

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN SEPARADOR DE PRODUCCIÓN TRIFÁSICO
HORIZONTAL PARA EL CAMPO SECOYA DEL DISTRITO
AMAZÓNICO**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

VERÓNICA GABRIELA BENÍTEZ ORELLANA
veronica.benitez.orellana@hotmail.com

PABLO VICENTE OLMEDO ARCE
pabloolmedo@andinanet.net

DIRECTOR: Ing. JOHNNY ROBINSON ZAMBRANO CARRANZA
johnnyzambrano@hotmail.com

Quito, Diciembre del 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Verónica Gabriela Benítez Orellana y Pablo Vicente Olmedo Arce, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

Verónica Gabriela Benítez Orellana

Pablo Vicente Olmedo Arce

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo fue desarrollado por la Sra. Verónica Gabriela Benítez Orellana y el Sr. Pablo Vicente Olmedo Arce bajo mi supervisión.

Ing. Johnny Zambrano
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres (Raúl y Esmeralda) y a mi hermana (Adriana) que siempre me han sabido apoyar y comprender en todos estos años de universidad; a ellos que nunca me dejaron rendir ante las dificultades y siempre supieron darme su fuerza cuando más lo necesité e hicieron posible que concluya con esta meta.

A mi esposo Hernán por ser siempre mi guía en este camino, por brindarme siempre su amor, apoyo y por la fe que ha depositado en mí.

A mis amigos, hermanos de corazón, que han hecho que estos años sean más llevaderos y realmente gratificantes. Gracias por cada uno de los momentos vividos.

A mi Director de Tesis Johnny Zambrano por su paciencia y apoyo en la realización de este proyecto y por brindarme su amistad.

A mi compañero y amigo de lucha Pablito, por el esfuerzo y acolite para culminar con esta meta que es de los dos.

Verónica

Agradezco a mi familia (Cesar, Susana, Paty, Caty, Paola, Maria Elisa, Andres, Ricardo, Isac) que con su amor, comprensión y ejemplo han sido mi fortaleza para seguir adelante.

A todos mis amigos, que en todos estos años se han convertido en mi familia gracias por tantos momentos inolvidables.

A Johnny Zambrano por su colaboración, paciencia y apoyo en la realización y culminación de este proyecto y por brindarme su amistad.

A Vero por ser mi apoyo en la realización del proyecto, por brindarme su amistad y comprensión.

Pablo

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia (Raúl, Esmeralda, Adrianita y Joaquín) y a mi esposo Hernán, que son las personas que estuvieron, están y estarán siempre a mi lado. Gracias.

Verónica

Dedico este proyecto a mi familia, a mis amigos y a todas las personas que se han involucrado en mi vida y de una u otra manera dejaron su enseñanza.

A mis sobrinos que tomen como ejemplo de constancia, perseverancia y esfuerzo.

Pablo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xvii
PRESENTACIÓN	xix
CAPITULO I	1
DESCRIPCIÓN DEL CAMPO SECOYA, DISTRITO AMAZÓNICO	1
1.1 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO SECOYA	1
1.1.1 UBICACIÓN	1
1.1.2 NÚMERO Y DISTRIBUCIÓN DE POZOS EN EL CAMPO SECOYA	2
1.1.3 ESTADO DE LOS POZOS DEL CAMPO SECOYA	3
1.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS PROCESADOS EN LA ESTACIÓN SECOYA	5
1.1.5 PRODUCCIÓN.	5
CAPÍTULO II	8
DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE SEPARADORES Y CLASES DE SEPARADORES	8
2.1 GENERALIDADES	8
2.2 SEPARADORES	8
2.1.1 DESCRIPCIÓN DE SEPARADORES	9
2.2.1.1 Sección de separación primaria	9
2.2.1.2 Sección de separación secundaria	11
2.2.1.3 Sección de extracción de niebla	13

2.2.1.3.1 Tipos de extractores de niebla	13
2.2.1.4 Sección de almacenamiento de líquido	18
2.3 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE SEPARADORES	19
2.3.1 SEPARADORES DE DOS FASES	19
2.3.2 SEPARADORES DE TRES FASES	19
2.3.3 SEPARADORES HORIZONTALES	21
2.3.4 SEPARADORES VERTICALES	22
2.3.5 SEPARADORES ESFÉRICOS	23
2.3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SEPARADORES	23
2.3.6.1 Separadores verticales	23
2.3.6.2 Separadores horizontales	24
2.3.6.3 Separadores esféricos	25
2.4 PROCESOS DE SEPARACIÓN	25
2.4.1 MECANISMOS DE SEPARACIÓN	25
2.4.1.1 Separación por gravedad	25
2.4.1.2 Separación por fuerza centrífuga	26
2.4.1.3 Separación por choque	27
2.5 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE UN SEPARADOR	27
2.5.1 PRESIÓN DE OPERACIÓN DEL SEPARADOR	27
2.5.2. TEMPERATURA DE SEPARACIÓN	28
2.5.3. EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA EN EL GRADO DE SEPARACIÓN	30
2.5.4. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE LÍQUIDO	30
2.5.5. LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE LÍQUIDO Y EL VOLUMEN DE LIQUIDO QUE ENTRA EN EL SEPARADOR	32

2.5.6 VELOCIDAD CRÍTICA DEL GAS	33
2.5.7 TIEMPO DE RESIDENCIA	33
2.5.8 DENSIDADES DEL LÍQUIDO Y DEL GAS	34
2.5.9 VISCOSIDAD DEL GAS	34
2.6 PROBLEMAS DE OPERACIÓN DE LOS SEPARADORES	35
2.6.1 CRUDOS ESPUMOSOS	35
2.6.2 ARENAS	37
2.6.3 VELOCIDAD DE EROSIÓN	37
2.6.4 PARAFINAS	38
2.6.5 EMULSIONES	38
2.7 SELECCIÓN DE UN SEPARADOR	39
CAPÍTULO III	42
DIMENSIONAMIENTO DE UN SEPARADOR TRIFÁSICO HORIZONTAL	42
3.1 ALCANCE	42
3.2 DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO PARA SEPARADORES TRIFÁSICOS HORIZONTALES	42
3.2.1 TEORÍA DE SEPARACIÓN AGUA – CRUDO	42
3.2.2 CAPACIDAD PARA EL GAS	48
3.2.2.1 Asentamiento de las gotas del líquido	51
3.2.2.2 Control de presión del gas	53
3.2.3 CAPACIDAD DEL LÍQUIDO (AGUA – CRUDO)	53
3.2.3.1 Control del nivel del agua y del crudo	55

3.2.4 LONGITUD DE COSTURA	55
3.2.5 PROCEDIMIENTO PARA DIMENSIONAR UN SEPARADOR HORIZONTAL TRIFÁSICO	56
3.3 DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO	57
3.3.1 PRESIÓN DE OPERACIÓN (P_o)	58
3.3.2 PRESIÓN DE DISEÑO (P)	58
3.3.3 PRESIÓN DE PRUEBA (P_p)	58
3.3.4 PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMISIBLE	58
3.3.4.1 Esfuerzos debido a cargas combinadas	59
3.3.4.2 Esfuerzo sobre una sección longitudinal	59
3.3.4.3 Esfuerzo sobre una sección transversal	61
3.3.5 EFICIENCIA DE LA SOLDADURA (E)	63
3.3.6 MARGEN DE CORROSIÓN	65
3.3.7 CÁLCULOS RECOMENDADOS POR LA NORMA ASME, SECCIÓN VIII, DIVISIÓN I	65
3.3.7.1 Cálculo de espesores para paredes del cuerpo	66
3.3.7.1.1 Cuerpos Cilíndricos	66
3.3.7.2 Cálculo de espesores de paredes para cabeza y secciones lzadas en su lado cóncavo	67
3.3.7.2.1 Cabezas elipsoidales	67
3.3.7.2.2 Cabezas toriesféricas	69
3.3.7.2.3 Cabezas hemisféricas	71
3.3.8 DISEÑO DE ABERTURAS	71
3.3.8.1 FORMAS DE LAS ABERTURAS	72
3.3.8.2 TAMAÑO DE LAS ABERTURAS	72

3.3.8.3 CÁLCULO DE ESPESORES DE LAS BOCAS	74
3.3.8.4 REFUERZOS REQUERIDOS PARA ABERTURAS EN CUERPOS Y CABEZAS	74
3.3.8.5 CÁLCULO DE CARGAS SEGÚN ÁREAS	78
3.3.8.6 CÁLCULO DE CARGAS EN SOLDADURAS	78
3.3.8.6.1 Conexiones insertadas	79
3.3.8.6.2 Conexiones apoyadas	81
3.3.9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PARA RECIPIENTES HORIZONTALES SOPORTADOS POR 2 SILLETAS	83
3.3.9.1 ESFUERZOS EN RECIPIENTES CON 2 SILLAS	84
3.3.9.1.1 Esfuerzo flexionante longitudinal	85
3.3.9.1.2 Esfuerzo cortante tangencial	87
3.3.9.1.3 Esfuerzo circunferencial	89
3.3.9.2 Diseño de placas para silletas	90
3.3.10 Diseño de orejas de izaje	95
3.3.10.1 Análisis de la resistencia de los cordones de soldadura	96
3.3.10.2 Análisis de la resistencia al corte por tracción de la Placa de la oreja de izaje	97
3.3.11 PARÁMETROS PARA SELECCIONAR LAS PARTES INTERNAS DEL SEPARADOR	98
3.3.12 ACCESORIOS DE SEGURIDAD EN UN SEPARADOR	99
3.3.13 CALCULO DEL DISEÑO DEL SEPARADOR TRIFÁSICO HORIZONTAL PARA EL CAMPO SECOYA DE 30000 BPPD	99
3.3.13.1 Dimensionamiento hidráulico	99
3.3.13.2 Dimensionamiento mecánico	104
3.3.13.2.1 Espesor del cuerpo	105

3.3.13.2.2 Espesor de las tapas semielípticas	106
3.3.13.3 Peso del recipiente	108
3.3.13.3.1 Peso del cuerpo cilíndrico	108
3.3.13.3.2 Peso de las cabezas	109
3.3.13.3.3 Peso total del recipiente	109
3.3.13.4 Peso del contenido	110
3.3.13.5 Cálculo del diseño de las silletas	111
3.3.13.5.1 Análisis de resistencia del recipiente	113
3.3.13.5.2 Esfuerzo flexionante de la silleta	113
3.3.13.5.3 Análisis de resistencia	115
3.3.13.5.4 Esfuerzo cortante tangencial	115
3.3.13.5.5 Esfuerzo circunferencial	116
3.3.13.6 Dimensionamiento de las principales boquillas	118
3.3.13.6.1 Cálculo del refuerzo del registro de inspección (Manhole)	118
CAPÍTULO IV	135
ANÁLISIS ECONÓMICO Y COSTOS	135
4.1 INTRODUCCIÓN	135
4.2 COSTOS UNITARIOS	135
4.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	146
4.3.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO	146
4.3.1.1 Inversión inicial del proyecto (P)	146
4.3.1.2 Valor anual (a)	146
4.3.1.3 Costo beneficio (b/c)	147

CAPÍTULO V	149
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
5.1 CONCLUSIONES	149
5.2 RECOMENDACIONES	151
BIBLIOGRAFÍA	152
ANEXOS	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Secciones del Separador	9
Figura 2.2 Deflectores	10
Figura 2.3 Tipo Ciclón	11
Figura 2.4 Placas rompe-olas	12
Figura 2.5 Placas rompe-espuma	13
Figura 2.6 Extractor tipo veleta	15
Figura 2.7 Malla de alambre	16
Figura 2.8 Extractor de niebla tipo ciclónico	17
Figura 2.9 Rompe Vórtices	18
Figura 2.10 Separador bifásico horizontal	19
Figura 2.11 Separador trifásico horizontal	20
Figura 2.12 Separador horizontal	21
Figura 2.13 Separador vertical	22
Figura 2.14 Separador esférico	23
Figura 2.15 Temperatura de Separación Vs Recuperación de Líquidos	28
Figura 2.16 Relación del tamaño de las partículas del líquido VS % de Partículas eliminadas	31
Figura 3.1 Diagrama del cuerpo libre de la gota y su velocidad de Asentamiento	43
Figura 3.2 H_o / D como función de A_w / A	48
Figura 3.3 Esfuerzo originado sobre una sección longitudinal de un cilindro de pared delgada	60
Figura 3.4 Esfuerzo originado sobre una sección transversal de un cilindro de pared delgada	62

Figura 3.5 Cabeza elipsoidal	68
Figura 3.6 Cabeza toriesférica	69
Figura 3.7 Cabeza hemisférica	71
Figura 3.8 Tipos de sección de reducción	73
Figura 3.9 Configuración común de una boca en un recipiente	75
Figura 3.10 Cargas en las juntas de soldadura (bocas insertadas)	79
Figura 3.11 Cargas en las juntas de soldadura (bocas apoyadas)	81
Figura 3.12 Esfuerzos a flexión y cortante en un tanque horizontal	84
Figura 3.13 Parámetros utilizados	85
Figura 3.14 Diseño típico de silletas utilizadas en recipientes	91
Figura 3.15 Orejas de izaje	95
Figura 3.16 Parámetros que se deben considerar para el calculo de Diseño de las silletas	112
Figura 3.17 Esquema de las dimensiones más relevantes para el calculo del refuerzo de la abertura	119
Figura 3.18 Esquema de la boquilla de inspección con anillo de refuerzo	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Numero de pozos y condiciones actuales del sistema de separación de la estación Secoya	3
Tabla 1.2 Forecast con datos de producción de la Estación Secoya	4
Tabla 1.3 Características de los fluidos procesados en la Estación Secoya	5
Tabla 1.4 Separadores de la Estación Secoya	6
Tabla 2.1 Características Malla de Alambre	15
Tabla 2.2 Parámetros de selección de separadores	21
Tabla 2.3 Tiempo de retención mínimo para separadores trifásicos	34
Tabla 3.1 Tipos de juntas y valores E de la eficiencia de la soldadura	64
Tabla 3.2 Valores de la constante k	94
Tabla 3.3 Datos de la Estación de Producción Secoya	100
Tabla 3.4 Valores de las longitudes de los separadores	103
Tabla 3.5 Datos de operación	104
Tabla 3.6 Dimensiones sugeridas para registros de inspección	118
Tabla 4.1 Suministro acero estructural	137
Tabla 4.2 Fabricación de cilindros	138
Tabla 4.3 Fabricación de cabezas	139
Tabla 4.4 Fabricación de silletas	140
Tabla 4.5 Instalación de manhole, aberturas y orejas de izaje	141
Tabla 4.6 Instalación de acoples del sistemas y conformación total del recipiente	142
Tabla 4.7 Inspección y recepción	143
Tabla 4.8 Suministro, accesorios y partes internas	144
Tabla 4.9 Costo total del separador	145

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.1 Localización del campo Secoya	2
Mapa 1.2 Localización de los pozos perforados en el campo Secoya	7

RESUMEN

En este Proyecto de Titulación se realiza el diseño de un separador de producción trifásico horizontal para el Campo Secoya del Distrito Amazónico. El proyecto comprende del diseño hidráulico y diseño mecánico del separador, incluyendo partes internas y principales aberturas del tanque. Para el diseño mecánico se utilizó el CÓDIGO ASME, Sección VIII División 1, como principal herramienta de trabajo.

En vista del aumento de producción en el Campo Secoya, EP PETROECUADOR se ve en la necesidad de implementar un nuevo separador de hidrocarburos con capacidad de 30000 BFPD; motivo de estudio como Proyecto de Titulación.

El capítulo 1 describe las características del Campo Secoya y características del fluido; como su ubicación, número, distribución y estado de los pozos, características operacionales y producción.

El capítulo 2 orienta las bases teóricas necesarias de la descripción operacional y clases de separadores existentes en el mercado. Se describe información sobre partes, clasificación, secciones, consideraciones de funcionamiento, ventajas y desventajas de las clases de separadores.

El capítulo 3 contiene los parámetros y ecuaciones para el dimensionamiento del separador. El dimensionamiento contiene dos partes; la primera corresponde al dimensionamiento hidráulico, con el que obtiene la geometría necesaria para la separación del fluido; y, la segunda contiene el dimensionamiento mecánico, además de proporcionar el espesor, tanto del cuerpo, tapas y aberturas del tanque.

Finalmente, en el capítulo 4, se presentan los precios unitarios y el análisis de costos de la construcción del separador.

El estudio culmina estableciendo las conclusiones y recomendaciones; esperando que sean de ayuda técnica para quienes requieran de información acerca del diseño de un separador trifásico horizontal.

PRESENTACIÓN

En un inicio, los equipos de separación de petróleo en el Campo Secoya trabajaban como sistemas trifásicos. Pero en la actualidad han sido transformados a sistemas bifásicos; lo que en la práctica consiste que estos separadores solo separan el gas de la emulsión.

En vista del incremento de la producción del campo, de mejorar la producción y reducir costos, EP PETROECUADOR se ha visto en la necesidad de incrementar dos separadores trifásicos horizontales con capacidad de 30000 BFPD; por lo que en este Proyecto de Titulación se presenta el diseño del separador mencionado.

Este trabajo se constituye en una guía para el diseño de un separador trifásico horizontal, donde se presenta un análisis técnico empleando las propiedades de los fluidos producidos y manejados en el Campo Secoya, así como de los conocimientos sobre diseño mecánico e hidráulico de separadores trifásicos horizontales.

Para sustentar la viabilidad de la construcción del separador trifásico diseñando en este Proyecto de Titulación se realiza el respectivo análisis comparativo y costos unitarios.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL CAMPO SECOYA, DISTRITO AMAZÓNICO

1.1 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO SECOYA

1.1.1 UBICACIÓN

El campo Secoya se encuentra ubicado en la Región Amazónica, en la parte Sur-Occidente del campo Libertador, junto al campo Shuara, al sur del campo Shushuqui, rodeado por los campos Aguarico y Atacapi (ver Mapa 1.1). Su estructura fue descubierta con la perforación del pozo SEC-01 entre enero y febrero de 1980. Tiene una extensión de aproximadamente 684.5 Km².

El campo Secoya muestra una estructura anticlinal, limitada en la parte Este por una falla que corre de norte a sur y por el norte, sur y oeste por los cierres estructurales de "Ui" (8186 ft) y "T" (8357 ft); coincidiendo este último cierre estructural con la protección del CAP del pozo vecino SHU-01.



Mapa 1.1. Localización del campo Secoya

1.1.2 NÚMERO Y DISTRIBUCIÓN DE POZOS EN EL CAMPO SECOYA

En el campo Secoya se han perforado un total de 35 pozos, distribuidos en la región sur-occidente del campo Libertador (ver Mapa 1.2 al final del capítulo).

El número de pozos y condiciones actuales del sistema de separación se detalla en la Tabla 1.1

Tabla 1.1 Número de pozos y condiciones actuales del sistema de separación del Campo Secoya

Número de pozos del campo Secoya					
Pozos en Producción	Pozos en Reparación	Pozos esperando Reparación	Pozos para Inyección de Agua	Pozos Muertos	Total de Pozos
24	2	2	2	5	35

	Separador de Prueba	Separador de Producción 1	Separador de Producción 2	Separador de Producción 3
Compañía constructora del Separador	BWT Moore INC.	Presson Manufacturing	Sivalls-PAMPA Texas	Proyectos Especiales
Tipo	Bifásico	Trifásico FWK	Trifásico	Trifásico
Año de Construcción	1981	1995	1990	-
Año de reparación	-	-	-	2006
Dimensiones	72" x 10	72" x 22	72 x 22	72" x 18
Capacidad (BLS)	10000	35000	35000	30000
Temperatura de Operación (°F)	-	110	-	-
Presión de Operación (psia)	30	28	27	34
Presión de Diseño (psia)	125	125	150	100
Temperatura de diseño (°F)	100	200	650	120
Peso sin Fluido (lbs)		43150	39654	35195
Observaciones	Los separadores de la estación son trifásicos, pero trabajan como bifásicos, ya que la geometría de los separadores no permite una correcta separación trifásica; la descarga de agua arrastra gran cantidad de petróleo en su contenido.			

Fuente: EP Petroecuador

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

1.1.3 ESTADO DE LOS POZOS DEL CAMPO SECOYA

En la Tabla 1.2 se muestra un Forecast con datos actuales de producción de la Estación Secoya.

Tabla 1.2 Forecast con datos de producción de la Estación Secoya.

Pozo	Promedio (BFPD)	Máximo (BPPD)	BSW (%)	° API	Gas (MMSCFD)	Aporte (%)
SEC-01	2945	3034	87.1	29.5	125.2	5.2
SEC-02	1661	2617	76.9	30.0	334.9	4.4
SEC-03	1858	3071	78.2	29.0	180.9	5.2
SEC-04	177	272	16.9	30.0	74.2	0.5
SEC-05	4470	4610	86.9	29.0	276.2	7.8
SEC-08	3139	3889	70.4	30.0	434.3	6.6
SEC-10	971	1144	66.3	32.8	155.9	1.9
SEC-11	2197	3555	79.6	28.3	224.6	6.0
SEC-12	100	140	3.0	29.0	138.6	0.2
SEC-14	4209	4581	72.8	29.0	360.2	7.8
SEC-15	1429	1476	82.2	30.0	119.6	2.5
SEC-16	3654	3921	80.0	29.0	268.8	6.7
SEC-17	790	1317	55.9	28.0	574.6	2.2
SEC-18	2204	2666	75.2	29.0	165.4	4.5
SEC-19	1026	1164	71.3	29.0	127.6	2.0
SEC-20	303	385	18.0	27.5	89.3	0.7
SEC-21	1252	1349	68.6	30.0	125.7	2.3
SEC-22	1076	1867	62.4	27.0	148.8	3.2
SEC-23	471	641	81.1	29.0	77.9	1.1
SEC-24	521	549	43.8	36.7	102.2	0.9
SEC-26	377	717	77.4	27.0	111.8	1.2
SEC-27	2248	2639	80.7	30.2	170.2	4.5
SEC-28	695	1378	74.3	29.0	111.1	2.3
SEC-29	1246	1434	68.0	29.0	133.5	2.4
SEC-30	581	992	64.7	30.0	195.4	1.7
SEC-32	1065	1188	37.5	28.7	262.6	2.0
SEC-33	2620	3189	47.7	31.0	885.5	5.4
SEC-33B	2307	2345	78.2	39.7	537.7	4.0
SEC-34	734	823	76.7	30.2	64.7	1.4
SEC-35	688	925	55.9	33.5	210.2	1.6
SEC-36	801	935	31.2	29.6	163.1	1.6
Producción Total					58813 BFPD	

Fuente: EP Petroecuador

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

1.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS PROCESADOS EN LA ESTACIÓN SECOYA

En la Tabla 1.3 se presentan las características de los fluidos procesados en la Estación Secoya.

Tabla 1.3 Características de los fluidos procesados en la Estación Secoya.

Características de la Estación Secoya		
Descripción	Símbolo	Valor
Caudal de Petróleo	Q_o (BPPD)	16644
Caudal de Agua	Q_w (BWPD)	42169
Caudal de Gas	Q_g (MMSCFD)	0.280
Caudal Total	Q (BFPD)	58813
Presión de Operación	P (psia)	24
Temperatura de Operación	T (°F)	94
Grado API	°API	29
Gravedad Especifica del Petróleo	γ_o	0.8816
Gravedad Especifica del Agua	γ_w	1.07
Gravedad Especifica del Gas	γ_g	1.182
Viscosidad del Petróleo	μ_o (cp)	13.520
Viscosidad del Gas	μ_g (cp)	0.0102
Factor de compresibilidad del Gas	Z	0.988
Diámetro asumido de las gotas de suspensión (fase continua)	d_m (micrones)	500
Diámetro asumido de las gotas de suspensión (fase gaseosa)	d_m (micrones)	100
Relación Gas – Petróleo	GOR (scf/BPD)	282

Fuente: EP Petroecuador

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

1.1.5 PRODUCCIÓN

El mayor aporte de producción para el campo Libertador, proviene del Campo Secoya, con una producción diaria de 58813 BFPD con el 75% de BSW. Toda la producción del campo es dirigida a la estación de producción-bombeo que lleva su mismo nombre, a excepción de la proveniente de los pozos SEC-11, SEC-18, SEC-21, SEC-24, SEC-29 y SEC-30 que es receptada en la estación Pichincha.

En la estación de producción-bombeo Secoya operan los separadores que se detallan en la Tabla 1.4.

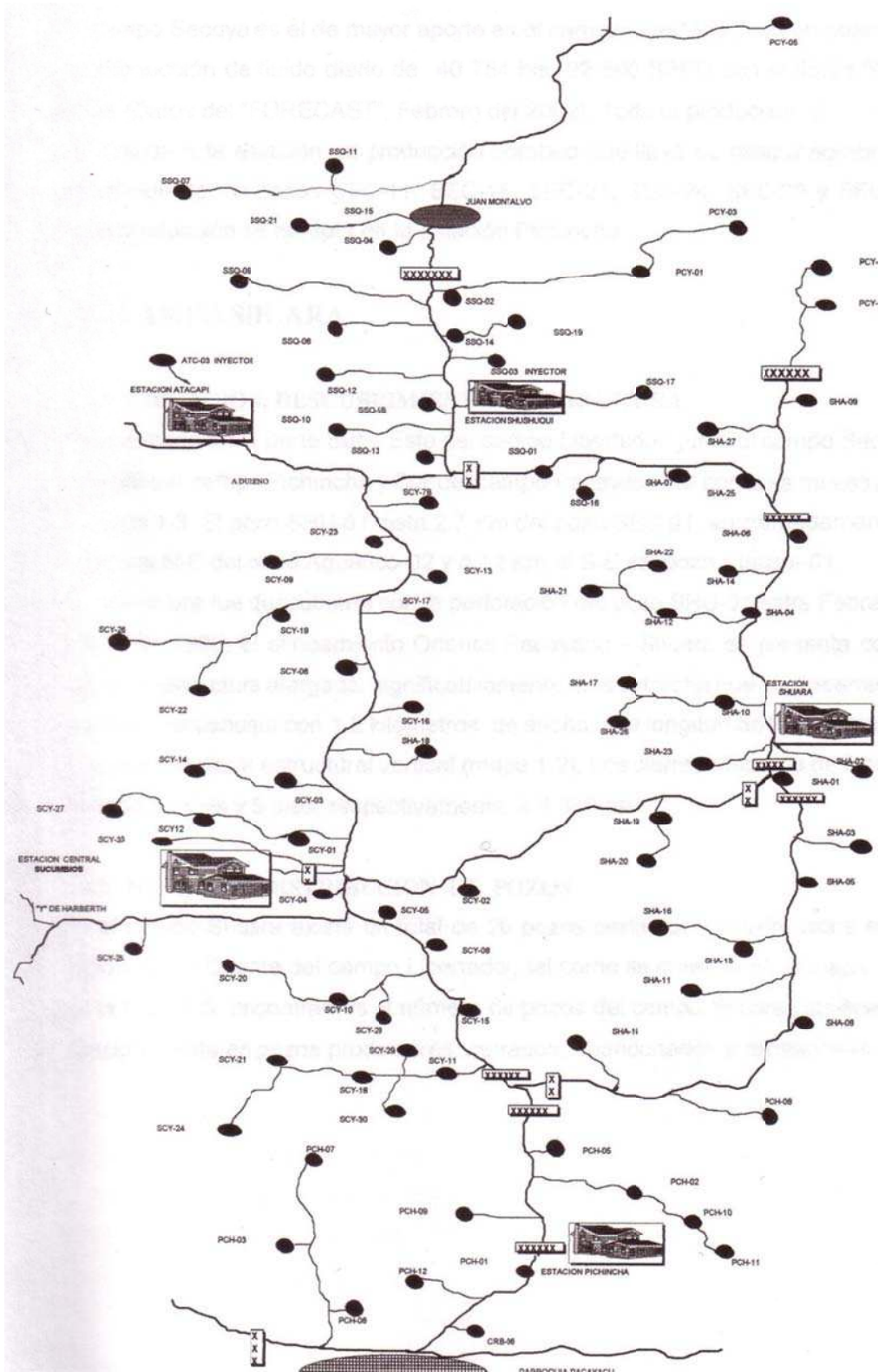
Tabla 1.4 Separadores de la Estación Secoya.

SEPARADORES EXISTENTES		
Separador de:	Capacidad	Tipo
Prueba 1	10000 BLS	bifásico
Producción 1	35000 BLS	trifásico
Producción 2	35000 BLS	trifásico
Producción 3	30000BLS	trifásico

Fuente: EP Petroecuador

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

En vista de que se proyecta incrementar a futuro la producción de la estación Secoya, es necesario satisfacer las necesidades de la misma. Por lo tanto, se requiere diseñar y construir un nuevo separador, el cual será estudio de este Proyecto de Titulación.



Mapa 1.2 Localización de los pozos perforados en el Campo Secoya

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE SEPARADORES Y CLASES DE SEPARADORES

2.1 GENERALIDADES

El petróleo crudo proveniente de los pozos se somete a una separación en fase líquida y fase gaseosa mediante un separador. La separación se realiza a diferentes niveles de presión y temperatura según las características y propiedades del crudo a separar. Desde la separación, el gas se evacua por la parte superior del recipiente y el líquido por la inferior, para continuar con las siguientes etapas del proceso de producción.

En los campos petroleros se presentan mezclas de líquido y gas por:

- a) Los pozos producen líquidos con gas en solución (mezclados en un solo flujo).
- b) En tuberías que aparentemente manejan sólo líquido o gas, por cambios de presión y temperatura que se produce vaporización de líquido o condensación de gas; dando lugar al flujo de dos fases.
- c) En ocasiones, el flujo de gas arrastra líquidos en cantidades apreciables de los compresores y equipos de procesamiento.

2.2 SEPARADORES

Son recipientes presurizados, normalmente fabricados en acero, empleados para separar los fluidos (líquidos y gaseosos) producidos en pozos de petróleo y gas.

La separación de flujo de gas y de líquidos (petróleo y agua) es una etapa crítica en las operaciones de una estación de producción; por lo tanto, los separadores deben

ser dimensionados y operados en forma apropiada para permitir recuperar la mayor cantidad de petróleo líquido, mejorando la producción del campo.

De ahí que la composición de la mezcla a separar y la presión de operación determinan el tipo y el tamaño del separador requerido.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE SEPARADORES

Para una óptima separación de los fluidos, operativamente, un separador consta de las siguientes secciones (ver Figura 2.1):

- a) Sección de separación primaria
- b) Sección de separación secundaria
- c) Sección de extracción de niebla
- d) Sección de almacenamiento de líquido

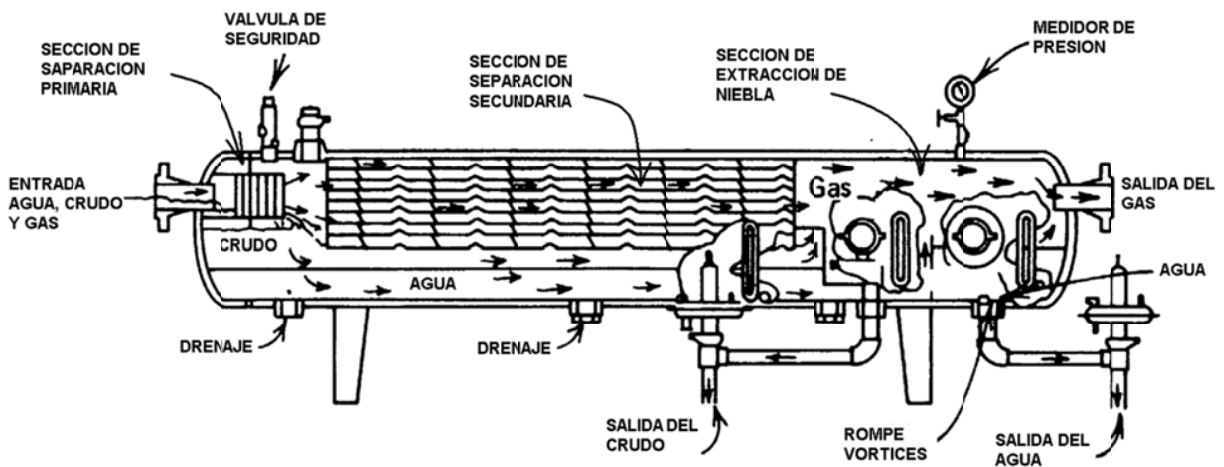


Figura2.1 Secciones del Separador¹

2.2.1.1 Sección de separación primaria

En esta sección, la separación se realiza mediante un cambio de dirección de flujo. El cambio de dirección se puede efectuar con una entrada tangencial de los fluidos al separador; o bien instalando adecuadamente una placa desviadora a la entrada. Con

¹Fuente: Surface Production Operations, Volume 1.

cualquiera de las dos formas se le induce una fuerza al flujo, con la que se separan grandes volúmenes de líquido.

La placa desviadora puede clasificarse en dos grupos:

- Deflectores. Trabajan por agitación mecánica y se diseñan en forma de placa, ángulo, cono o semiesfera. El objetivo es lograr un cambio rápido en la dirección y en la velocidad de la corriente de entrada, siendo esta la razón predominante para que se produzca la separación.

El diseño de los deflectores se basa fundamentalmente en que deben resistir la carga que origina el impacto de los fluidos a la entrada del separador. Los conos y las semiesferas son los dispositivos más ventajosos ya que se genera una menor cantidad de perturbaciones y, en consecuencia, se reducen los problemas de emulsiones; los que se producen por la recombinación de los fluidos. Ver Figura 2.2.

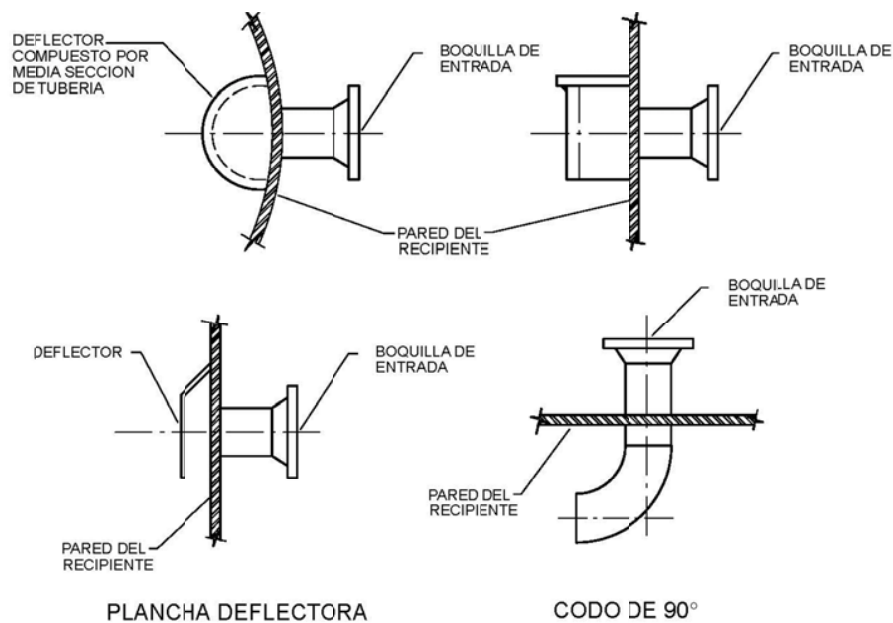


Figura 2.2 Deflectores.²

²Fuente: PDVSA-MID-10603.2.303

- De tipo ciclón. Este grupo funciona mediante fuerzas centrifugas. Con este tipo de mecanismo la entrada de los fluidos al separador se realiza mediante una chimenea ciclónica. Ver Figura 2.3.

Los ciclónicos se caracterizan por una velocidad de entrada de alrededor de 20 pies/seg, con un diámetro de chimenea cercano a $2/3$ del diámetro del separador. La caída de presión entre ellos está en el rango de 1 a 5 libras/pulg².



Figura2.3 Tipo ciclón³

2.2.1.2 Sección de separación secundaria

En esta sección se separa la máxima cantidad de gotas de líquido de la corriente de gas. Las gotas se separan principalmente por gravedad, por lo que la turbulencia del flujo es mínima; para esto, el separador debe tener suficiente longitud. En algunos diseños se utilizan placas rompe-olas alineadas para reducir aún más la turbulencia, sirviendo al mismo tiempo como superficies colectoras de gotas de líquido y placas rompe espuma que evitan la formación de espumas.

En esta sección, la eficiencia de separación depende principalmente de las propiedades físicas del gas y del líquido, del tamaño de las gotas de líquido suspendidas en el flujo de gas y del grado de turbulencia.

³Fuente: Surface Production Operations, Volume 1.

- **Placas rompe-olas.** Para evitar la propagación de las ondulaciones y los cambios de nivel en dirección longitudinal que son producidos por la entrada súbita del líquido dentro del separador, es usual colocar placas en sentido transversal al separador, conocidas como rompe-olas. Dichas placas son de gran utilidad para las labores de control de nivel, evitando medidas erróneas producto del oleaje interno⁴; ver Figura 2.4.

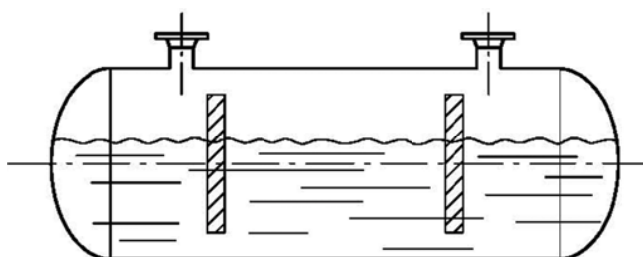


Figura 2.4 Placas rompe-olas⁵

- **Placas rompe-espumas.** Consiste en una serie de placas paralelas longitudinales direccionadoras del flujo, colocadas en la zona de retención de líquidos de los separadores horizontales. Estas placas evitan que las burbujas de gas que ascienden a través del líquido colapsen y produzcan la agitación necesaria para formar la espuma⁶. Ver Figura 2.5.

⁴PDVSA MDP-03-S-01

⁵Fuente: PDVSA MDP-03-S-01

⁶PDVSA MDP-03-S-01

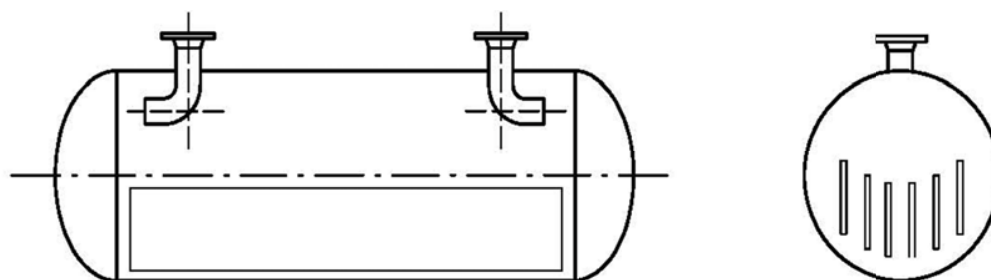


Figura2.5 Placas rompe-espumas⁷

2.2.1.3 Sección de extracción de niebla

En esta sección se separan del flujo de gas las gotas pequeñas de líquido que no se lograron eliminar en las secciones primaria y secundaria del separador. En esta sección del separador se utiliza el efecto de choque y/o la fuerza centrífuga como mecanismos de separación. Mediante estos mecanismos se logra que las pequeñas gotas de líquido se colecten sobre una superficie, en donde se acumulan y forman gotas más grandes para ser drenadas mediante un conducto a la sección de acumulación de líquidos, o bien caen contra la corriente de gas a la sección de separación primaria.

El dispositivo empleado en esta sección, conocido como extractor de niebla, está constituido generalmente por un conjunto de veletas o aspas, por alambre entretejido, o por tubos ciclónicos.

2.2.1.3.1 Tipos de extractores de niebla

Los principios mecánicos en que operan los extractores de niebla son: el asentamiento por gravedad, la fuerza centrífuga, el choque y la filtración. Los extractores de niebla más empleados son los del tipo de impacto, que a su vez pueden ser de veletas o de alambre entretejido.

⁷Fuente: PDVSA MDP-03-S-01

- **Extractores de niebla tipo veleta.** Consisten de placas metálicas paralelas formando un laberinto. Cada una de estas placas dispone de varias bolsas para retener el líquido. Ver Figura 2.6.

Cuando el gas pasa a través del extractor cambia de dirección varias veces y es centrifugado, provocando que las gotas del líquido se muevan hacia el exterior, donde son retenidas por las bolsas colectoras. Aunque el diseño de estos extractores es empírico, los fabricantes generalmente garantizan que el líquido arrastrado en el flujo de gas no sobrepasa 0.1 gal/ millones pie³.

La eficiencia de este extractor de niebla aumenta al colocar las placas de metal más juntas o al instalar más bolsas para retener el líquido; pero obviamente, también incrementa la caída de presión a través del extractor.

Entre los factores que afectan la eficiencia de estos extractores son el tamaño de las gotas, la densidad y la tensión superficial del líquido. Los extractores de este tipo son eficientes para separar partículas de líquido mayores a 10 micras.

En los separadores que manejan glicol es necesario acoplar dos extractores en serie, ya que al ser el glicol un líquido alto tensor propicia la formación de películas en el primer extractor; las que son arrastradas por el flujo de gas hasta el segundo extractor, donde se retienen y separan. El glicol también tiene la tendencia a disminuir la densidad del aceite o condensados arrastrados en el flujo de gas. Este problema se reduce añadiendo un agente antiespumante de alta densidad al glicol.

Cuando el separador cuenta dispone de un tubo para el drenaje de líquido, que va desde el extractor a la sección de almacenamiento, se debe vigilar que la caída de presión a través del extractor no sea mayor que la correspondiente a la columna hidrostática que se forma en el tubo. Cuando esto sucede, el líquido se extrae por succión hacia la parte superior del separador; o bien, el

tubo queda parcialmente tapado. Comúnmente, la caída de presión a través de este tipo de extractores varía de 1 a 10 pulg. de agua.

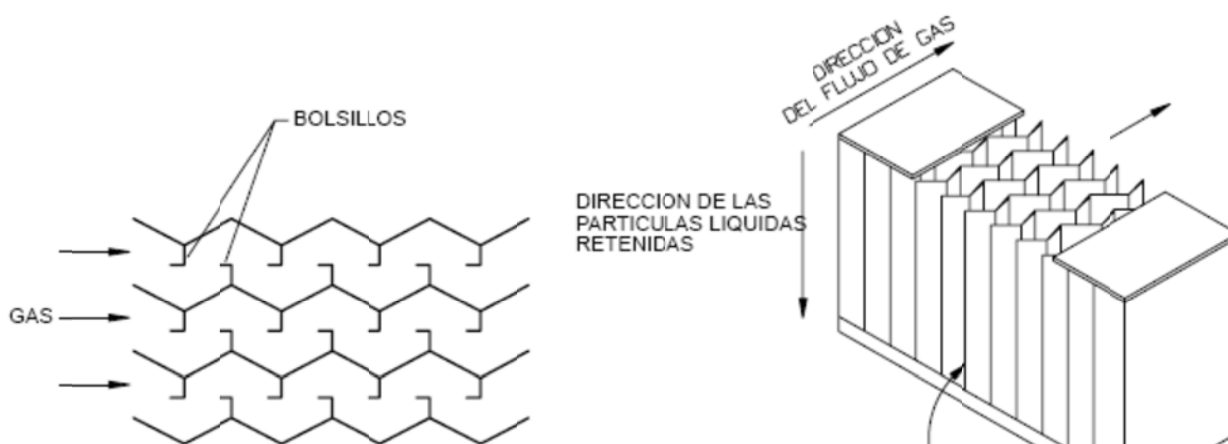


Figura 2.6 Extractor tipo veleta.⁸

- **Extractores de niebla de malla de alambre entretrejido.** Este tipo de extractores ha dado resultados favorables y es de bajo costo. Básicamente consiste de una almohadilla de malla de alambre, que tiene aberturas asimétricas y desalineadas. El mecanismo de separación de líquido es el choque, aunque también hay acción centrífuga. Ver Figura 2.7.

Las características de la malla de alambre usada en estos extractores están dentro de los rangos especificados detallados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Características Malla de Alambre

Diámetro del alambre	0.003 a 0.011 pulg.
Volumen de Espacios Libres	92 a 99.94%
Densidad	3 a 33 lb/pie ³
Superficie Específica	50 a 600 pie ² /pie ³

Fuente: ACINDEC

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

⁸ Fuente: PDVSA MDP-03-S-01

En la mayoría de los casos, el espesor necesario de la almohadilla para que el volumen de líquido arrastrado en el flujo de gas fuera del separador no exceda de 0.1 gal/ millones pie³, debe ser de 4 a 6 pulg.

La eficiencia de estos extractores depende de la velocidad del flujo de gas. Cuando la velocidad es baja, las gotas de líquido tienden a aglomerarse entre los alambres. A velocidades altas, el extractor tiende a inundarse ya que el líquido no puede fluir hacia abajo, contra el flujo del gas. En ambos casos, los espacios libres del extractor se pueden llenar de líquido y, entonces, una porción del líquido es arrastrada por la corriente de gas.

En consecuencia, el área de flujo del extractor debe ser menor que la del separador; esto se logra cubriendo una parte de la rejilla que sostiene la almohadilla de malla de alambre.

La caída de presión en estos extractores depende de la carga de líquido en el flujo de gas, del diseño de la almohadilla y de la velocidad del gas; pero generalmente no es mayor que 1 pulg. de agua.

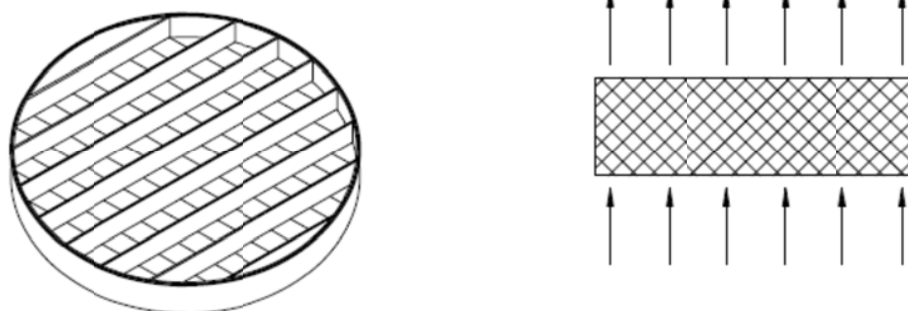


Figura 2.7 Malla de alambre⁹

- **Extractores de niebla tipo ciclónico.** -Consiste de un conjunto de pares de tubos concéntricos, como los mostrados en la Figura 2.8.

⁹ Fuente: PDVSA MDP-03-S-01

Los tubos concéntricos están provistos de entradas tangenciales para el gas. La parte inferior de los tubos es cónica y tienen descargas para las partículas de líquido separadas.

El gas entra tangencialmente al espacio anular entre los dos tubos, moviéndose en espiral hacia abajo. Las partículas de líquido, en la corriente de gas, son conducidas por la fuerza centrífuga hacia las paredes del tubo en donde se recolectan y arrastran hacia el fondo por el gas. Estas partículas se descargan a través de la salida localizada en el fondo de los tubos. El gas, libre de impurezas, sale a través del tubo interior.

En este tipo de extractores, la velocidad del flujo de gas es crítica. Cuando la velocidad disminuye por debajo de un cierto valor, la eficiencia se abate rápidamente y, si la velocidad aumenta, la caída de presión a través del extractor también se incrementa. En algunos equipos de separación se han empleado extractores de niebla tipo choque, como el de alambre entretejido, delante de un extractor tipo ciclónico, con resultados satisfactorios. El extractor de alambre entretejido actúa como aglomerador de gotas pequeñas de líquido, las que posteriormente son eliminadas en el extractor tipo ciclónico.

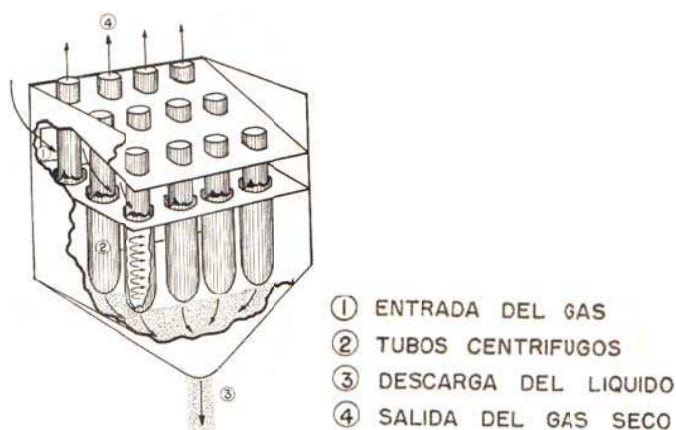


Figura2.8 Extractor de niebla tipo ciclónico¹⁰

¹⁰ Fuente: Manual de Recipientes, Megyesy.

2.2.1.4 Sección de almacenamiento de líquido

En esta sección los líquidos separados en las secciones anteriores se almacenan y depositan en la parte inferior del separador de donde serán drenados. Para evitar problemas en el drenaje es usual dotar a los separadores de elementos que obstruyan o dificulten la formación de remolinos como son los rompe-vórtices.

El separador debe estar diseñado para manejar los flujos que se presenten. A demás se debe tener instrumentación adecuada para controlar el nivel del líquido dentro del separador.

- **Rompe - vórtices.** Son dispositivos que se colocan a la descarga de los líquidos. Cuando un líquido es drenado se pueden producir condiciones que originen la formación de un remolino. Este efecto en los separadores ocasiona el escape de la fase de vapor por la boquilla de desalojo de líquido, lo que es indeseable desde el punto de vista de seguridad y de reingreso de la fase de vapor a la concentración líquida. Ver Figura 2.9.

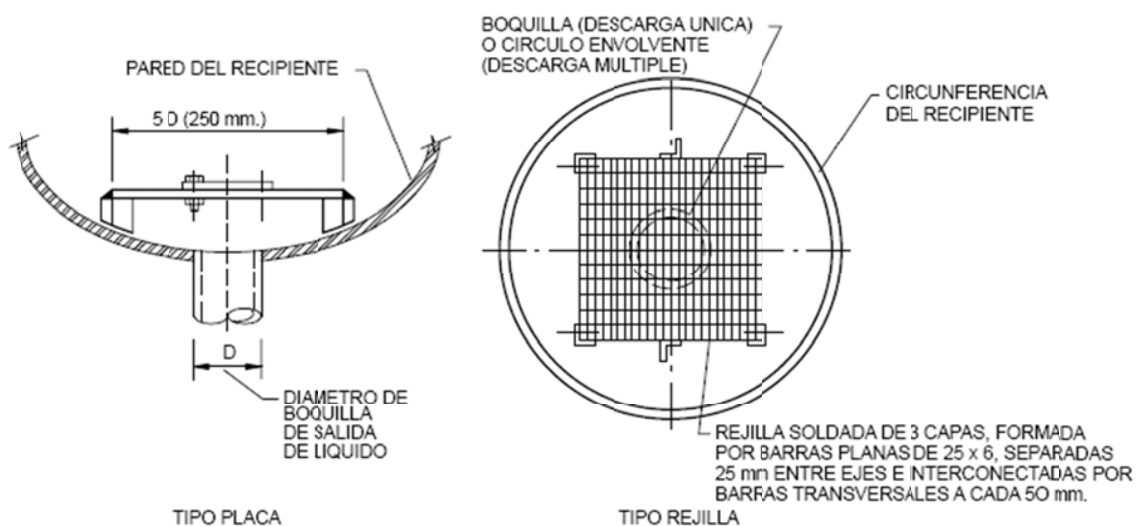


Figura 2.9 Rompe Vórtices¹¹

¹¹ Fuente: PDVSA MDV-03-S-01

2.3 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE SEPARADORES

Los separadores se clasifican según las fases a separar: en bifásicos (gas – líquido) y en trifásicos (gas–crudo y agua) y, de acuerdo a su forma, pueden ser: horizontales, verticales y esféricos.

2.3.1 SEPARADORES DE DOS FASES

Los separadores de dos fases solo separan el gas del líquido (petróleo y agua). Son separadores convencionales que podrían ser: verticales, horizontales o esféricos. En la Figura 2.10 se esquematiza un separador bifásico horizontal.

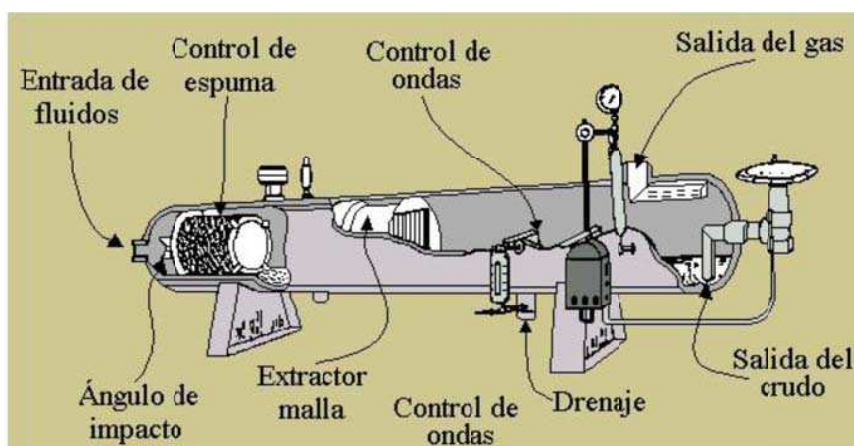


Figura 2.10 Separador bifásico horizontal¹²

2.3.2 SEPARADORES DE TRES FASES

También denominados como separadores de agua libre; es decir, además de separar la fase líquida de la gaseosa, separan el líquido en petróleo y agua no emulsionada en petróleo.

La separación del petróleo y agua no emulsionada tiene lugar debido a la diferencia de densidades. En la Figura 2.11 se esquematiza un separador trifásico horizontal.

¹² Fuente: Surface Production Operations, Volume 1

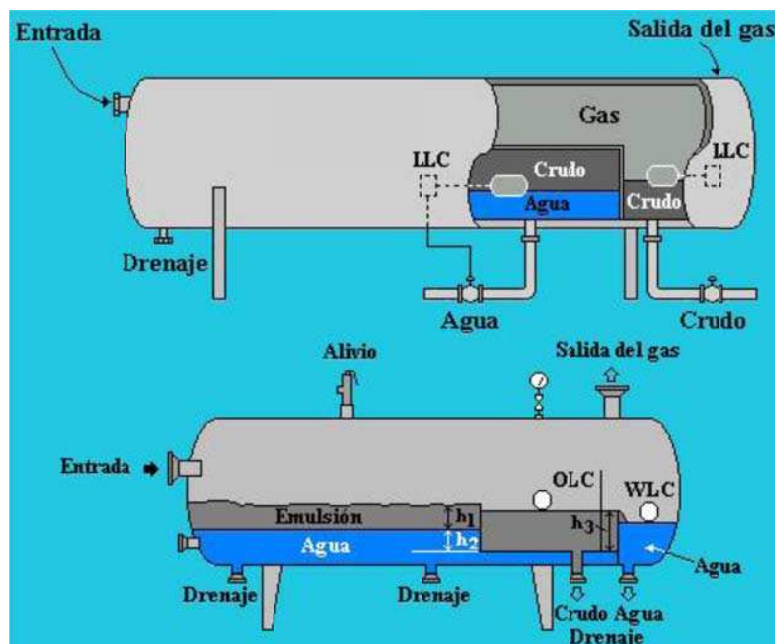


Figura 2.11 Separador Trifásico horizontal¹³

Operativamente, para lograr la separación de la fase líquida (en petróleo y en agua no emulsionada en petróleo), se proporciona al líquido suficiente tiempo de residencia y se deposita en un espacio donde no hay turbulencia.

Además de las secciones y dispositivos con que se diseñan y construyen los separadores de líquido y gas, el separador de tres fases presenta las siguientes características y accesorios adicionales:

- Una capacidad de líquido suficiente para proporcionar el tiempo de residencia necesaria para que se separe el petróleo y el agua.
- Un sistema de control para la interfase agua-petróleo.
- Dispositivos de descarga independientes para el petróleo y el agua.

El Free Water Knock Out es un separador trifásico, con la diferencia de tener una mayor capacidad de almacenamiento y diseñados para separar fluidos con una baja relación gas – petróleo; ver Tabla 2.2.

¹³ Fuente: Surface Production Operations, Volume 1.

Tabla 2.2 Parámetros de selección de separadores

TIPO DE SEPARADOR	% AGUA LIBRE	RELACIÓN GAS-PETRÓLEO
Bifásico	0 -30	>250
Trifásico	30 -50	100 -250
Free WaterKnockout	> de 50	<100

Fuente: ACINDEC

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

2.3.3 SEPARADORES HORIZONTALES

En la Figura 2.12 se muestra un esquema de un separador horizontal. En éste, el fluido entra al recipiente choca contra una placa; este cambio repentino de dirección del fluido realiza la primera separación de grandes volúmenes de líquido y gas.

En un separador horizontal el volumen asignado para la zona líquida está comprendida entre la mitad y las 2/3 partes del volumen total del separador.

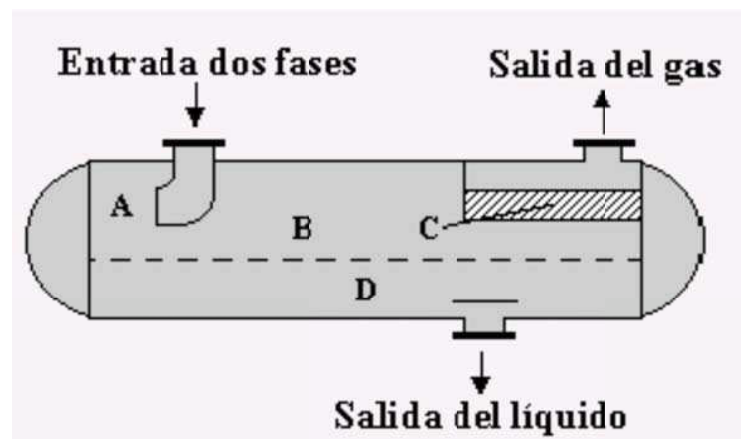


Figura 2.12 Separador horizontal¹⁴

¹⁴ Fuente: www.natcogroup.com

2.3.4 SEPARADORES VERTICALES

Las secciones principales están distribuidas en forma diferente respecto a uno horizontal. De ahí que, el modo de diseñar un separador vertical difiere al tomar en cuenta otras alturas de las secciones.

Generalmente, en un separador vertical, hay cuatro secciones que se pueden dimensionar de manera independiente; ajustándose a las normas de diseño:

- Distancia de la salida del gas al extractor de niebla
- Distancia de la malla metálica al orificio de entrada.
- Distancia del orificio de entrada al nivel más alto de líquido.
- Altura asignada al líquido.

En la Figura 2.13 se muestra una configuración para un separador vertical.

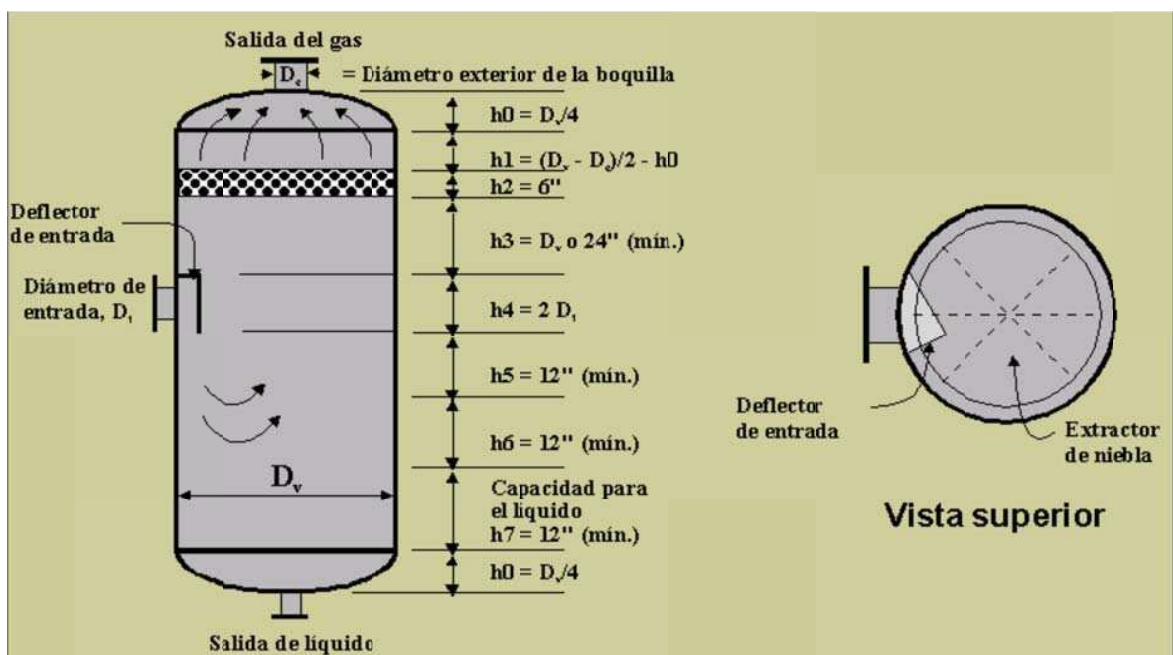


Figura 2.13 Separador vertical¹⁵

¹⁵ Fuente: www.natcogroup.com

2.3.5 SEPARADORES ESFÉRICOS

Son unidades compactas de separación, de forma esférica, utilizadas para gas de alta presión y con volúmenes pequeños de líquido. Son poco empleados en la industria del petróleo.

En la Figura 2.14 se representa un dibujo esquemático de estos separadores.

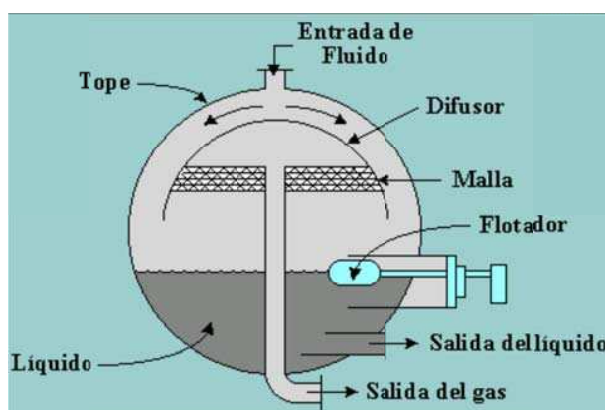


Figura 2.14 Separador esférico¹⁶

El gas sale por el fondo del recipiente a través de un tubo que sirve de rompe vórtices. Este diseño es utilizable, con igual eficiencia, en separadores horizontales, en los que el vorticismo pudiera representar un problema.

2.3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SEPARADORES

2.3.6.1 Separadores verticales

- **Ventajas:**

- 1.- Más fácil mantenerlos limpios, por lo que se recomiendan para manejar flujos de pozos con alto contenido de lodo, arena o cualquier material sólido.
2. El control de nivel de líquido no es crítico ya que se emplea un flotador vertical, con lo que el control de nivel es más sensible a los cambios.

¹⁶ Fuente: www.natcogroup.com

3.- Debido a que el nivel de líquido se puede mover en forma moderada, son recomendables para flujos de pozos que producen por bombeo neumático con el fin de manejar baches imprevistos de líquido que entren al separador.

4.-Hay menor tendencia de revaporización de líquidos.

- **Desventajas:**

1.-Son más costosos que los horizontales.

2.-Son más difíciles de instalar que los horizontales.

3.-Se necesita un diámetro mayor que el de los horizontales para manejar la misma cantidad de gas.

2.3.6.2 Separadores horizontales

- **Ventajas:**

1.- Presentan mayor capacidad para manejar gas que los verticales.

2.-Son más económicos que los verticales.

3.-Son más fáciles de instalar que los verticales.

4.-Son muy adecuados para manejar aceite con alto contenido de espuma. Para esto, en la interfase gas-líquido se instalan placas rompedoras de espuma.

- **Desventajas:**

1.- No son adecuados para manejar flujos de pozos que contienen materiales sólidos como arena o lodo; es difícil limpiar este tipo de separadores.

2.- El control de nivel de líquido es más crítico que en los separadores verticales.

2.3.6.3 Separadores esféricos

- **Ventajas:**

- 1.- Más baratos que los horizontales o verticales.
- 2.- Más compactos que los horizontales o los verticales, por lo que se usan en plataformas costa afuera.
- 3.- Son más fáciles de limpiar que los separadores verticales.
- 4.- Los diferentes tamaños disponibles los hacen más económicos para instalaciones individuales en pozos con alta presión.

- **Desventajas:**

- 1.- Presentan un espacio de separación muy limitado.

2.4 PROCESOS DE SEPARACIÓN

Se describen los diferentes factores que gobiernan la separación de mezclas de gas y líquido, y como afectan la eficiencia de los separadores.

2.4.1 MECANISMOS DE SEPARACIÓN

La separación de las mezclas de gas y líquido se alcanza mediante una combinación adecuada de los siguientes factores: gravedad, fuerza centrífuga y choque.

2.4.1.1 Separación por gravedad

Es el mecanismo de separación más empleado, ya que el equipo requerido es muy simple. Cualquier sección ampliada en una línea de flujo actúa como asentador, por gravedad, de las gotas de líquido suspendidas en una corriente de gas. El asentamiento se genera por reducción de la velocidad del flujo.

En los separadores, el asentamiento por gravedad tiene lugar, principalmente, en la sección secundaria; también conocida como sección de asentamiento por gravedad.

Si el flujo es vertical hacia arriba, como en los separadores verticales, las partículas de líquido que se van a separar caen a contra flujo del gas. Estas partículas de líquido que descienden por la acción de la gravedad se aceleran, hasta que la fuerza de arrastre se balancea con la fuerza gravitacional. Después de este momento, las partículas continúan cayendo a una velocidad constante, conocida como velocidad de asentamiento o velocidad terminal.

La velocidad de asentamiento, calculada para una gota de líquido de cierto diámetro, indica la velocidad máxima que debe tener el gas, para permitir que partículas de este diámetro o mayor se separen.

Cuando el flujo de gas en la sección de separación es horizontal, la velocidad de asentamiento es aquella a la cual las partículas suspendidas viajan a través de la corriente de gas. Esta velocidad se puede utilizar para determinar el tiempo de retención requerido para que una partícula de un tamaño dado, se deposite desde la parte superior al fondo de la sección de separación.

Tanto en los separadores verticales como en los horizontales, las velocidades altas inducen turbulencia a la corriente de gas, ocasionando que algunas partículas de líquido grandes sean arrastradas en el flujo de gas.

2.4.1.2 Separación por fuerza centrífuga

La fuerza centrífuga que se induce a las partículas de líquido suspendidas en una corriente de gas, puede ser varios cientos de veces mayor que la fuerza de gravedad que actúa sobre las mismas partículas. Este principio mecánico de separación se emplea en un separador, tanto en la sección de separación primaria como en algunos tipos de extractor de niebla; por ejemplo, en el extractor tipo ciclónico.

Las partículas de líquido colectadas en las paredes de un extractor de niebla tipo ciclónico, difícilmente son arrastradas por la corriente de gas. Sin embargo, la velocidad del gas en las paredes del tubo ciclónico no debe ser mayor de un cierto valor crítico.

2.4.1.3 Separación por choque

Este mecanismo de separación es la que más se emplea en la eliminación de las partículas pequeñas de líquido suspendidas en una corriente de gas. Las partículas de líquido que viajan en el flujo de gas chocan con obstrucciones donde quedan adheridas.

La separación por choque se emplea principalmente en los extractores de niebla tipo veleta y en los de malla de alambre entretejido.

2.5 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE UN SEPARADOR

2.5.1 PRESIÓN DE OPERACIÓN DEL SEPARADOR

Es uno de los factores más importantes en la separación, desde el punto de vista de la recuperación de líquidos. Siempre existe una presión óptima de separación para cada situación en particular.

En ocasiones, al disminuir la presión de separación, principalmente en la separación de gas y condensado, la recuperación de líquidos aumenta. Sin embargo, es necesario considerar el valor económico del incremento de volumen de líquidos, contra la compresión extra que puede necesitarse para transportar el gas.

La capacidad de los separadores también es afectada por la presión de separación. Al aumentar la presión, aumenta la capacidad de separación de gas y viceversa.

La presión de operación se logra cuando un número determinado de pozos descargan con cierta presión en el separador, sin generar contrapresión en alguno de ellos.

Al disminuir la presión de operación, principalmente en la separación de gas y condensados, la recuperación de líquidos aumenta.

El efecto de la presión se ve reflejado en dos parámetros importantes que son las constantes de equilibrio K_i y la cantidad de líquido recuperado; notando que si la presión de separación cae bruscamente, la corriente de gas arrastrará líquido y disminuirá la recuperación de líquido, aspecto a ser considerado en el diseño del separador.

2.5.2. TEMPERATURA DE SEPARACIÓN

En cuanto a la recuperación de líquidos, la temperatura de separación interviene de la siguiente forma: a medida que disminuye la temperatura de separación, se incrementa la recuperación de líquidos en el separador; aspecto también importante en el diseño del separador.

Una gráfica de temperatura de separación contra recuperación de líquidos, se muestra en la Figura 2.15.

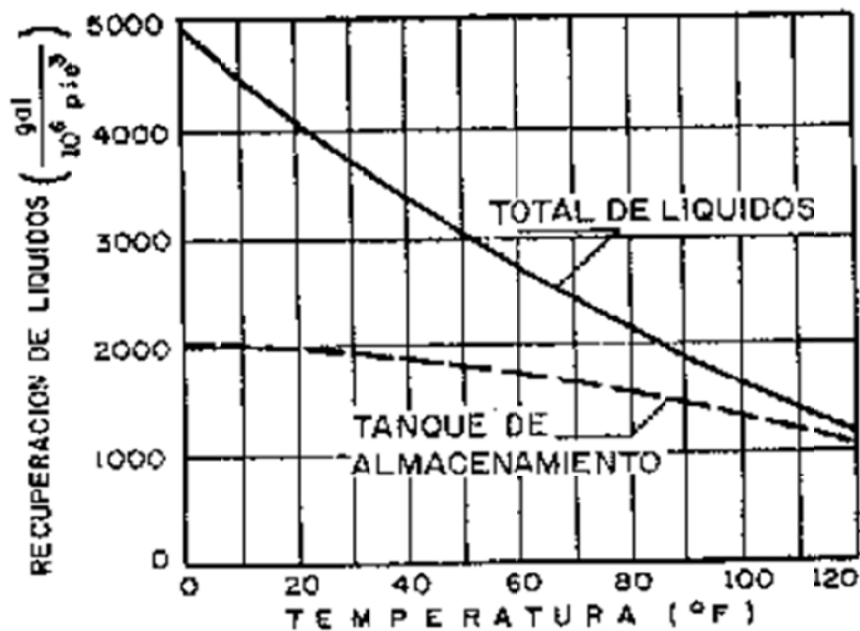


Figura 2.15 Temperatura de separación vs Recuperación de líquidos¹⁷

¹⁷ Fuente: Surface Production Operation, Volume 1

Se observa que a una temperatura de separación de 0^oF, la recuperación de líquidos en el separador es de aproximadamente 5000 galones por millón de pie cúbico de gas, mientras que el volumen de líquidos que se recupera en el tanque de almacenamiento es del orden de 2000 galones por millón de pie cúbico.

Así pues, es necesario considerar que aunque se tiene la máxima recuperación de líquidos en el separador a 0^oF, de los 5000 galones por millón de pie cúbico se evaporan en el tanque de almacenamiento 3000 galones. Este vapor generalmente se libera a la atmósfera, por lo que se ocasionan grandes pérdidas.

Otros aspectos que hay que considerar para utilizar baja temperatura de separación, son los siguientes:

- a) La separación a baja temperatura necesita equipo adicional de enfriamiento.
- b) Se presentan otros problemas de operación, tal como la formación de hidratos.

En consecuencia, para obtener la temperatura óptima de separación, desde el punto de vista de recuperación de líquidos, es necesario considerar todos los aspectos mencionados.

La temperatura afecta la capacidad del separador al variar los volúmenes de fluido y sus densidades. El efecto neto de un aumento en la temperatura de separación es la disminución de capacidad en la separación de gas.

La temperatura de separación interviene de tal forma que, si ésta disminuye, se incrementa la recuperación de hidrocarburo líquido en el separador. La temperatura afecta la capacidad del separador al variar los volúmenes de fluido y sus densidades.

Pero si la temperatura del separador es baja, se podrían formar los hidratos; además, se debe considerar la temperatura a la que actúan eficientemente los demulsificantes.

2.5.3. EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA EN EL GRADO DE SEPARACIÓN

La composición de la mezcla juega un papel importante en la eficiencia de separación; de hecho, es un parámetro que se monitorea cada cierto tiempo mediante análisis cromatográfico de gases.

Si se presentan cambios bruscos en la composición de una mezcla, se podría afectar parámetros como la densidad del gas, afectando a su vez a la velocidad crítica de gas.

Normalmente se presentan cambios como la disminución de las proporciones del metano y etano, incremento de los porcentajes de los componentes más pesados por efectos de la presión a la que están sometidos.

2.5.4. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE LÍQUIDO

El tamaño de las partículas suspendidas en el flujo de gas es un factor importante en la determinación de la velocidad de asentamiento en la separación por gravedad y en la separación por fuerza centrífuga. También es importante en la determinación de la distancia de paro, cuando la separación es por choque.

La velocidad promedio del gas en la sección de separación secundaria corresponde a la velocidad de asentamiento de una gota de líquido de cierto diámetro, que se puede considerar como el diámetro base. Teóricamente, todas las gotas con diámetro mayor que el base deben ser eliminadas. En realidad, lo que sucede es que se separan partículas más pequeñas que el diámetro base, mientras que algunas más grandes en diámetro no se separan. Lo anterior es debido a la turbulencia del flujo, ya que algunas de las partículas de líquido tienen una velocidad inicial mayor que la velocidad promedio del flujo de gas.

La separación en flujo horizontal también está sujeta a los mismos efectos.

En la Figura 2.16 se muestra el efecto del tamaño de las partículas en la eficiencia de la separación; cuando el extractor de niebla es del tipo de choque o ciclónico. En esta figura se relaciona el tamaño de la partícula con el porcentaje de partículas eliminadas. Se observa que en un proceso de separación se separa, por ejemplo, un 50% de un tamaño X de partículas y que sólo se elimina un 22% de las partículas de tamaño X/2, mientras que se elimina un 90% de partículas de tamaño 3X.

El tamaño de las partículas de líquido que se forman en el flujo de líquido y gas, cuando no hay agitaciones violentas, es lo suficientemente grande para lograr una buena eficiencia con los separadores.

Generalmente se especifica, los equipos de separación, que el arrastre no es mayor que 0.1 gal/MMpie³. Una partícula de 10 micras tiene tan poco volumen, que puede haber 720,000 partículas de líquido de este tamaño por cada pie cúbico de gas, sin que se exceda la especificación aludida.

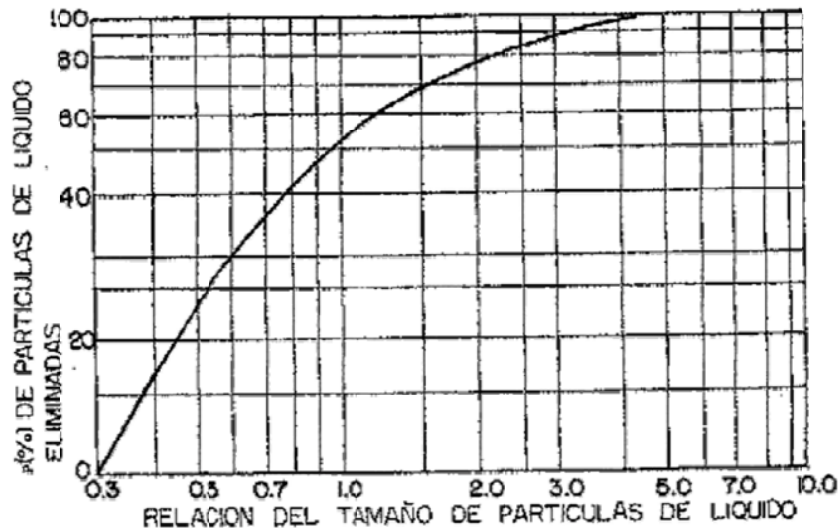


Figura 2.16 Relación del tamaño de las partículas del líquido vs % de Partículas eliminadas.¹⁸

¹⁸ Fuente: Surface Production Operation, Volume 1

Cuando se opera con un separador trifásico, es importante considerar el tamaño de las partículas de agua a separarse del petróleo, cuyo valor debe ser máximo de 500micrones; mientras el diámetro de las gotas de petróleo a separarse del agua no debe exceder los200 micrones.

La separación de gotas de petróleo del agua es más fácil que la separación de gotas de agua del petróleo, puesto que la viscosidad del agua es 5 a20 veces menor que la viscosidad del petróleo.

2.5.5. LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE LÍQUIDO Y EL VOLUMEN DE LÍQUIDO QUE ENTRA EN EL SEPARADOR

Estos aspectos están íntimamente ligados en la eficiencia de la separación. Para ilustrarlo, se analiza la siguiente situación:

- Considérese la instalación de un separador para separar un volumen de líquido de 2000 galones por cada millón de pie cúbico de gas.

De este volumen de líquido, 0.5 galones corresponden a partículas menores de 10 micras. Si el separador tiene una eficiencia de 80% para separar partículas menores de 10 micras, entonces su eficiencia total será de casi 100%. Sin embargo, si este mismo separador se utiliza en una corriente de gas, donde el contenido de líquido es de 20 galones por millón de pie cúbico, todo formado por partículas menores de 10 micras, la eficiencia total de separación será de 80% y habrá un arrastre de líquido en el flujo de gas de 4 galones por millón de pie cúbico de gas. Así, aunque el separador funcionara bien, no sería el adecuado.

De lo anterior se concluye que, en la selección del equipo de separación para una determinada situación o condición, se deben considerar como aspectos

importantes: la distribución del tamaño de las partículas y el volumen de líquido que se va a separar.

2.5.6 VELOCIDAD CRÍTICA DEL GAS

Por lo general los separadores se diseñan para que las partículas de líquidos mayores de 100 micras se separen del flujo de gas en la sección de separación secundaria, mientras que las partículas más pequeñas en la sección de extracción de niebla.

Cuando se aumenta la velocidad del gas a través del separador, sobre un cierto valor establecido en su diseño, aunque se incremente el volumen de gas manejado no se separan totalmente las partículas de líquido mayores de 100 micras en la sección de separación secundaria. Esto exigirá que se inunde el extractor de niebla y, como consecuencia, que haya arrastre repentino de baches de líquido en el flujo de gas que sale del separador.

La velocidad del gas dentro del separador es uno de los factores que más influyen en la eficiencia de separación.

2.5.7 TIEMPO DE RESIDENCIA

El tiempo de residencia o tiempo de retención se puede considerar como el parámetro más importante en el funcionamiento de un separador, y depende del caudal y de las condiciones físico químicas del hidrocarburo que entra al separador.

El tiempo de residencia depende de la gravedad API, así como de la temperatura a la cual opera el separador; ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Tiempo de retención mínimo para separadores trifásicos

Para separadores trifásico	
Gravedad API	Tiempo (min)
mayor a 35 ° API	3-5
menor a 35 ° API	
100 °F	5-10
80+ °F	10-20
60+ °F	20-30

Fuente: PDVSA, Ingeniería de gas principios y aplicaciones

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

2.5.8 DENSIDADES DEL LÍQUIDO Y DEL GAS

Las densidades del líquido y el gas afectan la capacidad de manejo de gas de los separadores. La capacidad de manejo de gas de un separador, es directamente proporcional a la diferencia de densidades del líquido y del gas e inversamente proporcional a la densidad del gas.

2.5.9 VISCOSIDAD DEL GAS

El efecto de la viscosidad del gas en la separación se observa en las fórmulas para determinar la velocidad del asentamiento de las partículas de líquido. La viscosidad del gas se utiliza en el parámetro número de Reynolds (Re) para determinar el valor del coeficiente de arrastre. De la ley de Stokes, utilizada para calcular la velocidad de asentamiento de partículas de cierto diámetro, se deduce que a medida que aumenta la viscosidad del gas, disminuye la velocidad de asentamiento y, por lo tanto, la capacidad de manejo de gas del separador.

2.6 PROBLEMAS DE OPERACIÓN DE LOS SEPARADORES

Los principales problemas que se presentan en la operación de un separador se deben a: crudos espumosos, arena, parafina, emulsiones y escape de líquido o de gas y desgaste por la erosión producida por el fluido. Pero de manera especial cuando tiene arena.

A continuación se detallan cada uno de los problemas.

2.6.1 CRUDOS ESPUMOSOS

Con frecuencia, el espumaje se produce por las impurezas y el agua presentes en el crudo que no se ha podido remover antes de que la corriente llegue al separador.

Muchos productos químicos, como los inhibidores y anti corrosivos agregados directamente a las tuberías, son formadores de espuma; impidiendo el adecuado funcionamiento del separador. Otra de las posibles causas de este problema es el incremento de volumen del gas por encima de los niveles que el separador está en capacidad de manejar, aumentando la velocidad en el sistema. Pero la generación de espuma no siempre se convierte en un obstáculo. Cuando la tasa de generación es menor o igual a la tasa de rompimiento, la espuma como tal no representa un obstáculo operacional de los separadores.

Los principales problemas que genera la espuma son:

- Dificultad para controlar el nivel de líquido.
- Inconvenientes para obtener las condiciones óptimas de operación, a fin de separar el gas del líquido debido al volumen que ocupa la espuma.
- Probabilidad de que, tanto el gas como el líquido, puedan salir del separador mezclados con espuma, lo que no satisface las condiciones que se requieren

Por estas razones, es necesario emplear un comparador de espumas, cuya función es contrastar un crudo conocido con otro desconocido. Este procedimiento ayuda a tomar las medidas adecuadas para el diseño del separador.

Es importante señalar que el espumaje depende, entre otros parámetros, de la presión de trabajo y de las características del líquido en las condiciones de separación. Asimismo, es recomendable tener presente que, al bajar la presión de la unidad, aumenta el volumen del gas en la misma proporción. Además, conviene recordar que las pruebas de campo se realizan en condiciones atmosféricas y que no se considera en ellas el efecto de la presión y la temperatura en formación de espuma.

La capacidad del separador puede aumentarse mediante el empleo de los inhibidores de espuma. No obstante, cuando se diseña un separador, no se debe tomar en consideración el efecto del inhibidor, ya que su acción está en función de las características del crudo; las que cambian a lo largo de la vida del yacimiento. Adicionalmente, el costo de los inhibidores puede, en muchos casos, hacer prohibitivo su uso.

Una medida recomendable es realizar el diseño considerando la presencia de espuma, de tal manera que al dejar el espacio necesario para manejar esta fase, no se necesita el empleo de los inhibidores.

Siendo importante determinar las causas probables de la generación de espuma, se suele clasificar las espumas según su origen, en:

- Espumas de tipo mecánico: aquellas que se producen como consecuencia de los volúmenes o velocidades del fluido demasiado altos dentro del separador
- Espumas de tipo químico: formadas por el uso indebido de productos químicos, que se convierten en generadores de espuma.

2.6.2 ARENAS

Es frecuente la presencia de arena en los crudos, la que genera los principales problemas siguientes:

- El taponamiento de los dispositivos y líneas
- La erosión y corte de las válvulas y líneas
- La acumulación en el fondo del separador

En el diseño no se debe perder de vista la obstrucción de los dispositivos internos y hay que evitar ubicarlos en las zonas donde la arena puede acumularse.

Como se indicó antes, en el diseño es posible incluir los dispositivos que trabajen con fluidos a presión mediante toberas de inyección; lo que permitirá la remoción parcial de la arena acumulada. Cuando los fluidos son arenosos, es conveniente instalar válvulas y elementos resistentes al efecto abrasivos de la arena.

2.6.3 VELOCIDAD DE EROSIÓN

Este parámetro se define como la máxima velocidad hasta donde se puede permitir que se produzca una erosión aceptable, o aquella por encima de la cual el desgaste del material es aceptable.

Es común el diseño de tuberías, boquillas de separadores y recipientes sin considerar la acción erosiva del gas dentro de las tuberías y el subsiguiente desgaste que se pueda generar. Para evitar la destrucción acelerada del material, es conveniente mantener presente las velocidades límites con las cuales debe trabajar la unidad.

Las observaciones relativas de la máxima velocidad permisible en una tubería para evitar la erosión ayudan al operador a seleccionar el caudal de producción y el mejor material para las tuberías.

Se establece que la velocidad aumenta cuando disminuye la densidad del fluido; pero esto no se correlaciona con los trabajos experimentales realizados en tuberías

donde hay arenas. En estos casos, los gases con baja densidad producen mayor erosión que los líquidos, cuya densidad es alta.

2.6.4 PARAFINAS

La operación de un separador se ve afectada con la acumulación de parafina. Por ejemplo, las mallas de alambre metálico, en muchas ocasiones, no opera adecuadamente debido a la acumulación de parafina. Cuando esto ocurre, se debe usar otro dispositivo o adicionar sistemas de inyección de vapor que permitan la limpieza de las regiones propensas a taponamiento.

Sin embargo, no siempre es posible tomar en cuenta la influencia de las parafinas en la inclusión de estos dispositivos al diseñar un separador, ya que esto depende de las características del crudo; las que cambian a lo largo de la vida del yacimiento.

2.6.5 EMULSIONES

Las emulsiones se suelen constituir en un problema en los separadores de tres fases. Cuando existe esta tendencia, el tiempo de asentamiento requerido para obtener la separación entre el agua y el crudo puede ser apreciable. Este tiempo, muchas veces, suele ser varias veces mayor que el necesario para la separación gas-líquido. En estas circunstancias, resulta conveniente remover el agua y el crudo mezclados y, después, procesarlos en un sistema de deshidratación convencional. Esto establece la diferencia entre un separador trifásico y un bifásico; este último, considerablemente más económico. El tiempo de asentamiento también se puede reducir más allá de los valores utilizados en el diseño, mediante el uso de calor en la sección líquida o en la alimentación del separador.

En ocasiones se puede detectar la presencia de gas en el petróleo que sale en la parte inferior del recipiente; esto indica que la unidad no trabaja de manera apropiada. Las razones que pudiera producir esa falla son: bajo nivel de líquido, efecto de vórtice y fallas en los controles de nivel.

En resumen, la determinación del tamaño y del tipo de un separador se debe realizar individualmente. Todas sus funciones y requisitos se han de considerar en la etapa del diseño.

2.7 SELECCIÓN DE UN SEPARADOR

Los separadores horizontales normalmente son más eficientes en el manejo de grandes volúmenes de gas que los tipos verticales porque las gotas líquidas caen de manera perpendicular al flujo de gas en la sección de asentamiento de gravedad, y se asientan más fácilmente de la fase de gas continua. Además, debido a que el área de interfaz es más grande en un separador horizontal, es más fácil que las burbujas de gas, que salen de la solución cuando el líquido se aproxima al equilibrio, alcancen el espacio de vapor.

En términos de un proceso de separación de gas – líquidos, se prefieren los separadores horizontales. Sin embargo, tienen desventajas que podrían llevar a la preferencia de un separador vertical en ciertas situaciones:

- Los separadores horizontales no manejan los sólidos tan bien como los separadores verticales. La sección de disposición de líquidos en un separador vertical puede ser colocada en el centro del cabezal en el fondo para que los sólidos, que de otras formas se acumularían en el separador, puedan pasar al próximo recipiente en el proceso. Como un alternativo, se puede colocar un desagüe en esta locación para la disposición periódica de los sólidos, mientras el líquido sale del recipiente en una elevación un poco más alta. Es necesario colocar varios desagües por el largo de un recipiente horizontal, y debido a que los sólidos tienen un ángulo de repose de 45° a 60° , se debe dejar poco espacio entre los intervalos de los desagües. Resulta un alto costo tratar de alargar la distancia entre los desagües, proveyendo chorros de arena para convertir los sólidos en líquidos mientras los desagües están en operación; esta táctica no ha tenido mucho éxito en el campo.

- Los recipientes horizontales requieren de más área plana que los recipientes verticales equivalentes. Aunque esto no sea muy importante en las locaciones terrestres, puede ser muy importante costa fuera.
- Los recipientes horizontales tienen menos capacidad de oleada líquida. Para un cierto cambio en la elevación de la superficie del líquido, se constata que existe un incremento mayor en el volumen del líquido para un separador horizontal que para un separador vertical cuando ambos tienen el tamaño adecuado a la misma tasa de flujo. Sin embargo, la geometría del recipiente horizontal requiere que el dispositivo de cierre de alto nivel esté localizado cerca del nivel normal de operación. En un recipiente vertical, el cierre puede ser colocado más alto, permitiendo más tiempo para que el controlador de nivel y la válvula de descarga reaccionen a la oleada. Adicionalmente, las oleadas en recipientes horizontales pueden crear olas internas que activen el dispositivo de cierre.

Se debe señalar que los recipientes verticales también tienen desventajas no relacionadas al proceso que se deben tomar en consideración cuando se realiza la selección. Estas incluyen:

- Puede ser difícil mantener a algunas válvulas de alivio y algunos de los controles sin escaleras y plataformas especiales.
- Puede ser necesario remover el recipiente de su skid para transportarlo debido a las restricciones de altura para el transporte.

Por lo general, los recipientes horizontales son más económicos para la separación normal de petróleo y gas, particularmente cuando puede haber problemas con emulsiones, espuma o altas relaciones de gas – petróleo.

Por lo tanto, según las características que presenta el fluido señaladas en el Capítulo I, y analizando las ventajas y desventajas de los tipos de separadores, se puede concluir que el separador horizontal es apropiado por:

- La relación gas petróleo que presenta el fluido es alta.
- Son más eficientes en tamaño y son más fáciles de instalar.
- Son más económicos.

CAPÍTULO III

DIMENSIONAMIENTO DE UN SEPARADOR TRIFÁSICO HORIZONTAL

3.1 ALCANCE

Básicamente, el dimensionamiento de un separador comprende de dos partes: la primera, el dimensionamiento hidráulico que permite determinar la longitud y diámetro del recipiente del separador; y, la segunda, es el dimensionamiento estructural según la norma ASME VIII, división 1, para establecer los espesores del cuerpo y la tapas en base a la presión y temperatura de operación, confiabilidad de la soldadura, características del material, corrosión permisible y la geometría determinada en el dimensionamiento hidráulico.

3.2 DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO PARA SEPARADORES TRIFÁSICOS HORIZONTALES

3.2.1 TEORÍA DE SEPARACIÓN AGUA - CRUDO

En la sección de asentamiento por gravedad, las gotas líquidas caen a una velocidad determinada debido a la fuerza de gravedad y a la fuerza de fricción que actúan en la gota, causando el movimiento concerniente en la fase continua del gas. La Figura 3.1 muestra las fuerzas actuantes en la gota líquida.

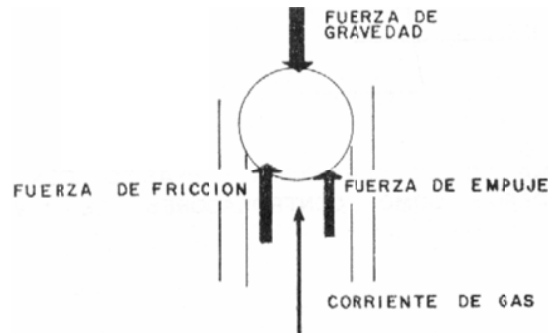


Figura 3.1. Diagrama del cuerpo libre de la gota y su velocidad de asentamiento¹⁹

La fuerza de fricción F_D que se ejerce sobre la gota está dada por:

$$F_D = C_D * A_g * \rho_c * \left(\frac{V_t^2}{2g} \right) \quad EC. 3.1$$

Donde el área transversal de la sección de la gota es:

$$A_g = \frac{\pi}{4} * d^2$$

Por lo tanto, la fuerza de fricción queda expresada de la siguiente manera:

$$F_D = C_D * \frac{\pi}{4} * d^2 * \rho_c * \left(\frac{V_t^2}{2g} \right) \quad EC. 3.2$$

La fuerza de empuje F_B que se ejerce sobre la gota está dada por:

$$F_B = \frac{\pi}{6} * d^3 * (\Delta\rho_c) \quad EC. 3.3$$

¹⁹ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

Donde:

C_D = coeficiente de fricción

A_g = Área transversal de la sección de la gota, ft^2

ρ_c = densidad de la fase continua, lb/ft^3

V_t = velocidad final de asentamiento de la gota, ft/s

g = gravedad constante, $32.2 \text{ ft}/\text{s}^2$

d = diámetro de la gota, ft

Según la ley de Stokes²⁰, para un bajo número de Reynolds Re , el coeficiente de fricción viene dado por:

$$C_D = \frac{24}{Re} = \frac{24 \mu' * g}{\rho_c * d * V_t} \quad EC. 3.4$$

Donde:

μ' = viscosidad de la fase continua, $\text{lb} * \text{s}/\text{ft}^2$

Sustituyendo C_D en la EC. 3.2, se tiene:

$$F_D = 3\pi * \mu' * d * V_t \quad EC. 3.5$$

La velocidad final de asentamiento V_t se alcanza cuando la fuerza de fricción se iguala a la fuerza de empuje. Igualando la ecuación EC. 3.3 y EC. 3.5, se obtiene la velocidad de asentamiento, así:

$$F_D = F_B$$

$$3\pi * \mu' * d * V_t = \frac{\pi}{6} * d^3 * (\Delta\rho_c)$$

²⁰ La ley de Stokes se refiere a la fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajo número de Reynolds. En general, la ley de Stokes es válida en el movimiento de partículas esféricas pequeñas moviéndose a bajas velocidades. Tomado de www.wikipedia.com

Resolviendo:

$$V_t = \frac{d^2 * \Delta\rho_c}{18 \mu'} \quad EC. 3.6$$

Las unidades típicas usadas para el diámetro de la gota y viscosidad son micrómetros y centipoises, respectivamente. Dejando μ como la viscosidad en centipoise y d_m como el diámetro de la gota en micrones. Por lo tanto, la ecuación sería:

$$V_t = \frac{\Delta\rho_c * (3.281 \times 10^{-6} * d_m)^2}{18 (2.088 \times 10^{-5} * \mu)}$$

$$V_t = 2.864 \times 10^{-8} \frac{\Delta\rho_c * (d_m)^2}{\mu} \quad \frac{ft}{s} \quad EC. 3.7$$

Expresando la EC. 3.7 en términos de gravedades específicas del agua y del aceite, se obtiene:

$$V_t = 1.787 \times 10^{-6} \frac{\Delta\gamma * (d_m)^2}{\mu} \quad \frac{ft}{s} \quad EC. 3.8$$

Donde:

$$\Delta\gamma = \gamma_w - \gamma_o$$

La ecuación EC. 3.7 o EC. 3.8 muestran que la velocidad de asentamiento V_t de la gota es inversamente proporcional a la viscosidad de la fase continua. La viscosidad del crudo es mucho mayor que la viscosidad del agua; por lo tanto, la velocidad de asentamiento de las gotas de agua en el crudo es mucho menor que la velocidad de asentamiento de las gotas de crudo en el agua. El tiempo necesario para separar el agua del crudo es mayor que el tiempo necesario para la separación de crudo del

agua. Por lo tanto, la separación de las gotas de agua de la fase continua de aceite siempre debe tomarse como criterio para el diseño de un separador trifásico.

El tiempo necesario para que las gotas de agua atraviesen la almohadilla de crudo t_{wd} (min), se obtiene dividiendo el espesor de la almohadilla de crudo H_o (pulg.) para la velocidad de asentamiento del agua.

$$t_{wd} = \left(\frac{1}{60}\right) * \frac{\left(\frac{H_o}{12}\right)}{1.787 \times 10^{-6}(\Delta\gamma) * d_m^2 / \mu_o} \quad \text{min} \quad EC.3.9$$

Para resolver la ecuación EC. 3.9 se debe asumir que el tiempo de retención del agua t_{wd} es igual al tiempo de retención del crudo t_o , donde H_o es el espesor máximo de la almohadilla de crudo.

$$H_{o, \max} = \frac{1.28 \times 10^{-3} t_o (\Delta\gamma) d_m^2}{\mu_o} \quad \text{pulg.} \quad EC.3.10$$

El diámetro mínimo de la gota de agua a ser removida d_m , se determina en pruebas de laboratorio. En el caso que no esté disponible este valor, d_m puede tomar el valor de 500 μm .

El flujo de agua y crudo, el tiempo de retención y el diámetro del separador, controlan el alto de la almohadilla de crudo. Considerando que el separador se encuentra lleno hasta la mitad de líquido, se puede considerar lo siguiente:

$$\frac{A}{A_w} = \left(\frac{1}{\pi}\right) \left[\cos^{-1} \left(\frac{2H_o}{D}\right) - \left(\frac{2H_o}{D}\right) * \left(1 - \frac{4H_o^2}{D^2}\right)^{-0.5} \right] \quad EC.3.11^{21}$$

²¹ Petroleum and gas field processing, Capítulo 4.

Donde:

A = área transversal del separador, ft^2

A_w = área transversal que ocupa el agua, ft^2

D = diámetro del separador, ft

Para un separador que está hasta la mitad de líquido, el área total de la sección transversal del separador A , es igual a dos veces el área ocupada por el líquido. El área ocupada por el líquido es igual al área ocupada por el crudo A_o más el área ocupada por el agua A_w . Teniendo:

$$A = 2(A_o + A_w)$$

Donde:

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{A_w}{A_o + A_w}$$

Como el volumen ocupado por cada fase es el producto del área de la sección transversal por la longitud efectiva del separador, el área de la sección transversal es directamente proporcional al volumen. Además, el volumen ocupado por cada fase es determinado por el producto del caudal por el tiempo de retención. Por lo tanto:

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{Q_w * t_w}{Q_o * t_o + Q_w * t_w} \quad EC. 3.12$$

Una vez determinada la relación A_w / A de la ecuación EC. 3.12, se puede determinar la relación H_o / D de la ecuación EC. 3.11.

Entonces se usa el valor de $H_{o,max}$ determinado en la ecuación EC.3.10, para calcular el diámetro máximo del separador asociado a la altura máxima de la almohadilla de crudo, dada por la ecuación EC. 3.13 siguiente.

$$D_{max} = \frac{H_{o,max}}{\frac{H_o}{D}} \quad EC. 3.13$$

Por lo tanto, la ecuación EC. 3.13, fija el límite máximo para el diámetro del separador. Para obtener el valor de H_o / D es conveniente emplear la solución gráfica de la ecuación EC. 3.11, indicada en la Figura 3.2.

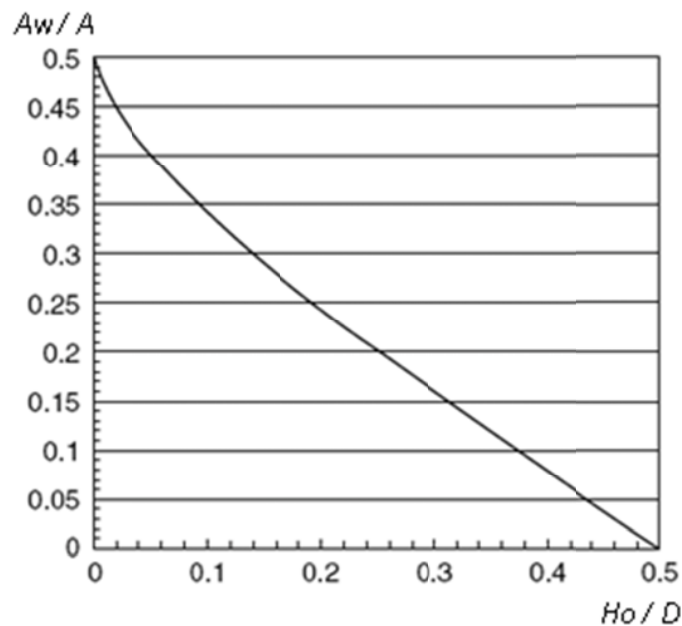


Figura 3.2 H_o / D como función de A_w / A ²²

3.2.2 CAPACIDAD PARA EL GAS

El caudal del gas procesado en un separador está directamente relacionado con el área transversal de flujo y la velocidad máxima admisible de gas en la que las gotas de crudo serán suspendidas y no arrastradas; como muestra la ecuación EC. 3.14

$$Q_g = A_g * V_g \quad EC. 3.14$$

²² Fuente: Petroleum and gas field processing

Donde:

Q_g = caudal del gas, ft^3 / s

A_g = área transversal que ocupa el gas, ft^2

V_g = velocidad máxima admisible del gas, ft / s

El caudal del gas Q_g normalmente se presenta a presión y temperatura estándar (14.7 psia y 520° R). Por lo general Q_g se reporta en unidades de MMSCFD (millones de pies cúbicos estándar por día). De ahí que:

$$Q_g = \left(\frac{\text{MMscf}}{10^6 \text{scf}} \right) \left(\frac{24\text{h}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{3600\text{s}}{\text{h}} \right) * A_g * V_g * \left(\frac{P}{14.7} \right) \left(\frac{520}{TZ} \right)$$

$$Q_g = 3.056 \left(\frac{P}{TZ} \right) * V_g * A_g \quad \text{MMSCFD} \quad \text{EC. 3.15}$$

Resolviendo:

$$V_g = 0.327 * Q_g \left(\frac{TZ}{P} \right) * \frac{1}{A_g} \quad \frac{\text{ft}}{\text{s}} \quad \text{EC. 3.16}$$

Donde:

Z = factor de compresibilidad

P = presión de operación, psia

T = temperatura, °R

A_g = área transversal que ocupa el gas, ft^2

Resolviendo la ecuación EC. 3.14 se tiene:

$$V_g = \frac{Q_g}{A_g} \quad \text{EC. 3.17}$$

$$A_g = 0.5 \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right)$$

Sustituyendo A_g en la ecuación EC. 3.17 se tiene:

$$V_g = \frac{Q_g}{0.5 \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right)} \quad EC. 3.18$$

Donde:

D = diámetro del separador, pulg.

Q_g generalmente está dado en MMSCFD y debe ser convertido en ft^3 / s ; el diámetro también debe ser convertido a ft con el fin de obtener la velocidad en unidades de ft / s , así:

$$V_g = 120 \frac{Q_g}{D^2} \left(\frac{TZ}{P} \right) \quad \frac{ft}{s} \quad EC. 3.19$$

El gas viaja horizontalmente a lo largo de la longitud efectiva del separador en un tiempo t_g que está dado por:

$$t_g = \left(\frac{L_e}{V_g} \right) \quad s \quad EC. 3.20$$

Donde:

L_e = Longitud efectiva, ft

t_g = tiempo de permanencia del gas, s

3.2.2.1 Asentamiento de las gotas del líquido

Al separar las gotas de aceite del gas en la sección de asentamiento por gravedad, existe un movimiento relativo entre las gotas del líquido y el gas que es el fluido que las rodea. Una gota de líquido (agua-crudo) cuya densidad es mayor que la de los gases, tiende a moverse verticalmente hacia abajo por la fuerza gravitacional F_g .

El gas, por el contrario, ejerce una fuerza de arrastre F_d en la gota del líquido en la dirección opuesta. La gota de líquido se acelerará hasta que la resistencia a la fricción de la fuerza de arrastre F_d se iguale a F_g , entonces la gota del líquido sigue cayendo a una velocidad constante conocida como la velocidad de asentamiento. Por lo tanto:

$$F_d = C_D * \frac{\pi}{4} * d^2 * \rho_c * \left(\frac{V_t^2}{2}\right) \quad EC.3.21$$

Donde F_g está dada por:

$$F_g = \frac{\pi}{6} * d^3 * (\rho_o - \rho_g) * g \quad EC.3.22$$

Donde:

C_D = coeficiente de fricción

ρ_o = densidad del crudo, lb/ft³

ρ_g = densidad del gas, lb/ft³

V_t = velocidad final de asentamiento de la gota, ft/s

g = gravedad constante, 32.2 ft/s

d = diámetro de la gota de crudo, ft

La velocidad de asentamiento V_t , se alcanza cuando $F_d = F_g$. Resolviendo:

$$V_t^2 = \frac{4}{3} * g * \frac{(\rho_o - \rho_g)}{\rho_g} * \frac{d}{C_D}$$

Como se mencionó anteriormente, d está dado en micrones ($1\mu\text{m} = 3.2808 \times 10^{-6}$ ft), dejando d_m en micrones, y sustituyendo 32.2 por g ; se obtiene:

$$V_t = 0.01186 \left[\frac{(\rho_o - \rho_g)}{\rho_g} * \frac{d_m}{C_D} \right]^{1/2} \frac{ft}{s} \quad EC. 3.23$$

Las gotas más pequeñas del líquido que serán removidas del gas en la sección de asentamiento por gravedad, normalmente son asumidas como 100 μm . Bajo esta condición, el extractor de niebla será capaz de remover gotas de líquido inferior a 100 μm sin que se inunde el extractor.

Se debe considerar que el tiempo de permanencia t_g es igual al tiempo de asentamiento t_s . Para obtener el tiempo de asentamiento t_s se divide la distancia $D/2$, debido a que el gas ocupa la mitad superior del separador, para la velocidad de asentamiento de la ecuación EC. 3.23.

$$t_s = \left(\frac{D}{2 * 12} \right) * \left\{ 0.01186 \left[\frac{(\rho_o - \rho_g)}{\rho_g} * \frac{d_m}{C_D} \right]^{1/2} \right\}^{-1} s \quad EC. 3.24$$

Reemplazando la ecuación EC 3.24 y la ecuación EC 3.20 en la ecuación EC 3.19, se obtiene:

$$L_e * D = 422 \left(\frac{Q_g * T * Z}{P} \right) * \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_o - \rho_g} \right) \left(\frac{C_D}{d_m} \right) \right]^{1/2} \quad EC. 3.25$$

Donde:

C_D = coeficiente de fricción

ρ_o = densidad del crudo, lb/ft³

ρ_g = densidad del gas, lb/ft³

Q_g = caudal del gas, ft³/s

T = temperatura de operación, °R

P = presión de operación, psi.

D = diámetro interno del separador, pulg.

L_e = longitud efectiva del separador, pulg.

d_m = diámetro de la gota del crudo en el gas, 100 μ m

La expresión de la ecuación EC. 3.25, indica las posibles combinaciones del diámetro D y longitud efectiva L_e que satisfaga el límite de la capacidad del gas.

3.2.2.2 Control de presión de gas

La presión dentro del separador es mantenida por una válvula reguladora de presión que se encuentra en la salida del gas en la parte superior del separador. Esta válvula es controlada por un lazo de control donde, cuando el presostato sensa baja o alta presión, los switches de alta y baja controlan la válvula. Cuando la presión del gas es baja la válvula se cierra para que la presión aumente, de lo contrario si la presión es alta la válvula se abre y así poder controlar la presión.

3.2.3 CAPACIDAD DEL LÍQUIDO (AGUA – CRUDO)

El separador debe tener el tamaño suficiente para que la fase líquida (agua – crudo) sea retenida el tiempo necesario para que se produzca la separación (tiempo de retención). Como se dijo anteriormente se debe considerar que la fase líquida ocupa la mitad del volumen del separador. Por lo tanto, el volumen ocupado por la fase líquida U_l , en un separador de diámetro D y una longitud efectiva L_e está dado por:

$$U_l = 0.5 \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{D}{12}\right)^2 * L \quad ft^3$$

Se sabe que un barril (bbl) es igual a 5.61 ft³, por lo tanto:

$$U_l = 4.859 \times 10^{-4} D^2 * L_e \quad bbl \quad EC.3.26$$

El volumen que ocupa el crudo en el separador U_o , es el producto del caudal del crudo Q_o por el tiempo de retención del crudo t_o . Si Q_o está en barriles por día (BPD) y t_o está en minuto, se tiene:

$$U_o = \frac{t_o * Q_o}{24 * 60} \quad bbl \quad EC.3.27$$

Igualmente, el volumen que ocupa el agua en el separador U_w , es el producto del caudal del agua Q_w por el tiempo de retención t_w :

$$U_w = \frac{t_w * Q_w}{24 * 60} \quad bbl \quad EC.3.28$$

Se sabe que:

$$U_l = U_o + U_w \quad EC.3.29$$

Reemplazando las ecuaciones EC. 3.26, EC. 3.27 y EC. 3.28 en la ecuación EC.3.29, se tiene:

$$4.859 \times 10^{-4} * D^2 * L_e = \frac{t_o * Q_o + t_w * Q_w}{24 * 60}$$

Resolviendo:

$$D^2 * L_e = 1.429 * (t_o * Q_o + t_w * Q_w) \text{ pulg}^2 * ft \quad EC.3.30$$

La expresión de la ecuación EC. 3.30, indica las posibles combinaciones del diámetro D y longitud efectiva L_e que satisfaga el límite de la capacidad del líquido.

3.2.3.1 Control del nivel del agua y del crudo

La altura de la interfase agua-petróleo es controlada por un controlador de nivel, el cual envía una señal a la válvula controladora de agua que permite la salida de la cantidad necesaria de agua para mantener el nivel conforme al diseño.

Para el control del nivel de aceite se tiene una sonda emisora capacitiva que está asociada al controlador para hacer abrir y cerrar la válvula automática que regula la salida de crudo para mantener controlado el nivel de crudo del separador.

El nivel de interfase de los líquidos, es decir la interfase entre el agua y el aceite debe mantenerse constante para evitar que el agua pase por encima de la placa de rebose y contamine el aceite que tenemos en la cámara de aceite.

Esto se logra mediante un controlador de nivel de interfase que funciona de la misma manera que el controlador de aceite con la diferencia que la sonda debe estar en el agua y no en el aceite.

3.2.4 LONGITUD DE COSTURA

La longitud de costura L_{SS} es el largo real del cuerpo del recipiente determinada a partir la longitud efectiva. La longitud efectiva va desde el desviador de entrada hasta el extractor de niebla (longitud donde ocurre la separación de fases).

Si la capacidad del gas gobierna el diseño, la longitud de costura a costura del separador está dada por:

$$L_{SS} = L_e + \frac{d}{12} \quad EC.3.31$$

Si la capacidad del líquido gobierna el diseño, la longitud de costura a costura del separador está dada por:

$$L_{SS} = \frac{4}{3}L_e \quad EC.3.32$$

Cuanto más pequeño es el diámetro del cilindro se reduce el peso del recipiente, disminuyendo su costo; sin embargo, hay que considerar este parámetro ya que al disminuir el diámetro del cilindro aumenta la velocidad del flujo del gas dificultando la separación.

La experiencia muestra que si la capacidad del gas gobierna y la esbeltez²³ es mayor que 4 ó 5, el arrastre podría convertirse en un problema. Las ecuaciones indican que los cocientes de esbeltez deben ser por lo menos 1 o más. La mayoría de los separadores de petróleo poseen cocientes de esbeltez de 3 a 4; para separadores de petróleo trifásicos horizontales se recomienda cocientes entre 3 y 5.

3.2.5 PROCEDIMIENTO PARA DIMENSIONAR UN SEPARADOR HORIZONTAL TRIFÁSICO

El procedimiento para determinar el diámetro y longitud de un separador horizontal trifásico, se resume en los siguientes pasos:

1. Determinar el valor de la relación A_w / A de la ecuación EC. 3.12.
2. Usar la Figura 3.2 para determinar el valor H_o / D a partir del valor calculado de A_w / A .

²³ "Esbeltez se define como la relación de rigidez entre la sección transversal, en este caso el diámetro y la longitud total de cuerpos geométricos expuestos a cargas y esfuerzos puntuales o combinados que son aplicadas en un determinado funcionamiento mecánico. Además la esbeltez se *caracteriza* por ser un parámetro a dimensional que interviene en el cálculo de las tensiones y predice las inestabilidades elásticas de los cuerpos geométricos.

3. Determinar el espesor máximo de la almohadilla de crudo $H_{o\ max}$ de la ecuación EC. 3.10, con d_m igual a 500 μm .
4. Determinar el D_{max} de la ecuación EC. 3.13.
5. Para diámetros más pequeños que D_{max} , determine las combinaciones de D y L_e que satisfagan el límite de capacidad del gas de la ecuación EC. 3.25, y sustituyendo d_m igual a 100 μm .
6. Para diámetros más pequeños que D_{max} , determine las combinaciones de D y L_e que satisfagan el límite de la capacidad del líquido de la ecuación EC. 3.30.
7. Comparar los resultados obtenidos en el paso 5 y 6 y determine si la capacidad del gas o la capacidad del líquido gobiernan el diseño del separador.
8. Si la capacidad del gas gobierna el diseño, determine la longitud de costura a costura del separador con la ecuación EC. 3.31.
Si la capacidad del líquido gobierna el diseño, determine la longitud de costura a costura del separador con la ecuación EC. 3.32.
9. Seleccionar un diámetro y longitud cuya esbeltez se encuentren entre 3 a 5.

3.3 DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO

Un separador trifásico es como un recipiente a presión al constituirse en un tanque cerrado capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, sea presión interna o de vacío, independientemente de su forma y dimensiones. El separador trifásico objeto de este Proyecto de Titulación se diseña como cilindro de pared delgada.

La mayoría de los separadores de petróleo son diseñados, construidos y probados conforme a la norma ASME, sección VIII, DIVISIÓN 1, concerniente a recipientes a presión. La norma es dirigida especialmente para el diseño y trabajo de recipientes de hasta 300 psia y con un factor de seguridad mayor de 2. Por lo tanto, la sección VIII, DIVISIÓN 1 de la ASME para recipientes a presión es aplicable para el presente diseño.

3.3.1 PRESIÓN DE OPERACIÓN (P_o)

Es la presión de trabajo (presión manométrica) a la que el recipiente estará sometido en condiciones normales de operación.

3.3.2 PRESIÓN DE DISEÑO (P)

Este valor debe ser utilizado para el cálculo de las partes que componen los recipientes sometidos a presión, dado por la norma ASME VIII, DIVISIÓN 1; dicho valor es:

$$\begin{aligned} & \text{Si } P_o > 300 \text{ lb/pulg}^2 \\ & P = 1,1 P_o \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Si } P_o \leq 300 \text{ lb/pulg}^2 \\ & P = P_o + 30 \text{ lb/pulg}^2 \end{aligned}$$

3.3.3 Presión de prueba (P_p)

La presión de prueba será la presión de prueba hidrostática y se cuantifica con la siguiente ecuación:

$$P_p = P(1.5)S_{ta}/S_{td} \quad \text{EC. 3.33}$$

Donde:

P = presión de diseño.

P_p = presión de prueba hidrostática

S_{ta} = resistencia a la tensión del material a la temperatura ambiente.

S_{td} = resistencia a la tensión del material a la temperatura de diseño.

3.3.4 PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMISIBLE

Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente en operación, suponiendo que las siguientes condiciones se cumplan:

- a) Haber sido sometido a una atmósfera corrosiva.
- b) Bajo los efectos de la temperatura de diseño.

- c) Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc; estos efectos se deben agregar a los ocasionados por la presión interna.

Usualmente, la presión de trabajo máxima permisible se ve limitada por la resistencia del cuerpo o las tapas y no por los componentes pequeños como bridas, boquillas, etc.

El valor de la presión de trabajo máxima permisible se obtiene despejando P de las ecuaciones que determinan los espesores del cuerpo y las tapas.

3.3.4.1 Esfuerzos debido a cargas combinadas

Un cilindro de paredes delgadas es aquel que tiene un espesor muy pequeño en relación al diámetro del recipiente. Cuando se satisface esta condición, el esfuerzo en la pared o cuerpo del cilindro debido a la presión interna de un fluido puede considerarse como uniformemente distribuido sobre el área de la sección transversal longitudinal del cuerpo, sin incurrir en errores serios al calcular el esfuerzo.

El problema que se considera es el de determinar la relación entre la presión interna de un cilindro cerrado y de paredes delgadas, el diámetro, el espesor del cuerpo y el esfuerzo unitario que se origina en ella; estas relaciones deben darse sobre una sección longitudinal y sobre una sección transversal.

3.3.4.2 Esfuerzo sobre una sección longitudinal

La Figura 3.3 representa una porción de un cilindro de paredes delgadas que está sometida a la presión interna de un fluido donde F_i es la magnitud de la fuerza, l la longitud de la porción representada, D el diámetro del cilindro, t el espesor del cuerpo y S_t el esfuerzo unitario de tensión en dicha pared. S_t es el valor al que se puede someter un material; su valor es aproximadamente el 25% del esfuerzo a la fluencia sometida a la tensión del material.

La presión sobre el interior del cilindro en cualquier punto de la superficie es perpendicular a este punto; la presión interna tiende a producir ruptura del tanque sobre la sección longitudinal (en AB y EF; Figura 3.3), siendo resistida la presión resultante que actúa sobre una mitad de la pared, por las fuerzas internas P.

Se puede expresar la siguiente ecuación de equilibrio:

Presión resultante = esfuerzo total resistente:

$$F_i * l * D = 2 * l * t * S_t \quad \text{EC. 3.34}$$

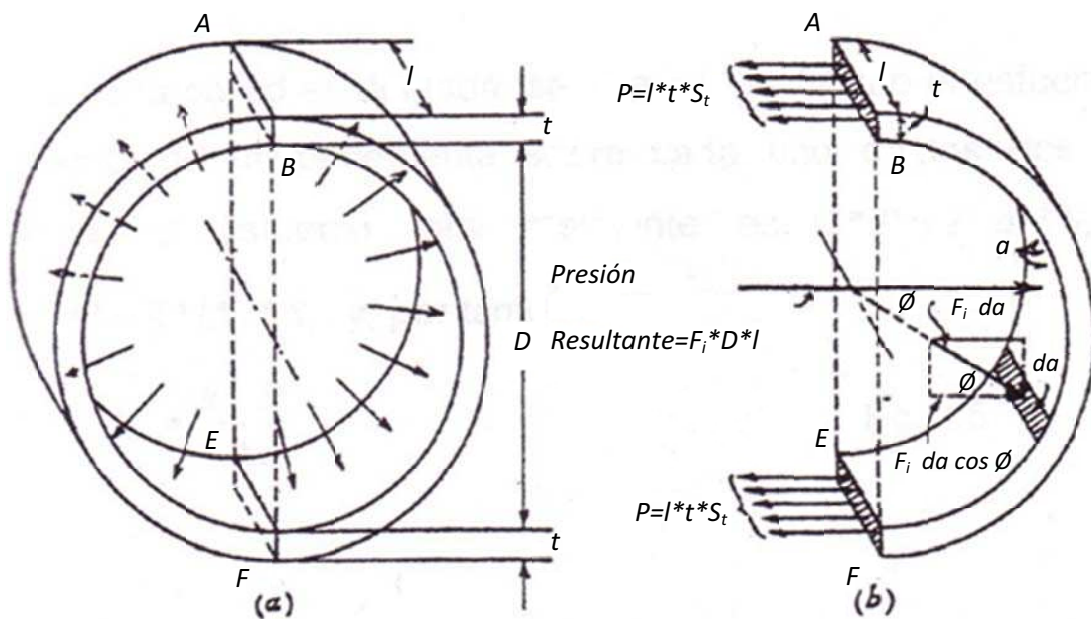


Figura 3.3 Esfuerzo originado sobre una sección longitudinal de un cilindro de pared delgada²⁴

²⁴ Fuente: ASME Sección VIII, División 1

La presión resultante horizontal sobre el área semicilíndrica a , de la mitad del cuerpo del cilindro (Figura 3.3) es la suma de los componentes horizontales de las fuerzas que actúan sobre las áreas elementales. La fuerza que actúa sobre un área elemental da es igual $F_i * da$ y su componente en horizontal es $F_i * da * \cos\theta$; por lo tanto, la fuerza horizontal resultante es:

$$\int F_i * da * \cos\theta$$

La que también se puede escribirse como:

$$F_i \int da * \cos\theta$$

Ya que F_i es la misma en todos los puntos de la superficie cilíndrica y $da * \cos\theta$ es el área de la proyección del elemento de superficie da sobre un plano vertical, la fuerza horizontal resultante es: $F_i * D * l$.

Además, como la pared es delgada, se puede admitir que el esfuerzo resistente P está distribuido uniformemente sobre las dos áreas; por lo tanto, el esfuerzo total resultante es: $2 * P = 2 * a_t * S_t = 2 * l * t * S_t$, luego $F_i * D * l = 2 * l * t * S_t$, entonces:

$$S_t = \frac{F_i * D}{2 * t} \quad EC. 3.35$$

3.3.4.3 Esfuerzo sobre una sección transversal

Sea el tramo de la Figura 3.4 para representar el esfuerzo sobre una sección transversal.

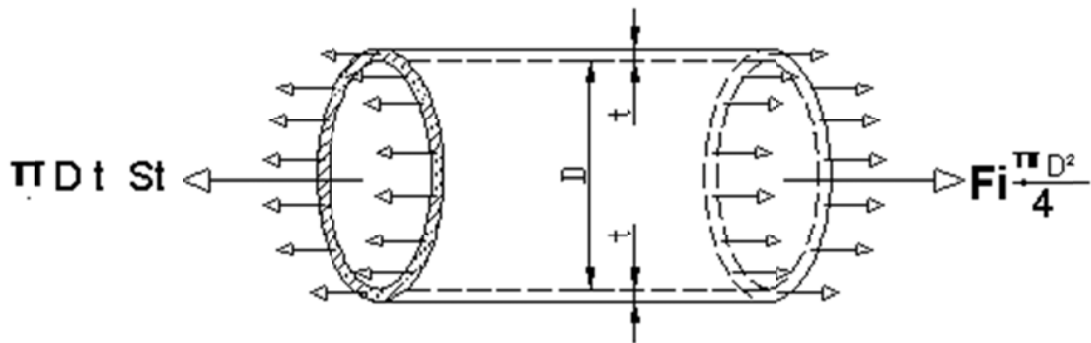


Figura 3.4 Esfuerzo originado sobre una sección transversal de un cilindro de pared delgada²⁵

La fuerza total del fluido ejercida sobre el extremo del cilindro debe ser mantenida en equilibrio por el esfuerzo total sobre una sección transversal del mismo. Como indica la Figura 3.4, la presión total en el extremo del cilindro es $F_i \frac{\pi D^2}{4}$, y el esfuerzo total resistente es $\pi * D * t * S_t$; por lo tanto, la condición de equilibrio requiere que se cumpla:

$$F_i \frac{\pi * D^2}{4} = \pi * D * t * S_t$$

Despejando se tiene:

$$S_t = \frac{F_i * D}{4 * t} \quad EC. 3.36$$

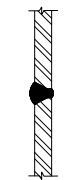
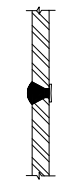
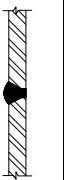

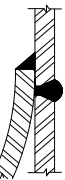

F_i y S_t deben expresarse en las mismas unidades (Kg/cm^2 para unidades métricas o lb/pulg^2 en unidades inglesas) y D y t deben estar expresadas con un mismo sistema de unidades.

²⁵ Fuente: ASME Sección VIII, División 1

3.3.5 EFICIENCIA DE LA SOLDADURA (*E*)

La eficiencia de las soldaduras se define como el grado de confiabilidad que se puede tener de ellas, dependiendo únicamente del tipo de junta y el grado de exanimación de la misma. Sus valores están dados en la Tabla 3.1, en donde se muestran los tipos de unión comúnmente usados en la fabricación de estructuras metálicas.

Tabla 3.1 Tipos de juntas y valores *E* de la eficiencia de la soldadura

TIPOS DE JUNTAS	LIMITACIONES	CATEGORÍA DE JUNTA	GRADO DE EXANIMACIÓN RADIOGRÁFICA		
			TOTAL	PUNTOS	
<p>1</p>  <p>Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que obtenga la misma calidad del metal soldado sobre las superficies del interior y exterior de la soldadura. Si se emplea anillos de respaldo debe quitarse después de la soldadura.</p>	Ninguna	A, B, C, D	1.00	0.85	0.70
<p>2</p>  <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar.</p>	a. Ninguna b. Juntas circunferenciales a tope con una placa desplazada.	A, B, C, D A, B, D	0.90	0.80	0.65
<p>3</p>  <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo.</p>	En uniones circunferenciales únicamente, no mas de 5/8" de espesor y no mas de 24" de diámetro exterior.	A, B, C	NA	NA	0.60
<p>4</p>  <p>Junta traslapada con doble filete continuo.</p>	a. En uniones longitudinales de no mas de 3/8" de espesor. b. En uniones circunferenciales de no mas de 5/8" de espesor.	A B, C	NA	NA	0.55
<p>5</p>  <p>Junta traslapada soldada filete sencillo continuo con soldadura de tapón.</p>	a. En uniones circunferenciales para juntas de cabezas de no mas de 24" de diámetro exterior a cuerpos de no mas de 1/2" de espesor. Se excluyen las cabezas hemisféricas a cuerpos b. En uniones circunferenciales para juntas a cuerpos de no mas de 5/8" de espesor nominal, cuando la distancia del centro de las soldadura de tapón a la orilla de la placa no sea menor de 1 1/2 veces el diámetro del orificio del tapón	B C	NA	NA	0.50
<p>6</p>  <p>Junta traslapada soldada con filete sencillo continuo sin soldadura de tapón</p>	a. para unión de cabezas convexas a presión a cuerpos de no mas de 5/8" de espesor requerido, solo aplicando soldadura de filete en el interior del cuerpo b. para unión de cabezas con la presión en cualquiera de sus lados, a cuerpos de no mas de 24" de diámetro interior y no mas de 1/4" de espesor requerido con soldadura de filete en el exterior del faldón con la cabeza únicamente.	A, B A, B	NA	NA	0.45

3.3.6 MARGEN DE CORROSIÓN

Consiste en un factor para dar un mayor espesor (que se añade al espesor calculado) como seguridad por el efecto de la corrosión; con la finalidad de alargar la vida útil del recipiente. Se considera como regla práctica un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada por año para recipientes y tuberías. Si la vida útil estimada para el recipiente es de 21 años, se estima un factor de corrosión de 0.125 pulg (3mm). En los cálculos, este es el valor que se considera para el espesor del recipiente.

No se debe considerar el espesor de la placa con que se construirá el recipiente, sino que a este valor se le debe restar el margen de corrosión; ya que se supone que es éste el espesor que se va a ir eliminando durante la vida útil del recipiente.

3.3.7 CÁLCULOS RECOMENDADOS POR LA NORMA ASME, SECCIÓN VIII, DIVISIÓN I

Los cálculos que se deben realizar son:

- Cálculo de espesores de pared del cuerpo y de las cabezas del recipiente.
- Cálculo de espesores de boca.
- Cálculo del área de refuerzo en las bocas.
- Cálculo de esfuerzos en las soldaduras de las bocas.

Es importante resaltar que las fórmulas serán usadas únicamente cuando la carga principal es la presión interna del recipiente.

3.3.7.1 Cálculo de espesores para paredes del cuerpo

3.3.7.1.1 Cuerpos Cilíndricos

El mínimo espesor requerido, o la máxima presión de trabajo en el cuerpo, debe ser seleccionado entre el mayor espesor resultante o la mínima presión calculada entre las fórmulas expresadas a continuación:

- *Esfuerzo Circunferencia o radial (Juntas Longitudinales)*

Cuando el espesor t no excede la mitad del radio interno o cuando la presión P no exceda $0.385SE$, las fórmulas que se deben aplicar son:

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P} \quad EC.3.37^{26}$$

$$P = \frac{S * E * t_1}{R + 0.6t_1} \quad EC.3.38^{27}$$

Donde:

$$t_1 = t + C.A. \quad EC.3.39^{28}$$

- *Esfuerzo Longitudinal o axial (Juntas Circunferenciales)*

Cuando el espesor t no exceda la mitad del radio interno o cuando la presión P no exceda $1.25SE$, las fórmulas que se deben aplicar son:

$$t = \frac{P * R}{2S * E - 0.4P} \quad EC.3.40^{29}$$

²⁶ ASME sección VIII, División 1

²⁷ ASME sección VIII, División 1

²⁸ ASME sección VIII, División 1

²⁹ ASME sección VIII, División 1

$$P = \frac{2S * E * t_1}{R + 0.4t_1} \quad EC. 3.41^{30}$$

Donde:

$$t_1 = t + C.A.$$

Las variables siguientes son usados para las fórmulas expresadas anteriormente:

P = Presión de diseño o presión máxima de trabajo, lb/pulg².

S = Valor del esfuerzo permisible del material.

E = Eficiencia de la junta.

R = Radio interior, pulg.

t_1 = Espesor total de pared, pulg.

t = Espesor de pared, pulg.

$C.A.$ = Margen por corrosión, pulg.

3.3.7.2 Cálculo de espesores de paredes para cabeza y secciones izadas en su lado cóncavo

3.3.7.2.1 Cabezas elipsoidales

Basa su diseño en la relación existente entre el eje mayor y el eje menor como se indica en la Figura 3.5. Comúnmente, el eje menor es la mitad del eje mayor; por esto, a estas cabezas se les denomina elípticas de relación 2:1.

³⁰ ASME sección VIII, División 1

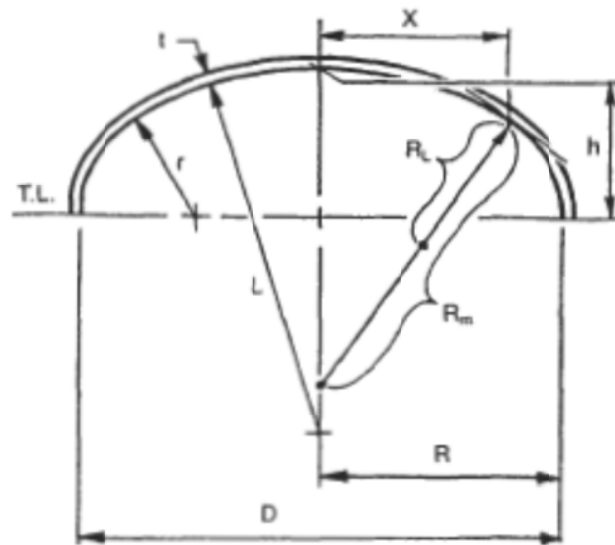


Figura 3.5 Cabeza elipsoidal³¹

Para el cálculo de espesores de pared y de la presión máxima de trabajo para este tipo de cabezas (tapas elípticas de relación 2:1), se emplean las siguientes fórmulas:

$$t = \frac{P * D}{2S * E - 0.2P} \quad EC.3.42 \quad 32$$

$$P = \frac{2S * E * t}{D + 0.2t} \quad EC.3.43 \quad 33$$

Cuando las cabezas elipsoidales no cumplen con la forma anteriormente indicada (tapas elípticas de relación 2:1), se emplean las siguientes formulas:

$$t = \frac{P * D * K}{2S * E - 0.2P} \quad EC.3.44 \quad 34$$

³¹ Fuente: ASME sección VIII, División 1

³² ASME sección VIII, División 1

³³ ASME sección VIII, División 1

³⁴ ASME sección VIII, División 1

$$P = \frac{2S * E * t}{K * D + 0.2t} \quad EC.3.45 \quad 35$$

Donde K es un factor de forma que depende del diámetro D y de la longitud del eje mayor h de la cabeza elipsoidal.

$$K = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right] \quad EC.3.46$$

Donde h es la altura interna de la cabeza, es igual a una cuarta parte del diámetro interior de la cabeza.

3.3.7.2.2 Cabezas toriesféricas

En la cabeza toriesférica, el radio de la zona tórica r es el 6% del radio interno de corona L . Además, el radio interno de corona es igual al diámetro exterior de la falda de la cabeza D (ver Figura 3.6). Las fórmulas para el cálculo de espesores y de la presión máxima requeridos son:

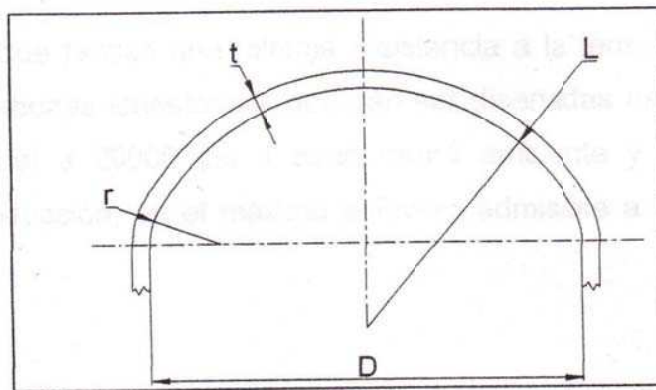


Figura 3.6 Cabeza toriesférica³⁶

³⁵ ASME sección VIII, División 1

³⁶ Fuente: ASME sección VIII, División 1

$$t = \frac{0.885 * P * L}{S * E - 0.1P} \quad EC.3.47 \quad 37$$

$$P = \frac{S * E * t}{0.885 * L + 0.1t} \quad EC.3.48 \quad 38$$

Para cabezas toriesféricas de cualquier dimisión y sin restricciones, se deben aplicar las siguientes fórmulas:

$$t = \frac{P * L * M}{2S * E - 0.2P} \quad EC.3.49 \quad 39$$

$$P = \frac{2S * E * t}{M * D + 0.2t} \quad EC.3.50 \quad 40$$

Donde M es un factor de forma que depende del radio L de corona y del radio r de la zona toriesférica siguiente:

$$M = \frac{1}{4} \left[3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right] \quad EC.3.51$$

El valor del radio interior de la corona o radio de bombeo L , en ningún caso deberá ser mayor que el diámetro exterior del faldón D .

³⁷ ASME sección VIII, División 1

³⁸ ASME sección VIII, División 1

³⁹ ASME sección VIII, División 1

⁴⁰ ASME sección VIII, División 1

3.3.7.2.3 Cabezas hemisféricas

Ver la Figura 3.7

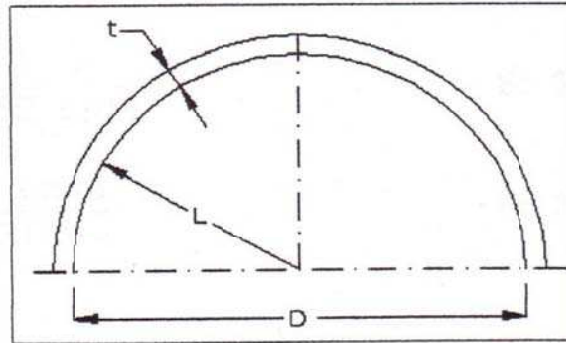


Figura 3.7 Cabeza hemisférica⁴¹

Cuando el espesor t de una cabeza hemisférica no exceda $0.356L$, o P no exceda $0.665SE$, se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$t = \frac{P * L}{2S * E - 0.2P} \quad EC. 3.52 \quad ^{42}$$

$$P = \frac{2S * E * t}{L + 0.2t} \quad EC. 3.53 \quad ^{43}$$

3.3.8 DISEÑO DE ABERTURAS

Para incluir en un recipiente tanto un registro de inspección como un acople roscado, se debe diseñar las aberturas de los mismos de acuerdo con lo especificado con la norma ASME. Por lo tanto, se debe diseñar desde la forma de la abertura permitida hasta el refuerzo de debe tener esa abertura para recompensar el tramo del recipiente que fue retirado del mismo.

⁴¹ Fuente: ASME sección VIII, División 1

⁴² ASME sección VIII, División 1

⁴³ ASME sección VIII, División 1

3.3.8.1 Formas de las aberturas

Las aberturas en partes cilíndricas o cónicas de los cuerpos de los recipientes o en las tapas formadas deben ser de preferencia circulares pero también se aceptan bocas elípticas u oblongas. Las aberturas elípticas son usadas para cuando se colocan tubos circulares no perpendiculares a las superficies del recipiente.

3.3.8.2 Tamaño de las aberturas

Las aberturas reforzadas apropiadamente tienen limitaciones para los cuerpos cilíndricos respecto a las reglas que se aplican dentro de las normas; siendo las siguientes:

- Para recipientes de diámetro interno menor o igual a 60 pulgadas (1520 mm), las aberturas no deben exceder un diámetro mayor a la mitad del diámetro del recipiente sin exceder 20 pulgadas.
- Para recipientes de diámetro interno mayor a 60 pulgadas, las aberturas deben tener un diámetro menor a $1/3$ del diámetro del recipiente sin exceder 40 pulgadas.

Cuando la abertura en cabeza de un cuerpo cilíndrico es mayor que la mitad del diámetro interior de la cabeza, se recomienda usar secciones de reducción del cuerpo en lugar de cabezas. Las posibles secciones a usar se muestran en la Figura 3.8.

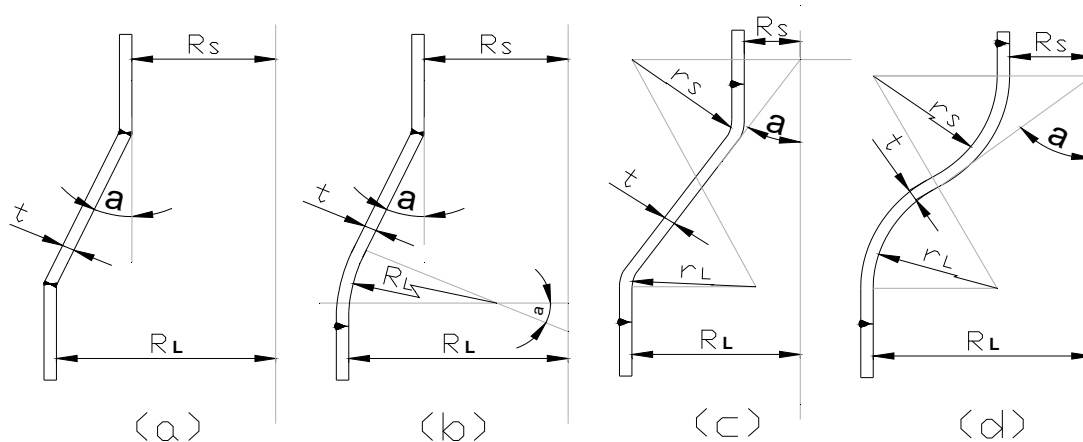


Figura 3.8 Tipos de sección de reducción. (a) Sección cónica, (b) Sección toricónica, (c) Sección curva reversa, (d) Sección usando un radio en vuelo⁴⁴.

Las aberturas en recipientes sometidas a bajas fluctuaciones de presión que no necesitan ser reforzadas deben cumplir con las condiciones siguientes:

- Aberturas con conexiones soldadas o empernadas de diámetro menor a 3 ½ pulgadas (89 mm) en los cuerpos o cabezas de los recipientes de 3/8 de pulgada (10mm) o menor espesor.
- Aberturas con conexiones soldadas o empernadas de diámetro menor a 2 3/8 pulgadas (60mm) en los cuerpos o cabezas de 3/8 pulgadas (10 mm) o menor espesor.
- Conexiones empernadas o roscadas en donde el corte del agujero en el cuerpo o la cabeza no es mayor que 2 3/8 pulgadas de diámetro.
- Si existen dos agujeros adyacentes deben estar separados a una distancia no menor a la suma de sus diámetros.

⁴⁴ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo.
Fuente: Manual de Recipientes Megyesy

3.3.8.3 Cálculo de espesores de las bocas

Para el cálculo de espesores de las bocas de entrada y salida del contenido del tanque se debe aplicar las formulas especificadas en el literal 3.3.7.1.1, es decir que se deben diseñar como cuerpos cilíndricos debido a que la mayoría de bocas son de forma cilíndrica o tubular. Generalmente se usa como bocas, tubos de diferentes diámetros; y lo que se hace es calcular el espesor mínimo que deben tener estos tubos.

3.3.8.4 Refuerzos requeridos para aberturas en cuerpos y cabezas

En el momento de realizar una perforación en el cuerpo o la cabeza del recipiente para la ubicación de una boca, se altera el área resistente a la presión; por lo que se realiza un análisis de áreas de aporte para obtener el mismo efecto resistente.

Se analiza primero si el área sin refuerzo es suficiente para calcular el área necesaria que se debe colocar a la abertura y a la boca. En la Figura 3.9 se presenta un esquema en donde se detalla cada una de las variables que se utilizan en las reglas que se deben aplicar para el cálculo de los refuerzos:

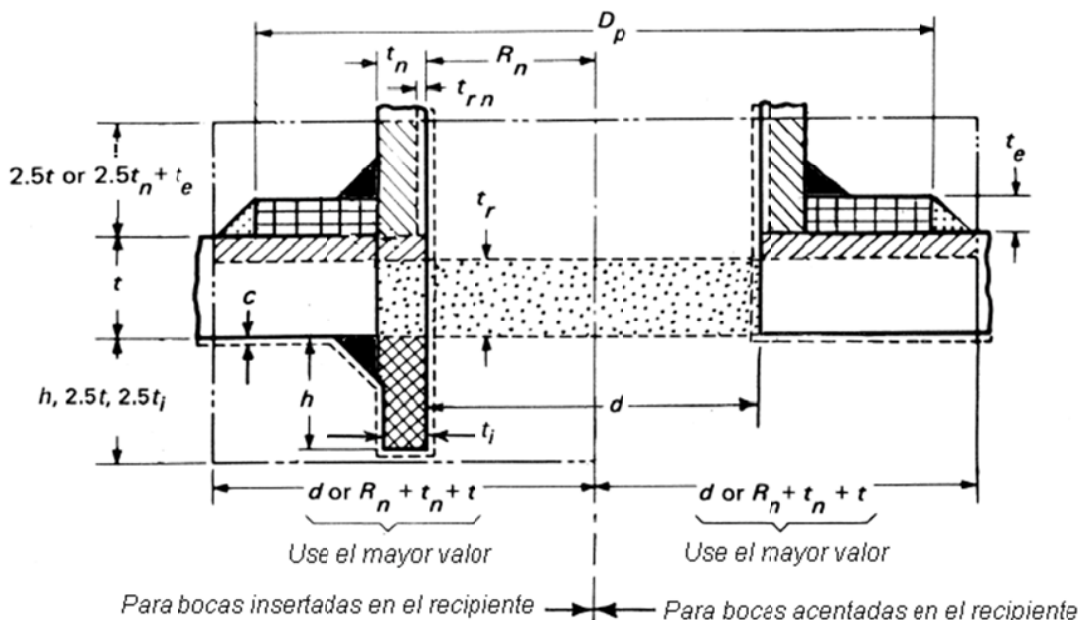




Figura 3.9 Configuración común de una boca en un recipiente⁴⁵

- Cálculo sin elemento de refuerzo. Se tienen las siguientes ecuaciones:

Ecuaciones		Área de refuerzo
$A = d * t_r * F + 2t_n * t_r * F(1 - f_{r1})$	EC. 3.54	Área requerida
$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$	EC. 3.55	Área disponible en el cuerpo; usar el mayor valor
$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$	EC. 3.56	
$A_2 = 5(t_n - t_m) * f_{r2} * t$	EC. 3.57	Área disponible en la boca en la parte exterior; usar el menor valor
$A_2 = 5(t_n - t_m) * f_{r2} * t_n$	EC. 3.58	
$A_3 = 2(t_n - C) * f_{r2} * h$	EC. 3.59	Área disponible en la parte interna de la boca
$A_{41} = (leg)^2 * f_{r2}$	EC. 3.60	Área disponible en la soldadura externa
$A_{43} = (leg)^2 * f_{r2}$	EC. 3.61	Área disponible en la soldadura interna
Si $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A$; entonces la abertura está bien reforzada, si no es así se debe añadir un elemento de refuerzo.		

⁴⁵ Fuente: ASME sección VIII, División 1

- Cálculo con elemento de refuerzo. Se tienen las siguientes ecuaciones:

Ecuaciones	Área de refuerzo
$A = d * t_r * F + 2t_n * t_r * F(1 - f_{r1})$ <p style="text-align: right;">EC. 3.62</p>	Área requerida
$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$ <p style="text-align: right;">EC. 3.63</p> $A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$ <p style="text-align: right;">EC. 3.64</p>	Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor
$A_2 = 5(t_n - t_m) * f_{r2} * t$ <p style="text-align: right;">EC. 3.65</p> $A_2 = 2(t_n - t_m)(2.5t_n + t_e) * f_{r2}$ <p style="text-align: right;">EC. 3.66</p>	Área disponible en la boca exterior, usar el menor valor
$A_3 = 2(t_n - C) * f_{r2} * h$ <p style="text-align: right;">EC. 3.67</p>	Área disponible en la parte interna de la boca
$A_{41} = (leg)^2 * f_{r3}$ <p style="text-align: right;">EC. 3.68</p>	Área disponible en la soldadura externa de la boquilla
$A_{42} = (leg)^2 * f_{r4}$ <p style="text-align: right;">EC. 3.69</p>	Área disponible en la soldadura externa del elemento
$A_{43} = (leg)^2 * f_{r2}$ <p style="text-align: right;">EC. 3.70</p>	Área disponible en la soldadura interna
$A_5 = (D_p - d - 2t_n)t_e * f_{r4}$ <p style="text-align: right;">EC. 3.71</p>	Área disponible del elemento
Si $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + A_5 \geq A$; entonces la abertura está bien reforzada	

Donde:

A = Área requerida. pulg²

A_p = Área de la placa de refuerzo. pulg²

A_1 = Área en exceso, disponible en el cuerpo a la cabeza. pulg²

A_2 = Área disponible en la proyección externa de la boca. pulg²

A_3 = Área disponible en la proyección interna de la boca. pulg²

A_{41} = Área disponible en la soldadura exterior de la boca. pulg²

A_{42} = Área disponible en la soldadura de la placa de refuerzo. pulg²

A_{43} = Área disponible en la soldadura interior de la boca. pulg²

A_5 = Área de refuerzo. pulg²

C = Corrosión permisible. pulg

D = Diámetro interno del cuerpo. pulg

D_p = Diámetro externo del refuerzo. pulg

d = Diámetro interior de la boca. pulg

$E = 1$

$E_1 = 1$ (Eficiencia de soldadura)

F = Factor de corrección por variación del esfuerzo generado por la presión en diferentes planos con respecto al eje del recipiente.

h = Distancia de la proyección interna de la boca desde la superficie interior del recipiente.⁴⁶

K_1 a K_7 = Factor de radio esférico

P = Presión interna del diseño. psi

R = Radio interno del cuerpo. pulg

R_n = Radio interno de la boca. pulg

S = Esfuerzo permisible de tensión. psi

S_n = Esfuerzo permisible de la boca. psi

S_v = Esfuerzo permisible del recipiente. psi

S_p = Esfuerzo permisible del refuerzo. psi

$f_{r1} = S_n / S_v$, para bocas insertadas en el recipiente. psi

⁴⁶ Anexo 8: Planos constructivos del separador

$f_{r1} = 1$, para bocas asentadas en el recipiente. Psi

$f_{r2} = S_n / S_v$

$f_{r3} = (\text{el menor entre } S_n \text{ y } S_p) / S_v$

$f_{r4} = S_p / S_v$

t = Espesor actual del cuerpo. pulg

t_e = Espesor del refuerzo. pulg

t_r = Espesor calculado del cuerpo y cabeza. pulg

t_n = Espesor actual de la pared de la boca. pulg

t_m = Espesor calculado de la pared de la boca. pulg

W = Carga total sobre todas las soldaduras. lbf

x = Limite del refuerzo de la placa. pulg

3.3.8.5 Cálculo de cargas según áreas

El material empleado para refuerzo de las diferentes aberturas debe tener un esfuerzo permisible igual o mayor que el material del recipiente. Al momento de realizar una perforación en el cuerpo o en la cabeza del recipiente para la ubicación de una conexión, se altera el área resistente a la presión; por lo que es necesario realizar un análisis de áreas con la finalidad de obtener el mismo efecto resistente.

Cuando se emplea un material de menor esfuerzo que el del recipiente como refuerzo de una abertura, su área debe ser incrementada con la finalidad de compensar la superficie extraída.

3.3.8.6 Cálculo de cargas en soldaduras

En el caso que el material usado como refuerzo (parche, metal soldado depositado, boquilla, etc.) tenga un valor de esfuerzo permisible mayor que el del material del recipiente, no acredita que los cálculos mínimos de refuerzo sean alterados.

Los cálculos de los esfuerzos generados en la soldadura se sustentan en las trayectorias que se presentan en los siguientes apartados; dependiendo si las conexiones se encuentran insertadas o apoyadas.

3.3.8.6.1 Conexiones insertadas

En la Figura 3.10 se especifican las cargas en las juntas de soldadura de las bocas insertadas.

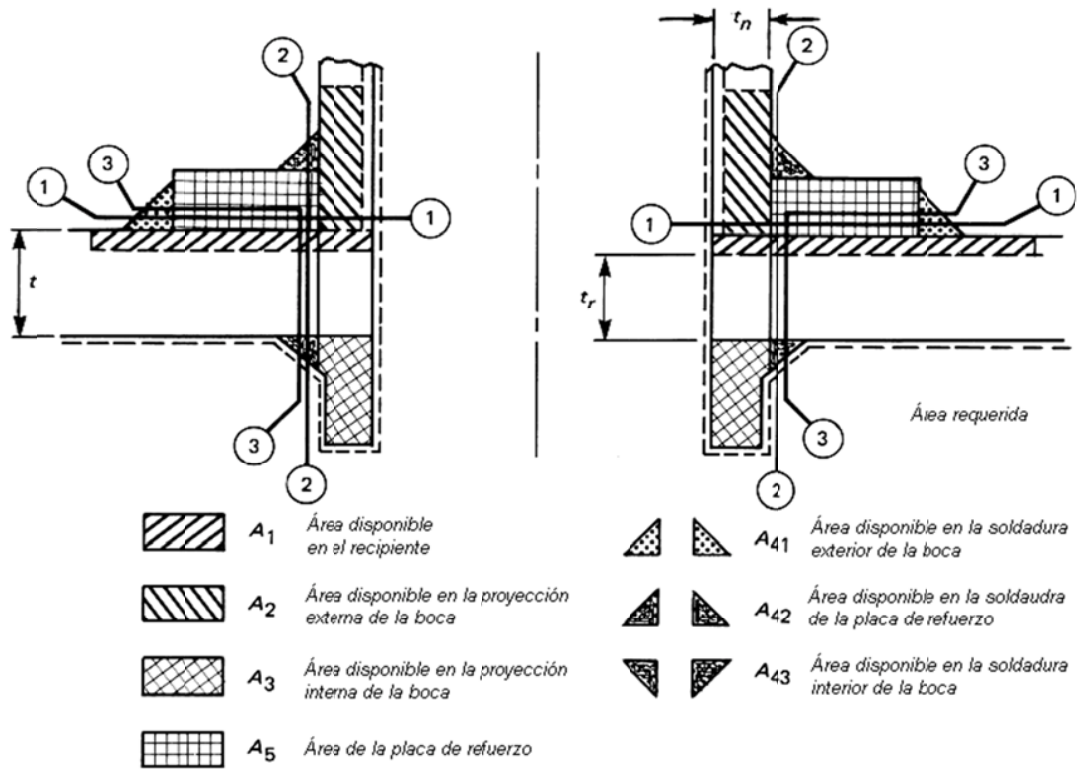


Figura 3.10 Cargas en las juntas de soldadura (bocas insertadas)⁴⁷

Donde:

W = Cargas sobre todas las soldaduras. lbs

D_p = Diámetro exterior del refuerzo. pulg

S_p = Esfuerzo permisible del material del refuerzo. psi

D_o = Diámetro externo de la conexión. pulg

C_n = Corrosión de la conexión. pulg

Leg_p = Altura de la soldadura en el refuerzo. pulg

⁴⁷ Fuente: ASME sección VIII, División 1

- Carga sobre todas las soldaduras:

$$W = [A - A_1 + 2t_n * f_{r1} * (E_1 * t - F * t_r)] * S_v \quad EC. 3.72$$

- Carga producida en la trayectoria 1 – 1:

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) * S_v \quad EC. 3.73$$

$$L_{1-1} = \frac{\pi}{2} * D_p * Leg_p * 0.49 * S_p \quad EC. 3.74$$

$$L_{2-1} = \frac{\pi}{2} * (D_o - t_n + C_n) * t_n * 0.7 * S_n \quad EC. 3.75$$

$$L_{Total (1-1)} = L_{1-1} + L_{2-1} \quad EC. 3.76$$

Si $L_{Total (1-1)}$ es mayor que el menor valor entre W y W_{1-1} ; entonces, el esfuerzo en la soldadura es correcto.

- Cargas efectuadas en la trayectoria 2-2:

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n * t * f_{r1}) * S_v \quad EC. 3.77$$

$$L_{1-2} = \frac{\pi}{2} * D_o * t_e * 0.74 * S_p \quad EC. 3.78$$

$$L_{2-2} = \frac{\pi}{2} * D_o * t_r * 0.74 * S_p \quad EC. 3.79$$

$$L_{3-2} = \frac{\pi}{2} * (D_o + leg_{41}) * leg_{41} * 0.49 * S_n \quad EC. 3.80$$

$$L_{Total (2-2)} = L_{1-2} + L_{2-2} + L_{3-2} \quad EC. 3.81$$

Si $L_{Total (2-2)}$ es mayor que el menor valor entre W y W_{2-2} ; entonces, el esfuerzo en la soldadura es correcto.

- Cargas producidas en la trayectoria 3-3:

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n * t * f_{r1}) * S_v \quad EC. 3.82$$

$$L_{1-3} = \frac{\pi}{2} * D_p * leg_p * 0.49 * S_p \quad EC. 3.83$$

$$L_{2-3} = \frac{\pi}{2} * D_o * t_r * 0.74 * S_n \quad EC. 3.84$$

$$L_{3-3} = \frac{\pi}{2} * D_o * leg_{42} * 0.49 * S_n \quad EC. 3.85$$

$$L_{Total (3-3)} = L_{1-3} + L_{2-3} + L_{3-3} \quad EC. 3.86$$

Si $L_{Total (3-3)}$ es mayor que el menor valor entre W y W_{3-3} ; entonces, el esfuerzo en la soldadura es correcto.

3.3.8.6.2 Conexiones apoyadas

En la Figura 3.11 se especifican las cargas en las juntas de soldadura en las bocas apoyadas.

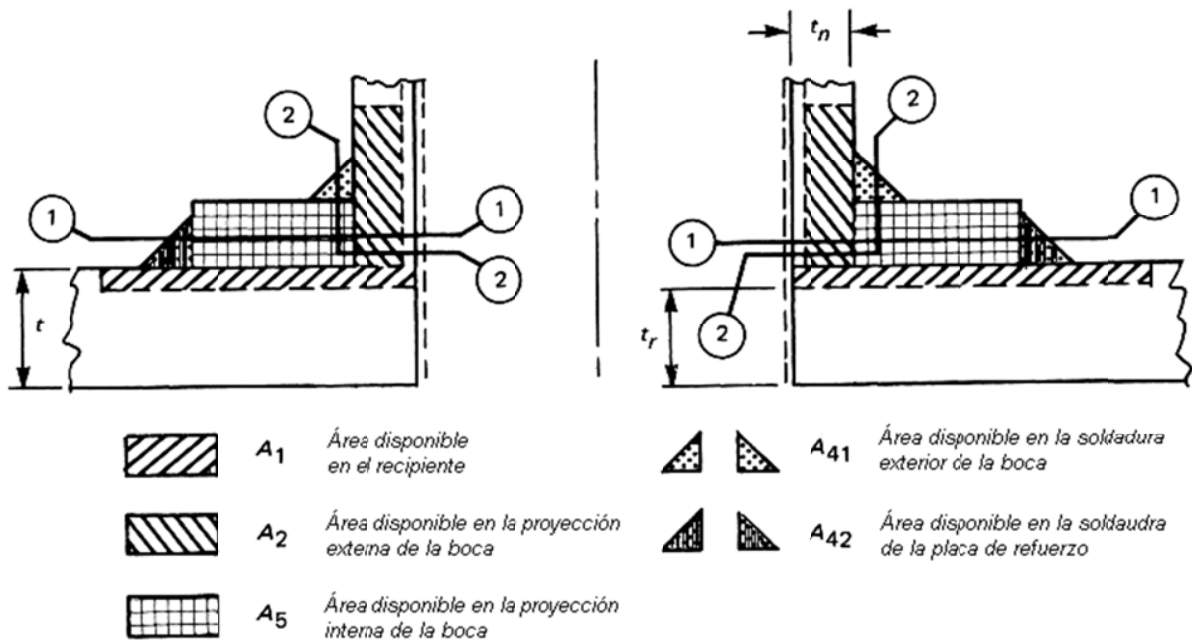


Figura 3.11 Cargas en las juntas de soldadura (bocas apoyadas)⁴⁸

⁴⁸ Fuente: ASME sección VIII, División 1

Donde:

W = Carga sobre todas las soldaduras. lb

D_p = Diámetro exterior del refuerzo. pulg

S_p = Esfuerzo permisible del material del refuerzo. psi

D_o = Diámetro externo de la conexión. pulg

leg_p = Altura de la soldadura en el refuerzo. pulg

- Carga sobre todas las soldaduras:

$$W = (A - A_1) * S_v \quad EC. 3.87$$

- Carga producida en la trayectoria 1 – 1:

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) * S_v \quad EC. 3.88$$

$$L_{1-1} = \frac{\pi}{2} * D_p * leg_p * 0.49 * S_p \quad EC. 3.89$$

$$L_{2-1} = \frac{\pi}{2} * (D_o - t_n + C_n) * t_n * 0.7 * S_n \quad EC. 3.90$$

$$L_{Total (1-1)} = L_{1-1} + L_{2-1} \quad EC. 3.91$$

Si $L_{Total (1-1)}$ es mayor que el menor valor entre W y W_{1-1} ; entonces, el esfuerzo en la soldadura es correcto.

- Cargas producidas en la trayectoria 2-2:

$$W_{2-2} = (A_2 + A_{41}) * S_v \quad EC. 3.92$$

$$L_{1-2} = \frac{\pi}{2} * D_o * t_e * 0.74 * S_p \quad EC. 3.93$$

$$L_{2-2} = \frac{\pi}{2} * D_o * t_r * 0.74 * S_p \quad EC. 3.94$$

$$L_{3-2} = \frac{\pi}{2} * (D_o + leg_{41}) * leg_{41} * 0.49 * S_n \quad EC. 3.95$$

$$L_{Total (2-2)} = L_{1-2} + L_{2-2} + L_{3-2} \quad EC. 3.96$$

Si $L_{Total (2-2)}$ es mayor que el menor valor entre W y W_{2-2} ; entonces, el esfuerzo en la soldadura es correcto.

3.3.9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PARA RECIPIENTES HORIZONTALES SOPORTADOS POR 2 SILLETAS

Un recipiente horizontal, montado sobre silletas, actúa como una viga; tal como lo señala el método de diseño presentado por “Pressure Vessel and Piping; Design and Analysis”, publicado como una práctica recomendado por la ASME, con las siguientes diferencias:

- Las condiciones de carga son diferentes para un recipiente total y parcialmente lleno.
- Los esfuerzos sobre el recipiente varían según el ángulo formado por las silletas.
- La carga del recipiente solo se combina con las demás cargas.

Las cargas que se deben considerar para el análisis de estabilidad de estos recipientes son:

- Reacción de las silletas. Se recomienda que para obtener estas reacciones se diseñe el recipiente para una carga completa de agua.
- Presión interna.
- Carga de viento. Los recipientes largos con relaciones pequeñas de t / r están sujetos a deformación por presión del viento.
- Cargas de impacto. Se deben tomar en cuenta al momento del diseño del tamaño de las silletas y de las soldaduras, ya que al momento del embarque se producen cargas de impacto difícilmente estimables.

Por lo general, la ubicación de las silletas se determina en base a la localización de las aberturas o sumideros en la parte inferior de los recipientes. Los recipientes de

pared delgada y diámetro grande se soportan mejor ubicando las silleas cerca de las cabezas, para de esta manera aprovechar el efecto atiesador de las cabezas.

Según el código ASME, el soporte contribuido por las silleas debe extenderse por lo menos $1/3$ de la circunferencia del cuerpo del recipiente. Es decir, el mínimo ángulo de contacto entre el cuerpo y la sillea es de 120° y el mayor ángulo de contacto es de 180° .

3.3.9.1 Esfuerzos en recipientes con 2 sillas

Los recipientes horizontales soportados por silleas están sometidos a tres tipos de esfuerzos, tales como: Esfuerzo flexionante longitudinal, Esfuerzo cortante tangencial y Esfuerzo circunferencial.

En la Figura 3.12 se nota que el esfuerzo a flexión se presenta en dos puntos del recipiente, tanto en las sillas como en la mitad del recipiente, mientras que los esfuerzos cortantes máximos se ubican sobre las silleas y en las cabezas

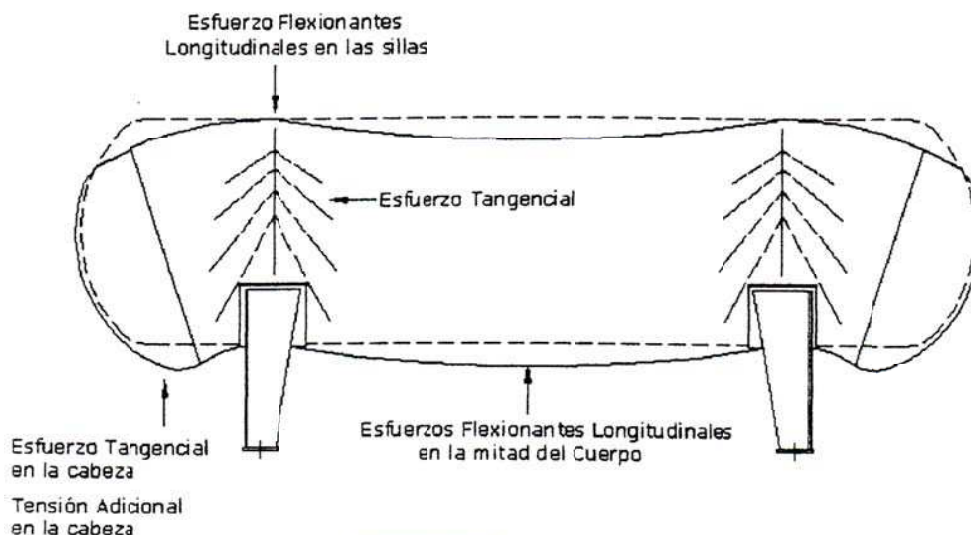


Figura 3.12 Esfuerzos a flexión y cortante en un tanque horizontal⁴⁹

⁴⁹ Fuente: Proyecto de titulación: Estandarización del diseño de recipientes a presión estacionarios para la industria petrolera, Jaime Guaita Defaz, Hernán Zambonino González

Los parámetros que se utilizan para el análisis de los esfuerzos ocasionados por las silletas en el recipiente son los siguientes (ver Figura 3.13):

Q = Carga sobre una silleta, lb.

R = Radio del cuerpo, pulg.

S = Esfuerzo aplicado sobre el recipiente, lb/pulg².

t_s = Espesor de la pared del cuerpo, pulg.

t_h = Espesor de la pared de la cabeza, pulg.

K = Constante (ver Anexo 1)

θ = Ángulo de contacto de la silleta, grados.

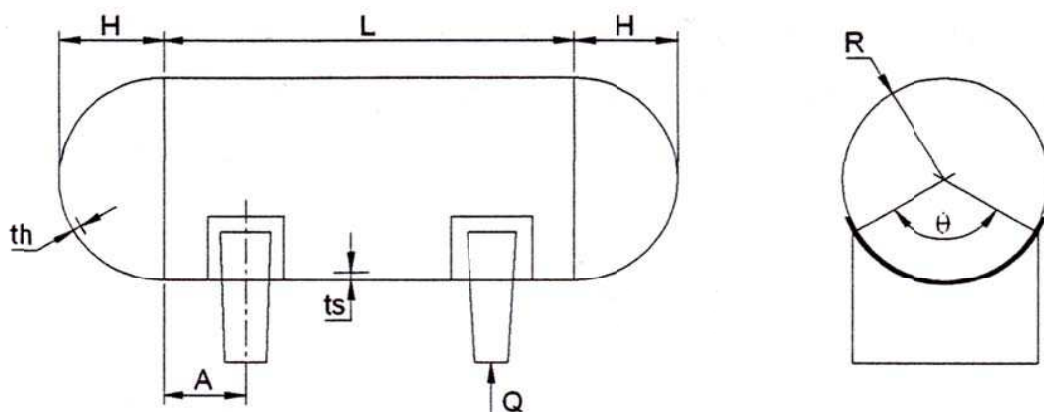


Figura 3.13 Parámetros utilizados⁵⁰

3.3.9.1.1 Esfuerzo flexionante longitudinal

El esfuerzo flexionante longitudinal se produce por la acción del recipiente al actuar en forma de viga simplemente apoyada. Al actuar el recipiente de esta manera, se presentan momentos máximos, tanto en la parte superior de las silletas como en la mitad de la longitud total del recipiente.

El esfuerzo flexionante puede ser de tensión o compresión. En la Figura 3.12 claramente se observan las membranas sometidas a tensión y compresión en los

⁵⁰ Fuente: Proyecto de titulación: Estandarización del diseño de recipientes a presión estacionarios para la industria petrolera, Jaime Guaita Defaz, Hernán Zambonino González

puntos mencionados anteriormente. En las silletas, la membrana superior está sometida a tensión y la membrana inferior a compresión; mientras que en la mitad del recipiente, la membrana superior se encuentra a compresión y la membrana inferior a tensión. Por lo tanto, se deben analizar los esfuerzos reales generados sobre el recipiente y los esfuerzos máximos permisibles para cada caso.

Estos esfuerzos son:

- *Esfuerzos reales*

a) Esfuerzos sobre las silletas, dado por la expresión:

$$S_1 = \pm \frac{Q * A \left[1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2A * L}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right]}{K_1 * R^2 * t_s} \quad EC.3.97$$

b) Esfuerzos en la mitad del recipiente, dado por la expresión:

$$S_1 = \pm \frac{\frac{Q * L}{4} \left[\frac{1 - 2 \frac{R^2 - H^2}{L^2}}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right]}{\pi * R^2 * t_s} \quad EC.3.98$$

- *Esfuerzos máximos permisibles*

a) Cuando está a tensión, el esfuerzo generado por la presión interna $\left(\frac{PR}{2t_s}\right)$ se suma al esfuerzo flexionante S_1 ; para de esta manera asegurar que el resultado sea menor al esfuerzo máximo permitido por el material del cuerpo del recipiente multiplicado por la eficiencia de la soldadura. Es decir, por:

$$S_1 + \frac{P * R}{2t_s} < S * E \quad EC.3.99$$

b) Cuando está a compresión, el esfuerzo generado por la tensión interna se resta del esfuerzo flexionante S_1 ; siendo el resultado mayor a la mitad del esfuerzo de fluencia del material del cuerpo del recipiente o mayor que la ecuación 3.57.

$$-S_1 - \frac{P * R}{2t_s} \geq 0.5 * \sigma_{fluencia} \quad EC. 3.100$$

$$S \leq \frac{E}{29} \left(\frac{t}{R} \right) \left[2 - \left(\frac{2}{3} \right) (100) \left(\frac{t}{R} \right) \right] \quad EC.3.101$$

3.3.9.1.2 Esfuerzo cortante tangencial

El esfuerzo cortante máximo depende principalmente de la distancia de la línea tangente de la cabeza y el eje de la silleta. También depende de si el cuerpo del recipiente tiene anillos atiesadores. Este esfuerzo puede presentarse en tres puntos distintos del recipiente.

Si las silletas se encuentran a una distancia de la cabeza de $A > R/2$, los esfuerzos se generan únicamente en la zona cercana de la silleta. Siendo:

- Esfuerzo en el cuerpo del recipiente sin anillos atiesadores. En este caso, el esfuerzo máximo cortante ocurre en el cuerno de la silleta; evaluado con la expresión:

$$S_2 = \frac{K_2 * Q}{R * t_s} \left(\frac{L - 2A}{L + \frac{4}{3}H} \right) \quad EC.3.102$$

- Esfuerzo en el cuerpo del recipiente usando anillos atiesadores. En este caso el esfuerzo cortante máximo ocurre en el eje de la silleta; Evaluado con la expresión:

$$S_2 = \frac{K_3 * Q}{R * t_s} \left(\frac{L - 2A}{L + \frac{4}{3}H} \right) \quad EC. 3.103$$

Si la distancia desde el eje de la silleta hasta la línea tangente de la cabeza es menor que la mitad del radio del cuerpo $A < R / 2$, los esfuerzos cortantes se deben analizar, tanto en el cuerpo como en la cabeza del recipiente. En este caso se debe considerar que al estar tan cercanas las silletas a las cabezas, se aprovecha el efecto atiesador de la cabeza y, por esta razón, se origina un esfuerzo cortante adicional sobre la cabeza.

- a) Esfuerzo cortante tangencial en el cuerpo del recipiente. Evaluado con la expresión:

$$S_2 = \frac{K_4 * Q}{R * t_s} \quad EC. 3.104$$

- b) Esfuerzo cortante tangencial sobre las cabezas. Evaluado con la expresión:

$$S_2 = \frac{K_4 * Q}{R * t_h} \quad EC. 3.105$$

- c) Esfuerzo cortante adicional sobre las cabezas. Evaluado con la expresión:

$$S_3 = \frac{K_5 * Q}{R * t_h} \quad EC. 3.106$$

El esfuerzo S_2 máximo permitido no debe exceder a más de 0.8 veces el esfuerzo máximo permitido del material del recipiente a la temperatura de diseño. Es decir:

$$S_2 < 0.8 * S \quad EC. 3.107$$

El esfuerzo S_3 , más el esfuerzo debido a la presión interna del recipiente, no debe exceder en más de 1.25 veces el esfuerzo máximo permitido del material de la cabeza; evaluando con la expresión:

$$S_3 < 1.25 * S_h \quad EC.3.108$$

Si se usa placa de desgaste en las silletas, para todas las fórmulas de S_2 se debe sumar el espesor de la placa de desgaste al espesor del cuerpo del recipiente; siempre y cuando la placa de desgaste llegue a $R/10$ pulgadas arriba del cuerpo de la silleta cerca de la cabeza y se extienda entre un atiesador y la silleta.

3.3.9.1.3 Esfuerzo circunferencial

Este esfuerzo se localiza tanto en los cuerpos de la silleta como en la parte inferior del cuerpo del recipiente. Este esfuerzo se genera principalmente por el contacto entre el recipiente y las silletas.

Cuando el recipiente no usa anillos atiesadores, los esfuerzos máximos se presentan en el cuerno de las silletas, y su intensidad depende de la relación entre el radio exterior del recipiente y la longitud del mismo. Las fórmulas que se utilizan son:

a) Cuando $L \geq 8 * R$ y el recipiente está sin atiesar:

$$S_4 = \frac{Q}{4t_s(b + 1.56\sqrt{R * t_s})} - \frac{3K_6 * Q}{2t_s^2} \quad EC.3.109$$

b) Cuando $L < 8 * R$ y el recipiente está sin atiesar:

$$S_4 = \frac{Q}{4t_s(b + 1.56\sqrt{R * t_s})} - \frac{12K_6 * Q * R}{L * t_s^2} \quad EC.3.110$$

El esfuerzo S_4 no debe ser mayor que 1.5 veces el valor del esfuerzo a tensión permitido del material del recipiente. Si el esfuerzo sobrepasa el límite, se recomienda usar placas de desgaste; que se calcula como se indicó anteriormente.

El valor de t_s^2 se puede expresar como la suma de los cuadrados de los espesores del recipiente y de la placa de desgaste. Cuando el anillo está atiesado, la máxima compresión ocurre en la parte inferior del recipiente; esfuerzo que se calcula con la expresión:

$$S_5 = \frac{K_7 * Q}{t_s(b + 1.56\sqrt{R * t_s})} \quad EC.3.111$$

Este esfuerzo tiene que ser menor a 0.5 veces el punto de fluencia a compresión del material del recipiente.

3.3.9.2 Diseño de placas para silletas

La función principal de las silletas es sostener al tanque para mantenerlo estable y a una distancia apropiada del suelo. Por lo tanto, las silletas son elementos que resisten todo el peso del recipiente y son sometidas a compresión pura.

De allí que también se puede deducir que los elementos que conforman las silletas son sometidos al esfuerzo de compresión. Estos elementos son placas planas distribuidas como se indica en la Figura 3.14.

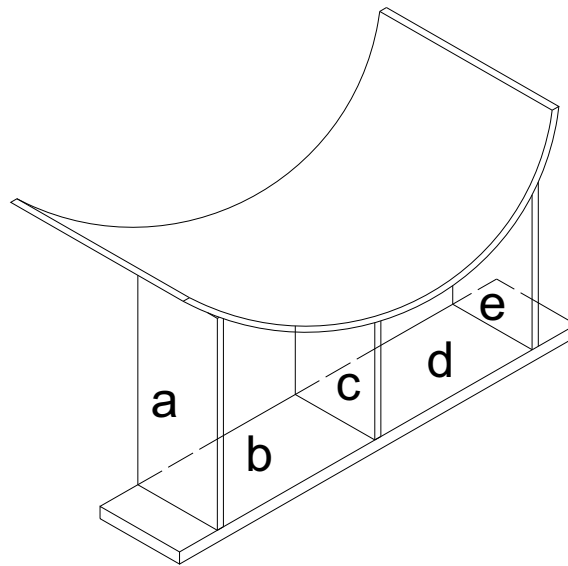


Figura 3.14 Diseño típico de silleteras empleadas en recipientes⁵¹

El pandeo es el principal problema de las placas planas, y puede suceder debido a los excesivos esfuerzos en los extremos opuestos de estas placas. El valor del esfuerzo crítico σ_{cr} a compresión se determina con la ecuación:

$$\sigma_{cr} = \left[\frac{k \cdot \pi^2 \cdot E'}{12(1-u^2)} \right] * \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad EC. 3.112$$

Donde:

E' = módulo de elasticidad, lb/pulg²

t = espesor de la placa, pulg

b = ancho de la placa, pulg

u = módulo de Poisson

k = constante de geometría y apoyos de la placa.

⁵¹ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

Fuente: Proyecto de titulación: Estandarización del diseño de recipientes a presión estacionarios para la industria petrolera, Jaime Guaita Defaz, Hernán Zambonino González

La ecuación anterior se puede aplicar mientras el esfuerzo crítico sobre el material se encuentre por debajo del límite de proporcionalidad, ya que dentro de este rango el material se encuentra en el campo elástico y se puede utilizar el módulo de Young como módulo de elasticidad.

En el caso de que el esfuerzo crítico sea mayor que el límite de proporcionalidad, se presenta un análisis en el que se indica que se puede utilizar como módulo de elasticidad al módulo de tangencia E_t (pendiente de la tangente de la curva esfuerzo-deformación) que se determina por medio de la multiplicación del factor ϕ al módulo de elasticidad.

Otra forma para determinar el esfuerzo crítico se basa en la división de la curva de pandeo del material en tres zonas diferentes y, además, se diseña con un esfuerzo crítico menor al 25% del límite de proporcionalidad.

En la primera zona se dice que el material todavía se encuentra en el campo elástico y se utiliza la ecuación EC. 3.63 con E' igual al módulo de elasticidad de Young. Esta zona se encuentra entre $0 < \lambda < 20$, donde λ representa la esbeltez del material.

La segunda zona se limita con un esfuerzo crítico igual a:

$$\sigma_{cr} = 1.8\sigma_y - n * \lambda \quad EC. 3.113$$

Donde:

$\lambda =$ esbeltez del material,

$$\lambda = \frac{\left(\frac{b}{t}\right)}{\sqrt{k}} \quad EC 3.114$$

para esta zona, la esbeltez se encuentra entre $20 < \lambda < 35$

$\sigma_y =$ resistencia a la rotura del material





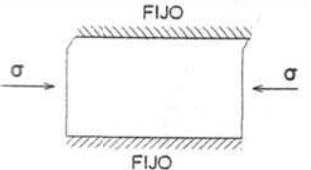
$$n = \sqrt{\frac{\sigma_y^3}{4770}} \quad EC.3.115$$

La tercera zona se encuentra desde $\lambda > 35$ y el esfuerzo máximo se expresa por la ecuación:

$$\sigma_{cr} = 0.75 \left[\frac{k * \pi^2 * E'}{12(1 - u^2)} \right] * \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad EC.3.116$$

En la Tabla 3.2 se presentan los valores del factor k para cada una de las posibles situaciones en las que puede estar soportada la placa.

Tabla 3.2 Valores de la constante k ⁵²

Tipo de soporte	Constante k
	0.425
	1.227
	4.0
	5.42
	6.97

Luego de encontrar el valor del esfuerzo crítico, se calcula la carga máxima admisible a la que puede estar sometida cada una de las placas que conforman la silleta. La carga máxima admisible se calcula la ecuación:

$$Q_p = \sigma_{cr} * A_p \quad EC. 3.117$$

⁵² Fuente: Proyecto de titulación: Estandarización del diseño de recipientes a presión estacionarios para la industria petrolera, Jaime Guaita Defaz, Hernán Zambonino González

Donde:

Q_p = carga máxima admisible, lb

A_p = sección transversal de la placa, pulg²

Se dice que la placa se encuentra bien dimensionada si la carga real aplicada sobre cada una de las placas es menor a la carga máxima admisible.

3.3.10 DISEÑO DE OREJAS DE IZAJE

Las orejas de izaje son elementos de sujeción del tanque. Su principal función es dar puntos de apoyo para que el tanque pueda ser elevado y de esta manera transportarlo hacia el sitio donde va a operar. Las orejas de izaje son por lo general dos placas con orificios que se sueldan al tanque para sujetarse al cuerpo cilíndrico del mismo. En la Figura 3.15 se presenta un esquema de las orejas de izaje.

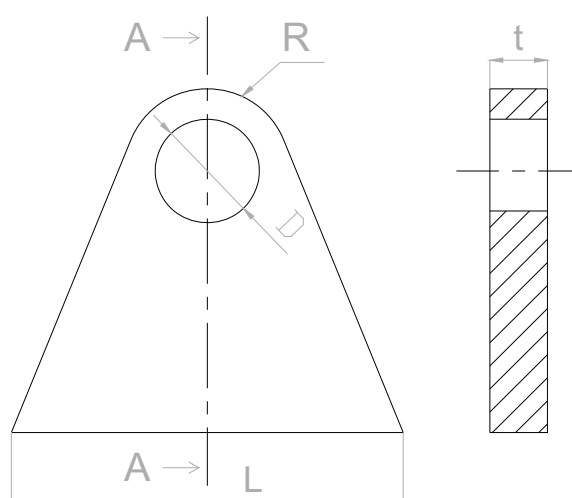


Figura 3.15 Orejas de izaje ⁵³

Se realiza un análisis a dos puntos de las orejas. Se debe comprobar si el tamaño del ancho del cordón de soldadura es suficiente para resistir el esfuerzo cortante.

⁵³ Elaborado Por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

Fuente: Proyecto de titulación: Estandarización del diseño de recipientes a presión estacionarios para la industria petrolera, Jaime Guaita Defaz, Hernán Zambonino González

Además, también se comprueba que la sección del orificio de la placa resista el esfuerzo de corte sobre ella. Por este motivo se analizará por separado cada uno de sus elementos.

3.3.10.1 Análisis de la resistencia de los cordones de soldadura

Se recomienda tomar en cuenta las recomendaciones que las especificaciones AWS (American Welding Society) brinda para preparar la soldadura a filete de dos placas perpendiculares. Estas especificaciones indican las dimensiones mínimas a las que se debe preparar la junta y del ancho del cordón. Para placas de 6 mm de espesor mayor se recomienda que el ancho de soldadura sea 2 mm menor, mientras que para espesores menores el ancho de la soldadura es igual al espesor de la placa.

Por otro lado, se debe determinar la resistencia al corte de la garganta del cordón usado. Se prefiere usar filetes a 45° por su facilidad de fabricación. Para la comprobación de la resistencia de la soldadura se deben considerar los siguientes parámetros:

w' = pie (ancho) del filete utilizado, pulg

l = longitud del filete, pulg

f = esfuerzo permisible en el pie del filete de soldadura, klb/pulg²

q = carga sobre cada oreja de izaje, klb

q_u = carga por unidad de longitud, klb/pulg

w = pie (ancho) mínimo requerido del filete de soldadura, pulg

La carga se determina multiplicando el valor del peso del recipiente vacío por un factor de 1.5 como factor de seguridad.

$$q = 1.5W_{vacío} \quad EC. 3.118$$

La carga q_u se determina dividiendo la carga q para la longitud del cordón de soldadura l .

$$q_u = \frac{q}{l} \quad EC. 3.119$$

Finalmente, el ancho de soldadura mínimo requerido se determina dividiendo la carga q_u para el esfuerzo permisible del material. Este ancho de soldadura debe ser menor al pie o ancho a usar en el diseño.

$$w = \frac{q_u}{f} \quad EC. 3.120$$

3.3.10.2 Análisis de la resistencia al corte por tracción de la placa de la oreja de izaje

Particularmente se debe analizar la resistencia al corte en la sección donde el área es menor. Esta sección es justamente la que es adyacente al orificio de izaje. De acuerdo a lo expresado anteriormente, se calcula el esfuerzo crítico de corte S_{cr} por medio de:

$$S_{cr} = \frac{q}{2h * t} \quad EC. 3.121$$

Donde:

q = carga sobre cada oreja, klb

h = ancho de la sección crítica, pulg

t = espesor de la placa de la oreja, pulg

Este esfuerzo crítico debe ser menor al esfuerzo permisible al corte que es igual al 40% del esfuerzo último al corte (S_y).

$$[\sigma]_{adm} = 0.4S_y \quad EC. 3.122$$

3.3.11 PARÁMETROS PARA SELECCIONAR LAS PARTES INTERNAS DEL SEPARADOR

El recipiente es en sí parte de un conjunto que necesariamente debe contener partes internas para poder ser utilizado y pueda brindar su servicio al sistema donde está adaptado.

Las partes internas importantes consideradas en un separador de crudo son las siguientes:

- Deflector
- Placas rompe olas
- Extractor de niebla
- Rompe vórtices

El diseño de las partes internas es exclusivo del fabricante, por lo que no existen diseños estandarizados para los elementos internos del separador; lo que obliga al diseñador del recipiente a regirse al diseño del constructor de las partes internas bajo parámetros emitidos en el diseño del recipiente.⁵⁴

La selección de estas partes depende fundamentalmente de:

- Dimensiones del recipiente
- Flujo de fase continua (crudo)
- Flujo de fase dispersa (agua)
- Temperatura
- Presión de operación
- Presión de diseño
- Gravedad específica del agua
- Gravedad específica del crudo
- Viscosidad
- Corte de agua

⁵⁴ ACERO DE LOS ANDES, ACINDEC, BYT, SANTOS SMI.

En el Anexo 2 se encuentran catálogos de las partes internas del separador de los diferentes fabricantes; a partir de los cuales el diseñador selecciona al ó los proveedores de las partes que se requieren para el separador.

3.3.12 ACCESORIOS DE SEGURIDAD EN UN SEPARADOR

Un accesorio de seguridad de un separador es un dispositivo de alivio de presión que se utiliza para proteger vidas y bienes materiales cuando las medidas de control del recipiente fallan. Las normas ASME y API recomiendan que todos los recipientes que puedan tener una sobrepresión deban estar protegidos por estos mecanismos. Una apropiada selección, ubicación y mantenimiento de estas válvulas son esenciales para el correcto funcionamiento y protección del sistema.

La selección de estos accesorios depende fundamentalmente de la presión máxima permisible de operación a la que trabaja y del tamaño del recipiente. En el anexo 8.1 del presente proyecto podemos encontrar tablas donde de acuerdo a la presión y tamaño de abertura de la boquilla podemos seleccionar la válvula de alivio indicada. En el anexo 8.2 se detalla un formato de especificaciones para requerimiento de estas válvulas.

3.3.13 CÁLCULO DEL DISEÑO DEL SEPARADOR TRIFÁSICO HORIZONTAL PARA EL CAMPO SECOYA DE 30000 BPPD

3.3.13.1 Dimensionamiento hidráulico

Para el cálculo del diseño hidráulico se obtuvieron las variables especificadas en el Capítulo I, las cuales, a excepción del tiempo de retención y el diámetro de la partícula que fueron asumidos en forma empírica, son medibles.

Los siguientes datos se obtuvieron de la Empresa Estatal Petroecuador en base a los requerimientos de la Estación de Producción Secoya; Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Datos de la Estación de Producción Secoya⁵⁵

Q_w	8490 BPPD
Q_o	21510 BWPD
Q_g	0.280 MMSCFD
$P_{operacion}$	24 psia
$P_{diseño}$	100 psia
P_{prueba}	130 psia
$T_{operacion}$	94 °F
$T_{operacion}$	553.7 R
°API	29
γ_w	1.07
γ_g	1.182
γ_o	0.8816 (29 °API)
t_o	6 min
t_w	6 min
$\mu_o(cp)$	13.521
$\mu_g(cp)$	0.0102
Z	0.988
C_D	4.5
$d_{m(continua)}$	500 micrones
$d_{m(gas)}$	100 micrones

Se calcula el espesor máximo de la almohadilla de crudo $h_{omáx}$ que se encuentra en el separador:

$$h_{omáx} = \frac{0.00128 * t_o * (\gamma_w - \gamma_o) * d_m^2}{\mu_o}$$

$$h_{omáx} = \frac{0.00128 * (10) * (1.07 - 0.8816) * 500^2}{13.521}$$

⁵⁵ Fuente: Empresa Publica PETROECUADOR
Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo.

$$h_{om\acute{a}x} = 46 \text{ pulg}$$

Determinar el valor de la relación A_w / A :

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{Q_w * t_w}{Q_o * t_o + Q_w * t_w}$$

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{8490 * 10}{21510 * 10 + 8490 * 10}$$

$$\frac{A_w}{A} = 0.14$$

Para determinar el valor de H_o / D para la relación A_w / A se usa la Figura 3.2:

$$\frac{H_o}{D} = 0.30$$

Se calcula el diámetro máximo del separador $D_{m\acute{a}x}$

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{H_{om\acute{a}x}}{\frac{H_o}{D}}$$

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{46}{0.3}$$

$$D_{m\acute{a}x} = 153.3 \text{ pulg}$$

$$D_{m\acute{a}x} = 3.8 \text{ m}$$

Para satisfacer el límite de capacidad del gas se emplea la siguiente expresión, reemplazado d_m por $100\mu\text{m}$.

$$L * D = 422 \frac{T * Z * Q_g}{P_{operacion}} \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2}$$

Donde:

$$\rho_g = 2.7 \frac{\gamma_g * P_{operacion}}{T * Z}$$

$$\rho_g = 2.7 \frac{1.182 * 24}{553.7 * 0.988}$$

$$\rho_g = 0.1324 \frac{lb}{ft^3}$$

$$\rho_l = \rho_w * \gamma_l$$

$$\rho_l = 62.4 * 0.8816$$

$$\rho_l = 55.01 \frac{lb}{ft^3}$$

Entonces:

$$L * D = 422 \frac{553.7 * 0.988 * 1.5}{24} \left[\left(\frac{0.1324}{55.01 - 0.1324} \right) \frac{4.5}{100} \right]^{1/2}$$

$$L * D = 150.34 \equiv \text{Ecuación 1}$$

Para satisfacer el límite de capacidad del líquido se utiliza la siguiente expresión:

$$D^2 * L = 1.429[Q_w * t_w + Q_o * t_o]$$

$$D^2 * L = 1.429[8490 * 6 + 21510 * 6]$$

$$D^2 * L = 257220 \equiv \text{Ecuación 2}$$

Comparando *Ecuación 1* y *Ecuación 2* se puede observar que el líquido gobierna la capacidad del tanque ya que E_2 es mayor a E_1 , por lo tanto, la expresión para determinar L_{ss} será:

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

Generándose la siguiente Tabla de valores donde se asumen los datos de diámetro.

Tabla 3.4 Valores de las longitudes de los separadores⁵⁶

<i>D (pulg)</i>	<i>L (ft)</i>	<i>L_{ss} (ft)</i>	<i>12L_{ss} /d (ft)</i>
72	49.62	66.16	11.03
78	42.28	56.37	8.67
84	36.45	48.6	6.94
90	31.76	42.35	5.64
96	27.91	37.21	4.65
102	24.72	32.96	3.88
108	22.05	29.4	3.27

Debido a que la relación de esbeltez más común es entre 3 y 5, los últimos tres valores de diámetro y longitud de la Tabla 3.4 cumplen con esta relación; siendo los adecuados para la construcción del separador. Normalmente, los separadores con diámetro más pequeño y longitud más larga es menos costoso que un separador de

⁵⁶ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

diámetro más grande y longitud más pequeña. Por lo tanto, se selecciona un separador con diámetro 102 pulgadas, longitud efectiva de 24.72 ft y longitud de costura de 32.96 ft.

3.3.13.2 Dimensionamiento mecánico

Para el cálculo del dimensionamiento mecánico se toman las siguientes consideraciones:

El material seleccionado para las tapas y el cuerpo es el acero SA 516-70; que es un material que recomienda la ASME. Con un factor de seguridad de 4 y las tapas son de forma semielípticas, donde se tienen los siguientes datos:

Esfuerzo permisible máximo $S = 15700$ psi.

Eficiencia de la junta soldada $E = 0.85$.⁵⁷

Corrosión permisible C.A. = 0.125 pulg.

Los datos de operación del separador se presentan en la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Datos de operación⁵⁸

$P_{operacion}$	24 psia
$P_{diseño}$	100 psia
P_{prueba}	130 psia
$T_{operacion}$	94 °F
$T_{operacion}$	553.7 R
°API	29
$D_{interior}$	102 pulg
L	24.72 ≈ 25 ft
L_{ss}	32.96 ≈ 33 ft

⁵⁷ Tabla 3.1: Tipos de juntas y valores E de la eficiencia de la soldadura

⁵⁸ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo.

3.3.13.2.1 Espesor del cuerpo

- **Esfuerzo radial**

Con la ecuación 3.37 se calcula el espesor necesario para soportar los esfuerzos radiales de la presión de diseño.

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P}$$

$$t = \frac{100 * 51}{15700 * 0.85 - 0.6 * 100}$$

$$t = 0.38 \text{ pulg}$$

Al espesor anteriormente calculado se le suma el espesor de corrosión permisible C.A. Con este nuevo espesor se calcula la presión que soportará el separador al ser construido.

$$t_1 = t + C.A$$

$$t_1 = 0.38 + 0.125$$

$$t_1 = 0.505 \text{ pulg}$$

$$P = \frac{S * E * t_1}{R + 0.6t_1}$$

$$P = \frac{15700 * 0.85 * 0.505}{51 + 0.6 * 0.505}$$

$$P = 131.36 \text{ psi}$$

- **Esfuerzo axial**

De la ecuación 3.40 se calcula el espesor necesario para soportar los esfuerzos axiales de la presión de diseño.

$$t_a = \frac{P * R}{2S * E - 0.4P}$$

$$t_a = \frac{100 * 51}{2 * 15700 * 0.85 - 0.4 * 100}$$

$$t_a = 0.19 \text{ pulg}$$

$$t_1 = t_a + C.A$$

$$t_1 = 0.19 + 0.125$$

$$t_1 = 0.315 \text{ pulg}$$

$$P = \frac{2S * E * t_1}{R + 0.4t_1}$$

$$P = \frac{2 * 15700 * 0.85 * 0.315}{51 + 0.4 * 0.315}$$

$$P = 164.44 \text{ psi}$$

3.3.13.2.2 Espesor de las tapas semielípticas

De la ecuación 3.42 se calcula el espesor necesario para soportar los esfuerzos generados por la presión de diseño.

$$t_c = \frac{P * D}{2S * E - 0.2P}$$

$$t_c = \frac{100 * 102}{2 * 15700 * 0.85 - 0.2 * 100}$$

$$t_c = 0.38 \text{ pulg}$$

Al espesor anteriormente calculado se le suma el espesor de corrosión permisible. Con este nuevo espesor se calcula la presión que soportará el separador al ser construido.

$$t_1 = t_c + C.A$$

$$t_1 = 0.38 + 0.125$$

$$t_1 = 0.505 \text{ pulg}$$

$$P = \frac{2S * E * t_1}{R + 0.2t_1}$$

$$P = \frac{2 * 15700 * 0.85 * 0.505}{51 + 0.2 * 0.505}$$

$$P = 263.76 \text{ psi}$$

Se utiliza el mayor espesor calculado anteriormente, garantizando de esta manera que el cuerpo y tapas del separador resistirán todos los esfuerzos que actúan por la presión que soportan, siendo el espesor:

$$t = 0.505 \text{ pulg}$$

3.3.13.3 Peso del recipiente

3.3.13.3.1 Peso del cuerpo cilíndrico

Para obtener el peso del recipiente se emplean los valores especificados en la Tabla del Anexo 3⁵⁹. Para el uso de esta tabla se procede de la siguiente manera:

- En la tabla se localiza el espesor del cuerpo correspondiente; en este caso se usa la columna de 9/16”.
- Localizar el diámetro del cuerpo del tanque anteriormente calculado.
- Si el diámetro calculado es el interno, utilizar la columna correspondiente a D.I; y, si el diámetro es el externo, utilizar la columna correspondiente a D.E.
- El valor obtenido es el peso en libras del tanque por pie de longitud.
- Para obtener el peso del cuerpo del recipiente se debe multiplicar el valor por la longitud del tanque en pies.

$$D (IS) = 102 \text{ pulg}$$

$$t = 9/16''$$

por lo tanto:

$$W = 617 \text{ lb/ft}$$

⁵⁹ Pressure Vessel Handbook, Megyesy.

$$W_{\text{cuerpo}} = W * L_{ss}$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 547 * 33$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 20361 \text{ lb} = 9235.59 \text{ kg}$$

3.3.13.3.2 *Peso de las cabezas*

Para obtener el peso de las cabezas se repiten los pasos 1 y 2 anteriormente mencionados. En este caso se debe tomar en cuenta los espesores de cabezas semielípticas.

$$D \text{ (IS)} = 102 \text{ pulg}$$

$$t = 9/16''$$

por lo tanto:

$$W = 2131 \text{ lb} = 966.61 \text{ kg}$$

3.3.13.3.3 *Peso total del recipiente*

El peso total del recipiente es igual a la suma del peso del cuerpo más el peso de las cabezas. A este valor se debe añadir el peso de la soldadura que se estima generalmente en el 6% de la suma total.

$$W_{\text{total}} = (2 * W_{\text{cabeza}} + W_{\text{cuerpo}}) * 1.06$$

$$W_{\text{total}} = (2 * 2131 + 20361) * 1.06$$

$$W_{\text{total}} = 26100.4 \text{ lb} = 11838.9 \text{ kg}$$

3.3.13.4 Peso del contenido

La norma señala para calcular el peso del contenido se debe considerar como si el recipiente este lleno de agua en toda su capacidad.

Se debe calcular el volumen interior del recipiente, para esto se recomienda emplear los valores de la Tabla del Anexo 4⁶⁰.

Volumen del cuerpo

$$D = 102 \text{ pulg}$$

Por lo tanto

$$V = 56.7 \text{ ft}^3/\text{ft}_{\text{long}}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = 56.7 \text{ ft}^3/\text{ft}_{\text{long}} * 33 \text{ ft}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = 1871.1 \text{ ft}^3$$

Volumen de las cabezas

$$D = 102 \text{ pulg}$$

Por lo tanto

$$V = 80.3 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{cabezas}} = 80.3 \text{ ft}^3 * 2$$

⁶⁰ Pressure Vessel Handbook, Megyesy.

$$V_{cabezas} = 160.6 \text{ ft}^3$$

Volumen del recipiente

$$V_{recipiente} = V_{cuerpo} + V_{cabeza}$$

$$V_{recipiente} = 1871.1 + 160.6$$

$$V_{recipiente} = 2031.7 \text{ ft}^3 = 57.53 \text{ m}^3$$

Peso del contenido

$$m_{agua} = \delta * V_{recipiente}$$

$$m_{agua} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 57.53 \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 57530 \text{ kg} = 126832 \text{ lb}$$

$$W_{contenido} = 126832 \text{ lb}$$

3.3.13.5 Cálculo del diseño de las silletas

Los parámetros que se deben tomar en cuenta para el análisis de reacciones de las silletas y resistencia del recipiente se muestran en la Figura 3.16.

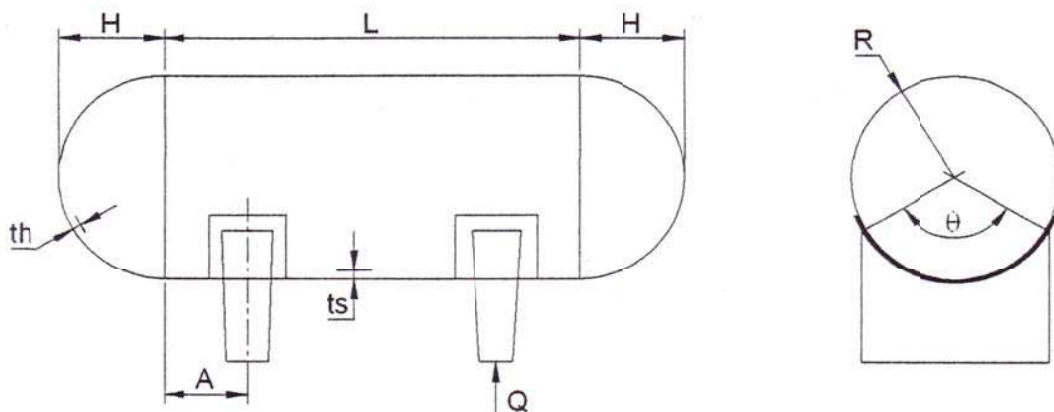


Figura 3.16 Parámetros que se deben considerar para el cálculo de diseño de las silletas⁶¹

Donde:

$$L_{SS} = 33 \text{ ft}$$

$$H = 17.875 \text{ pulg}^{62}$$

$$t_s \text{ (espesor del cuerpo)} = 0.505 \text{ pulg}$$

$$t_1 \text{ (espesor de las cabezas)} = 0.505 \text{ pulg}$$

$$R_o = 51.505 \text{ pulg}$$

$$\Theta = 120^\circ$$

$$S = 15700 \text{ psi}$$

$$E = 0.85$$

⁶¹ Fuente: Proyecto de titulación: Estandarización del diseño de recipientes a presión estacionarios para la industria petrolera, Jaime Guaita Defaz, Hernán Zambonino González

⁶² Anexo 5. Dimensiones de las cabezas

Reacciones de la silletas sobre el recipiente.

$$Q = \frac{W_{recipiente} + W_{contenido}}{2}$$

$$Q = \frac{26100.4 + 126832}{2}$$

$$Q = 76466.2 \text{ lb}$$

3.3.13.5.1 Análisis de resistencia del recipiente

Se calcula los valores de los esfuerzos flexionantes, cortantes y de compresión a los que estará sometido el recipiente al tener contacto con las silletas de soporte.

3.3.13.5.2 Esfuerzo flexionante de la silleta

Para este caso no se calculará el esfuerzo a compresión ya que no es un factor predominante visto que $t_s / R > 0.005$. En este diseño, la relación $t_s / R = 0.00998$.

El factor K_1 para el cálculo del esfuerzo a tensión es función del ángulo de contacto de las silletas con el recipiente; este factor está especificado en la tabla del Anexo 1.⁶³

A = 60 pulg, distancia de la línea de tangencia de la cabeza al centro de la silleta.

⁶³ Pressure Vessel Handbook; Megyesy

Esfuerzo sobre la silleta

$$S_{1A} = \frac{Q * A \left[1 - \frac{1 - \frac{A}{L_{SS}} + \frac{R^2 - H^2}{2A * L_{SS}}}{1 + \frac{4H}{3L_{SS}}} \right]}{K_1 * R^2 * t_s}$$

$$S_{1A} = \frac{76466.2 * 60 \left[1 - \frac{1 - \frac{60}{396} + \frac{51.505^2 - 17.875^2}{2 * 60 * 396}}{1 + \frac{4 * (17.875)}{3 * (396)}} \right]}{0.335 * 51.505^2 * 0.505}$$

$$S_{1A} = 1567.92 \text{ psi}$$

Esfuerzo en la mitad del recipiente.

$$S_{1B} = \frac{\frac{Q * L}{4} \left[\frac{1 - 2 \frac{R^2 - H^2}{L^2}}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right]}{\pi * R^2 * t_s}$$

$$S_{2B} = \frac{\frac{76466.2 * 396}{4} \left[\frac{1 + 2 \frac{51.505^2 - (17.875)^2}{396^2}}{1 + \frac{4(17.875)}{3 * 396}} - \frac{4 * 60}{396} \right]}{\pi * 51.505^2 * 0.505}$$

$$S_{2B} = 656.965 \text{ psi}$$

3.3.13.5.3 Análisis de resistencia

El análisis de resistencia permite comparar el esfuerzo real con el esfuerzo real admisible al que estará sometido el tanque debido a los esfuerzos longitudinales de flexión.

Esfuerzo producido por la presión interna

$$S = \frac{P * R}{2 * t_s}$$

$$S = \frac{100 * 51.505}{2 * 0.505}$$

$$S = 5099.5 \text{ psi}$$

Se escoge el esfuerzo mayor entre el esfuerzo sobre las silletas S_{1A} y el esfuerzo en la mitad del recipiente S_{1B} , donde:

$$S + S_{1A} \leq E * S_{admissible}$$

$$5099.5 + 1567.92 \leq 0.85 * 15700$$

$$6667.42 \text{ psi} \leq 13345 \text{ psi}$$

Por lo tanto, el recipiente si soporta esfuerzos flexionantes y no es necesario emplear anillos atiesadores.

3.3.13.5.4 Esfuerzo cortante tangencial

Como los esfuerzos se presentan solo en la zona cercana a la silleta ($A > R/2$) y el recipiente no usa anillos atiesadores, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$S_2 = \frac{K_2 * Q}{R * t_s} \left(\frac{L - 2A}{L + \frac{4}{3}H} \right)$$

$$S_2 = \frac{1.171 * 76466.2}{51.505 * 0.505} \left(\frac{(396) - 2 * 60}{(396) + \frac{4}{3}(17.875)} \right)$$

$$S_2 = 2263.17 \text{ psi}$$

Para comprobar la resistencia del recipiente, el esfuerzo máximo permitido no debe ser mayor a 0.8 veces el esfuerzo admisible del material. De ahí que:

$$S_2 \leq 0.8 * S_{\text{admissible}}$$

$$2263.17 \text{ psi} \leq 0.8 * 15700 \text{ psi}$$

$$2263.17 \text{ psi} \leq 12560 \text{ psi}$$

Por lo tanto, el recipiente resistirá los esfuerzos cortantes y no será necesario el uso de placas de desgaste.

3.3.13.5.5. Esfuerzo circunferencial

En el cálculo del esfuerzo circunferencial se debe considerar si el cuerpo está atiesado o no, y se debe calcular la compresión del recipiente en la parte inferior del mismo.

Esfuerzo en el cuerpo de la silleta

Como anteriormente se mencionó, el cuerpo no necesita anillos atiesadores y, además, se cumple que $L < 8 R$; entonces, se utiliza la siguiente ecuación:

$$(33 \cdot 12) < 8 \cdot (51.505)$$

$$(33 \cdot 12) < 8 \cdot (51.505)$$

$$396 < 412.04$$

Por lo tanto:

$$S_4 = \frac{Q}{4t_s(b + 1.56\sqrt{R} * t_s)} - \frac{12K_6 * Q * R}{L * t_s^2}$$

$$S_4 = \frac{76466.2}{4 * 0.505(8 + 1.56\sqrt{51.505} * 0.505)} - \frac{12 * 0.053 * 76466.2 * 51.505}{(396) * 0.505^2}$$

$$S_4 = -22430.2 \text{ psi}$$

Para que el recipiente soporte el esfuerzo circunferencial, el S_4 debe ser menor a 1.5 el esfuerzo admisible del material.

$$S_4 \text{ psi} < 1.5 * S_{\text{admissible}} \text{ psi}$$

$$22430.2 \text{ psi} < 1.5 * 15700 \text{ psi}$$

$$22430.2 \text{ psi} < 23550 \text{ psi}$$

Por lo tanto, el recipiente si soporta el esfuerzo circunferencial.

3.3.13.6 Dimensionamiento de las principales boquillas

3.3.13.6.1 Cálculo del refuerzo del registro de inspección (Manhole)

Estos registros son aberturas que se realizan al recipiente para su habitual inspección y limpieza. El código ASME VIII, División I, da opciones que se pueden considerar para poder colocar un registro de inspección en el recipiente.

Según las limitaciones mencionadas en el literal 3.3.8.2 y la Tabla 3.6, para el separador diseñado de 102 *pulg.* de diámetro interior se selecciona un registro M_1 de 20 *pulg.* ubicado en la mitad de la longitud del cuerpo y un registro M_2 de 20 *pulg.* ubicado en la cabeza del ingreso del crudo.

Tabla 3.6 Dimensiones sugeridas para registros de inspección⁶⁴

DIÁMETRO INTERIOR DEL RECIPIENTE	REGISTRO DE INSPECCIÓN REQUERIDO
Mayor de 12 <i>pulg.</i> (300 mm) y menor a 18 <i>pulg.</i> (460 mm)	Dos aberturas con tubo roscado de 1 ½ <i>pulg.</i> de diámetro
De 18 <i>pulg.</i> (460 mm) a 36 <i>pulg.</i> (915 mm)	Abertura mínima de 15 <i>pulg.</i> de diámetro interior o dos aberturas con tubo roscado de 2 <i>pulg.</i> de diámetro
Mayor a 36 <i>pulg.</i> (915 mm)	Abertura mínima de 15 <i>pulg.</i> de diámetro interior o dos boquillas con tubo de 6 <i>pulg.</i> de diámetro

- **Refuerzo requerido para la abertura del registro de inspección (M_1 y M_2)⁶⁵**

Para una abertura cuyo diámetro nominal es de 20 *pulg.* se recomienda que la distancia saliente del tubo sea de 10⁶⁶ *pulg.* A continuación se presenta un esquema

⁶⁴ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo.

⁶⁵ Anexo 8: Planos Constructivos del Separador.

⁶⁶ Anexo 6: Mínima extensión sugerida para los registros.

con las dimensiones más relevantes para el cálculo del refuerzo requerido para esta abertura.

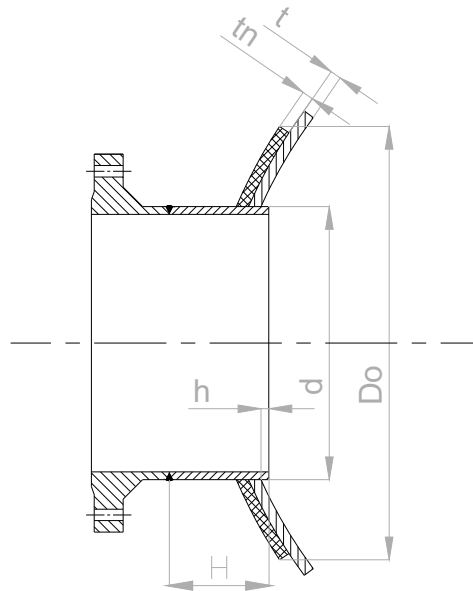


Figura 3.17 Esquema de las dimensiones más relevantes para el cálculo del refuerzo de la abertura⁶⁷

Cálculo sin elemento de refuerzo

1. Cálculo de espesor requerido para la boquilla

$$t_{rn} = \frac{P * R_n}{S * E - 0.6P}$$

$$t_{rn} = \frac{100 * 10}{15700 * 1 - 0.6 * 100} = 0.065 \text{ pulg}$$

⁶⁷ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo
Manual de recipientes a presión Megyesy

2. Datos de diseño

$$d = 20 \text{ pulg.}$$

$$t_n = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$t_r = 0.38 \text{ pulg.}$$

$$t_m = 0.065 \text{ pulg.}$$

$$t = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$h = 1.0 \text{ pulg.}^{68}$$

$$\text{leg}_{4-1} = 0.354 \text{ pulg.}$$

$$\text{Leg}_{4-3} = 0.551 \text{ pulg.}$$

$$C.A = 0.125 \text{ pulg.}$$

$$E = 1$$

$$S_v = 15700 \text{ psi.}$$

$$S_n = 15000 \text{ psi.}$$

$$fr_1 = 0.95$$

$$fr_2 = 0.95$$

$$F = 1^{69}$$

3. Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2t_n * t_r * F(1 - fr_1)$$

$$A = 20 * 0.38 * 1 + 2 * 0.505 * 0.38 * 1(1 - 0.95)$$

$$A = 7.62 \text{ pulg}^2$$

4. Área disponible en el cuerpo (usar el mayor valor)

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - fr_1)$$

$$A_1 = 20(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1a} = 2.48 \text{ pulg}^2$$

⁶⁸ Anexo 7-2: Distancia de penetración de la boquilla en el casco

⁶⁹ ASME VIII, División 1, UG-37

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0.505 + 0.505)(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1b} = 0.25 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto, el área disponible en el cuerpo es: $A_1 = 2.48 \text{ pulg}^2$

5. Área disponible en la boca parte exterior (usar el menor valor)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.065) * 0.95 * 0.505$$

$$A_{2a} = 1.05 \text{ pulg}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.065) * 0.95 * 0.505$$

$$A_{2b} = 1.05 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto, el área disponible en la boca parte exterior es: $A_2 = 1.05 \text{ pulg}^2$

6. Área disponible en la parte interna de la boca

$$A_3 = 2(t_n - C) * f_{r2} * h$$

$$A_3 = 2(0.505 - 0.125) * 0.95 * 1$$

$$A_3 = 0.722 \text{ pulg}^2$$

7. Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{41} = (0.354)^2 * 0.95$$

$$A_{41} = 0.12 \text{ pulg}^2$$

8. Área disponible en la soldadura interna

$$A_{43} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{43} = (0.551)^2 * 0.95$$

$$A_{43} = 0.29 \text{ pulg}^2$$

9. Suma de las áreas

$$A_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 2.48 + 1.05 + 0.722 + 0.12 + 0.29 \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 4.66 \text{ pulg}^2$$

La suma de las áreas disponibles es menor al área requerida. Por lo tanto, es necesario colocar un elemento de refuerzo, el que por motivos de facilidad en la obtención del material, será del mismo espesor que el espesor del cuerpo del recipiente ($4.66 < 7.62 \text{ pulg}^2$).

Cálculo con elemento de refuerzo

1. Datos de diseño adicional

$$t_e = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$D_p = 40 \text{ pulg.}$$

$$S_p = 15700 \text{ psi.}$$

$$f_{r3} = 0.95$$

$$f_{r4} = 1$$

$$Leg_{4-2} = 0.315 \text{ pulg.}$$

2. Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2t_n * t_r * F(1 - f_{r1})$$

$$A = 20 * 0.38 * 1 + 2 * 0.505 * 0.38 * 1(1 - 0.95)$$

$$A = 7.62 \text{ pulg}^2$$

3. Área disponible en el cuerpo (usar el mayor valor)

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 20(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1a} = 2.48 \text{ pulg}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0.505 + 0.505)(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1b} = 0.25 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto el área disponible en el cuerpo es: $A_1 = 2.48 \text{ pulg}^2$

4. Área disponible en la boca parte exterior (usar el menor valor)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.065) * 0.95 * 0.505$$

$$A_{2a} = 1.06 \text{ pulg}^2$$

$$A_2 = 2(t_n - t_{rn})(2.5t_n + t_e) * f_{r2}$$

$$A_2 = 2(0.505 - 0.065)(2.5 * 0.505 + 0.505) * 0.95$$

$$A_{2b} = 1.48 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto, el área disponible en la boca parte exterior es: $A_2 = 1.06 \text{ pulg}^2$

5. Área disponible en la parte interna de la boca

$$A_3 = 2(t_n - C) * f_{r2} * h$$

$$A_3 = 2(0.505 - 0.125) * 0.95 * 1$$

$$A_3 = 0.722 \text{ pulg}^2$$

6. Área disponible en la soldadura externa de la boquilla

$$A_{41} = (leg)^2 * f_{r3}$$

$$A_{41} = (0.354)^2 * 0.95$$

$$A_{41} = 0.12 \text{ pulg}^2$$

7. Área disponible en la soldadura externa del elemento

$$A_{42} = (leg)^2 * f_{r4}$$

$$A_{42} = (0.315)^2 * 1$$

$$A_{42} = 0.099 \text{ pulg}^2$$

8. Área disponible en la soldadura interna de la boquilla

$$A_{43} = (leg_{4-3})^2 * f_{r2}$$

$$A_{43} = (0.551)^2 * 0.95$$

$$A_{43} = 0.29 \text{ pulg}^2$$

9. Área disponible del elemento

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n)t_e * f_{r4}$$

$$A_5 = (40 - 20 - 2 * 0.505)0.505 * 1$$

$$A_5 = 9.59 \text{ pulg}^2$$

10. Suma de las áreas

$$A_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 2.48 + 1.06 + 0.722 + 9.59 + 0.12 + 0.099 + 0.29 \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 14.361 \text{ pulg}^2$$

Visto que la suma de las áreas disponibles es mayor que el área requerida se establece que la abertura se encuentra bien reforzada. En la Figura 3.18 se muestra un esquema con las dimensiones del anillo de refuerzo.

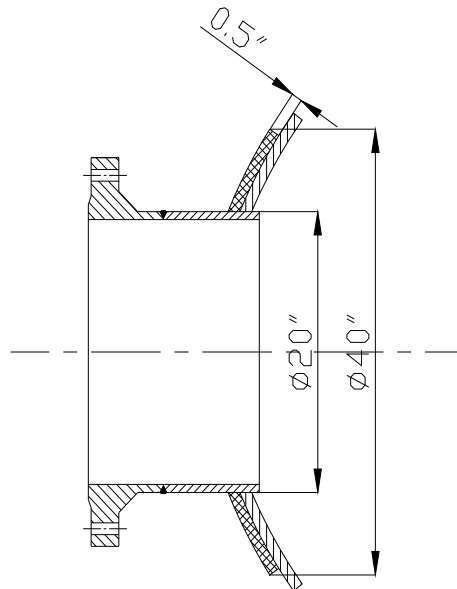


Figura 3.18 Esquema de la boquilla de inspección con anillo de refuerzo⁷⁰

Para el separador diseñado se considera M_1 y M_2 del mismo tamaño.

- **Refuerzo requerido para la abertura del ingreso y salida del crudo (N_1 y N_2)⁷¹**

Para una abertura cuyo diámetro nominal es de 8 pulg, se recomienda que la distancia saliente del tubo sea de 8 pulg⁷².

⁷⁰ Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

⁷¹ Anexo 8: Planos Constructivos del Separador.

Cálculo sin elemento de refuerzo

1. Cálculo de espesor requerido para la boquilla

$$t_{rn} = \frac{P * R_n}{S * E - 0.6P}$$

$$t_{rn} = \frac{100 * 4}{15700 * 1 - 0.6 * 100} = 0.0256 \text{ pulg}$$

2. Datos de diseño

$$d = 8 \text{ pulg.}$$

$$t_n = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$t_r = 0.38 \text{ pulg.}$$

$$t_m = 0.0256 \text{ pulg.}$$

$$t = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$h = 0.1875 \text{ pulg.}^{73}$$

$$\text{leg}_{4-1} = 0.354 \text{ pulg.}$$

$$\text{Leg}_{4-3} = 0.512 \text{ pulg.}$$

$$C.A = 0.125 \text{ pulg.}$$

$$E = 1$$

$$S_v = 15700 \text{ psi.}$$

$$S_n = 15000 \text{ psi.}$$

$$fr_1 = 0.95$$

$$fr_2 = 0.95$$

$$F = 1^{74}$$

⁷² Anexo 6: Mínima extensión sugerida para los registros

⁷³ Anexo 7-1: Distancia de penetración de la boquilla en el casco

⁷⁴ ASME VIII, División 1, UG-37

3. Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2t_n * t_r * F(1 - f_{r1})$$

$$A = 8 * 0.38 * 1 + 2 * 0.505 * 0.38 * 1(1 - 0.95)$$

$$A = 3.056 \text{ pulg}^2$$

4. Área disponible en el cuerpo (usar el mayor valor)

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 8(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1a} = 0.994 \text{ pulg}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0.505 + 0.505)(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1b} = 0.246 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto, el área disponible en el cuerpo es: $A_1 = 0.994 \text{ pulg}^2$

5. Área disponible en la boca parte exterior (usar el menor valor)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.0256) * 1 * 0.505$$

$$A_{2a} = 1.21 \text{ pulg}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.0256) * 1 * 0.505$$

$$A_{2b} = 1.21 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto, el área disponible en la boca parte exterior es: $A_2 = 1.21 \text{ pulg}^2$

6. Área disponible en la parte interna de la boca

$$A_3 = 2(t_n - C) * f_{r2} * h$$

$$A_3 = 2(0.505 - 0.125) * 1 * 0.1875$$

$$A_3 = 0.76 \text{ pulg}^2$$

7. Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{41} = (0.354)^2 * 1$$

$$A_{41} = 0.125 \text{ pulg}^2$$

8. Área disponible en la soldadura interna

$$A_{43} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{43} = (0.512)^2 * 1$$

$$A_{43} = 0.262 \text{ pulg}^2$$

9. Suma de las áreas

$$A_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 0.994 + 1.21 + 0.76 + 0.125 + 0.262 \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 3.35 \text{ pulg}^2$$

La suma de las áreas disponibles es mayor al área requerida; por lo tanto, no es necesario colocar un elemento de refuerzo, ya que la abertura para el ingreso del crudo se encuentra bien reforzada. ($3.35 > 3.056 \text{ pulg}^2$).

- **Refuerzo requerido para la abertura de salida del gas, salida del agua y drenaje**
(N_3, N_4 y N_6)⁷⁵

Para una abertura cuyo diámetro nominal es de 6 *pulg*, se recomienda que la distancia saliente del tubo sea de 8 *pulg*⁷⁶.

Cálculo sin elemento de refuerzo

1. Cálculo de espesor requerido para la boquilla

$$t_{rn} = \frac{P * R_n}{S * E - 0.6P}$$

$$t_{rn} = \frac{100 * 3}{15700 * 1 - 0.6 * 100} = 0.0192 \text{ pulg}$$

2. Datos de diseño

$$d = 6 \text{ pulg.}$$

$$t_n = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$t_r = 0.38 \text{ pulg.}$$

$$t_m = 0.0192 \text{ pulg.}$$

$$t = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$h = 0.1250 \text{ pulg.}^{77}$$

$$\text{leg}_{4-1} = 0.354 \text{ pulg.}$$

$$\text{Leg}_{4-3} = 0.551 \text{ pulg.}$$

$$C.A = 0.125 \text{ pulg.}$$

$$E = 1$$

$$S_v = 15700 \text{ psi.}$$

$$S_n = 15000 \text{ psi.}$$

⁷⁵ Anexo 8: Planos Constructivos del Separador.

⁷⁶ Anexo 6: Mínima extensión sugerida para los registros

⁷⁷ Anexo 7-1: Distancia de penetración de la boquilla en el casco

$$f_{r1} = 0.95$$

$$f_{r2} = 0.95$$

$$F = 1^{78}$$

3. Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2t_n * t_r * F(1 - f_{r1})$$

$$A = 6 * 0.38 * 1 + 2 * 0.505 * 0.38 * 1(1 - 0.95)$$

$$A = 2.30 \text{ pulg}^2$$

4. Área disponible en el cuerpo (usar el mayor valor)

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 6(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1a} = 0.744 \text{ pulg}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0.505 + 0.505)(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1b} = 0.246 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto, el área disponible en el cuerpo es: $A_1 = 0.744 \text{ pulg}^2$

5. Área disponible en la boca parte exterior (usar el menor valor)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.0192) * 0.95 * 0.505$$

$$A_{2a} = 1.17 \text{ pulg}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.0192) * 0.95 * 0.505$$

$$A_{2b} = 1.17 \text{ pulg}^2$$

⁷⁸ ASME VIII, División 1, UG-37

Por lo tanto, el área disponible en la boca parte exterior es: $A_2 = 1.17 \text{ pulg}^2$

6. Área disponible en la parte interna de la boca

$$A_3 = 2(t_n - C) * f_{r2} * h$$

$$A_3 = 2(0.505 - 0.125) * 0.95 * 0.1250$$

$$A_3 = 0.09 \text{ pulg}^2$$

7. Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{41} = (0.354)^2 * 0.95$$

$$A_{41} = 0.119 \text{ pulg}^2$$

8. Área disponible en la soldadura interna

$$A_{43} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{43} = (0.551)^2 * 0.95$$

$$A_{43} = 0.288 \text{ pulg}^2$$

9. Suma de las áreas

$$A_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 1.17 + 0.744 + 0.09 + 0.119 + 0.288 \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 2.41 \text{ pulg}^2$$

La suma de las áreas disponibles es mayor al área requerida, por lo tanto, no es necesario colocar un elemento de refuerzo, ya que la abertura para la salida del crudo, drenaje y salida de agua se encuentran bien reforzadas ($2.41 > 2.30 \text{ pulg}^2$).

- **Refuerzo requerido para la abertura de la válvula de seguridad (N₅)⁷⁹**

Para una abertura cuyo diámetro nominal es de 3 *pulg*, se recomienda que la distancia saliente del tubo sea de 6 *pulg*⁸⁰.

Cálculo sin elemento de refuerzo

1. Cálculo de espesor requerido para la boquilla

$$t_{rn} = \frac{P * R_n}{S * E - 0.6P}$$

$$t_{rn} = \frac{100 * 2}{15700 * 1 - 0.6 * 100} = 0.0128 \text{ pulg}$$

2. Datos de diseño

$$d = 4 \text{ pulg.}$$

$$t_n = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$t_r = 0.38 \text{ pulg.}$$

$$t_m = 0.0128 \text{ pulg.}$$

$$t = 0.505 \text{ pulg.}$$

$$h = 0.0625 \text{ pulg.}^{81}$$

$$\text{leg}_{4-1} = 0.354 \text{ pulg.}$$

$$\text{Leg}_{4-3} = 0.551 \text{ pulg.}$$

$$C.A = 0.125 \text{ pulg.}$$

$$E = 1$$

$$S_v = 15700 \text{ psi.}$$

$$S_n = 15000 \text{ psi.}$$

$$fr_1 = 0.95$$

⁷⁹ Anexo 8: Planos Constructivos del Separador.

⁸⁰ Anexo 6: Mínima extensión sugerida para los registros

⁸¹ Anexo 7-1: Distancia de penetración de la boquilla en el casco

$$f_{r2} = 0.95$$

$$F = 1^{82}$$

3. Área requerida

$$A = d * t_r * F + 2t_n * t_r * F(1 - f_{r1})$$

$$A = 4 * 0.38 * 1 + 2 * 0.505 * 0.38 * 1(1 - 0.95)$$

$$A = 1.54 \text{ pulg}^2$$

4. Área disponible en el cuerpo (usar el mayor valor)

$$A_1 = d(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 4(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1a} = 0.494 \text{ pulg}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 * t - F * t_r) - 2t_n(E_1 * t - F * t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(0.505 + 0.505)(1 * 0.505 - 1 * 0.38) - 2 * 0.505(1 * 0.505 - 1 * 0.38)(1 - 0.95)$$

$$A_{1b} = 0.246 \text{ pulg}^2$$

Por lo tanto, el área disponible en el cuerpo es: $A_1 = 0.494 \text{ pulg}^2$

5. Área disponible en la boca parte exterior (usar el menor valor)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.0128) * 0.95 * 0.505$$

$$A_{2a} = 1.181 \text{ pulg}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) * f_{r2} * t_n$$

$$A_2 = 5(0.505 - 0.0128) * 0.95 * 0.505$$

$$A_{2b} = 1.181 \text{ pulg}^2$$

⁸² ASME VIII, División 1, UG-37

Por lo tanto, el área disponible en la boca parte exterior es: $A_2 = 1.181 \text{ pulg}^2$

6. Área disponible en la parte interna de la boca

$$A_3 = 2(t_n - C) * f_{r2} * h$$

$$A_3 = 2(0.505 - 0.125) * 0.95 * 0.0625$$

$$A_3 = 0.045 \text{ pulg}^2$$

7. Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{41} = (0.354)^2 * 0.95$$

$$A_{41} = 0.119 \text{ pulg}^2$$

8. Área disponible en la soldadura interna

$$A_{43} = (leg)^2 * f_{r2}$$

$$A_{43} = (0.551)^2 * 0.95$$

$$A_{43} = 0.288 \text{ pulg}^2$$

9. Suma de las áreas

$$A_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 0.494 + 1.181 + 0.045 + 0.119 + 0.288 \text{ pulg}^2$$

$$A_{Total} = 2.127 \text{ pulg}^2$$

La suma de las áreas disponibles es mayor al área requerida. Por lo tanto, no es necesario colocar un elemento de refuerzo, ya que la abertura para la válvula de seguridad se encuentran bien reforzadas ($2.127 > 1.54 \text{ pulg}^2$).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO Y COSTOS

4.1 INTRODUCCIÓN

El este capítulo se presenta el presupuesto con el costo de fabricación del separador trifásico diseñado en el capítulo anterior; presupuesto en base a precios unitarios. Adicionalmente se realiza el análisis económico del proyecto sustentando su viabilidad.

4.2 COSTOS UNITARIOS

Para la preparación del presupuesto (precio unitario por kg de fabricación) se consideraron los siguientes aspectos:

- Diseño del separador según el código ASME, sección VIII, división 1.
- Costos directos de fabricación; que incluyen costos del cuerpo del separador, cabezas, silletas, aberturas y orejas de izaje.
- Suministro de material para el separador, que incluye: láminas de acero y accesorios.
- Suministros de elementos consumibles, tales como: electrodos, placas de rayos "X", pintura, costos de equipos empleados en el montaje y fabricación, y materiales fungibles.
- Suministro de accesorios y partes internas.

El desglose por precios unitarios permite establecer el costo aproximado que demande la construcción del separador diseñado en el capítulo III. En el desglose se identifica el costo unitario de los ítems considerados en cada uno de los procesos involucrados en la fabricación del separador.

Por otro lado, los procesos que se detallan a continuación, son los involucrados en el proceso de fabricación del separador en un tiempo determinado. Es decir, cada uno de estos procesos tiene un tiempo de cumplimiento con la finalidad de establecer el factor del costo de los rubros involucrados; también conocidos como rendimiento, factor primordial para el análisis de costos. El rendimiento del proceso se mide en los kilogramos de material fabricado, almacenado o instalado por hora. Los procesos o ítems involucrados en la fabricación del separador son:

- 1 Suministro de acero estructural.
- 2 Fabricación de cilindros.
- 3 Fabricación de cabezas.
- 4 Fabricación de silletas.
- 5 Instalación de aberturas y orejas de izaje.
- 6 Instalación del sistema y conformación total del recipiente.
- 7 Inspección y recepción.
- 8 Suministros, accesorios y parte interna.

En las siguientes tablas (4.1, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9) se cuantificarán cada uno de los procesos o ítems requeridos para la fabricación del separador diseñado en este proyecto de titulación. El costo se realiza estableciendo precios unitarios de kilogramos de material fabricado, almacenado o instalado por hora.

Tabla 4.1 Suministro acero estructural
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro:	SUMINISTRO ACERO ESTRUCTURAL	Código AERT01	Unidad: kg
--------	------------------------------	---------------	------------

Rendimiento (R): (Kg/h) 1000

1. Equipos						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C)=(A)*(B)	COSTO UNITARIO	%
1.1	Montacargas	1	45	45	0,045	2,2%
1.2	Herramienta Menor	2	1	2	0,002	0,1%
1.3	Maquina universal de ensayos	1	30	30	0,03	1,4%
Parcial (M)					0,077	3,7%

2. Mano de Obra						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C)=(A)*(B)	COSTO UNITARIO	%
2.1	Operador Montacarga	1	4	4	0,004	0,2%
2.2	Ayudante de Mecànica	2	1,5	3	0,003	0,1%
2.3	Ingeniero END	1	22	22	0,022	1,1%
Parcial (N)					0,029	1,4%

3. Materiales						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C)=(A)*(B)	%
3.1	Plancha de Acero	Kg	1,08	1,8	1,944	93,9%
3.2	Pintura	Gln	0,001	20	0,02	0,97%
Parcial (O)					1,964	95%

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	Q=M+N+O	2,070	100,0%
---------------------------------	----------------	--------------	---------------

COSTOS INDIRECTOS

(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS	[5%xQ]	0,104
(T) GASTOS FINANCIEROS	[8%x(Q+S)]	0,174
(U) UTILIDAD	[20%x(Q+S+T)]	0,469
(F) FISCALIZACIÓN	[5%x(Q+S+T+U)]	0,141

PRECIO UNITARIO TOTAL-USD/KG	2,958
------------------------------	--------------

Fuente: Cámara de la Construcción
Elaborado por: Verónica Benitez y Pablo Olmedo

Tabla 4.2 Fabricación de cilindros
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro	FABRICACIÓN DE CILINDROS	Código AERT02	Unidad: kg
-------	--------------------------	---------------	------------

Rendimiento (R): (Kg/h)

150

1.	Equipos					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
1.1	Pantografo	1	22	22	0,147	12,9%
1.2	Moladora	2	1,6	3,2	0,021	1,9%
1.3	Roladora	1	60	60	0,400	35,1%
1.4	Soldadora 500 amp	1	15	15	0,10	8,8%
1.5	Soldadora 250 amp	1	9	9	0,060	5,3%
1.6	Carretilla hidraulica	1	5	5	0,033	2,9%
1.7	Herramienta Menor	3	2	6	0,040	3,5%
Parcial (M)					0,801	70,2%

2.	Mano de Obra					
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
2.1	Cortador Oxicorte	1	10	10	0,067	5,8%
2.2	Soldador ASME	1	11,5	11,5	0,077	6,7%
2.3	Ayudante de Soldador	2	4	8	0,053	4,7%
2.4	Armador	1	8	8	0,053	4,7%
2.5	Ayudante de Montaje	1	2,3	2,3	0,015	1,3%
Parcial (N)					0,265	23,3%

3.	Materiales					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C) =(A)*(B)	%
3.1	Electrodo E6010	Kg	0,01	4	0,04	3,5%
3.2	Oxígeno-Acetileno	Kg	0,002	7	0,014	1,2%
3.3	Disco Desbastador	UNIDAD	0,003	3,5	0,0105	0,9%
3.4	Fungibles	Kg	0,002	5	0,01	0,9%
Parcial (O)					0,075	7%

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	Q=M+N+O	1,141	100,0%
---------------------------------	----------------	--------------	---------------

COSTOS INDIRECTOS

(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS	[5%xQ]	0,057
(T) GASTOS FINANCIEROS	[8%x(Q+S)]	0,096
(U) UTILIDAD	[20%x(Q+S+T)]	0,259
(F) FISCALIZACIÓN	[5%x(Q+S+T+U)]	0,078

PRECIO UNITARIO TOTAL-USD/KG	1,631
-------------------------------------	--------------

Fuente: Cámara de la Construcción
Elaborado por: Verónica Benitez y Pablo Olmedo

Tabla 4.3 Fabricación de cabezas
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro:	FABRICACIÓN DE CABEZAS	Código AERT03	Unidad: kg			
Rendimiento (R): (Kg/h)		50				
1.	Equipos					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) = (A)*(B)	COSTO UNITARIO (D) = (C/R)	%
1.1	Pantografo	1	22	22	0,440	13,0%
1.2	Moladora	2	1,6	3,2	0,064	1,9%
1.3	Roladora	1	60	60	1,200	35,5%
1.4	Soldadora 500 amp	1	15	15	0,30	8,9%
1.5	Soldadora 250 amp	1	9	9	0,180	5,3%
1.6	Carretilla hidraulica	1	5	5	0,100	3,0%
1.7	Herramienta Menor	3	2	6	0,120	3,5%
Parcial (M)					2,404	71,1%
2.	Mano de Obra					
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) = (A)*(B)	COSTO UNITARIO (D) = (C/R)	%
2.1	Cortador Oxicorte	1	10	10	0,200	5,9%
2.2	Soldador ASME	1	11,5	11,5	0,230	6,8%
2.3	Ayudante de Soldador	2	4	8	0,160	4,7%
2.4	Armador	1	8	8	0,160	4,7%
2.5	Ayudante de Montaje	1	2,3	2,3	0,046	1,4%
Parcial (N)					0,796	23,5%
3.	Materiales					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C) = (A)*(B)	%
3.1	Electrodo E6010	Kg	0,020	4	0,081	2,4%
3.2	Electrodo E7018	Kg	0,010	5,5	0,055	1,6%
3.3	Oxígeno-Acetileno	Kg	0,002	7	0,014	0,4%
3.4	Disco Desbastador	UNIDAD	0,003	3,5	0,0105	0,3%
3.5	Fungibles	Kg	0,002	10	0,02	0,6%
Parcial (O)					0,181	5,3%
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS				Q=M+N+O	3,381	100,0%
COSTOS INDIRECTOS						
(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS				[5%*Q]	0,169	
(T) GASTOS FINANCIEROS				[8%*(Q+S)]	0,284	
(U) UTILIDAD				[20%*(Q+S+T)]	0,767	
(F) FISCALIZACIÓN				[5%*(Q+S+T+U)]	0,230	
PRECIO UNITARIO TOTAL-USD/KG					4,830	

Fuente: Cámara de la Construcción
Elaborado por: Verónica Benitez y Pablo Olmedo

Tabla 4.4 Fabricación de silletas
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro:	FABRICACIÓN DE SILLETAS	Código AERT04	Unidad: kg
--------	-------------------------	---------------	------------

Rendimiento (R): (Kg/h)

20

1. Equipos						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
1.1	Pantografo	1	22	22	1,100	13%
1.2	Moladora	2	1,6	3,2	0,160	2%
1.3	Roladora	1	60	60	3,000	36%
1.4	Soldadora 500 amp	1	15	15	0,75	9%
1.5	Herramienta Menor	2	2	4	0,200	2,4%
Parcial (M)					5,210	61,7%

2. Mano de Obra						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
2.1	Cortador Oxicorte	1	10	10	0,500	5,9%
2.2	Soldador Primera	1	8	8	0,400	4,7%
2.3	Ayudante de Soldador	1	4	4	0,200	2,4%
Parcial (N)					1,100	13,0%

3. Materiales						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C) =(A)*(B)	%
3.1	Acero A-36	Kg	1,050	1,5	1,575	19%
3.2	Electrodo E60-10	Kg	0,030	4	0,12	1%
3.3	Oxígeno-Acetileno	Kg	0,03	7	0,21	2%
3.4	Disco Desbastador	UNIDAD	0,01	3,5	0,035	0%
3.5	Fungibles	Kg	0,02	10	0,2	2%
Parcial (O)					2,140	25%

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	Q=M+N+O	8,450	100,0%
---------------------------------	----------------	--------------	---------------

COSTOS INDIRECTOS

(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS	[5%×Q]	0,423
(T) GASTOS FINANCIEROS	[8%×(Q+S)]	0,710
(U) UTILIDAD	[20%×(Q+S+T)]	1,916
(F) FISCALIZACIÓN	[5%×(Q+S+T+U)]	0,575

PRECIO UNITARIO TOTAL-USD/KG	12,074
-------------------------------------	---------------

Fuente: Cámara de la Construcción

Elaborado por: Verónica Benitez y Pablo Olmedo

Tabla 4.5 Instalación de manhole, aberturas y orejas de izaje
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro:	INSTALACIÓN DE MANHOLE, ABERTURAS Y OREJAS DE IZAJE					Unidad: kg
				Código AERT05		
	Rendimiento (R): (Kg/h)				34	
1.	Equipos					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
1.1	Pantografo	1	22	22	0,647	18%
1.2	Moladora para agujeros	2	1,6	3,2	0,094	3%
1.3	Roladora	1	60	60	1,765	50%
1.4	Herramienta Menor	3	2	6	0,176	5,0%
	Parcial (M)				2,682	75,4%
2.	Mano de Obra					
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
2.1	Cortador Oxicorte	1	10	10	0,294	8,3%
2.2	Ayudante de Montaje	1	2,3	2,3	0,068	1,9%
	Parcial (N)				0,362	10,2%
3.	Materiales					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C) =(A)*(B)	%
3.1	Oxígeno-Acetileno	Kg	0,03	7	0,21	6%
3.2	Disco Desbastador	UNIDAD	0,03	3,5	0,105	3%
3.3	Fungibles	Kg	0,02	10	0,2	6%
	Parcial (O)				0,515	14%
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS				Q=M+N+O	3,559	100,0%
COSTOS INDIRECTOS						
(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS				[5%xQ]		0,178
(T) GASTOS FINANCIEROS				[8%x(Q+S)]		0,299
(U) UTILIDAD				[20%x(Q+S+T)]		0,807
(F) FISCALIZACIÓN				[5%x(Q+S+T+U)]		0,242
PRECIO UNITARIO TOTAL-USD/KG					5,085	

Fuente: Cámara de la Construcción
 Elaborado por: Verónica Benitez y Pablo Olmedo

Tabla 4.6 Instalaciones de acoples del sistema y conformación total de recipiente
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro:	INSTALACIÓN DE ACOPLES DEL SISTEMAS Y CONFORMACIÓN TOTAL DEL RECIPIENTE					Unidad: Kg
					Código AERT06	
Rendimiento (R): (Kg/h)					50	
1.	Equipos					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
1.1	Soldadora 500 amp	1	15	15	0,300	4%
1.2	Compresor	2	7	14	0,280	4%
1.3	Carretilla hidraulica	1	5	5	0,100	1,4%
1.4	Herramienta Menor	3	4	12	0,240	3,4%
Parcial (M)					0,920	13,1%
2.	Mano de Obra					
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
2.1	Soldador ASME	1	10	10	0,200	2,8%
2.2	Ayudante de Soldador	2	4	8	0,160	2,3%
2.3	Instrumentista	1	8	8	0,160	2,3%
Parcial (N)					0,520	7,4%
3.	Materiales					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C) =(A)*(B)	%
3.1	Electrodo E60-10	Kg	0,5	4	2	28%
3.2	Electrodo E70-18	Kg	0,5	5,5	2,75	39%
3.3	Acero SA-157	Kg	0,06	1,8	0,108	2%
3.4	Fungibles	UNIDAD	0,02	15	0,3	4%
3.5	Pintura	Lt	0,09	5	0,45	6%
Parcial (O)					5,608	80%
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS				Q=M+N+O	7,048	100,0%
COSTOS INDIRECTOS						
(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS				[5% \times Q]	0,352	
(T) GASTOS FINANCIEROS				[8% \times (Q+S)]	0,592	
(U) UTILIDAD				[20% \times (Q+S+T)]	1,598	
(F) FISCALIZACIÓN				[5% \times (Q+S+T+U)]	0,480	
PRECIO UNITARIO TOTAL-USD/KG					10,070	

Fuente: Cámara de la Construcción
 Elaborado por: Verónica Benitez y Pablo Olmedo

**Tabla 4.7 Inspección y recepción
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS**

Rubro:	INSPECCIÓN Y RECEPCIÓN	Código AERT07	Unidad: Global
--------	------------------------	---------------	-------------------

Rendimiento (R): (Kg/h)

0,02

1. Equipos						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
1.1	Bomba Manual	1	35	35	1750,000	35%
1.2	Equipo de Radiografía	2	12	24	1200,000	24%
1.3	Montacargas	1	4	4	200,000	4,0%
1.4	Herramienta Menor	3	2	6	300,000	6,0%
Parcial (M)					3450,0	68,6%

2. Mano de Obra						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
2.1	Ingeniero	1	20	20	1000,000	19,9%
2.2	Ayudante de Montaje	1,34	8	10,72	536,000	10,7%
2.3						0,0%
Parcial (N)					1536,0	30,5%

3. Materiales						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C) =(A)*(B)	%
3.1	Placas Radigráficas	m	6	6	36	1%
3.2	Fungibles	UNIDAD	1	8	8	0%
3.3						0%
Parcial (O)					44,0	1%

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	Q=M+N+O	5030,000	100,0%
---------------------------------	----------------	-----------------	---------------

COSTOS INDIRECTOS

(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS	[5%xQ]	251,500
(T) GASTOS FINANCIEROS	[8%x(Q+S)]	422,520
(U) UTILIDAD	[20%x(Q+S+T)]	1140,804
(F) FISCALIZACIÓN	[5%x(Q+S+T+U)]	342,241

PRECIO UNITARIO TOTAL-USD	7187,065
----------------------------------	-----------------

Fuente: Cámara de la Construcción
Elaborado por: Verónica Benitez y Pablo Olmedo

Tabla 4.8 Suministro, Accesorios y partes internas
DESCRIPCIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro:	SUMINISTRO, ACCESORIOS Y PARTES INTERNAS				Código AERT08	Unidad: Global
Rendimiento (R): (UNIDAD/h)					1	
1.	Equipos					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C) =(A)*(B)	COSTO UNITARIO (D)=(C/R)	%
1.1	Soldadora 500 amp	120	35	4200	4200,000	9,982%
1.2	Herramienta Menor	100	4	400	400,000	0,951%
Parcial (M)					4600,000	10,932%
2.	Mano de Obra					
2.1	Operario	360	25	9000	9000,000	21,389%
2.2	Soldador Primera	240	11	2640	2640,000	6,274%
2.3	Ayudante de Soldador	240	6	1440	1440,000	3,422%
Parcial (N)					13080,000	31,086%
3.	Materiales					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B) (USD)	COSTO UNITARIO (C) =(A)*(B)	%
3.1	Manifold de válvulas de alivio de presión	UNIDAD	2	6550	13100	31,13%
3.2	Válvula de drenaje de líquido.	UNIDAD	1	1850	1850	4,40%
3.3	Valvula de Extracción de Gas	UNIDAD	1	2225	2225	5,29%
3.4	Válvula de evacuación de líquido.	UNIDAD	1	1320	1320	3,14%
3.5	Brida A-105 WN RF 3" ANSI 300 SCH 40	UNIDAD	13	265	3445	8,19%
3.6	Brida Ciega A-105 20" ANSI 300	UNIDAD	2	585	1170	2,78%
3.7	Acoples de 300 Lb	UNIDAD	3	195	585	1,39%
3.8	Tubo 20" SCH 40	m	0,35	420	147	0,35%
3.9	Tubo 8" SCH 40	m	0,5	120	60	0,14%
3.10	Tubo 6" SCH 40	m	0,5	90	45	0,11%
3.11	Partes internas, Deflector de ingreso	UNIDAD	1	450	450	1,07%
3.12	Partes internas, Baffles con soportería	UNIDAD	3	650	1950	4,63%
3.13	Partes internas, Placa anti espuma	UNIDAD	3	220	660	1,57%
3.14	Partes internas, Eliminador de niebla	UNIDAD	1	1800	1800	4,28%
3.15	Partes internas, Rompe vortices	UNIDAD	4	150	600	1,43%
3.16	Partes internas, switch de nivel	UNIDAD	2	850	1700	4,04%
3.17	Partes internas, Sensor de nivel emisor	UNIDAD	2	2500	5000	11,88%
3.18	Partes internas, Malla coalescedora	UNIDAD	1	4950	4950	11,76%
Parcial (O)					24397,000	58%
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS				Q=M+N+O	42077,000	100%
COSTOS INDIRECTOS						
(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS				[5%*Q]	2103,850	
(T) GASTOS FINANCIEROS				[8%*(Q+S)]	3534,468	
(U) UTILIDAD				[20%*(Q+S+T)]	9543,064	
(F) FISCALIZACIÓN				[5%*(Q+S+T)]	2862,919	
PRECIO UNITARIO TOTAL-USD					60121,301	

Ver anexo 9-1 y 9-2

Fuente: Cámara de la Construcción

Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

Tabla 4.9 Costo total del separador
Desglose de Costos Directos

Código	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Equipo	Mano de Obra	Materiales	Total
AERT01	SUMINISTRO ACERO ESTRUCTURAL	Kg	11839	912	343	23252	24507
AERT02	FABRICACIÓN DE CILINDROS	Kg	9790	7845	2598	729	11172
AERT03	FABRICACIÓN DE CABEZAS	Kg	2049	4926	1631	370	6927
AERT04	FABRICACIÓN DE SILLETAS	Kg	250	1303	275	535	2113
AERT05	INSTALACIÓN DE MANHOLE, ABETURAS Y OREJAS DE IZAJE	Kg	485	1301	175	250	1726
AERT06	FABRICACIÓN DE ACOPLES DEL SISTEMAS Y CONFORMACIÓN TOTAL DEL RECIPIENTE	Kg	1547	1423	804	8676	10903
AERT07	INSPECCIÓN Y RECEPCIÓN	global	1	3450	1536	44	5030
AERT08	SUMINISTRO, ACCESORIOS Y PARTES INTERNAS	global	1	4600	13080	24397	42077
	Total		Total	25759	20443	58252	104455

COSTOS INDIRECTOS

(S) GASTOS ADMINISTRATIVOS	[5%×Q]	5223
(T) GASTOS FINANCIEROS	[8%×(Q+S)]	8774
(P) GASTOS DE TRASPORTE	[10%×(Q+S)]	11845
(U) UTILIDAD	[20%×(Q+S+T+P)]	26059
(F) FISCALIZACIÓN	[5%×(Q+S+T+U+P)]	7226
PRECIO UNITARIO TOTAL-USD		163582

Fuente: Cámara de la Construcción, ACINDEC S.A.
 Elaborado por: Verónica Benítez y Pablo Olmedo

4.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

4.3.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Los parámetros tomados en cuenta para el análisis económico del proyecto son:

- Inversión Inicial del Proyecto (P)
- Valor Anual (VA)
- Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR)
- Relación Costo – Beneficio (RCB)

4.3.1.1 Inversión inicial del proyecto (P)

Representa el costo inicial total de todos los activos y servicios necesarios para empezar el proyecto. Cuando parte de estas inversiones se llevan a cabo durante varios años, su valor presente constituye una inversión inicial equivalente.

En el presente proyecto el valor de la inversión asciende a 163582 dólares. Monto que se encuentra detallado en las tablas respectivas con los costos unitarios.

4.3.1.2 Valor anual (A)

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

El término entre corchetes se denomina factor de recuperación del capital, o factor A/P . Con este factor se calcula el valor anual A durante n años de una inversión P dada en el presente o año 0, cuando la tasa de interés es i .

El valor anual para un proyecto está conformado por:

La recuperación del capital para la inversión inicial P para una tasa de interés establecida i (por lo general la TMAR).

4.3.1.3 Costo /Beneficio (B/C)

Los cálculos de costo y beneficio deberán convertirse en una unidad monetaria de equivalencia común a la tasa de interés y se calcula de la siguiente manera:

$$B/C = \frac{\text{Beneficios} - \text{contra beneficios}}{\text{costos}}$$

Si $B/C \geq 1$, se determina que el proyecto es económicamente aceptable para los estimados y la tasa de descuento aplicada i .

Si $B/C < 1$, se determina que el proyecto no es económicamente aceptable.

Para saber si el proyecto es rentable se procede de la siguiente manera:

Inversión $P = 163582$ dólares

Interés (TMAR) $i = 8\%$ ⁸³

Años de recuperación del capital $n = 5$ años⁸⁴

$$A/P = \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$\frac{A}{P} = \left[\frac{0.8(1+0.8)^5}{(1+0.8)^5 - 1} \right]$$

⁸³TMAR: Tasa mínima atractiva de rendimiento; es la tasa que se espera recibir y debe ser mayor a la inversión inicial, es superior a la tasa que ofrece un banco o alguna inversión segura con riesgo mínimo.

⁸⁴Periodo de recuperación del capital; es el periodo de tiempo que el inversionista selecciona para que el proyecto sea rentable. Fuente: Ingeniería Económica; LelandBlank, Anthony Tarquin

$$A/P = 0.25$$

$$A = 0.25 * 163582$$

$$A = 40895.42$$

$$B/C = \frac{\text{Beneficios} - \text{contra beneficios}}{\text{costos}}$$

Valor referencial de un separador trifásico diseñado y construido por B &T 487790 dólares.

Contra beneficios incluidos en los costos, por lo que los beneficios son netos.⁸⁵

Por lo tanto:

$$B/C = \frac{56396.2}{40895.42}$$

$$B/C = 1.38$$

Como se aprecia, la relación costo beneficio B/C es mayor a 1. Esto indica que para EP Petroecuador la compra del separador es rentable en un plazo de 5 años.

⁸⁵ Ingeniería Económica, Anthony Tarquin

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El esfuerzo máximo permisible es uno de los parámetros más importantes en el diseño mecánico; y los espesores calculados en esta parte del diseño están directamente relacionados con este parámetro. El tiempo de retención también es uno de los parámetros importantes en el diseño hidráulico, ya que las dimensiones (L y D) del separador dependen directamente de este tiempo.
- Las partes internas de un separador no pueden ser diseñadas. El diseño de las partes internas es exclusivo del fabricante, quien lo realiza bajo los parámetros calculados en el diseño del recipiente que son: dimensiones del recipiente, flujo de fase continua (crudo), flujo de fase dispersa (agua), temperatura, presión de operación, presión de diseño, gravedad específica del agua, gravedad específica del crudo, viscosidad y corte de agua.
- En el diseño hidráulico se seleccionó un separador con diámetro 102", longitud efectiva de 24,72 ft y longitud de costura de 32,96 ft, debido a que la relación de esbeltez más común es entre 3 y 5, y los separadores con longitud mayor y diámetros menores son más económicos. Sin embargo, hay que considerar esta relación ya que al disminuir el diámetro del cilindro aumenta la velocidad del flujo del gas dificultado la separación.

- En el diseño mecánico se establece parámetros constructivos como: espesor del tanque, soportes, boquillas, aberturas para inspección, espesor de las tapas y orejas de izaje; con los cuales se fabrica el tanque.
- Según las características que presentan el fluido señaladas en el capítulo 1, y analizando las ventajas y desventajas de los tipos de separadores, se puede concluir que el separador horizontal es apropiado por su alta relación gas petróleo que presenta el fluido, porque son más eficientes en tamaño y económicos.
- El análisis de costos y precios unitarios proporciona una mayor aproximación al costo real de la construcción del separador, que se basa en la inversión inicial del proyecto (P), valor anual (VA), tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR) y relación costo beneficio (B/C); donde la relación costo beneficio indica que la compra del separador para EP Petroecuador es rentable en un plazo de 5 años.

5.2 RECOMENDACIONES

- En vista que se proyecta a incrementar a futuro la producción de la estación Secoya se recomienda la construcción del Separador propuesta en este Proyecto de Titulación.
- Instalado el Separador Trifásico Horizontal se recomienda comprobar sus características de separación reales con respecto a las características del diseño; es decir, probar la eficiencia real de separación. Esto será muy importante para futuros proyectos a realizarse en el diseño de separadores.
- Para la selección de partes internas de los separadores se recomienda utilizar los catálogos mencionados en el Anexo 2, que son los de más fácil acceso en el mercado local.
- Para la selección de materiales de las distintas partes del separador se recomienda utilizar códigos y normas mencionadas en este proyecto de titulación, como la ASTM, ASME.
- Se recomienda que, para el estudio de las partes internas, el sistema de válvula y el sistema de control se realice una tesis en donde se profundice el estudio de estos temas.

BIBLIOGRAFÍA

- Petroproducción, Informe anual 2010 Coordinación Ingeniería de Petróleos, Área Libertador
- Diseño Conceptual de Separadores, PDVSA, 2010
- Código ASME, Sección VIII, División 1, 1998
- Pressure Vessel HandBook, Eugene F. Megyesy, Tulsa Oklahoma, 2001
- Pressure Vessel Design Manual, Dennis Moss, Gulf Professional Publishing, 2004
- Surface Production Operation, K Arnold, M Stewart, Volume 1, 1993
- Acindec, Planta de Producción
- Estandarización del Diseño de Recipientes a Presión Estacionarios para la Industria Petrolera; H. Zambonino, J. Guaita; Tesis EPN, Quito 2006
- Estudio para la Selección de Separadores de Petroleo Según las Características de las Estaciones de Producción en el Distrito Amazónico para Petroproducción; E. Calispa, S. Rubio; Tesis EPN, Quito 2007
- Estudio Técnico – Económico para el Incremento de Producción en los Campos Shuara, Secoya y Pacayacu; E. Medrano, M. Sarango; Tesis EPN, Quito 2003
- www.fenix.in
- www.hatltd.com
- www.koch-ottoyork.com
- www.evergreenindia.com
- www.monarchseparators.com

ANEXOS

ANEXO 1

ESFUERZOS EN RECIPIENTES HORIZONTALES APOYADOS EN DOS SILLETAS

VALORES DE LA CONSTANTE K
(Para valores intermedios es necesario interpolar)

* K1 = 3.14 si el casco esta atiesado por anillo o cabecera ($A < R / 2$)

ANGULO DE CONTACTO θ	K1*	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
120	0,335	1,171	0,319 PARA CUALQUIER ANGULO DE CONTACTO θ	0,880	0,401	-	0,760	0,603
122	0,345	1,139		0,846	0,393		0,753	0,618
124	0,550	1,108		0,813	0,385		0,746	0,634
126	0,366	1,078		0,781	0,377		0,739	0,651
128	0,376	1,050		0,751	0,369		0,732	0,669
130	0,387	1,022		0,722	0,362		0,726	0,689
132	0,398	0,996		0,694	0,355		0,720	0,705
134	0,409	0,971		0,667	0,347		0,714	0,722
136	0,420	0,946		0,641	0,340		0,708	0,740
138	0,432	0,923		0,616	0,334		0,702	0,759
140	0,443	0,900		0,592	0,327		0,697	0,780
142	0,455	0,879		0,569	0,320		0,692	0,796
144	0,467	0,858		0,547	0,314		0,687	0,813
146	0,480	0,837		0,526	0,308		0,682	0,831
148	0,492	0,818		0,505	0,301		0,678	0,853
150	0,505	0,799		0,485	0,295		0,673	0,876
152	0,518	0,781		0,466	0,289		0,669	0,894
154	0,531	0,763		0,448	0,283		0,665	0,913
156	0,544	0,746		0,430	0,278		0,661	0,933
158	0,557	0,729		0,413	0,272		0,657	0,954
160	0,571	0,713		0,396	0,266		0,654	0,976
162	0,585	0,698		0,380	0,261		0,650	0,994
164	0,599	0,683		0,365	0,256		0,647	1,013
166	0,613	0,668		0,350	0,250		0,643	1,033
168	0,627	0,654		0,336	0,245		0,640	1,054
170	0,642	0,640		0,322	0,240		0,637	1,079
172	0,687	0,627		0,309	0,235		0,632	1,097
174	0,672	0,614		0,296	0,230		0,635	1,116
176	0,687	0,601	0,283	0,225	0,629	1,137		
178	0,702	0,589	0,271	0,220	0,627	1,158		
180	0,718	0,577	0,260	0,216	0,624	1,183		

ANEXO 2

**CATÁLOGOS DE PARTES INTERNAS
DE SEPARADORES DE PETRÓLEO**

ANEXO 3

PESOS DE CASCOS Y CABEZAS

DIAM DEL RECIPIENTE	ESPESOR DE PARED									
	1/2"					9/16"				
	CASCO		CABEZA			CASCO		CABEZA		
	D.I.	D.E.	ELIP	B Y C	HEMIS	D.I.	D.E.	ELIP	B Y C	HEMIS
12	67	61	47	30	43	76	69	52	35	49
14	78	72	56	38	58	88	81	63	44	65
16	88	82	70	47	75	100	93	76	54	85
18	99	93	81	59	94	112	105	91	67	106
20	110	104	97	70	115	124	117	109	78	131
22	120	114	110	81	139	136	129	124	91	157
24	131	125	125	94	165	148	141	143	107	186
26	142	136	140	110	193	160	153	162	124	218
28	152	146	161	125	223	172	165	181	140	252
30	163	157	182	140	255	184	177	203	157	288
32	174	168	206	161	290	196	189	231	181	323
34	184	178	230	178	327	208	201	259	200	369
36	193	189	256	196	366	220	213	288	220	413
38	206	200	283	220	407	232	225	319	247	459
40	217	211	313	240	450	244	237	352	270	508
42	227	221	343	261	496	256	249	386	294	560
48	254	253	442	337	646	292	285	497	379	728
54	291	285	553	421	815	328	321	622	473	919
60	323	317	677	514	1005	364	357	762	578	1133
66	355	349	813	617	1214	400	393	915	694	1368
72	387	381	962	730	1443	436	429	1083	821	1626
74	419	413	1124	852	1692	472	465	1264	958	1906
84	451	445	1298	983	1960	508	501	1460	1106	2209
90	483	477	1484	1124	2248	544	537	1669	1264	2533
96	515	509	1683	1274	2557	580	573	1894	1433	2880
102	547	541	1894	1433	2884	617	610	2131	1612	3249
108	579	573	2119	1602	3232	653	646	2384	1802	3640
114	611	605	2355	1780	3599	689	682	2650	2002	4054
120	647	638	2571	1968	3986	725	718	2892	2214	4489
126	676	670	2890	2165	4393	761	754	3234	2435	4947
132	708	702	3340	6372	4520	797	790	3660	2668	5427
138	740	734	3460	2588	5266	833	826	3897	2911	5930
144	777	766	3760	2813	5732	869	862	4240	3165	6454

ANEXO 4

VOLUMEN DE CASCOS Y CABEZAS

DIAM DEL RECIPIENTE	CASCO cilindrico / pie lineal				CABEZA ELIP. 2:1*			
	Pies Cubicos	Gal.	Barriles	Peso del agua lb	Pies Cubicos	Gal.	Barriles	Peso del agua lb
	D.I.	D.E.	ELIP	B Y C	D.I.	D.E.	ELIP	B Y C
12	0,8	5,9	0,14	49	0,10	0,98	0,02	8,17
14	1,1	8,0	0,19	67	0,20	1,55	0,04	12,98
16	1,4	10,4	0,25	87	0,30	2,32	0,06	19,37
18	1,8	13,2	0,31	110	0,40	3,30	0,08	27,58
20	2,2	16,3	0,39	136	0,60	4,53	0,11	37,83
22	2,6	19,7	0,47	165	0,80	6,03	0,14	50,35
24	3,1	23,5	0,56	196	1,00	7,83	0,19	65,37
26	3,7	27,6	0,66	230	1,30	9,96	0,24	83,11
28	4,3	32,0	0,76	267	1,70	12,44	0,30	103,80
30	4,9	36,7	0,87	306	2,00	15,30	0,36	127,70
32	5,6	41,8	0,99	349	2,50	18,57	0,44	155,00
34	6,3	47,2	1,12	394	3,00	22,27	0,53	185,90
36	7,1	52,9	1,26	441	3,50	26,47	0,63	220,10
38	7,9	58,9	1,40	492	4,20	31,09	0,74	259,50
40	8,7	65,3	1,55	545	4,80	36,27	0,86	302,60
42	9,6	72,0	1,71	601	5,60	41,98	1,00	350,40
48	12,6	94,0	2,24	784	8,40	62,67	1,49	523,00
54	15,9	119,0	2,82	993	11,90	89,23	2,12	744,60
60	19,6	146,9	3,50	1226	16,30	122,40	2,91	1021
66	23,8	177,7	4,23	1483	21,80	162,90	3,88	1360
72	28,3	211,5	5,04	1765	28,30	211,50	5,04	1765
74	33,2	248,2	5,91	2071	35,90	268,90	6,40	2244
84	38,5	287,9	6,85	2402	44,90	335,90	8,00	2802
90	44,2	330,5	7,87	2758	55,20	413,10	9,84	3447
96	50,3	376,0	8,95	3138	67,00	501,30	11,94	4184
102	56,7	424,4	10,11	3542	80,30	601,40	14,32	5018
108	63,6	475,9	11,33	3971	95,40	713,80	17,00	5957
114	70,9	530,2	12,62	4425	112,20	839,50	20,00	7006
120	78,5	587,5	13,99	4903	130,90	979,20	23,31	8171
126	86,6	647,7	15,42	5505	151,50	1134,00	27,00	9459
132	95,0	710,9	17,93	5932	174,20	1303,00	31,03	10876
138	103,9	777,0	18,50	6484	190,10	1489,00	35,46	12428
144	113,1	846,0	20,14	7060	226,20	1692,00	40,29	14120

* No esta incluido el volumen comprendido dentro de la brida plana

ANEXO 5

DIMENSIONES DE LAS CABEZAS

Todas las dimensiones en pulgadas

DIAMETRO		ESPESOR DE PARED								
		3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8
66	L (R)	66	66	60	60	60	60	60	60	60
	t	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,125
	h	11,000	10,938	11,750	11,625	11,563	11,500	11,438	11,375	11,375
	M	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
72	L (R)	72	72	72	72	66	66	66	66	66
	t	4,375	4,375	4,375	4,375	4,375	4,375	4,375	4,375	4,375
	h	12,000	11,938	11,875	11,875	12,625	12,500	12,438	12,375	12,313
	M	1,77	1,77	1,77	1,77	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
78	L (R)	74	72	72	72	72	72	72	72	72
	t	4,750	4,750	4,750	4,750	4,750	4,750	4,750	4,750	4,750
	h	13,000	13,813	13,750	13,688	13,563	13,500	13,438	13,375	13,313
	M	1,77	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
84	L (R)	84	84	84	84	84	84	78	78	78
	t	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125
	h	14,000	13,938	13,875	13,813	13,750	13,688	14,438	14,375	14,313
	M	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,72	1,72	1,72
90	L (R)	90	84	84	84	84	84	84	84	84
	t	5,500	5,500	5,500	5,500	5,500	5,500	5,500	5,500	5,500
	h	15,125	15,812	15,250	15,688	15,625	15,563	15,500	15,435	15,313
	M	1,77	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
96	L (R)	96	90	90	90	90	90	90	90	84
	t	5,875	5,875	5,875	5,875	5,875	5,875	5,875	5,875	5,875
	h	16,125	16,875	16,813	16,750	16,625	16,563	16,500	16,438	17,313
	M	1,77	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
102	L (R)	96	96	96	96	96	96	90	90	90
	t	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125
	h	17,938	17,875	17,750	17,688	17,625	17,563	18,500	18,375	18,250
	M	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,72	1,72	1,72
108	L (R)	102	102	102	102	102	102	96	96	96
	t	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125	6,125
	h	18,938	18,875	18,750	18,750	18,688	18,563	19,438	19,373	19,131
	M	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,72	1,72	1,72
114	L (R)		108	108	108	108	108	108	108	108
	t		6,875	6,875	6,875	6,875	6,875	6,875	6,875	6,875
	h		19,875	19,813	19,750	19,685	19,625	19,563	19,500	19,438
	M		1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
120	L (R)		114	114	114	114	114	108	108	108
	t		7,250	7,250	7,250	7,250	7,250	7,250	7,250	7,250
	h		20,875	20,813	20,750	20,688	20,625	21,500	21,438	21,375
	M		1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,72	1,72	1,72
126	L (R)		120	120	120	120	120	120	120	114
	t		7,625	7,625	7,625	7,625	7,625	7,625	7,625	7,625
	h		21,875	21,813	21,750	21,688	21,625	21,563	21,500	22,131
	M		1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,72
132	L (R)			126	126	120	120	120	120	120
	t			8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
	h			22,875	22,813	23,688	23,563	23,500	23,438	23,750
	M			1,75	1,75	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72

ANEXO 6

MÍNIMA EXTENSIÓN SUGERIDA PARA LOS REGISTROS

Las tablas dan el saliente mínimo aproximado de los registros. Cuando se use aislante o parche de refuerzo grueso puede ser necesario aumentar estas dimensiones.

PARTE SALIENTE USANDO BRIDA DE CUELLO SOLDABLE

DIAM. NOMINAL DEL TUBO	<i>PRESION NOMINAL DE LA BRIDA, lb</i>					
	<i>150</i>	<i>300</i>	<i>600</i>	<i>900</i>	<i>1500</i>	<i>2500</i>
2	6	6	6	8	8	8
3	6	6	8	8	8	10
4	6	8	8	8	8	12
6	8	8	8	10	10	14
8	8	8	10	10	12	16
10	8	8	10	12	14	20
12	8	8	10	12	16	22
14	8	10	10	14	16	
16	8	10	10	14	16	
18	10	10	12	14	18	
20	10	10	12	14	18	
24	10	10	12	14	20	

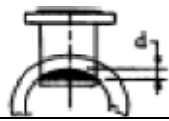


PARTE SALIENTE USANDO BRIDA DESLIZABLE, EN PULGADAS

DIAM. NOMINAL DEL TUBO	<i>PRESION NOMINAL DE LA BRIDA, lb</i>					
	<i>150</i>	<i>300</i>	<i>600</i>	<i>900</i>	<i>1500</i>	<i>2500</i>
2	6	6	6	8	8	8
3	6	6	8	8	8	10
4	6	8	8	8	10	10
6	8	8	8	10	12	12
8	8	8	10	10	12	12
10	8	8	10	12	12	14
12	8	10	10	12	12	16
14	10	10	10	12		
16	10	10	12	12		
18	10	10	12	12		
20	10	10	12	12		
24	10	10	12	12		



ANEXO 7 - 1

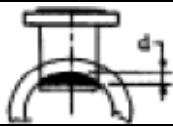


DISTANCIA DE PENETRACION DE LA BOQUILLA EN EL CASCO (in)

PARTE SALIENTE USANDO BRIDA DE CUELLO SOLDABLE

DIAM. NOMINAL DEL TUBO	TAMAÑO NOMINAL DEL TUBO EN PULGADAS									
	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8
12	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875	0,2500	0,3750	0,4315	0,6975	1,0000	1,6125
14	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,2500	0,3125	0,3750	0,5625	0,8125	1,5000
16	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875	0,2500	0,3125	0,5000	0,6975	1,2500
18	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875	0,2500	0,3125	0,4375	0,6250	1,1250
20	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,2500	0,3750	0,5625	1,0000
22		0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,2500	0,3750	0,5000	0,8750
24		0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875	0,1875	0,3125	0,4375	0,8125
26		0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,3125	0,4375	0,7500
28		0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,3121	0,3750	0,6875
30			0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,2500	0,3750	0,5625
32			0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1250	0,2500	0,3750	0,5625
34			0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,2500	0,3125	0,5000
36			0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,2500	0,3125	0,5000
38			0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,3125	0,5000
40			0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,2500	0,5000
42			0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,2500	0,4575
48				0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875	0,2500	0,3750
54				0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,1875	0,3750
60				0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875	0,3125
66				0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875	0,3125
72					0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,2500
78					0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,2500
84					0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1250	0,2500
90					0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875
96					0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875
102					0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875
108						0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875
114						0,0625	0,0625	0,0625	0,1250	0,1875
120							0,0625	0,0625	0,0625	0,1250
126							0,0625	0,0625	0,0625	0,1250
132							0,0625	0,0625	0,0625	0,1250
138							0,0625	0,0625	0,0625	0,1250
144							0,0625	0,0625	0,0625	0,1250

ANEXO 7 - 2



DISTANCIA DE PENETRACION DE LA BOQUILLA EN EL CASCO (in)

PARTE SALIENTE USANDO BRIDA DE CUELLO SOLDABLE

DIAM. NOMINAL DEL CASCO	TAMAÑO NOMINAL DEL TUBO EN PULGADAS									
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30
12	3,0625									
14	2,5000	4,1250	5,0000							
16	2,0625	3,1875	4,1250	8,0000						
18	1,7500	2,6250	3,3750	4,8150	9,0000					
20	1,5625	2,5125	2,8750	4,0000	5,6250	10,0000				
22	1,3750	2,0625	2,5000	3,4375	4,6875	6,4375	11,0000			
24	1,2500	1,8125	2,2500	3,0425	4,0625	5,1750	7,1875	12,0000		
26	1,1875	1,6875	2,0625	2,7500	3,6250	4,6875	6,0625	8,0000	13,0000	
28	1,0625	1,5000	1,8750	2,5000	3,2500	4,1875	5,3125	6,8125	8,9125	
30	1,0000	1,4370	1,7500	2,3125	3,0000	3,4125	4,8125	6,0000	7,5000	15,0000
32	0,9375	1,3125	1,6250	2,1250	2,7500	3,5000	4,3750	5,4375	6,6875	10,4375
34	0,8750	1,2500	1,5000	2,0000	2,5625	3,2500	4,0625	4,8125	6,0625	9,0000
36	0,8125	0,8125	1,4375	1,8750	2,4375	3,0625	3,7500	4,5625	5,5625	8,1250
38	0,7500	0,1250	1,3125	1,7500	2,2500	2,8750	3,5000	4,2500	5,1250	7,3125
40	0,7500	1,0625	1,2500	1,6875	2,1250	2,6875	3,3125	4,0000	4,8125	6,7500
42	0,6875	1,0000	1,1250	1,5675	2,0000	2,5625	3,1250	3,7500	4,5000	6,3125
48	0,3125	0,8750	1,0625	1,1875	1,7500	2,1875	2,6875	3,1875	3,8125	5,2500
54	0,5625	0,7500	0,9375	1,1875	1,5625	1,9315	2,3125	2,8125	3,3125	4,5625
60	0,4375	0,6375	0,8125	1,0625	1,3750	1,6875	2,1250	2,5000	2,9375	4,0000
66	0,4370	0,6250	0,7500	1,0000	1,2500	1,5625	1,8750	2,2500	2,6375	3,6250
72	0,3750	0,5625	0,6875	0,8750	1,1250	1,4375	1,7500	2,0625	2,4375	3,2500
78	0,3750	0,5000	0,6250	0,8125	1,0625	1,3125	1,5625	1,8750	2,2500	3,0000
84	0,3750	0,5000	0,5625	0,7500	1,0000	1,1875	1,4375	1,7500	2,0625	2,7500
90	0,3125	0,4375	0,5625	0,6875	0,4375	1,1250	1,3750	1,8750	1,9375	2,5625
96	0,3125	0,4375	0,5000	0,6875	0,8750	1,0625	1,2500	1,5000	1,8125	2,3750
102	0,3125	0,3750	0,5000	0,6250	0,8125	1,0000	1,1875	1,4375	1,6875	2,2500
108	0,2500	0,3750	0,4375	0,6250	0,7500	0,9375	1,1250	1,3750	1,5625	2,1250
114	0,2500	0,1875	0,4375	0,5625	0,6875	0,8750	1,0625	1,2500	1,5000	2,0000
120	0,2500	0,1875	0,4375	0,5625	0,6875	0,8125	1,0000	1,1875	1,4375	1,8750
126	0,2500	0,3125	0,3750	0,5000	0,6250	0,8125	0,9375	1,1250	1,3750	1,8125
132	0,2500	0,3125	0,3750	0,5000	0,6250	0,7500	0,9375	1,1250	1,3125	1,7500
138	0,1825	0,3125	0,3750	0,4375	0,5625	0,7500	0,8750	1,0625	1,2500	1,6250
144	0,1825	0,3125	0,3125	0,4375	0,5625	0,6875	0,8750	1,0000	1,1875	1,5625

ANEXO 8 - 1

VALVULAS DE ALIVIO; INGRESO Y DESCARA

Letter	Outlet pressure 150 lbs			Outlet pressure 300 lbs		
	Inlet pressure rating as stated below					
	150 lb	300 lb	600 lb	900 lb	1500 lb	2500 lb
	Flange size	Flange size	Flange size	Flange size	Flange size	Flange size
D	1" x 2"	1" x 2"	1" x 2"	1 1/2" x 2"	1 1/2" x 2"	1 1/2" x 3"
E	1" x 2"	1" x 2"	1" x 2"	1 1/2" x 2"	1 1/2" x 2"	1 1/2" x 3"
F	1 1/2" x 2"	1 1/2" x 2"	1 1/2" x 2"	1 1/2" x 3"	1 1/2" x 3"	1 1/2" x 3"
G	1 1/2" x 3"	1 1/2" x 3"	1 1/2" x 3"	1 1/2" x 3"	2" x 3"	2" x 3"
H	1 1/2" x 3"	1 1/2" x 3"	1 1/2" x 3"	2" x 3"	2" x 3"	
J	2" x 3"	2" x 3"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	
K	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 6"	3" x 6"	
L	3" x 4"	3" x 4"	4" x 6"	4" x 6"		
M	4" x 6"	4" x 6"	4" x 6"			
N	4" x 6"	4" x 6"	4" x 6"			
P	4" x 6"	4" x 6"	4" x 6"			
Q	6" x 8"	6" x 8"	6" x 8"			
R	6" x 8"	6" x 8"	6" x 10"			
T	8" x 10"	8" x 10"				

FORMATO DE ESPECIFICACIONES PARA REQUERIMIENTO DE
VÁLVULAS DE ALIVIO

Page _____ of _____

Requisition No. _____
Job No. _____
Date _____
Revised _____
By _____

General

1. Item Number:
2. Tag Number:
3. Service, Line or Equipment No:
4. Number Required:

Basis of Selection

5. Code:
 - ASME Sec. III
 - ASME Sec. VIII
 - OTHER Specify:
6. Fire OTHER Specify:
7. Rupture Disk: YES NO

Valve Design

8. Type: Safety Relief
9. Design:
 - Metal Seat Resilient Seat
 - API 527 Seat Tightness
 - OTHER Specify:

Connections

10. Flanged

Inlet Size:	Rating:	Facing:
Outlet Size:	Rating:	Facing:
11. Threaded

Inlet	<input type="checkbox"/> MNPT <input type="checkbox"/> FNPT	
Outlet	<input type="checkbox"/> MNPT <input type="checkbox"/> FNPT	
12. OTHER Specify:

Materials

13. Base:
14. Bonnet:
15. Guide/Rings:
16. Seat Material:
 - Metal:
 - Resilient:
17. Spring:
18. Comply with NACE MRO 175 YES NO
19. OTHER Specify:
20. Cap and Lever Selection
 - Screwed Cap (Standard) Bolted Cap
 - Plain Lever Packed Lever Gag
21. OTHER Specify:

Service Conditions

22. Fluid and State:
23. Required Capacity per Valve & Units:
24. Molecular Weight or Specific gravity:
25. Viscosity at Flowing Temperature & Units:
26. Operating Pressure & Units:
27. Blowdown: Standard Other
28. Latent Heat of Vaporization & Units:
29. Operating Temperature & Units:
30. Relieving Temperature & Units:
31. Built-up Back Pressure & Units:
32. Superimposed Back Pressure & Units:
33. Cold Differential Test Pressure & Units:
34. Allowable Overpressure in Percent or Units:
35. Compressibility Factor, Z:
36. Ratio of Specific Heats:

Sizing and selection

37. Calculated Orifice Area (square inches):
38. Selected Orifice Area (square inches):
39. Orifice Designation (letter):
40. Manufacturer:
41. Model Number:
42. Vendor Calculations Required: YES NO

ANEXO 9-1

COTIZACION PARTES INTERNAS DEL SEPARADOR



Señores:	QUITO	Quito, 12 de octubre de 2011
		Fact. Prof. No. 615-5444-11
		Telf. Fax.
		S/P 6311
Atención:	SRTA. VERONICA BENITEZ Y/O SR. PABLO OLMEDO.	
Asunto(s):	ACCESORIOS PARA SEPARADOR TRIFASICO 3000 BFPD	
Referencia(s):	Su solicitud de cotización	

Gracias por su requerimiento, en atención al mismo ponemos a su consideración la siguiente oferta por la provisión de:

ACCESORIOS

1. DESCRIPCION GENERAL Y PRECIOS.-

Item	Qty	Descripcion	Material	P. Unitario US\$	P. Total US\$
1	1	Deflector de ingreso	A 516 GR.70	450.00	450.00
2	2	Baffles con soportería 60"	A 516 GR.70	650.00	1,300.00
3	2	Placa anti-espuma 20"	A 516 GR.70	220.00	440.00
4	1	Mist Eliminator 24"x 8"	A 516 GR.70	1,800.00	1,800.00
5	2	Vortex breaker 4"	A 516 GR.70	150.00	300.00
6	1	Pressure safety valve 2"x 3" ANSI 150#	A 516 GR.70	6,550.00	6,550.00
7	1	Level switch high/low	A 516 GR.70	850.00	850.00
8	1	Level gauge reflex 40" w/offset valves crude	A 516 GR.70	2,650.00	2,650.00
9	1	Level gauge reflex 40" w/offset valves water	A 516 GR.70	2,650.00	2,650.00
SUBTOTAL					16,990.00

Los precios indicados no incluyen el IVA

CONDICIONES GENERALES.-

PLAZO DE ENTREGA 12-14 semanas
 FORMA DE PAGO 50% anticipo, saldo contra entrega
 VALIDEZ DE LA OFERTA 15 días
 LUGAR DE ENTREGA Nuestras instalaciones
 GARANTIA 1 año contra defectos de fabricación.

Aprovechamos la oportunidad para saludarles atentamente.

ACEROS INDUSTRIALES DEL ECUADOR S.A.

Ing. Gustavo Villacis.
 PRESUPUESTOS

ANEXO 9-2

COTIZACION PARTES INTERNAS DEL SEPARADOR

ACS INDUSTRIES LP
SEPARATIONS AND MASS TRANSFER
PRODUCTS

INVOICE

14211 INDUSTRY ROAD
HOUSTON, TX
TEL.# (713) 434-0934
FAX# (713) 433-6201

INVOICE NO: 390055127
Sales Order # 280183
DATE: 10/27/08

Sold To: ACINDEC S.A.
CALLE DE LAS AVELLANAS
LT. 11 Y AV. ELOY ALFARO
11111 QUITO, ECUADOR
ECUADOR

Ship To:
CUSTOMER PICK UP
HOUSTON, TX 77053
USA

ACS QUOTE #	P.O. NUMBER	DATE SHIPPED	SHIPPED VIA	BILL OF LADING #	TERMS
Q08-15444	RCP-04-5865-08	10/27/08	Alief Service		CIA

ITEM	QUANTITY	DESCRIPTION	UNIT PRICE	AMOUNT
1	1	ACS Stokes-Pak™ Coalescer: Dim: 60" Portion of 70" Dia., 8" Thk Style: B1-250Y Material: 304ss Const: Segmented for manway	\$2,790.00	\$2,790.00
2	1	ACS Stokes-Pak™ Coalescer Dims: 85.5" portion of 98" Dia. 8" Thk. Style: B1-250Y Material: 304ss Const: Segmented for manway	\$4,950.00	\$4,950.00
3	3	ACS Stokes-Pak™ Coalescer Dims: 106" portion of 123" Dia. 8" Thk. Style: B1-250Y Material: 304ss Const: Segmented for manway	\$7,600.00	\$22,800.00
4		Export Crating & Heat treat stamping Charge	\$525.00	\$525.00
SUBTOTAL				\$31,065.00
Paid 50% at the time of order				\$15,532.50
TOTAL DUE				\$15,532.50

Wire Funds To: Sovereign Bank
1125 Bershire Blvd
Wyomissing, PA 19160
Attn: Kevin Drew
Tel.# 888-311-6672 Option 2
Fax# 617-346-7300
Account # 48504962506
RI ABA # (routing#): 011075150
Swift Code#: SVRN US 33

US HS TARIFF # 8421.39
EIN NO. 76-0448880
MADE IN THE USA



Smita Purohit
Smita Purohit, International Sales

Thank you For your Business!

ANEXO 10

**PLANOS CONSTRUCTIVOS DEL
SEPARADOR.**