. Ejecución para el dimensionamiento mecánico de separadores horizontales

Los pasos del procedimiento para el dimensionamiento mecánico se presentaran a continuación. Se presentara solo para un caso, ya que para los otros, el procedimiento es similar, difiere en el tipo de ecuación para calcular el caso escogido. Las ecuaciones para los otros casos ya han sido presentadas en el capítulo anterior.

Suponiendo que se escogió una cabeza o tapa hemisférica, eficiencia en soldadura spot, ingresando el diámetro y la longitud costura a costura y seleccionando el tipo de material la ejecución sería:

1. Calcular el espesor del cascarón, cuerpo o recipiente.

$$t_{shell} = \frac{PR_i}{S * 0.85 - 0.6P}$$

Calculo del peso

$$W_{shell} = 11dtL$$

2. Calcular el espesor de la tapa o cabeza, en este caso hemisférica

$$t_{head-hemis} = \frac{PR_i}{2S * 0.85 - 0.2P}$$

Calcular Peso de la tapa o cabeza hemisférica

$$W_{head-hemis} = 1.57 * Diámetro_{interno}^2 * t_{head-hemis} * \rho_{material}$$

Calcular Peso de las boquillas y elementos internos

$$W_{boqui-internos} = (W_{head-hemis} + W_{shell}) * 0.08$$

Calcular peso de los pedestales o soportes

$$W_{pedestales} = (W_{head-hemis} + W_{shell} + W_{boqui-internos}) * 0.1$$

### 3.4.7. Ejecución para el dimensionamiento mecánico de separadores verticales

Como en el apartado anterior, Se presentara solo para un caso, ya que para los otros, el procedimiento es similar, difiere en el tipo de ecuación para calcular el caso escogido. Las ecuaciones para los otros casos ya han sido presentadas en el capítulo anterior.

Suponiendo que se escogió una cabeza o tapa hemisférica con cono inferior, un Angulo de 90°, eficiencia en soldadura spot, ingresando el diámetro y la longitud costura a costura y seleccionando el tipo de material la ejecución sería:

1. Calcular el espesor del cascarón, cuerpo o recipiente.

$$t_{shell} = \frac{PR_i}{S * 0.85 - 0.6P}$$

Calculo del peso

$$W_{shell} = 11dtL$$

2. Calcular el espesor de la tapa o cabeza superior e inferior, en este caso hemisférica para la superior y cónica para la inferior

$$t_{head-hemis} = \frac{PR_i}{2S * 0.85 - 0.2P}$$

$$t_{head-conic} = \frac{P * diametro_{interno}}{2 * \cos \alpha (S * 0.85 - 0.6 * P)}$$

Calcular Peso de la tapa o cabeza hemisférica

$$W_{head-hemis} = 1.57 * Diámetro_{interno}^2 * t_{head-hemis} * \rho_{material}$$

Calcular peso de la tapa o cabeza cónica

$$W_{head-conic} = (0.23 * t_{head-conic} * diámetro_{interno}^2) / (\sin \alpha)$$

Calcular Peso de las boquillas y elementos internos

$$W_{boqui-internos} = (W_{head-hemis} + W_{shell}) * 0.08$$

Calcular peso de los pedestales o soportes

$$W_{pedestales} = (W_{head-hemis} + W_{shell} + W_{boqui-internos}) * 0.1$$

### **3.5. Datos de salida**

Los resultados se registran en hojas de cálculo, las cuales están rotuladas y etiquetadas con sus datos correspondientes.

#### **3.5.1. Manifolds**

Dimensionar		Manifolds		Limpiar	
Datos De Entrada			Datos Calculados		
Presión (psia)		Densidad del Fluido(lb/pie3)			
Temperatura (°F)		Velocidad Erosional (pie/seg)			
Caudal de Petroleo (BOPD)		N° Colectores			
Caudal de Gas (MMscfd)		Área Transversal de Flauta (pulg2)			
Gravedad Especifica del Gas		Área Colector Modo (pulg2)			
N° Pozos		Diametro del Colector Modo (pulg)			
Diametro de Flauta (pulg)		N° Flautas			
Constante de Flujo Erosional		N° Valvulas Cheque			
°API		N° Valvulas de Corte			
		N° Valvulas de Colectores			
		N° Manómetros			
		N° Termómetros			
		N° Toma Muestra			
		Espesor del Colector (pulg)			

Manifolds | Separador Bifásico Horizontal | Separador Bifásico Vertical | Separador Trifásico Horiz ... (+) :

**Figura 17.** Ventana de resultados Manifolds

*Referencia: Diagrama propio.*

En la hoja de cálculo se muestran dos partes. Una es de los datos de entrada y la otra los datos calculados como un resumen. En el rotulo principal se encuentran dos botones: Dimensionar y Limpiar). El botón dimensionar habilita el formulario o ventana para ingresar los datos de entrada. El botón limpiar limpia las celdas en donde se imprimen los datos de entrada como los calculados, para volver a hacer un nuevo dimensionamiento.

### 3.5.2. Separador bifásico horizontal

También como en los manifolds, en los separadores los datos de entrada y calculados son mostrados a manera de resumen en una hoja de cálculo.

Separador Bifásico Horizontal		Tabla de resultados (Tiempo = 1 Minuto)			
Datos de Entrada		Diámetro (pulg.)	Leff (pie)	Lss (pie)	Rs
5	Presión (psia)				
6	Temperatura (Ranking)				
7	Caudal de Crudo (BPD)				
8	Caudal de Gas (MMpcds)				
9	G.E. Gas				
10	Grados API				
11	Diámetro Gota (Micrones)				
Datos Calculados					
14	Presión Pseudo-reducida				
15	Temperatura Pseudo-reducida				
16	Compresibilidad (Z)				
17	Peso Molecular del gas (lb/lb-Mol)				
18	Densidad del Gas (lb/pie <sup>3</sup> )				
19	Viscosidad del Gas (cp)				
20	Gravedad Específica del Aceite				
21	Densidad del Aceite (lb/pie <sup>3</sup> )				
22	Dimensión de la Gota (Micrones)				
23	Velocidad de Asentamiento Vt (Ft)				
24	Numero de Reynolds				
25	Coefficiente de Arrastre Co				
26	Velocidad de Asentamiento <sup>2</sup> Vt <sup>2</sup> (				
27	Constante Souders-Brown (K)				
28	Capacidad de Gas				
29	Diámetro Base (ft)				
30	Capacidad de Liquido				
Diámetros de las Boquillas (pie)					
32	Boquilla de Entrada				
33	Boquilla de Salida de Gas				
34	Boquilla de Salida de Liquido				

**Figura 18.** Ventana de resultados separador bifásico horizontal.

*Referencia: Diagrama propio.*

La hoja está estructurada en seis partes: datos de entrada, datos calculados, datos calculados de las boquillas y tres tablas de resultados en donde se registran el diámetro, longitud efectiva, longitud costura a costura y la relación de esbeltez. En uno de sus rótulos principales se encuentran tres botones: Botón dimensionar, botón limpiar y botón dimensionamiento mecánico. El botón Dimensionar habilita el formulario o ventana de datos de entrada. El botón Limpiar limpia las celdas en las que se registran los datos, tanto los de entrada como los calculados y el botón dimensionamiento mecánico habilita el formulario o ventana para gestionar los datos que requiere para dicho dimensionamiento.

### 3.5.3. Separador bifásico vertical

Los datos son mostrados en hoja de cálculo. Como en la ventana de separador bifásico horizontal, la ventana muestra la misma estructuración: datos de entrada, datos calculados, datos calculados de las boquillas y tres tablas de resultados en donde se registran el diámetro, longitud efectiva, longitud costura a costura y la relación de esbeltez.

A		B		C		D		E		F		G		H	
1	Dimensionar		Limpiar		Separador Bifásico Vertical				Dimensionamiento Mecánico						
2															
3															
4	Datos de Entrada						Tabla de Resultados								
5	Presión (psia)						Diametro (pulg)	Leff (pie)	Lss (pie)	Rs					
6	Temperatura (Ranking)														
7	Caudal de Crudo (BPD)														
8	Caudal de Gas (MMpods)														
9	G.E. Gas														
10	Grados API														
11	Diametro de Gota (Micrones)														
12															
13	Datos Calculados														
14	Presión Pseudo-reducida														
15	Temperatura Pseudo-reducida														
16	Compresibilidad (Z)														
17	Peso Molecular del gas (lb/lb-Mol)														
18	Densidad del Gas (lb/pie3)														
19	Viscosidad del Gas (cp)														
20	Gravedad Específica del Aceite														
21	Densidad del Aceite (lb/pie3)														
22	Dimensión de la Gota (Micrones)														
23	Velocidad de Asentamiento Vt (Ft)														
24	Numero de Reynolds														
25	Coefficiente de Arrastre Co														
26	Velocidad de Asentamiento2 Vt2 (														
27	Constante Souders-Brown (K)														
28	Capacidad de Gas														
29	Diametro Base (ft)														
30	Capacidad de Liquido														
31	Diametros de las Boquillas (pie)														
32	Boquilla de Entrada														
33	Boquilla de Salida de Gas														
34	Boquilla de Salida de Liquido														

**Figura 19.** Ventana de resultados separador bifásico vertical

Referencia: Diagrama propio.

También trae los botones: dimensionar, limpiar y dimensionamiento mecánico. Dimensionar habilita el formulario o ventana de datos de entrada. El botón Limpiar limpia las celdas en las que se registran los datos, tanto los de entrada como los calculados y el botón dimensionamiento mecánico habilita el formulario o ventana para gestionar los datos que requiere para dicho dimensionamiento.

### 3.5.4. Separador Trifásico horizontal

Los datos son mostrados en hoja de cálculo. Está estructurada con seis partes, igual que los anteriores, con los mismos botones. Esta ventana presenta una diferencia en la ubicación de los datos de boquillas.

Dimensionar		Limpiar		Separador Trifásico Horizontal		Dimensionamiento Mecánico	
Datos de Entrada				Tabla de Resultados			
5	Presión (psia)			φ (pulg)	leff (pie)	lss (pie)	R
6	Temperatura (F)						
7	Caudal de Petroleo (BOPD)						
8	Caudal de Gas (MMscfd)		φ Bequilla Salida Gas (pulg)				
9	Caudal de Agua (BWPD)						
10	Gravedad Especifica del Gas						
11	Tiempo de Retención del Aceite (Min.)						
12	Tiempo de Retención Del Agua (Min.)		φ Bequilla Salida Lqs (pulg)				
13	Viscosidad del Aceite (cp)						
14	Diametro de Gota (Micrones)						
15	API						
Datos Calculados							
18	Presión Pseudoreducida						
19	Temperatura Pseudoreducida						
20	Compresibilidad (z)						
21	Peso Molecular del Gas (lb/lb-Mol)						
22	Densidad del Gas (lb/pie3)						
23	Viscosidad del Gas (cp)						
24	Gravedad Especifica del Gas						
25	Densidad del Aceite (lb/pie3)						
26	φgota						
27	Velocidad de asentamiento "W" (pie/seg)						
28	Número de Reynolds "Re"						
29	Coefficiente de arrastre "Cb"						
30	Velocidad de asentamiento 2 "vt2" (pie/s)						
31	Constante Souders-Brown "K"						
32	Capacidad de Gas						
33	φ base (pie)						
34	Longitud efectiva del gas "leff gas" (pie)						

Figura 20. Ventana de resultados separador Trifásico horizontal  
Referencia: Diagrama propio.

### 3.5.5. Separador Trifásico Vertical

Dimensionar		Limpiar		Separador Trifásico Vertical		Dimensionamiento Mecánico	
Datos de Entrada				Tabla de Resultados			
5	Presión (psia)			φ (pulg)	leff (pie)	lss (pie)	R
6	Temperatura (F)						
7	Caudal de Petroleo (BOPD)						
8	Caudal de Gas (MMscfd)		φ Bequilla Salida Gas (pulg)				
9	Caudal de Agua (BWPD)						
10	Gravedad Especifica del Gas						
11	Tiempo de Retención del Aceite (Min.)						
12	Tiempo de Retención Del Agua (Min.)		φ Bequilla Salida Lqs (pulg)				
13	Viscosidad del Aceite (cp)						
14	Diametro de Gota (Micrones)						
15	API						
Datos Calculados							
18	Presión Pseudoreducida						
19	Temperatura Pseudoreducida						
20	Compresibilidad (z)						
21	Peso Molecular del Gas (lb/lb-Mol)						
22	Densidad del Gas (lb/pie3)						
23	Viscosidad del Gas (Cp)						
24	Gravedad Especifica del Gas						
25	Densidad del Aceite (lb/pie3)						
26	φgota						
27	Velocidad de asentamiento "W" (pie/seg)						
28	Número de Reynolds "Re"						
29	Coefficiente de arrastre "CD"						
30	Velocidad de asentamiento 2 "vt2" (pie/s)						
31	Constante Souders-Brown "K"						
32	Capacidad de Gas						
33	φ Base (pie)						
34	φ Base Water (pie)						

Figura 21. Ventana de resultados separador trifásico vertical  
Referencia: Diagrama propio.

Para este caso la ventana está estructurada en cuatro partes: Datos de entrada, datos calculados, diámetros de boquillas y tabla de resultados. En el rótulo principal están ubicados cuatro botones: Dimensionar, Limpiar y Dimensionamiento mecánico. El botón dimensionar habilita el formulario o ventana de datos de entrada. El botón Limpiar borra los datos en las celdas para poder hacer otro ejercicio o dimensionamiento. El botón Dimensionamiento Mecánico habilita el formulario o ventana para los datos de entrada del mismo.

### 3.5.6. Dimensionamiento mecánico Separadores horizontales bifásico y Trifásico

Para este caso también se muestra los datos calculados en hoja de cálculo. Esta compuesta en seis partes: Espesores, Pesos, Espesores estándar, Parámetros, Pesos con espesores Estándar y una tabla con datos de Espesores estándar utilizados en la industria.

Separador Bifásico Horizontal					
Dimensionamiento Mecánico		Parámetros		Espesores Estándar (pulg)	
Espesores (pulg)		Tapas o Cabezales		Decimal	Fracción
6	Cuerpo	Eficiencia en Soldadura		0,25000	1/4
7	Cabeza Hemisférica	Diámetro		0,31250	5/16
8	Cabeza Elipsoidal	Lss		0,37500	3/8
9	Pesos (lib)		Cálculo de pesos con Espesores Estándar	0,43750	7/16
10	Cuerpo			0,50000	1/2
11	Cabeza Hemisférica	Pesos con Espesores estándar		0,56250	9/16
12	Cabeza Elipsoidal	Cuerpo		0,62500	5/8
13	Boquillas y Elementos Internos	Cabeza Hemisférica		0,68750	11/16
14	Pedestales	Cabeza Elipsoidal		0,75000	3/4
15	Espesores Estándar (pulg)			0,81250	13/16
16	Cuerpo			0,87500	7/8
17	Cabeza Hemisférica			0,93750	15/16
18	Cabeza Elipsoidal			1,00000	1
19				1,06250	1 1/16
20				1,12500	1 1/8
21				1,18750	1 3/16

**Figura 22.** Ventana de datos calculados separador bifásico horizontal Dimensionamiento Mecánico  
Referencia: Diagrama propio.

Separador Trifásico Horizontal					
Dimensionamiento Mecánico		Parámetros		Espesores Estándar (pulg)	
Espesores (pulg)				Decimal	Fracción
Cuerpo		Tapas o Cabezales	Hemisférica	0,25000	1/4
Cabeza Hemisférica		Eficiencia en Soldadura	0,85	0,31250	5/16
Cabeza Elipsoidal		Diámetro	120	0,37500	3/8
Pesos (lib)		Lss	12	0,43750	7/16
Cuerpo		Cálculo de Pesos con Espesores Estándar		0,50000	1/2
Cabeza Hemisférica		Pesos con Espesores estándar		0,56250	9/16
Cabeza Elipsoidal				0,62500	5/8
Boquillas y Elementos Internos		Cuerpo	12870	0,68750	11/16
Pedestales		Cabeza Hemisférica	7206,21522	0,75000	3/4
Espesores Estándar (pulg)		Cabeza Elipsoidal		0,81250	13/16
Cuerpo	0,8125			0,87500	7/8
Cabeza Hemisférica	0,5625			0,93750	15/16
Cabeza Elipsoidal				1,00000	1
				1,06250	1 1/16
				1,12500	1 1/8
				1,18750	1 3/16

**Figura 23.** Ventana de datos calculados separador Trifásico horizontal Dimensionamiento mecánico

Referencia: Diagrama propio.

Estas ventanas traen un botón para habilitar un formulario o ventana para la finalización del dimensionamiento mecánico. La finalización es para hallar los pesos de las partes con espesores estándar.

### 3.5.7. Dimensionamiento mecánico Separadores Verticales bifásico y Trifásico

Esta ventana muestra a través de una hoja de cálculo los datos calculados en el dimensionamiento mecánico para un separador bifásico vertical. Tiene cuatro partes en donde muestra los datos calculados de espesores, pesos, fracción de los espesores y diámetros estándar utilizados en la industria.

Separador Bifásico Vertical					
Dimensionamiento Mecánico		Parámetros		Espesores Estándar (pulg)	
Espesores Calculados (pulg)				Decimal	Fracción
Cuerpo		Tapas o Cabezales		0,25000	1/4
Cabeza Hemisférica		Eficiencia en Soldadura		0,31250	5/16
Cabeza Elipsoidal		Diámetro		0,37500	3/8
Cabeza Cónica		Lss		0,43750	7/16
Pesos con Espesores calculados(lib)		Cálculo de Pesos con Espesores		0,50000	1/2
Cuerpo		Pesos con Espesores estándar		0,56250	9/16
Cabeza Hemisférica				0,62500	5/8
Cabeza Elipsoidal		Cuerpo		0,68750	11/16
Cabeza Cónica		Cabeza Hemisférica		0,75000	3/4
Boquillas y Elementos Internos		Cabeza Elipsoidal		0,81250	13/16
Faldón Soporte		Cabeza Cónica		0,87500	7/8
Espesores Estándar (pulg)				0,93750	15/16
Cuerpo				1,00000	1
Cabeza Hemisférica				1,06250	1 1/16
Cabeza Elipsoidal				1,12500	1 1/8
Cabeza Cónica				1,18750	1 3/16

**Figura 24.** Ventana de datos calculados separador bifásico vertical

Referencia: Diagrama propio.

Como en la ventana Dimensionamiento mecánico Separadores horizontales bifásico y Trifásico estas también traen un botón para habilitar un formulario o ventana para la finalización del dimensionamiento.

Separador Trifásico Vertical					
Dimensionamiento Mecánico		Parámetros		Espesores Estándar (pulg)	
Espesores (pulg)		Tapas o Cabezales		Decimal	Fracción
Cuerpo		Angulo del Cono		0,25000	1/4
Cabeza Hemisférica		Eficiencia en Soldadura		0,31250	5/16
Cabeza Elipsoidal		Diámetro (pulg)		0,37500	3/8
Cabeza Cónica		Lss (pie)		0,43750	7/16
Pesos (lib)		<b>Cálculo de Pesos con Espesores Estándar</b>		0,50000	1/2
Cuerpo				0,56250	9/16
Cabeza Hemisférica		<b>Pesos con Espesores estándar (lib)</b>		0,62500	5/8
Cabeza Elipsoidal		Cuerpo		0,68750	11/16
Cabeza Cónica		Cabeza Hemisférica		0,75000	3/4
Boquillas y Elementos Internos		Cabeza Elipsoidal		0,81250	13/16
Faldón Soporte		Cabeza Cónica		0,87500	7/8
Espesores Estándar (pulg)				0,93750	15/16
Cuerpo				1,00000	1
Cabeza Hemisférica				1,06250	1 1/16
Cabeza Elipsoidal				1,12500	1 1/8
Cabeza Cónica				1,18750	1 3/16

**Figura 25.** Ventana de datos calculados separador Trifásico vertical Dimensionamiento mecánico

Referencia: Diagrama propio.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

Por medio de comparación con ejercicios encontrados en la literatura, presentaremos los resultados obtenidos por el programa computacional. Los ejercicios utilizados para validar el funcionamiento, fueron realizados por los autores Arnold K. y Stewart M. en el libro “Surface Production Operations” del año 2008.

#### 4.1. Validación del dimensionamiento de un separador Bifásico Horizontal

Datos de Entrada	
Presión (psia)	1000
Temperatura (°F)	60
Caudal de Petróleo (BPD)	2000
Caudal de Gas (MMpcsd)	10
G.E. del Gas	0,6
Gravedad API	40
Tamaño de la Gota	140

**Tabla 3.** Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador bifásico horizontal

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Separador Bifásico Horizontal (Tiempo Retención = 3 min)			
Diámetro (pulg)	$L_{eff}$ (pie)	$L_{ss}$ (pie)	R
16	33.5	44.7	33.5
20	21.4	28.5	17.1
24	14.9	19.9	9.9
30	9.5	12.7	5.1
<b>36</b>	<b>6.6</b>	<b>9.1</b>	<b>3.0</b>
42	4.9	7.4	2.1
48	3.74	6.2	1.6

**Tabla 4.** Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Horizontal

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Separador Bifásico Horizontal							
Tabla de resultados (Tiempo = 2 Minuto)				Tabla de resultados (Tiempo = 3 Minuto)			
Diametro (pulg)	Leff (pie)	Lss (pie)	Rs	Diametro (pulg)	Leff (pie)	Lss (pie)	Rs
11	47,22550177	62,96733569	68,69163894	11	70,83825266	94,45100354	103,0374584
12	39,68253968	52,91005291	52,91005291	12	59,52380952	79,36507937	79,36507937
13	33,8123415	45,08312201	41,61518954	13	50,71851226	67,62468301	62,42278432
14	29,15451895	38,87269193	33,31945023	14	43,73177843	58,3090379	49,97917534
15	25,3968254	33,86243386	27,08994709	15	38,0952381	50,79365079	40,63492063
16	22,32142857	29,76190476	22,32142857	16	33,48214286	44,64285714	33,48214286
17	19,77261493	26,36348657	18,60951993	17	29,65892239	39,54522986	27,9142799
18	17,6366843	23,51557907	15,67705271	18	26,45502646	35,27336861	23,51557907
19	15,8290463	21,10539507	13,3297232	19	23,74356945	31,6580926	19,9945848
20	14,28571429	19,04761905	11,42857143	20	21,42857143	28,57142857	17,14285714
21	12,95756398	17,27675197	9,872429698	21	19,43634597	25,91512796	14,80864455
22	11,80637544	15,74183392	8,586454867	22	17,70956316	23,61275089	12,8796823
23	10,80205239	14,40273652	7,514471228	23	16,20307858	21,60410478	11,27170684
24	9,920634921	13,22751323	6,613756614	24	14,88095238	19,84126984	9,920634921
25	9,142857143	12,19047619	5,851428571	25	13,71428571	18,28571429	8,777142857
26	8,453085376	11,2707805	5,201898693	26	12,67962806	16,90617075	7,80284804
27	7,838526357	10,45136848	4,645052656	27	11,75778954	15,67705271	6,967578984
28	7,288629738	9,718172983	4,164931279	28	10,93294461	14,57725948	6,247396918
29	6,794632241	9,059509654	3,748762615	29	10,19194836	13,58926448	5,623143923
30	6,349206349	8,465608466	3,386243386	30	9,523809524	12,6984127	5,079365079
31	5,946187008	7,928249343	3,068999746	31	8,919280511	11,89237402	4,603499619
32	5,580357143	7,44047619	2,790178571	32	8,370535714	11,16071429	4,185267857
33	5,247277975	6,996370633	2,544134776	33	7,870916962	10,49455595	3,816202163
34	4,943153732	6,590871643	2,326189992	34	7,414730598	9,886307464	3,489284987
35	4,664723032	6,219630709	2,132444815	35	6,997084548	9,329446064	3,198667222
36	4,409171076	5,878894768	1,959631589	36	6,613756614	8,818342152	2,939447384
37	4,174058728	5,555410971	1,804998153	37	6,261087347	8,348116456	2,707497229

**Figura 26.** Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Horizontal. Programa Computacional

Referencia: Diagrama propio.

Para comparar se utilizan los datos de la bibliografía (Tabla 4) y los del programa computacional (Figura 26). Tanto los datos de la bibliografía como los del programa computacional se presentan resaltados.

En los datos de la bibliografía se tiene un dimensionamiento para un separador de 36 pulgadas, con longitud costura a costura de 9.1 pies, Relación de esbeltez de 3.0 para un tiempo de retención de 3 minutos.

En los datos del programa computacional presenta un separador de 36 pulgadas, con longitud costura a costura de 8,81834, Relación de esbeltez de 2,93944 para un tiempo de 3 minutos.

Se aprecia que existe una mínima variación debido a aproximaciones hechas en los datos de la bibliografía que el programa computacional no hace.

## 4.2. Validación del dimensionamiento de un separador Bifásico Vertical

Datos de Entrada	
Presión (psia)	1000
Temperatura (°F)	60
Caudal de Petróleo (BPD)	2000
Caudal de Gas (MMpcsd)	10
G.E. del Gas	0,6
Gravedad API	40
Tamaño de la Gota	140

**Tabla 5.** Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador bifásico Vertical

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Separador Bifásico Vertical (Tiempo Retención = 3 min)			
Diámetro (pulg)	h (pie)	L <sub>ss</sub> (pie)	R
24	86.8	13.6	6.8
30	55.6	11.0	4.4
36	38.6	9.6	3.2
42	28.3	8.7	2.5
48	21.7	8.1	2.0

**Tabla 6.** Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Vertical

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Los datos de la bibliografía (Tabla 6) y los del programa computacional (Figura 27) son comparados. Tanto los datos de la bibliografía como los del programa computacional se presentan resaltados.

En los datos de la bibliografía se tiene un dimensionamiento para un separador de 36 pulgadas, con longitud costura a costura de 9.6 pies, Relación de esbeltez de 3.2 para un tiempo de retención de 3 minutos.

En los datos del programa computacional presenta un separador de 36 pulgadas, con longitud costura a costura de 9,04835, Relación de esbeltez de 3,016117 para un tiempo de 3 minutos.

Se aprecia que existe una mínima variación debido a aproximaciones hechas en los datos de la bibliografía que el programa computacional no hace.

Separador Bifásico Vertical							
Tabla de Resultados (Tiempo = 2 minutos)				Tabla de resultados (Tiempo = 3 minutos)			
Diametro (pulg)	h (pulg)	Lss (pie)	Rs	Diametro (pulg)	h (pulg)	Lss (pie)	Rs
22	68,87052342	11,57254362	6,312296519	22	103,3057851	14,44214876	7,877535687
23	63,01197227	11,08433102	5,783129229	23	94,51795841	13,70982987	7,152954714
24	57,87037037	10,6558642	5,327932099	24	86,80555556	13,06712963	6,533564815
25	53,33333333	10,27777778	4,933333333	25	80	12,5	6
26	49,30966469	9,942472058	4,588833257	26	73,96449704	11,99704142	5,53709604
27	45,72473708	9,64372809	4,286101373	27	68,58710562	11,54892547	5,132855764
28	42,5170068	9,376417234	4,018464529	28	63,7755102	11,14795918	4,777696793
29	39,63535474	9,136279561	3,780529474	29	59,4530321	10,78775268	4,463897659
30	37,03703704	8,919753086	3,567901235	30	55,55555556	10,46296296	4,185185185
31	34,68609088	8,723840906	3,376970673	31	52,02913632	10,16909469	3,936423752
32	32,55208333	8,546006944	3,204752604	32	48,828125	9,90234375	3,713378906
33	30,60912152	8,38409946	3,048761258	33	45,91368228	9,659473523	3,512535827
34	28,83506344	8,236255286	2,906913631	34	43,25259516	9,437716263	3,330958681
35	27,21088435	8,100907029	2,777458839	35	40,81632653	9,234693878	3,166180758
36	25,72016461	7,976680384	2,658893461	36	38,58024691	9,048353909	3,01611797
37	24,348673	8,44572275	2,739153324	37	36,5230095	9,460250791	3,068189446
38	23,08402585	8,423668821	2,660105944	38	34,62603878	9,385503232	2,963843126
24							
25							
26							

**Figura 27.** Resultados Dimensionamiento Separador Bifásico Vertical. Programa Computacional

Referencia: Diagrama propio.

### 4.3. Validación del dimensionamiento de un separador Trifásico Horizontal

Datos de Entrada	
Presión (psia)	100
Temperatura (°F)	90
Caudal de Petróleo (BPD)	5000
Caudal de Gas (MMpcsd)	5
Caudal de Agua (BPD)	3000
G.E. del Gas	0,6
Gravedad API	30
Viscosidad del Petróleo(cp)	10
Tamaño de la Gota	100
Tiempo de Retención Petróleo (min)	10
Tiempo de Retención Agua (min)	10

**Tabla 7.** Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador Trifásico Horizontal.

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Separador Trifásico Horizontal (Tiempo Retención = 10 min)			
Diámetro (pulg)	L <sub>eff</sub> (pie)	L <sub>ss</sub> (pie)	R
60	31.6	42.1	8.4
72	21.9	29.2	4.9
84	16.1	21.5	3.1
96	12.3	16.4	2.1
108	9.7	13.0	1.4

**Tabla 8.** Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Horizontal  
Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Datos de Entrada		Boquilla Entrada (pulg)	Tabla de Resultados			
			φ (pulg)	leff (pie)	Lss (pie)	R
5	Presión (psia)	100	60	31,55555556	42,07407407	8,414814815
6	Temperatura (F)	550	61	30,52942757	40,70590343	8,007718708
7	Caudal de Petroleo (BOPD)	5000	62	29,55254943	39,40338924	7,626464368
8	Caudal de Gas (MMscfd)	5	63	28,6218191	38,16242546	7,269033422
9	Caudal de Agua (BWPD)	3000	64	27,734375	36,97916667	6,93359375
10	Gravedad Específica del Gas	0,6	65	26,88757396	35,85009862	6,618479745
11	Tiempo de Retención del Aceite (Min)	10	66	26,07897153	34,77196204	6,322174917
12	Tiempo de Retención Del Agua (Min)	10	67	25,3063043	33,74173907	6,043296549
13	Viscosidad del Aceite (cp)	10	68	24,56747405	32,75663206	5,780582129
14	Diametro de Gota (Micrones)		69	23,8605335	31,81404467	5,532877334
15	API	30	70	23,18367347	30,91156463	5,299125364
16			71	22,53521127	30,04694836	5,078357469
17			72	21,91358025	29,218107	4,869684499
18	Presión Pseudoreducida	0,147731	73	21,31732032	28,42309376	4,672289386
19	Temperatura Pseudoreducida	1,561347	74	20,74506939	27,66009252	4,485420409
20	Compresibilidad (z)	0,98201	75	20,19555556	26,92740741	4,308385185
21	Peso Molecular del Gas (lb/lb-Mol)	17,382	76	19,66759003	26,22345337	4,140545269
22	Densidad del Gas (lib/pie3)	0,299931	77	19,16006072	25,54674762	3,981311318
23	Viscosidad del Gas (cp)	0,011482	78	18,67192636	24,89590182	3,830138741
24	Gravedad Específica del Gas	0,876161	79	18,20221118	24,26961491	3,686523784
25	Densidad del Aceite (lib/pie3)	54,67245	80			
26	φgota	100	81	17,75	23,66666667	3,55
27	Velocidad de asentamiento "Vt" (pie)	0,863466	82	17,31443378	23,0859117	3,420135067
28	Número de Reynolds "Re"	11,12868	83	16,89470553	22,52627404	3,296527909
29	Coefficiente de arrastre "Co"	3,39588	84	16,49005661	21,98674215	3,178806094
30	Velocidad de asentamiento 2 "Vt2"	0,86946	85	16,09977324	21,46636432	3,066623475
31	Constante Souders-Brown "K"	0,013687		15,72318339	20,96424452	2,95965805
32	Capacidad de Gas	155,2369				
33	φ base (pie)	21,58033				
34	Longitud efectiva del gas "leff gas" (	7,193445				

**Figura 28.** Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Horizontal.  
Programa Computacional

Referencia: Diagrama propio.

Para este caso los datos de la bibliografía (Tabla 8) y los del programa computacional (Figura 28) son comparados. Tanto los datos de la bibliografía como los del programa computacional se presentan resaltados.

En los datos de la bibliografía se tiene un dimensionamiento para un separador de 84 pulgadas, con longitud costura a costura de 21.5 pies, Relación de esbeltez de 3.1 para un tiempo de retención de 10 minutos.

En los datos del programa computacional presenta un separador de 84 pulgadas, con longitud costura a costura de 21,46636, Relación de esbeltez de 3,06662 para un tiempo de 10 minutos.

Como en los dimensionamiento anteriores se aprecia que existe una mínima variación debido a aproximaciones hechas en los datos de la bibliografía que el programa computacional no hace, demostrando que el programa es ajustable a los resultados.

#### 4.4. Validación del dimensionamiento de un separador Trifásico Vertical

Datos de Entrada	
Presión (psia)	100
Temperatura (°F)	90
Caudal de Petróleo (BPD)	5000
Caudal de Gas (MMpcsd)	5
Caudal de Agua (BPD)	3000
G.E. del Gas	0.6
Gravedad API	30
Viscosidad del Petróleo(cp)	10
Tamaño de la Gota	100
Tiempo de Retención Petróleo (min)	10
Tiempo de Retención Agua (min)	10

**Tabla 9.** Datos de entrada para el dimensionamiento de un separador Trifásico Vertical.

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Separador Trifásico Vertical (Tiempo Retención = 10 min)			
Diámetro (pulg)	$h_o + h_w$ (pulg)	$L_{ss}$ (pie)	R
84	94.5	18.2	2.6
90	82.3	17.7	2.4
96	72.3	17.4	2.2
102	64.1	17.2	2.0

**Tabla 10.** Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Vertical

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Datos de Entrada		Boquilla Entrada (pulg)	Tabla de Resultados			
			φ (pulg)	$h_o + h_w$ (pulg)	$L_{ss}$ (pie)	R
Presión (psia)	100	0,474697824	83	96,7726327	18,31438606	2,647863045
Temperatura (°F)	550		84	94,48223734	18,20685311	2,600979016
Caudal de Petróleo (BOPD)	5000		85	92,272203	18,10601692	2,556143565
Caudal de Gas (MMscfd)	5	Boquilla Salida Gas (pulg)	86	90,13881377	18,01156781	2,513242021
Caudal de Agua (BWPD)	3000	0,215123685	87	88,07856608	17,92321384	2,472167426
Gravedad Específica del Gas	0,6		88	86,08815427	17,84067952	2,432819935
Tiempo de Retención del Aceite (Min)	10		89	84,16445735	17,76370478	2,395106262
Tiempo de Retención Del Agua (Min)	10	Boquilla Salida Liq. (pulg)	90	82,30452675	17,6920439	2,358939186
Viscosidad del Aceite (cp)	10	0,575294347	91	80,50557501	17,62546458	2,324237088
Diámetro de Gota (Micrones)			92	78,76496534	17,56374711	2,290923536
API	30		93	77,08020195	17,5066835	2,258926903
Datos Calculados			94	75,44892108	17,45407676	2,228180011
Presión Pseudoreducida	0,147731		95	73,86888273	17,40574023	2,198619818
Temperatura Pseudoreducida	1,561347		96	72,33796296	17,36149691	2,170187114
Compresibilidad (z)	0,98201		97	70,85414674	17,32117889	2,142826255
Peso Molecular del Gas (lib/lib-Mol)	17,382		98	69,41552131	17,28462678	2,116484911
Densidad del Gas (lib/pie <sup>3</sup> )	0,299931		99	68,02027004	17,25168917	2,091113839
Viscosidad del Gas (Cp)	0,011482		100	66,66666667	17,22222222	2,066666667
Gravedad Específica del Gas	0,876161		101	65,35306996	17,19608916	2,043099703
Densidad del Aceite (lib/pie <sup>3</sup> )	54,67245		102	64,07791875	17,1731599	2,020371752
φ gota	100		103	62,83972728	17,15331061	1,998443954
Velocidad de asentamiento "Vt"(pie/s)	0,869466		104	61,63708087	17,13642341	1,977279624
Número de Reynolds "Re"	11,12868		105	60,4686319	17,12238599	1,956844113
Coefficiente de arrastre "CD"	3,39588		106	59,333096	17,11109133	1,937104679
Velocidad de asentamiento 2 "Vt2"(pie/s)	0,86946		107	58,22924855	17,10243738	1,91803036
Constante Souders-Brown "K"	0,013687		108	57,15592135	17,09632678	1,899591864
Capacidad de Gas	1862,843		109	56,11193955	17,09266663	1,881761464
φ Base (pie)			110	55,09641873	17,09136823	1,864512898
φ Base Water(pie)	83		111	54,10816222	17,09234685	1,847821281

**Figura 29.** Resultados Dimensionamiento Separador Trifásico Vertical. Programa Computacional

Referencia: Diagrama propio.

En este caso los datos de la bibliografía (Tabla 10) y los del programa computacional (Figura 29) son comparados. Tanto los datos de la bibliografía como los del programa computacional se presentan resaltados.

En los datos de la bibliografía se tiene un dimensionamiento para un separador de 84 pulgadas, con longitud costura a costura de 18.2 pies, Relación de esbeltez de 2.6 para un tiempo de retención de 10 minutos.

En los datos del programa computacional presenta un separador de 84 pulgadas, con longitud costura a costura de 18,20685, Relación de esbeltez de 2,6009 para un tiempo de 10 minutos.

A diferencia de los dimensionamiento anteriores se aprecia que no existe variación, lo cual indica que para este caso el programa se ajusta bien al dimensionamiento.

#### 4.5. Validación del dimensionamiento mecánico de un separador

En esta sección se utilizaran datos para el dimensionamiento mecánico de un separador vertical trifásico. Este dimensionamiento se hace de acuerdo a los lineamientos de la Norma ASME, Sección VIII, División 1, Edición de 1998. El programa computacional ya incluye los valores por corrosión. Cuando las tapas o cabezales se dan dos opciones (Elipsoidal/Cónica), quiere decir que la cabeza o tapa inferior es de forma Cónica.

Datos de Entrada	
Presión de diseño (psig)	125
Material	SA516 Grado 70
Diámetro (pulg)	120
Longitud costura a costura (pie)	12
Cabezales o tapas	Elipsoidal/Cónica
Angulo del cono en el Ápice	60°
Eficiencia en soldaduras	Spot=0,85
Máximo valor de esfuerzo del Material	17500

**Tabla 11.** Datos de entrada para el dimensionamiento mecánico de un separador Trifásico Vertical.

Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Resultados	
Espesor del Cuerpo (pulg)	0.757
Espesor Estándar del cuerpo (pulg)	0.8125-(13/16)
Peso del cuerpo con espesor Estándar(lib)	12870
Espesor de la cabezal Elipsoidal(pulg)	0.755
Espesor Estándar de la cabeza Elipsoidal(pulg)	0.8125-(13/16)
Peso del cabezal Elipsoidal (lib)	4163
Espesor del cabezal Cónico (pulg)	0.835
Espesor Estándar del cabezal Cónico(pulg)	0.875-(7/8)
Peso del cabezal Cónico (lib)	5796

**Tabla 12.** Resultados Dimensionamiento Mecanico Separador Trifásico Vertical  
Fuente: Surface Production Operations. Arnold K. y Stewart M. Third Edition. 2008

Separador Trifásico Vertical					
Dimensionamiento Mecanico		Parámetros		Espesores Estándar (pulg)	
Espesores (pulg)		Tapas o Cabezales	ElipsoConica/Conica	Decimal	Fracción
Cuerpo	0,7567568	Angulo del Cono	60°	0,25000	1/4
Cabeza Hemisférica		Eficiencia en Soldadura	0,85	0,31250	5/16
Cabeza Elipsoidal	0,7546257	Diámetro (pulg)	120	0,37500	3/8
Cabeza Cónica	0,8351523	Lss (pie)	12	0,43750	7/16
Pesos (lib)		Cálculo de Pesos con Espesores Estándar		0,50000	1/2
Cuerpo	11987,027	Pesos con Espesores estándar (lib)		0,56250	9/16
Cabeza Hemisférica		Cuerpo	12870	0,62500	5/8
Cabeza Elipsoidal	3866,7023	Cabeza Hemisférica		0,68750	11/16
Cabeza Cónica	5532,0488	Cabeza Elipsoidal	4163,25	0,75000	3/4
Boquillas y Elementos Internos	1268,2983	Cabeza Cónica	5796	0,81250	13/16
Faldón Soporte	4682,4324			0,87500	7/8
Espesores Estándar (pulg)				0,93750	15/16
Cuerpo	0,8125			1,00000	1
Cabeza Hemisférica				1,06250	1 1/16
Cabeza Elipsoidal	0,8125			1,12500	1 1/8
Cabeza Cónica	0,875			1,18750	1 3/16

**Figura 30.** Resultados Dimensionamiento Mecánico Separador Trifásico Vertical.  
Programa Computacional

Referencia: Diagrama propio.

Para el dimensionamiento mecánico se compara los datos de la bibliografía (Tabla 12) y los datos del programa computacional (Figura 30).

Se puede apreciar que los datos de los resultados del programa computacional se ajustan muy bien a los datos de la bibliografía, dando los mismos resultados.

## CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un software para el dimensionamiento de manifolds y separadores, de fácil manejo y amplia aplicabilidad, de libre acceso, buscando minimizar los problemas de costo y accesibilidad de los ya conocidos.
- El algoritmo desarrollado permite calcular las dimensiones necesarias de manifolds y separadores de una batería, basado en los parámetros de entrada, establecidos por el comprador.
- Se aplicaron de forma adecuada las normas y ecuaciones existentes para el correcto dimensionamiento de manifolds y separadores, las cuales fueron utilizadas en la programación del software con el fin de obtener resultados confiables.
- El método de validación manual ratifica la secuencia de los pasos para el diseño y evaluación de manifolds y separadores bifásicos y trifásicos.
- Las diferencias existentes entre los ejemplos hechos por el método manual y el programa computacional radican en el proceso iterativo que realiza el programa.
- Existe un rango de operación específico para cada tipo de separador.
- Los nomogramas que genera el programa, determinan de una forma más rápida las características del separador, para un operador de campo, la exactitud de la lectura de los nomogramas depende de la apreciación del operador de los mismos.
- La constante K de Souders & Brown es un parámetro crítico y fundamental para el diseño y evaluación de los separadores.
- Al momento de realizar los distintos estudios, el diámetro de gota se supone 100 micrones a menos que se tenga otra información diferente, obtenidas en pruebas de laboratorio, este programa no tiene esas limitaciones
- Se dimensiono manifolds y separadores bifásicos y trifásicos, verticales y horizontales por medio de un programa computacional agilizando el procedimiento con seguridad y fiabilidad en los resultados.

- El programa computacional se ajusta de manera eficiente, cumpliendo las exigencias de dimensionamiento.
- Las variaciones en las comparaciones se basan en el desarrollo de forma repetitiva que tiene especificado el programa computacional.
- Se debe tener previos conocimientos del área de producción para utilizar el programa y así tener los resultados esperados.
- El procedimiento para el dimensionamiento de manifolds y separadores de Arnold K. y Stewart M. en el libro “Surface Production Operations” del año 2008. utilizado para programar el código fue el escogido, debido implica menos variables de diseño y constantes, y no se basa en el uso de tablas y gráficos para estimar dimensiones de los recipientes, reduciendo el tiempo de los cálculos.

## RECOMENDACIONES

- La persona que opere el programa computacional debe tener conocimientos de producción, para la toma de decisiones.
- Al realizar estudios de diseño de separadores verticales u horizontales, bien sea bifásico o trifásico, tomar en cuenta parámetros de producción tales como: producción de sólidos y parafinas.
- Establecer diseños que consideren la presencia de agentes corrosivos, que causen daños físicos al material con el cual se fabrico el separador, para garantizar mayor vida útil del separador diseñado.
- Establecer las características de fabricación de manifolds y separadores, tales como: resistencia de los materiales y tipo de material.
- Realizar estudios de peso total del separador, conociendo las características de la estación de flujo donde va operar, debido a posibles restricciones que en la misma puedan existir.
- Para campos de alto potencial, realizar estudios de diseños de separadores que impliquen varias etapas de separación, determinando las diferentes temperaturas y presiones a las cuales van a operar.
- Determinar características de los accesorios internos y externos de los diferentes tipos de separadores.
- Por el factor económico es recomendable elegir el diseño del separador más pequeño que cumpla con las exigencias de producción.
- El diseño de separadores para fluidos espumosos requiere un incremento de 4 veces mas el tiempo de retención normal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PINZÓN PARRA, RICARDO. Propiedades Físicas de los Fluidos de Yacimientos: Editorial Universidad Surcolombiana, Primera Edición 2008.
2. McCAIN, WILLIAM D. JR. The properties of Petroleum Fluids: Penn Well Books. Tulsa, Oklahoma, 2nd Edición.
3. ARNOLD K. Y STEWART M. Surface Production Operations. Volumen 1.: Houston, Texas. Gulf Publishing Company. USA. 2008. Third Edition.
4. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. . Rules For Construction Pressure Vessels. Section VIII. Division 1: ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, NEW YORK.
5. DENNIS R. MOSS. Pressure Vessel Design Manual: Gulf Publishing Company. USA. 2008. Third Edition.
6. KATAPODIS, LEON. Oil and Gas Separation, Application and Design: SPE 6470, 1977.
7. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Specification For Oil And Gas Separators: Production Department 2535 One Main Place, Dallas Texas.
8. M. BAKER AND D.R. DICK, BP ENGINEERING. Proseparator: A Novel Separator/Scrubber Design Program: SPE 21506, 1991.
9. EVERT O. GRØDAL AND MATTHEW J. REALFF. Optimal Design of Two- and Three-Phase Separators: A Mathematical Programming Formulation: SPE 56645, 1999.
10. C.O. OLOTU AND S. OSISANYA. Development of a User Friendly Computer Program for Designing Conventional Oilfield Separators: SPE 167578, University of Oklahoma, 2013
11. WALKENBACH, JOHN. Excel® 2010 Power Programming with VBA: Wiley Publishing Inc. 2010.
12. E. JOSEPH BILLO. Excel for Scientists and Engineers Numerical Methods: John Wiley & Sons, Publishing Inc. 2007.
13. HALVORSON, MICHAEL. Microsoft Visual Basic 2010 Step By Step: Microsoft Press publishing 2010.
14. IDEAM, UPME. Atlas de Viento y Energía Eólica en Colombia, Cap. I y IV: Ministerio De Minas Y Energía, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Republica de Colombia.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Ventajas y desventajas de los separadores.

	<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
<b>Horizontal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La dirección del flujo no se opone al drenado en la extracción de neblina.</li> <li>▪ Gran control de turbulencia.</li> <li>▪ Mejor manejo para la retención de volumen.</li> <li>▪ Mayor área de superficie líquida.</li> <li>▪ Fácil mantenimiento y servicio.</li> <li>▪ Mejor para el manejo de espuma.</li> <li>▪ Mayor capacidad de líquido con un alto RGP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requiere mayor espacio físico.</li> <li>▪ Los extractores de niebla suelen taparse y explotar.</li> </ul> <p>No es bueno para el manejo de sedimento y lodo.</p>
<b>Vertical</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puede manejar grandes cantidades de sedimentos y lodo.</li> <li>▪ Buena capacidad de oleada.</li> <li>▪ No requiere de mucho espacio físico.</li> <li>▪ Puede ser limpiado fácilmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Más costo para procesar similar cantidad de gas.</li> <li>▪ Menor capacidad para el drenado de neblina.</li> <li>▪ No es bueno para la espuma.</li> <li>▪ Dificultad para revisar el equipo en la parte superior.</li> <li>▪ Baja capacidad de líquido con un alto RGP.</li> </ul>

**Tabla A1.** Ventajas y desventajas de los separadores

*Referencia: Leon K. "Oil and Gas Separation Theory, Application and Design". Paper SPE*

Situación	Vertical sin malla	Vertical con malla	Horizontal sin malla	Horizontal con malla
<b>Alta retención vapor/líquido</b>	Muy recomendable	Muy recomendable	Moderado	Moderado
<b>Alto flujo de gas</b>	Muy recomendable	Muy recomendable	Moderado	Moderado
<b>Baja relación vapor/líquido</b>	Moderado	Moderado	Muy recomendable	Muy recomendable
<b>Alto flujo de líquido</b>	Moderado	Moderado	Muy recomendable	Muy recomendable
<b>Presencia de sólidos materiales pegajosos</b>	Recomendable	Moderado: considerar internos especiales	Moderado: considerar internos especiales.	Moderado: considerar internos especiales.
<b>Separación líquido/líquido solamente</b>	No recomendable	No recomendable	Recomendable	No aplica
<b>Separación Líquido-líquido-vapor</b>	Moderado	Moderado	Muy recomendable	Muy recomendable
<b>Limitaciones en área de planta</b>	Recomendable	Recomendable	No recomendable	No recomendable
<b>Limitaciones en espacio vertical o altura</b>	No recomendable	No recomendable	Recomendable	Recomendable

**Tabla A2.** Recomendación de tipo de separador

Referencia: KATAPODIS, LEON. *Oil and Gas Separation, Application and Design*: SPE 6470, 1977.

### Consideraciones generales para estimar las dimensiones en separadores horizontales

- El máximo nivel de líquido debe dejar una altura mínima de 15 pulgadas para el espacio de vapor, pero nunca este nivel deberá estar por encima de la línea media del separador.

- El volumen de los cabezales no se toma en cuenta en los cálculos de las dimensiones del separador.
- Las boquillas de entrada y salida deberán ubicarse tan cerca, como sea práctico, de las líneas tangentes del separador.
- Las salidas de líquido llevarán accesorios antivórtices.
- Se especifican valores de L/D entre 2.5 hasta 6 pero ciertas empresas fabricantes utilizan 3,4 y 5 como valores económicos de esta relación.
- Volumen de operación, o sea el volumen comprendido entre el nivel máximo (NAL) y el nivel mínimo (NBL) (Fig 23).
- Bajo nivel de líquido 1.31pie.
- La distancia entre la parte baja de la malla y el NAAL debería ser de 12pulgadas.

### **Consideraciones generales para estimar las dimensiones en separadores verticales**

- La altura del nivel de líquido en un separador vertical depende esencialmente del tiempo de retención, el cual a su vez se fija sobre la base de consideraciones del proceso.
- La máxima velocidad permisible del vapor en un separador será igual a la velocidad límite y el diámetro calculado en base a ésta será redondeado en 6pulgadas, Sin embargo, en caso de no instalar dicho eliminador,  $V_p$  no será mayor que el 80% de la velocidad límite.
- El espacio para el desprendimiento y sedimentación de las gotas, es decir, la distancia entre la parte superior del tubo de entrada y la parte inferior del eliminador de neblina, deberá ser igual al diámetro del separador. Sin embargo, cuando el diámetro del separador es menor a 3 pie, el espacio de sedimentación será como mínimo 3 pie.
- La distancia entre la boquilla de entrada y el máximo nivel de líquido será igual a la mitad del diámetro o por lo menos 2 pie.
- La distancia entre la línea tangente superior del separador y el fondo del eliminador de neblina será por lo menos de 3 pie.
- Los diámetros de los recipientes de 3 pie y mayores deberán especificarse en incrementos de 6 pulgadas. En los separadores cuya carcaza se fabrique con plancha, se especificarán sus diámetros internos, sus longitudes serán especificadas en incrementos de 3 pulgadas.
- Los separadores de 30 pulgadas de diámetro y menores deberán fabricarse con tubería, se especificarán sus diámetros externos; los cabezales superiores serán bridas del mismo diámetro que el tubo, provistas con

tapas o bridas ciegas; el fondo podrá fabricarse con cabezales estándar o casquetes de tuberías.

- Las entradas deberán tener un accesorio interno para desviar el flujo hacia el fondo del separador, los recipientes de 3 pie de diámetro y mayores tendrán como accesorio de entrada una caja abierta por el fondo, soldada a la boca de entrada, por la parte interior del equipo (Fig. 24), para los recipientes hechos con tubo, el accesorio se fabricará con un codo de 90°.
- Las salidas deberán tener dispositivos antivórtices.
- Los eliminadores de neblina tipo malla, deberán tener 4 pulgadas de espesor, 9lb/pie<sup>3</sup> de densidad y ser hechos de acero inoxidable. No deben aceptarse las mallas fabricadas con alambre de acero inoxidable en espiral.
- La figura 25 indica todos los parámetros de diseño, incluyendo las alturas para los espacios de líquidos y vapor.
- Los criterios para estimar las alturas se resumen en la tabla 5.

## **CÓDIGOS Y NORMAS APLICABLES AL DISEÑO DE SEPARADORES**

Los separadores de gas-liquido están sometidos a altas presiones, por lo tanto, para el diseño de su carcasa, estos pueden ser considerados como un recipiente a presión. Los recipientes a presión están diseñados, fabricados e inspeccionados de acuerdo a normas y códigos adoptados por cada país, que dictan reglas generales y específicas sobre las diferentes fases involucradas.

La construcción de recipientes a presión en Venezuela se basan en el código ASME para calderas y recipientes a presión ("ASME Boiler and Pressure Vessels Code"), sección VIII (Pressure Vessels), divisiones 1 y 2.

El código ASME está compuesto por once (11) secciones dedicadas a reglamentar en forma integral la construcción de calderas, recipientes a presión y componentes nucleares. Esto incluye los requerimientos de materiales, diseño, fabricación, pruebas, inspección y estampado.

La sección VIII del código ASME se encarga de establecer las normas y procedimientos para la fabricación de recipientes a presión. La sección VIII consta de dos partes, división 1 y 2.

### **Alcance de la sección VIII División 1**

Las reglas de esta división han sido establecidas para la construcción de recipientes con presión de diseño menor o igual a 3000 psi. Para el alcance de esta división, los recipientes a presión están definidos como envases para la contención de presión, tanto interna como externa. Esta presión puede obtenerse

de una fuente externa, o por la aplicación de calor desde una fuente directa y/o indirecta.

El alcance de la división 1 también incluye los siguientes recipientes:

- Evaporadores.
- Intercambiadores de calor (carcasa).
- Separadores (carcasa).
- Recipientes donde se genera vapor por el uso de calor resultante de un proceso.
- Recipientes o partes, sometidos a fuego directo producto de combustión, y excluidos de secciones I (Power Boilers), III (plantas nucleares) y IV (Heating Boilers) del código Asme.

Los límites físicos de la división, considerando la conexión del recipiente a otros sistemas son:

- Puntos de conexión de las tuberías externas.
- Hasta primera soldadura circunferencial.
- Hasta primera junta roscada.
- Hasta cara de primera brida.
- Partes sin presión soldada directamente al recipiente: orejas de levantamiento, soportes.

### **Recipientes y sistemas excluidos de la sección VIII división 1**

En el alcance de la división 1 no están incluidos los siguientes recipientes:

- Recipientes con  $P_{\text{diseño}} > 3000$  psi.
- Recipientes incluidos en el alcance de otras secciones calentadores tubulares de fuego indirecto.
- Recipientes integrantes de equipos mecánicos rotativos.
- Sistemas de tuberías: gasoductos u oleoductos
- Recipientes conteniendo agua a presión con  $P_{\text{diseño}} < 300$  psi y  $T_{\text{diseño}} < 210^{\circ}\text{F}$ .
- Recipientes con diámetro interno, alto, ancho o sección transversal menor a 6 pulg.
- Recipientes para ocupación humana.

### **Alcance de la sección VIII División 2**

- El alcance de la división 2 contempla los siguientes recipientes: recipientes con  $P_{\text{diseño}} > 3000$  psi.
- Recipientes con  $P_{\text{diseño}} \leq 3000$  psi, donde se requieran ahorros de costos.

- Recipientes sometidos a ciclos de fluctuación de temperatura.
- Recipientes para ser instalados en un lugar fijo (estacionario) para un servicio específico. Una vez diseñado para ser instalado en un sitio y para un servicio determinado, el recipiente no puede ser reubicado.
- Recipientes a ser instalados en barcos, gabarras y otras embarcaciones flotantes.

### **Historia del código ASME boiler and pressure vessels**

El código ASME Sección VIII División 1 es parte de un código con XI (once) secciones, elaboradas con objetivos diferentes, pero dentro del mismo alcance de recipientes a presión en la industria.

El origen del código puede ser traceado a 1914, cuando la primera edición de éste aparece. Esta cubría las reglas para el diseño, construcción, materiales, inspección y prueba de calderas de vapor. Esto, debido a que en los años a fines del siglo pasado ocurría muchos accidentes con las calderas de los barcos a vapor en EE.UU., casi a un promedio de un accidente por día. Estos accidentes no sólo eran desastrosos para el comercio interno americano y su desarrollo económico y social, si no que también cobraban un gran número de vidas al ocurrir. Esta situación se prolongó hasta los años 1920, por pobre diseño y fabricación, y una falta absoluta de reglas y especificaciones. Tal vez el avance más importante en el desarrollo de métodos de construcción fue la introducción de soldaduras, y su uso extensivo como sustituto de los remaches que se venían usando.

A través de los años el Código de Calderas (Boiler Code), fue dividido en secciones para calderas calentadoras, rehervidores, evaporadores, calderas para plantas eléctricas y termonucleares, recipientes a presión no-calentados, etc. De ésta forma los generadores de vapor para plantas y las calderas se encontraron a la par en el desarrollo de un nuevo código para recipientes a presión, culminando con el código Unfired Pressure Vessels en 1924.

Muchos de los problemas y mal interpretaciones que persistieron hasta bien entrado éste siglo con recipientes a presión, fueron resueltos en mítines y discusiones abiertas del Subcomité de ASME del Unfired Pressure Vessels; una conferencia que tomó lugar con representantes de otras asociaciones y audiencias en público, culminando en la publicación del Boiler, Piping and Pressure Vessels Code.

El objetivo de las reglas del código ASME BPVC (ASME Sección VIII, División 1) y sus estándares, aparte de fijar los valores dimensionales, es el de alcanzar un mínimo de requerimientos para una construcción segura. El código provee seguridad por la definición de materiales, aspectos de diseño, fabricación, inspección y pruebas, cuya omisión puede incrementar considerablemente los riesgos durante la operación. La experiencia con el uso del código ha demostrado que la probabilidad de fallas desastrosas puede ser reducida a niveles bajos, necesarios para proteger la vida y la propiedad mediante un mínimo de exigencias

y factores de seguridad. Obviamente resulta imposible que con reglas generales cómo las que se establecen en el código se anticipen situaciones que no sean las de un servicio convencional, lo que resultaría anti-económico ya que no se consideran aspectos relacionados con las condiciones de operación y medio ambiente. Tal cómo se estableció anteriormente, la precaución para éstas condiciones son responsabilidad del diseñador guiado por las necesidades y especificaciones del usuario.

Este documento sigue siendo vital en el diseño, fabricación, inspección y prueba de recipientes a presión, y es mandatorio su uso en muchas regiones de EE.UU. como también en otras partes del mundo. Cumplimiento de sus requisitos es fundamental para poder calificar para la póliza de seguro de un recipiente. El código se actualiza cada 3 años.

<b>SECCIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
I	Power Boilers
II	Material Specifications
III	Nuclear Power Plant Components
IV	Heating Boilers
V	Non-Destructive Examination
VI	Recommended Rules For Care and Operation of Heating Boilers
VII	Recommended Rules For Care of Power Boilers
VIII	Pressure Vessels
IX	Welding Qualifications
X	Fiberglass Reinforced Plastic Pressure Vessels
XI	Rules For Inservice Inspection of Nuclear Reactor Coolant Systems

**Tabla A3.** Sub-secciones del ASME Boiler and Pressure Vessels Code

*Referencia: Norma. Pressure Vessels, ASME DIVISIÓN VIII - UW, UG, Uf, UCL. (2003).*

La Sección VIII - División 1 del Código ASME está dividida en tres (3) sub-secciones:

Sub-sección A: Cubre la parte UG que considera las exigencias generales, aplicables a todos los tipos de recipientes.

Sub-sección B: Cubre específicamente requerimientos, los cuales aplican a los diferentes métodos utilizados en fabricación, y consiste en las partes UW, UR, UF y UB, relacionados con soldaduras, remaches y forjas.

Sub-sección C: Cubre requerimientos específicos aplicables a las diferentes clases de materiales usados para la construcción de recipientes a presión y consiste en las partes UB, UCS, UNF, UHA., UCI, UCL, UCD, ULT y UHT.

Las reglas de la División 1 han sido formuladas sobre la base de principios de diseño y prácticas de construcción aplicables a recipientes a presión diseñados

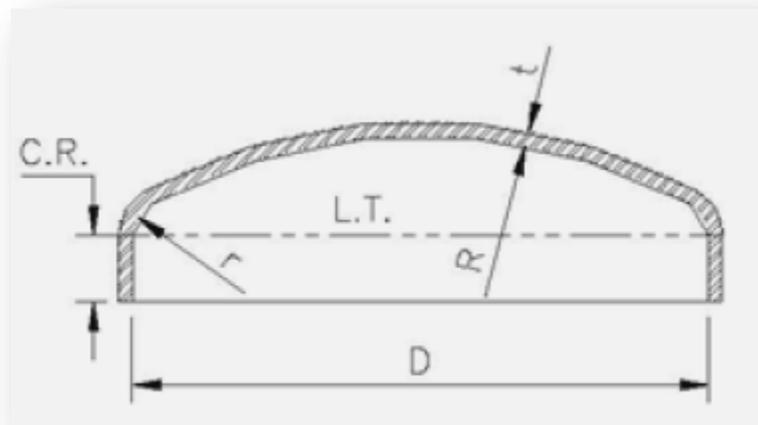
para presiones que no excedan de 3000 psi. Para presiones mayores de 3000 psi, las desviaciones y adiciones a éstas reglas son necesarias a fin de satisfacer los requerimientos de diseño y fabricación de tan altas presiones. Sólo en el caso de que los principios de diseño y prácticas de construcción adicionales hayan sido aplicados y el recipiente cumpla con los requisitos del código, entonces éste podrá ser estampado con el símbolo del código.

## ANEXO 2

### Generalidades de recipientes a presión.

#### Tapas toriesféricas.

Son las que mayor aceptación tienen en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan altas presiones manométricas, su característica principal es que el radio de abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 metros.



**Fig. A1.Tapa Toriesférica.**

Referencia: León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN"

Usando Diámetro interno.

- Cuando  $L / r = 16 (2/3)$
- Se calcula el espesor de la tapa con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{0.0885 * P * L_1}{SE - 0.1P} + CA$$

Usando Diámetro Exterior.

- Cuando  $L / r = 16 (2/3)$
- Se calcula el espesor de la tapa con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{0.0885P * L_E}{SE + 0.8P} + CA$$

- Cuando  $L / r < 16 (2/3)$
- Se calcula el espesor de la tapa con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{P * L * M}{2SE + P(M - 0.2)} + CA$$

Donde:

E = Eficiencia de soldaduras.

P = Presión de diseño, en lb/pulg<sup>2</sup>. (kPa).

R<sub>int</sub> = Radio interno de la tapa semiesférica, en pulgadas (mm).

R<sub>ext</sub> = Radio externo de la tapa toriesférica, en pulgadas (mm).

S = Esfuerzo máximo permisible, del material de la tapa lb/pulg<sup>2</sup> (kPa).

C.A = Factor de Corrosión 1/16'' para 12 años.

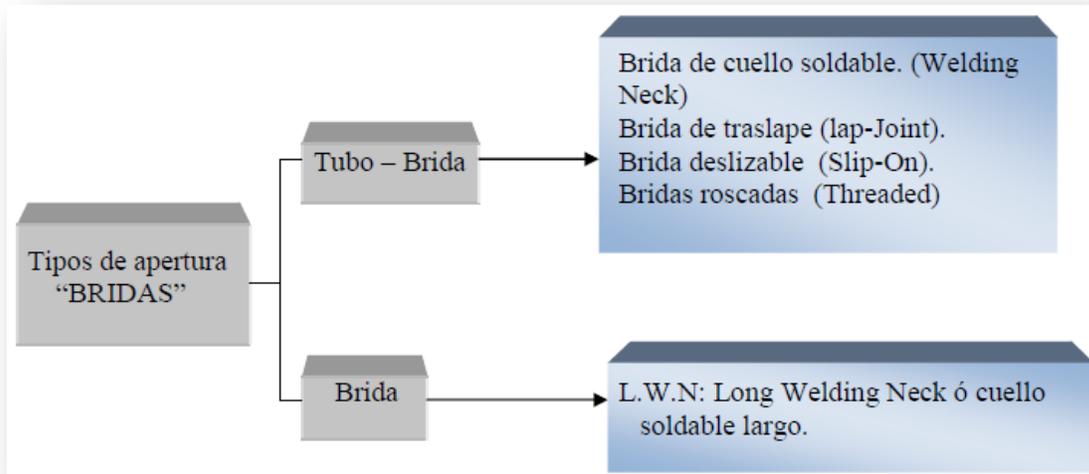
### **Tipos de bridas.**

SR = Esfuerzo de el Recipiente.

ST = Esfuerzo de el tubo.

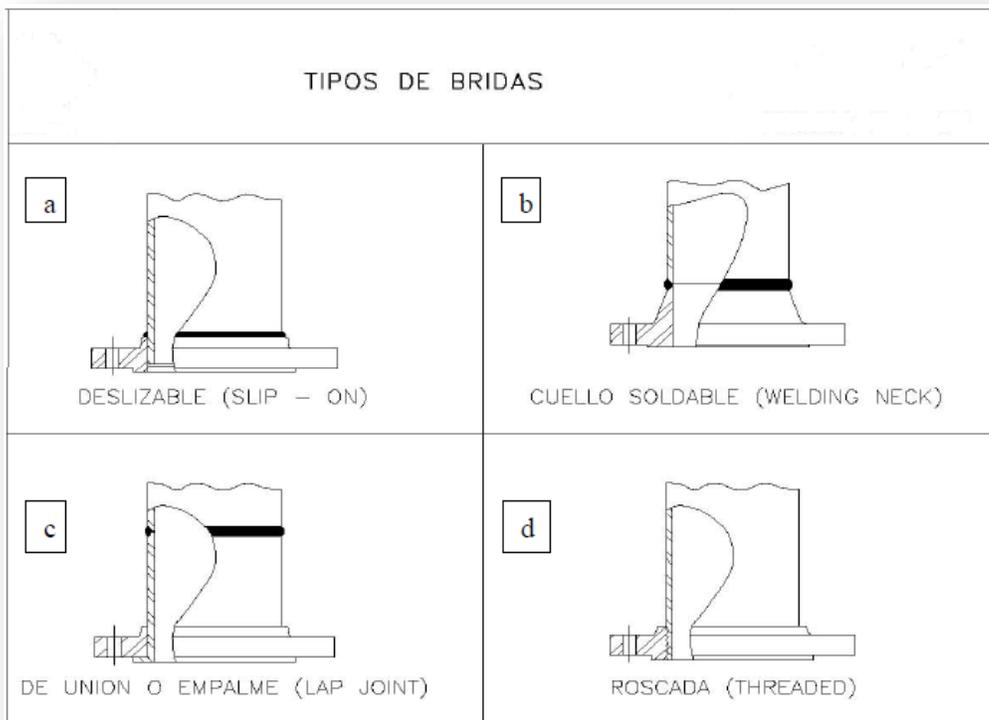
CASO 1                    **SR < ST**

CASO 2                    **SR > ST**



Referencia: Diagrama propio.

Se recomienda que las boquillas de 1-1/4" de diámetro y menores sean instaladas por medio de coples roscados de 3,000 y 6,000 libras/pulgada<sup>2</sup>. Las boquillas de 1 - 1/2" y mayores deberán ser bridadas.



**Fig. A2.** Tipo de Bridas.

Referencia: León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A

**Bridas deslizables.**

## a) SLIP-ON.

Estas bridas se prefieren sobre las de cuello soldable, debido a su costo más bajo, a la menor precisión requerida al cortar los tubos a la medida, a la mayor facilidad de alineamiento en el ensamble ya que su costo de instalación final es menor que las bridas de cuello soldable. Su resistencia calculada bajo presión interna, es del orden de  $2/3$  de las anteriores y su vida bajo condiciones de fatiga es aproximadamente  $1/3$  de las últimas.

**Bridas de cuello soldable.**

## b) WELDING NECK.

Se distinguen de las demás por su cono largo y por su cambio gradual de espesor en la región de la soldadura que las une al tubo. El cono largo suministra un refuerzo importante a la brida desde el punto de vista de resistencia. La ligera transición desde el espesor de la brida hasta el espesor de la pared del tubo, efectuada por el cono de la brida, es extremadamente benéfico bajo los efectos de flexión repetida, causada por la expansión de la línea u otras fuerzas variables y produce una resistencia de duración equivalente a la de una unión soldada entre tubos, este tipo de brida se prefiere para todas las condiciones severas de trabajo, ya sea que esto resulte de altas presiones o de temperaturas elevadas o menores de cero, ya sea también para condiciones de carga que sean sustancialmente constantes o que fluctúen entre límites amplios. Las bridas de cuello soldable se recomiendan para el manejo de fluidos explosivos, inflamables o costosos, donde una falla puede ser acompañada de desastrosas consecuencias.

Por estas razones, las bridas deslizables en presiones de 1,500 libras/pulgada<sup>2</sup> existen solamente en diámetros de  $1/2"$  a  $2-1/2"$ , y no existen en presiones de 2,500 libras /pulgada<sup>2</sup>. El manual de construcción de calderas A.S.M.E, limita su uso a  $4"$  de diámetro.

**Bridas de traslape.**

## c) LAP-JOINT.

Generalmente se instalan en tuberías de acero inoxidable o aleaciones especiales. Siempre que utilicemos este tipo de brida, debemos acompañarla de un extremo adaptador (**stubend**). También usamos este tipo de bridas traslapadas cuando las tuberías no son paralelas a los ejes de los recipientes.

**Bridas de enchufe soldable.**

#### d) SOCKET WELDING.

Se usan para cerrar los extremos de boquillas, tuberías y válvulas. Desde el punto de vista de presión interna y fuerzas ejercidas sobre los pernos, estas bridas, principalmente en tamaños grandes, son las que están sujetas a esfuerzos mayores. Al instalar las bridas ciegas debe tomarse en consideración la temperatura y el golpe de ariete, si existiera.

#### **Bridas especiales.**

Cuando una brida no corresponde a los tipos antes mencionados, le llamamos brida especial. Su uso es muy común en cambiadores de calor, cuyos diámetros no corresponden generalmente a los estandarizados de bridas.

#### **Diseño de refuerzos en aperturas.**

CASO  $S_R > S_T$

- Material del Recipiente.

De esta información podemos conocer el  $S_R$ .

- Material del Tubo.

De esta información podemos conocer el  $S_T$  y con el diámetro nominal del tubo pudiendo así conocer  $t_r$ .

- Cálculo de  $t_r$

$$t_r = \frac{P \cdot R}{SE - 0.6P}$$

Nota: El  $t_r$  se aproxima al valor inmediato superior estandarizado de tubos.

- Cálculo de  $t_{rn}$

$$t_{rn} = \frac{P \cdot R}{SE - 0.6P}$$

- Área de Refuerzo Requerida.

$$A = d (t_r)$$

Nota: El  $t_r$  que se toma en esta ecuación para realizar el cálculo es el calculado no el valor de  $t_r$  estandarizado.

- Incremento de Área.

$$\Delta A = 2 * t_r * t_n * \left(1 - \frac{S_T}{S_R}\right)$$

- Área Requerida.

$$A_{REQUERIDA} = A + \Delta A$$

- Área de Refuerzo Evaluada.

$A_1$  = Área de Refuerzo Requerida.

$A_{1.1}$  = El mayor de:

$$A_1 = (t - t_r) * d$$

$$A_1 = 2 * (t - t_r) * (t_n + t)$$

Reducción de  $A_{1.1}$

$$A_{1.2} = 2 * (t - t_r) * \left(1 - \frac{S_T}{S_R}\right)$$

$A_1$  DE REFUERZO REAL.

$$A_{REAL} = A_{1.1} - A_{1.2}$$

- Área de Exceso en la Boquilla.

$A_2$  = Área de Exceso en la Boquilla.

$A_2$  = EL MENOR DE:

$$A_2 = 5 * (t_n - t_{rn})$$

$$A_2 = 5 * t_n * (t_n + t_{rn})$$

$A_2$  REAL.

- Área de Proyección al interior.

$A_3$  = Área de Proyección al interior.

$$A_3 = 2 * h * (t_n)$$

$A_3$  = EL MENOR DE:

$$h = 2.5 * (t)$$

$$h = 2.5 \cdot (t_n)$$

$A_3$  REAL.

$$A_{3 \text{ REAL}} = A_3 \left( \frac{S_T}{S_R} \right)$$

- Área de Soldadura Exterior.

$A_4$  = Área de Soldadura Exterior.

$A_4$  = EL MENOR DE:

$$t_E = t - (1/16)$$

$$t_E = t_n - (1/16)$$

$A_4$  REAL.

$$A_4 = 2 * t * (t_S)^2 \left( \frac{S_T}{S_R} \right)$$

- Área de Soldadura Exterior.

$A_5$  = Área de Soldadura Interior.

$$t_E = h_{\min} - (1/16)$$

$A_5$  = EL MENOR DE:

$$t_E = t - (1/16)$$

$$t_E = t_n - (1/16)$$

$A_5$  REAL.

$$A_5 = 2 * t * (t_S)^2 \left( \frac{S_T}{S_R} \right)$$

- Área Real Evaluada.

$$\Sigma A_{\text{REVALUADA}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

- Área del Refuerzo Real Necesario.

$$A_{\text{REFUERZO REAL NECESARIO}} = A_{\text{REQUERIDA}} + \Sigma A_{\text{REVALUADA}}$$

$$A_{REFERENCIA} = b * h$$

$$\therefore b = \frac{A_{REF}}{h}$$

$$b / 2$$

$$D_{ext} = d_{int} + 2(b)$$

### **Cálculo de peso.**

- Peso Vacío.

$$Peso \text{ de cuerpo} + Peso \text{ tapas}(2) = Peso \text{ Vacío}$$

- Peso Vacío Total.

Nota: Por norma ASME se suma el 6% del Peso Vacío para sacar el Peso Vacío Total (mallas, bridas, etc.).

$$Peso \text{ de cuerpo} + Peso \text{ tapas}(2) + 6\% = Peso \text{ Vacío Total}$$

- Peso Llenado de Agua.

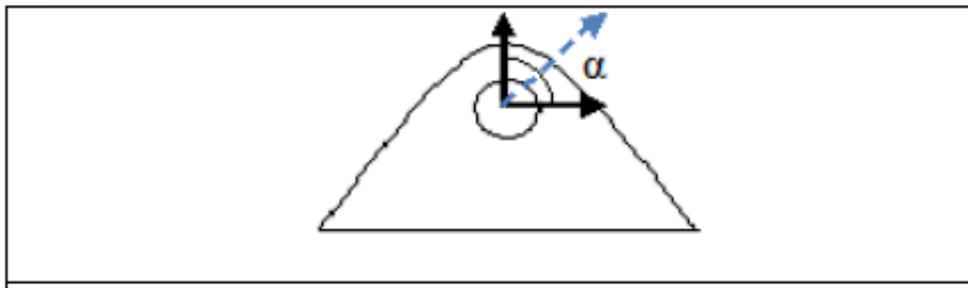
$$Peso \text{ de cuerpo} + Peso \text{ tapa} = Peso \text{ llenado de Agua}$$

- Peso Vacío Total.

$$Peso \text{ Vacío} + Peso \text{ Llenado de Agua} = Peso \text{ Total}$$

### **CÁLCULO DE OREJAS DE IZAJE.**

Las orejas de izaje se utilizan para transportar el recipiente, en caso de que sea un recipiente vertical se utilizan para elevarlo.



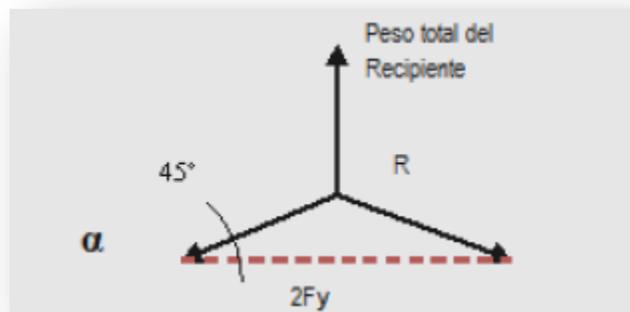
**Fig. A3. Oreja de Izaje.**

Referencia: León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN"

$\alpha$ , La podemos tomar como  $90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$  y  $10^\circ$ , depende del diseñador.

- Análisis puntual de las fuerzas.

Este análisis lo ocuparemos como D.C.L referido a la ubicación de las orejas del izaje por ejemplo en un recipiente horizontal.



**Fig. A4. Análisis Puntual.**

Referencia: León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN"

$$\uparrow \Sigma F_Y = 0$$

$$W_T - 2F_Y = 0$$

$$F_Y = \frac{W_T}{2}$$

- Determinando R para obtener el diámetro del orificio del cable.

$$R = \frac{F_Y}{\text{sen } \alpha}$$

- Diámetro del cable.

$$D = \sqrt{\frac{4R}{\pi\alpha}}$$

$\alpha$  = Esfuerzo del cable.

- Diámetro del barreno de la oreja.

$$D_{\text{BARRENO DE OREJA}} = D_{\text{CABLE}} + 1/16''$$

- Espesor de la placa de la oreja.

Se hace un corte que sea perpendicular a la carga dependiendo del ángulo. Obtenemos el Área de de la oreja.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Despejamos el Área y nos queda:

$$A = \frac{P}{\sigma}$$

De la ecuación 1.57 despejamos t para obtener el espesor.

$$A = t(W - D_{\text{BARRENO}})$$

$$t = \frac{A}{D_{\text{BARRENO}}}$$

## DISEÑO DE OREJAS DE RECIPIENTE VERTICAL.

### Cálculo por presión externa.

$P_{\text{atmosfera}} = 15 \text{ psig}$  (normalmente)

$$P_a = \frac{4B}{3 * \left(\frac{D_o}{t}\right)}$$

$D_o$  = diámetro exterior.

$t$  = espesor de placa.

$B$  = factor.

Nota: Si la  $P_a < P_{atm}$  requiere refuerzo.

$$P_a = \frac{2AE}{3 * \left(\frac{D_o}{t}\right)}$$

$E$  = módulo de elasticidad del material de fabricación.

Para la elección de los factores  $A$  y  $B$  necesitamos los siguientes datos y relaciones:

El cálculo del  $DO$  sería el primer paso.

$$D_o = D_{int} + 2t$$

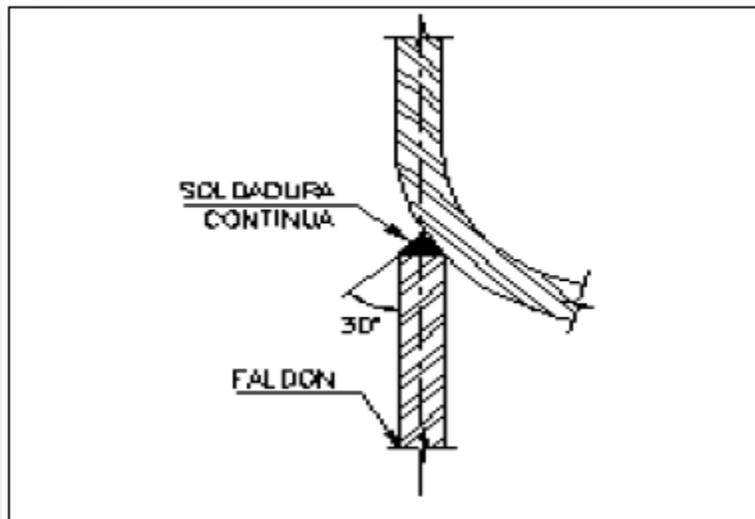
Las siguientes relaciones sirven para obtener el factor  $A$

$L / D_o$  (eje de las  $x$ )

$D_o / t$

Nota: Para la obtención del factor  $B$  es necesario establecer la temperatura en grados Fahrenheit.

## DISEÑO DE APOYOS PARA RECIPIENTES VERTICALES.



**Fig. A5.** Apoyo en Recipiente Vertical.

Referencia: León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN"

Los faldones los debemos de calcular por las diferentes cargas y de cada una se va a ir obteniendo un espesor y debemos de sumarlos para que nos de el espesor real del faldón.

- Peso Propio.
- Sismo.
- Viento.

Se hace un cálculo por Deflexión para saber si soporta el resiste propuesto.

- Peso Propio.

Espesor por peso propio.

$$t = \frac{W_T}{\pi * D_E * S_E}$$

Diámetro Exterior.

$$D_{EXT} = D_{INT} + 2t_E$$

Cabe mencionar que para el diseño de estos apoyos es necesario tomar en cuenta su S y algunos de los materiales más comunes son el: SA-36, SA-283-C, SA-285-C.

La eficiencia de soldadura o junta tiene los siguientes porcentajes dependiendo del tipo que se tome en consideración, E =

1.0 radiografiado 100%

0.85 radiografiado por puntos (15 cm radiografiado por 15 m de longitud)

0.70 sin radiografiar

- Viento.

Cortante.

$$V = P_W D_1 H_1$$

Momento.

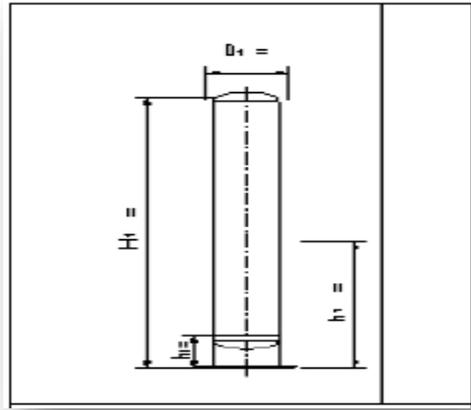
$$M = P_W D_1 h_1 H$$

Esfuerzo.

$$S = \frac{12M}{R^2 * \pi * t}$$

Espesor de placa requerido.

$$t = \frac{12M}{R^2 * \pi * SE}$$



**Fig. A6.** Viento.

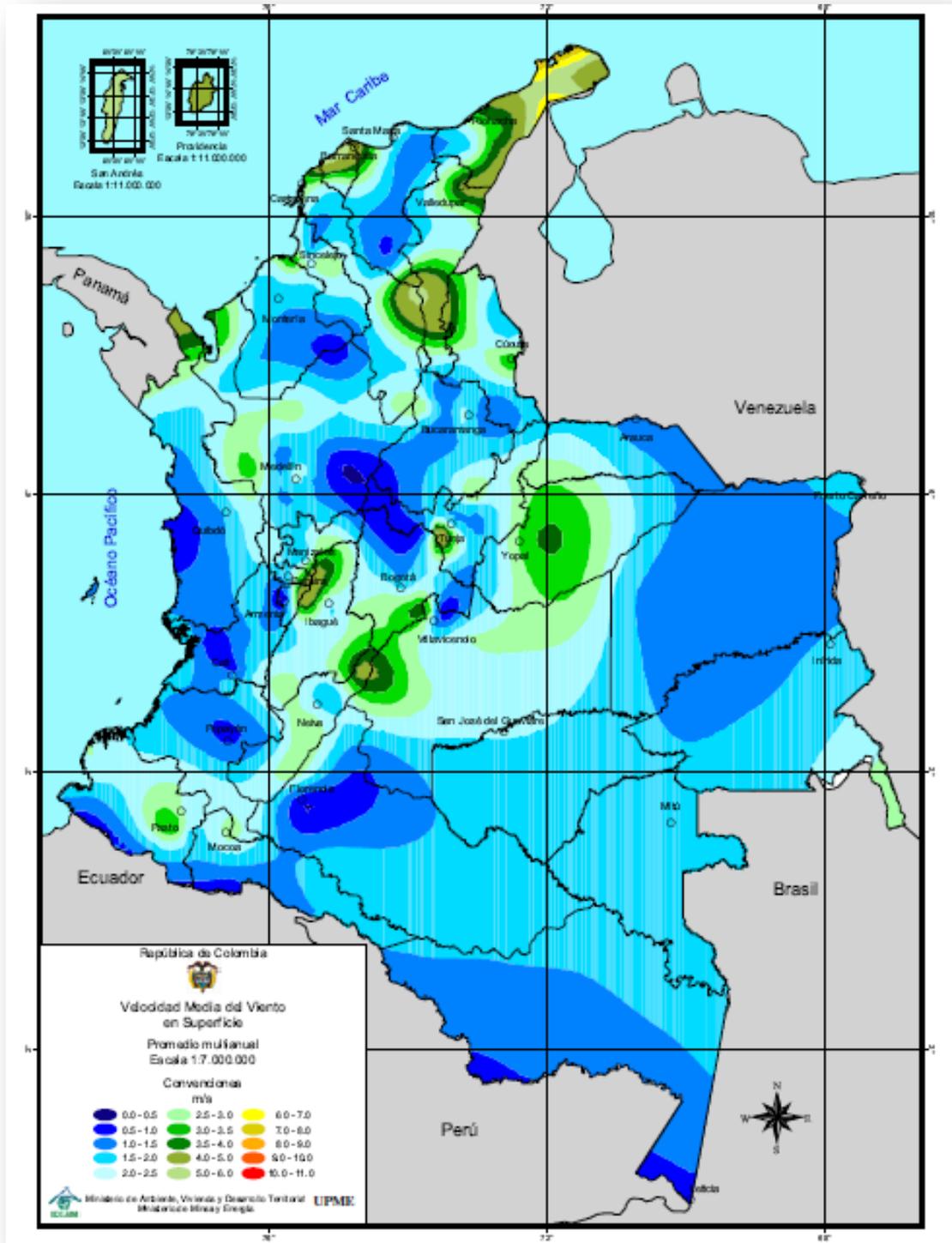
Referencia: León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN"

**Tabla A4.** Velocidades de Viento Máximo de la República Colombiana.

ID	LONGITUD	LATITUD	ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO
1	75°16'W	10°47'N	GALERAZAMBA	BOLÍVAR	5.9
2	73°33'W	05°26'N	GACHANECA	BOYACÁ	5.5
3	81°43'W	12°35'N	AEROPUERTOS ESQUICENTENARIO	ISLA DE SAN ÁNDRES	5.1
4	74°44'W	03°20'N	LA LEGIOSA	HUILA	4.1
5	81°21'W	13°22'N	AEROPUERTO EL EMBRUJO	ISLA DE PROVIDENCIA	4.0
6	72°56'W	11°32'N	AEROPUERTO ALMIRANTE PADILLA	LA GUAJIRA	4.0
7	73°30'W	05°32'N	VILLA CARMEN	BOYACÁ	3.9

8	77°18'W	01°11'N	OBONUCO	NARIÑO	3.5
9	72°31'W	07°56N	AEROPUERTO CAMILO DAZA	NORTE DE SANTANDER	3.3
10	76°07'W	06°20'N	URRAO	ANTIOQUIA	3.0
11	74°36'W	10°53'N	AEROPUERTO ERNERTO CORTISSOZ	ATLÁNTICO	2.9
12	74°14'W	11°08N	AEROPUERTO SIMÓN BOLÍVAR	MAGDALENA	2.9
13	73°11'W	07°08'N	AEROPUERTO PALONEGRO	SANTANDER	2.8
14	75°08'W	03°35'N	ANCHIQUE	TOLIMA	2.7
15	73°14'W	08°05'N	ÁBREGO CENTRO ADMINISTRATIVO	NORTE DE SANTANDER	2.5
16	74°09'W	04°43'N	AEROPUERTO EL DORADO PISTAS 1-2	CUNDINAMARCA	2.2

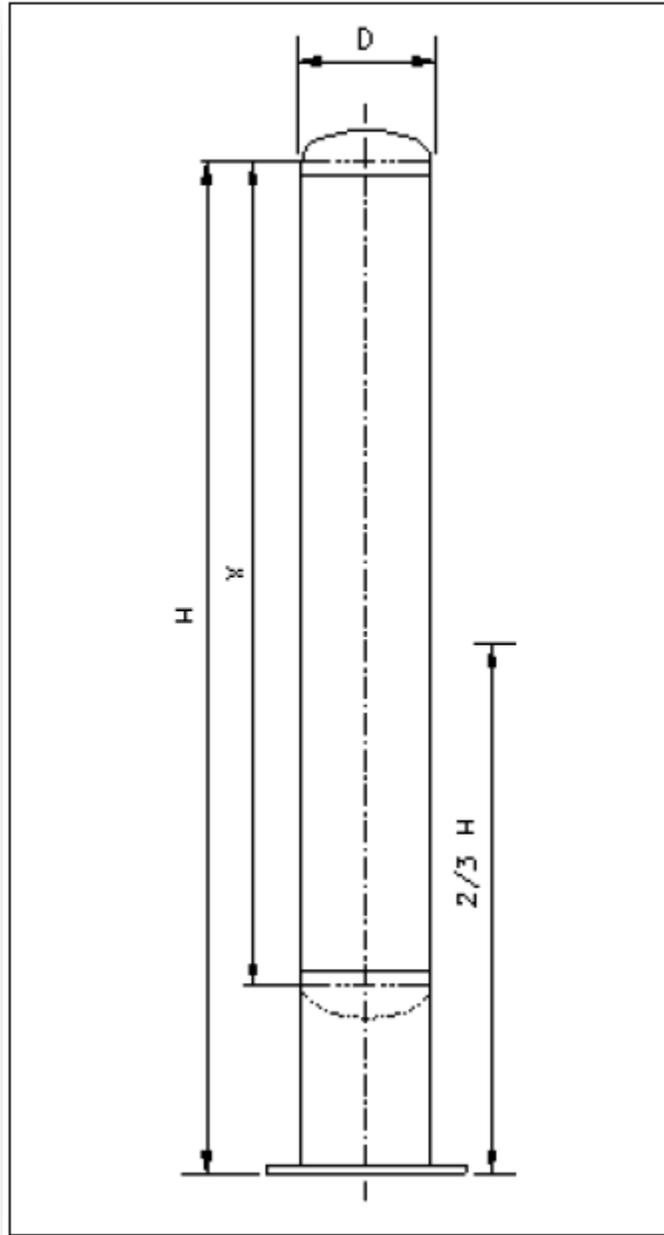
*Referencia: Atlas de viento y energía eólica de Colombia.*



**Fig. A7.** Zonas Eólicas, Velocidades Regionales de la República Colombiana.

*Referencia: Atlas de viento y energía eólica de Colombia*

- Cálculo por Sismo.



**Fig. A8. Sismo.**

*Referencia:* León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN"

Peso.

$$W = \frac{H}{D}$$

Periodo de vibración.

$$T = 2.65 \times 10^8 * \left(\frac{H}{D}\right)^2 * \sqrt{\frac{WD}{t}}$$

Cortante.

$$V = C * W$$

C=Coeficiente por sismo. Depende del tipo de suelo y en la región que estemos.

Periodo Máximo de Vibración Evaluada.

$$T_a = 0.8 \sqrt{\frac{W * H}{V * g}}$$

Momento.

$$M = \frac{2 * C * W * H}{3}$$

$$M = \frac{C * W * x^2 * (3 * H - x)}{3 * H^2}$$

Espesor de la placa.

$$t = \frac{12M}{SE * \pi * R^2}$$

Esfuerzo.

$$S = \frac{12M}{\pi * R^2 * SE}$$

- Espesor Real del Faldón.

$$t_{real} = t_{PESO PROPIO} + t_{SISMO} + t_{VIENTO}$$

CONDICIÓN:

$$t_{REAL} < t_{PROPUESTO}$$

- Cálculo por Deflexión.

$$\Delta M = \frac{P_W * D * H * (12H^3)}{S * E * I}$$

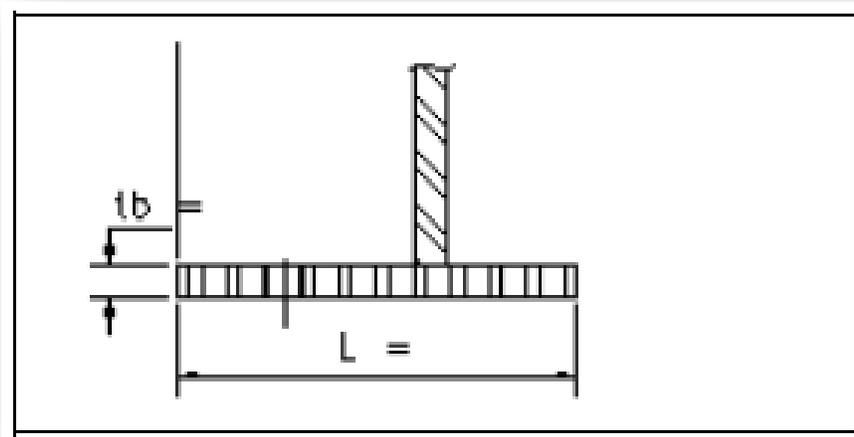
Inercia.

$$\therefore I = \pi R^3 t$$

CONDICIÓN:

$$R > 10t$$

### DISEÑO DE LA PLACA BASE DEL FALDÓN.



**Fig. A9.** Base del faldón.

Referencia: León Estrada, Juan Manuel, "DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN"

Tensión Máxima.

$$T = \frac{12M}{A_B} - \frac{W}{C_B}$$

Área del perno.

$$B_A = \frac{T C_B}{S_{BN}}$$

Espesor del perno.

$$S_B = \frac{T C_B}{B_A N}$$

Área de la base.

$$A_B = \frac{\pi D^2}{4}$$

Área del perno.

$$B_A = \frac{\pi(D_{perno})^2}{4} \quad \therefore \quad D_{perno} = \sqrt{\frac{4*B_A}{\pi}}$$

CONDICIÓN:

$$S_B \text{ calculo} < S_B \text{ perno}$$

### **CÁLCULO DEL ESPESOR PARA BASE DEL FALDÓN.**

Compresión Máxima.

$$P_C = \frac{12M}{A_S} + \frac{W}{C_S}$$

Ancho aproximado del anillo base.

$$l = \frac{P_C}{f_b}$$

Espesor aproximado del anillo base.

$$t_b = 0.32 * l_l$$

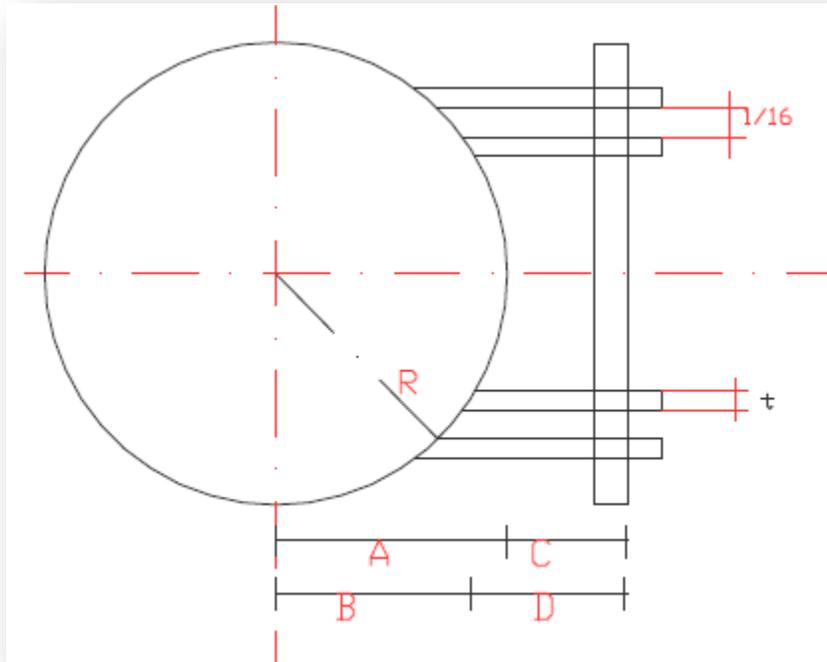
Esfuerzo de apoyo.

$$S_1 = \frac{P_C C_S}{A_R} \quad \therefore \quad A_R = 0.7854(D_0^2 - D_1^2)$$

Esfuerzo flexionante.

$$S_2 = \frac{3*S_l*l_l^2}{t_B^2} \quad \therefore \quad t_B = 0.32(l_2+l_3)$$

## SELECCIÓN DE REGISTRO PASA HOMBRE (DAVIT).



Referencia: Diagrama propio.

$$A = \sqrt{R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2}$$

$$B = \sqrt{R^2 - \left(\frac{R}{2} + \frac{1}{6} + t\right)^2}$$

$$C = R + 2.5 - A$$

$$D = R + 2.5 - B$$

## METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA UNA ZAPATA CORRIDA.

Carga total.

$$P_T = 1.1 P$$

Área de cimentación.

$$A_T = \frac{P_T}{R_T}$$

Longitud de la zapata.

$$L = \frac{A_T}{1m}$$

Vuelo del centroide a la derecha y a la izquierda.

$$VUELO = \frac{L-c}{2}$$

Cálculo de la carga producida por esfuerzo flexionante.

$$W = \frac{P}{A}$$

Momento flexionante.

$$M = \frac{W(L-c)^2}{8}$$

$$M = \frac{W(VUELO)^2}{2}$$

Peralte.

$$d = \sqrt{\frac{M}{100 R}}$$

Peralte total.

$$\mu = PERALTE TOTAL = 2d + 5$$

Cálculo del área de acero por flexionante.

$$A_S = \frac{M}{f_s j 2d}$$

Después de proponer una varilla.

$$N^{\circ} \text{ de varillas} = \frac{A_S}{A_V}$$

Separación entre varillas.

$$separacion = \frac{100}{N^{\circ} \text{ de varillas}}$$

Verificar adherencia.

$$\mu = \frac{V''}{2 \Sigma o j d}$$

Donde:  $\Sigma o$  = num. Varillas perimetro

$$\therefore V'' = VUELO(W)$$

Adherencia admisible.

$$\mu_{adm} = \frac{3.2\sqrt{fc}}{D}$$

Condición.  $\mu_{adm} > \mu$

Cálculo de área de acero por temperatura.

$$A_t = 0.0021(2d)$$

Después de proponer una varilla.

$$N^{\circ} \text{ de varillas} = \frac{A_s}{A_v}$$

Separación entre varillas.

$$separacion = \frac{L}{N^{\circ} \text{ de varillas}}$$

## CÁLCULO DE LA PLACA DE CHOQUE.

Es el aditamento que recibe el fluido desde la válvula de entrada.

Criterios:

1.  $\rho V^2 > 1500 \text{ lb/ft}^2$  para fluidos no corrosivos, no abrasivos y de una fase.
2.  $\rho V^2 > 500 \text{ lb/ft}^2$  para fluidos de dos fases.
3.  $\rho V^2 \leq 4\,000 \text{ lb/ft}^2$  para gases vapores y mezclas.

Hpp

$$H_{pp} = \frac{Dl}{4}$$

Diámetro de la placa de choque.

$$D = 1.25D_1$$

$$l = 0.2D_{\text{int de reep}}$$

$$A_{\text{int}} = \pi D_{\text{int}}^2 / 4$$

$$F = P A$$

$$M = F * l \quad \therefore \quad l = b$$

$$\sigma = \frac{M_C}{I}$$

$$C = \frac{t}{2}$$

$$I = \frac{bt^3}{12}$$

Sustituyendo queda de la siguiente forma.

$$\sigma = \frac{12 F}{2 t^2}$$