

DISEÑO DE UN SEPARADOR MÓVIL TRIFÁSICO HORIZONTAL AGUA, GAS Y
ACEITE PARA EL CAMPO ESCUELA COLORADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER

OSCAR JAVIER BERDUGO CORREDOR
JULIO RICARDO ROJAS MEDINA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2012

DISEÑO DE UN SEPARADOR MÓVIL TRIFÁSICO HORIZONTAL AGUA, GAS Y
ACEITE PARA EL CAMPO ESCUELA COLORADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER

OSCAR JAVIER BERDUGO CORREDOR
JULIO RICARDO ROJAS MEDINA

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
ISNARDO GONZALEZ JAIMES
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

*A mi mama "Edelmira medina" a mi papa y hermanos
Que fueron las personas que me brindaron su confianza
Y lo más importante su apoyo incondicional, para cumplir esta meta*

A Dios, y a las personas que quiero, y me quieren.

Julio Ricardo Rojas Medina

*A Dios por darme fortaleza, paciencia, sabiduría y la oportunidad de cumplir mis metas, y
sueños que emprendí al llegar a la universidad.*

*A mi madre Blanca flor Corredor, por brindarme su amor, cariño y cuidados durante cada
día de mi vida, por su apoyo incondicional, y sus consejos que me enseñaron a ser una
mejor persona, A mi padre Luis Enrique Berdugo, por el apoyo brindado en este tiempo, y
su cariño.*

*A mis hermanos Carlos Alberto, Luis Enrique, Juan José y Jhon Harvey, gracias por hacer
parte de mi vida, por apoyarme y estar siempre conmigo.*

*A mis amigos y compañeros de estudio, que conocí en el transcurso de este proceso de mi
vida, les agradezco por estar conmigo en los buenos y malos momentos.*

Oscar Javier Berdugo Corredor

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres y familiares.

A Isnardo González Jaimes, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Emiliano Ariza, ingeniero de petróleos que nos brindó la oportunidad y confianza de realizar el proyecto para el Campo Escuela Colorado.

A aquellas personas que de una u otra manera nos acompañaron en el transcurso del desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	27
1. GENERALIDADES DEL CAMPO	30
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL CAMPO COLORADO	30
1.2 ESTRUCTURA GEOGRÁFICA DEL CAMPO	31
1.3 ACTUALIDAD DEL CAMPO COLORADO	33
1.4 CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO DEL CAMPO	33
1.5 ESTACIÓN GENERAL DE SEPARACIÓN DEL CAMPO ESCUELA COLORADO	35
1.6 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	36
2. SEPARACIÓN DE HIDROCARBUROS	39
2.1 SELECCIÓN DE ETAPAS DE SEPARACIÓN	40
2.2 PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN	40
2.2.1 Fuerza de gravedad	40
2.2.2 Fuerza centrífuga	41
2.2.3 Cambios en la cantidad de movimientos	41
2.2.4 Fuerzas electrostáticas	41
2.2.5 Coalescencia	42
2.2.6 Absorción	42
2.2.7 Adsorción	42
3. SEPARADORES	43
3.1 FUNCIONES DE LOS SEPARADORES	43
3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SEPARADORES	44

3.2.1 Número de fase a separar	45
3.2.2 Forma geométrica	45
3.2.3 Ubicación	45
3.2.4 Presión de operación	45
3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SEPARADORES	45
3.3.1 Ventajas separadores horizontales	45
3.3.2 Desventajas separadores horizontales	46
3.3.3 Ventajas separadores verticales	46
3.3.4 Desventajas separadores verticales	47
3.4 COMPONENTES INTERNOS DEL SEPARADOR	47
3.4.1 Deflectores de entrada	47
3.4.2 Extractor de niebla	48
3.4.3 Baffle	49
3.5 COMPONENTES EXTERNOS DEL SEPARADOR	50
3.5.1 Cilindro	50
3.5.2 Cabezales o tapas	51
3.5.3 Boquillas de entrada y salida	51
3.5.4 Cuellos para conexión de niveles e instrumentos	51
3.5.5 Agujeros de inspección o " man-holes"	51
3.6 PROBLEMAS DE OPERACIÓN EN LOS SEPARADORES	51
3.6.1 Crudos espumosos	51
3.6.2 Presencia de arenas	51
3.6.3 Parafinas	52

3.6.4 Emulsiones	52
3.6.5 Corrosión	52
3.6.6 Flujo de avance	53
3.6.7 Presencia y acumulación de solidos	53
3.7 SEPARADORES TRIFÁSICOS	53
3.8 SECCIONES DE SEPARACIÓN	55
3.8.1 Sección primaria	55
3.8.2 Sección secundaria	55
3.8.3 Sección extractora de humedad o niebla	56
3.8.4 Sección acumuladora de líquido	56
3.9 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SEPARACIÓN	56
3.9.1 Tiempo de residencia en el equipo	56
3.9.2 Densidad y viscosidad de los fluidos	57
3.9.3 Temperatura de operación	57
3.9.4 Tamaño de las partículas	58
3.9.5 Velocidad del gas en el equipo	58
3.9.6 Presión de operación	58
3.9.7 Composición	58
4. DISEÑO DEL SEPARADOR	59
4.1 CONDICIONES EN EL DISEÑO	59
4.1.1 Identificación de los niveles de un recipiente	60
4.1.2 Volumen de operación de la fase liviana	61
4.1.3 Tiempo de residencia de operación de la fase liviana	62

4.1.4 Volumen de operación de la fase pesada	62
4.1.5 Tiempo de residencia de operación de la fase pesada	62
4.1.6 Tiempo de respuesta o de intervención del operador	63
4.1.7 Volumen de emergencia	64
4.1.8 Nivel bajo–bajo de líquido liviano	64
4.1.9 Nivel bajo de interfase	64
4.1.10 Longitud efectiva de operación (Leff)	65
4.1.11 Diferencia mínima de nivel entre NAAL y NBBL	65
4.1.12 Diferencia mínima de nivel entre NAI y NBI	65
4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO SEPARADOR DE PRUEBA	66
4.2.1 Dimensionamiento del recipiente del separador	66
4.2.2 Primer tanteo	67
4.2.3 Cálculo de otras áreas y distancias verticales del recipiente.	71
4.2.4 Verificación de distancias mínimas del tambor	72
4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA BOQUILLA DE ENTRADA	74
4.4 DISEÑO DE LA MALLA SEPARADORA DE GOTAS	75
4.5 CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SEPARADOR	80
4.6 CODOS DE 90° COMO DEFLECTORES DE ENTRADA	93
4.7 CÁLCULO DE ESPESOR DEL CILINDRO POR PRESIÓN INTERNA	94
4.7.1 Cálculo espesor del cilindro	94
4.7.2 Cálculo de las tapas	96
4.8 TOLERANCIAS DE ESPESOR POR CORROSIÓN	97
4.9 SOLDADURA	99

4.10 BRIDAS	101
4.11 SOPORTES PARA RECIPIENTES HORIZONTALES	102
4.12 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS	104
4.12.1 Petróleo o crudo	104
4.12.2 Interfase agua – petróleo	104
4.12.3 Medición de agua de salida	106
4.12.4 Medición de petróleo de salida	107
4.12.5 Medición en el gas de salida	107
4.13 SELECCIÓN DE VÁLVULAS PARA SALIDA DE LOS FLUIDOS DEL SEPARADOR	108
4.13.1 Válvula y control de salida del gas	108
4.13.2 Mantenimiento del nivel de líquido en el separador	109
5. DISEÑO DEL REMOLQUE	110
5.1 CHASIS O BASTIDOR	110
5.1.1 Los largueros	110
5.1.2 Las varas	111
5.2 SISTEMA DE SUSPENSIÓN	111
5.2.1 Diseño de resortes de ballesta	112
5.2.2 El esfuerzo de flexión, <i>sg</i> ,	115
5.3 EJE DE LAS RUEDAS	117
5.3.1 Diseño del eje	118
5.3.2 Cálculo de cargas	119
5.4 FRENOS DE EMERGENCIA	121

5.5 ANÁLISIS ELEMENTOS DEL REMOLQUE	123
5.6 ANÁLISIS DE ESFUERZOS PARA EL EJE	123
5.6.1 Material	124
5.6.2 Sujeciones	124
5.6.3 Fuerzas	125
5.6.4 Mallado	126
5.6.5 Resultados de la simulación	127
5.6.5.1 Von mises	127
5.6.5.2 Desplazamiento	127
5.6.5.3 Factor de seguridad	128
5.7 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL CHASIS	129
5.7.1 Sujeciones	129
5.7.2 Fuerzas	129
5.7.3 Material	130
5.7.4 Mallado	131
5.7.5 Resultados análisis del chasis	131
5.7.5.1 Von mises	131
5.7.5.2 Desplazamiento	132
5.7.5.3 Factor de seguridad	133
5.8 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LAS TAPAS	133
5.8.1 Sujeciones	133
5.8.2 Presión	134
5.8.3 Mallado	134

5.8.5 Material	135
5.8.5 Resultado de la simulación	136
5.8.5.1 Von mises	136
5.8.5.2 Desplazamiento	137
5.8.5.3 Factor de seguridad	137
5.9 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL CILINDRO	138
5.9.1 Sujeciones	138
5.9.2 Presión	139
5.9.3 Mallado	139
5.9.4 Material	140
5.9.5 Resultados de la simulación	141
5.9.5.1 Von mises	141
5.9.5.2 Desplazamiento	142
5.9.5.3 Factor de seguridad	142
5.10 ANÁLISIS DE ESFUERZOS TIRANTE DEL REMOLQUE	143
5.10.1 Fuerza aplicada	144
5.10.2 Sujeciones	144
5.10.3 Mallado	145
5.10.4 Material	146
5.10.5 Resultado análisis tirante del remolque	146
5.10.5.1 Von mises	146
5.10.5.2 Desplazamiento	147
5.10.5.3 Factor de seguridad	148

5.11 ANÁLISIS DE ESFUERZOS PARA LAS BALLESTAS	148
5.11.1 Sujeciones	148
5.11.2 Fuerzas	149
5.11.3 Material	150
5.11.4 Resultados análisis de la ballesta	150
5.11.4.1 Von mises	150
5.11.4.2 Desplazamiento	151
5.11.4.3 Factor de seguridad	152
6. SIMULACIÓN DEL PROCESO CON EL SOFTWARE HYSYS	153
6.1 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN	153
6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN HYSYS	161
7. PRESUPUESTO	162
8. CONCLUSIONES	163
BIBLIOGRAFÍA	165
ANEXOS	166

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación Campo Escuela Colorado	30
Figura 2. Distribución de los pozos Campo Escuela Colorado	32
Figura 3. Sistema de recolección y tratamiento Campo Escuela Colorado	35
Figura 4. Pozo de extracción	36
Figura 5. Separación mezcla de hidrocarburos	37
Figura 6. Separación	39
Figura 7. Cilindro de separación	43
Figura 8. Deflectores de entrada	48
Figura 9. Eliminadores de niebla	49
Figura 10. Baffle de separación	50
Figura 11. Rolado de láminas	50
Figura 12. Separador Trifásico Horizontal	54
Figura 13. Niveles a tener en cuenta para el dimensionamiento	61
Figura 14. Forma de entrada al separador	93
Figura 15. Espesor del cuerdo del cilindro	95
Figura 16. Espesor de las tapas	96
Figura 17. Corrosión en tanques	98
Figura 18. Soldadura para placas de acero al carbono	100
Figura 19. Brida de cuello soldable	101
Figura 20. Posición de las silletas	102
Figura 21. Parámetros para el cálculo de silleta	103
Figura 22. Medición de altura del petróleo	104
Figura 23. Controlador de nivel de líquido	105
Figura 24. Flujómetro de coriolis	106
Figura 25. Instrumentos de medición en el separador	108
Figura 26. Válvula de contrapresión de gas de baja presión	109
Figura 27. Válvula de control tipo diafragma	109

Figura 28. Chasis	110
Figura 29. Suspensión de ballesta	112
Figura 30. Resorte tipo voladizo	113
Figura 31. Resorte de hojas semielípticas	113
Figura 32. Placa triangular	114
Figura 33. Resorte en voladizo graduado	114
Figura 34. Resortes de hojas adicionales semielípticas	114
Figura 35. Diagrama de esfuerzos	120
Figura 36. Sistema de bloqueo	122
Figura 37 . Pasador de bloqueo	123
Figura 38. Sujeción del eje con el rin	125
Figura 39. Ubicación de la fuerza	125
Figura 40. Esfuerzo generado por la carga	127
Figura 41. Desplazamiento causado por la carga	128
Figura 42. Factor de seguridad del eje	128
Figura 43. Forma de sujeción del chasis	129
Figura 44. Fuerza soportada por el chasis	130
Figura 45. Esfuerzo generado por la carga al chasis	132
Figura 46. Desplazamiento en el chasis	132
Figura 47. Factor de seguridad del chasis	133
Figura 48. Sujeción en el cilindro	134
Figura 49. Presión dentro del separador	134
Figura 50. Esfuerzo que causa la presión en las tapas	136
Figura 51. Desplazamiento en las tapas del tanque	137
Figura 52. Factor de seguridad en el tanque	138
Figura 53. Sujeción del cilindro	138
Figura 54. Presión del cilindro	139
Figura 55. Esfuerzo que causa la presión en el cilindro	141
Figura 56. Desplazamiento en el cilindro	142
Figura 57. Factor de seguridad del cilindro	143

Figura 58. Remolque en una subida	143
Figura 59. Fuerza de arrastre	144
Figura 60. Sujeción del tirante del remolque con el chasis	145
Figura 61. Esfuerzos en el tirante del remolque	147
Figura 62. Desplazamiento en el tirante del remolque	147
Figura 63. Factor de seguridad tirante del remolque	148
Figura 64. Forma de sujeción de la ballesta	149
Figura 65. Aplicación de fuerza en la ballesta	149
Figura 66. Esfuerzos en la ballesta	151
Figura 67. Desplazamiento en la ballesta	151
Figura 68. Factor de seguridad en la ballesta	152
Figura 69. Pantalla de inicio de hysys	153
Figura 70. Lista de componentes	154
Figura 71. Paquete de propiedades del fluido	154
Figura 72. Caracterización del crudo	155
Figura 73. Propiedades y composición del crudo	155
Figura 74. Selección de la información del crudo	156
Figura 75. Instalación del crudo	157
Figura 76. Inicio de la simulación	157
Figura 77. Ingreso de propiedades físicas	158
Figura 78. Ingreso de composición molar	158
Figura 79. Ingreso de la corriente de crudo al separador	159
Figura 80. Cálculo del volumen	160
Figura 81. Resultados de la simulación	160

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Cromatografía del crudo en el Campo Escuela Colorado	34
Tabla 2. Etapas de separación	40
Tabla 3. Tiempo de retención en el separador	57
Tabla 4. Siglas utilizadas en el separador horizontal	60
Tabla 5. Información requerida para el diseño del separador	80
Tabla 6. Cálculos de l_{eff} .	83
Tabla 7. Cálculos boquillas del separador	91
Tabla 8. Cálculos dimensiones de malla	92
Tabla 9. Cálculos boquilla de salida de gas en T.	93
Tabla 10. Datos para el cálculo de espesor	96
Tabla 11. Cálculo de espesores	97
Tabla 12. Cálculo de esfuerzos en el muelle	117
Tabla 13. Cálculo de esfuerzos para el eje	121
Tabla 14. Material utilizado para el eje	124
Tabla 15. Características del mallado para el eje	126
Tabla 16. Propiedades del acero para el chasis	130
Tabla 17. Características de mallado del chasis	131
Tabla 18. Propiedades del mallado para el tanque	135
Tabla 19. Propiedades del acero para el tanque	136
Tabla 20. Especificaciones de mallado del cilindro	140
Tabla 21. Propiedades del acero para el tanque	141
Tabla 22. Características del mallado tirante del remolque	145
Tabla 23. Características material ala remolque	146
Tabla 24. Propiedades del material de la ballesta	150
Tabla 25. Resultados de la simulación de hysys	161
Tabla 26. Resultados de la simulación de hysys 30% agua	161

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Identificación de niveles y dimensiones del separador	167
Anexo B. Criterios de diseño para la velocidad de gas	168
Anexo C. Niveles de cuerda y áreas de las secciones circulares vs Alturas de cuerda	169
Anexo D. Dimensiones del codo de entrada	170
Anexo E. Parámetros para el dimensionamiento de las bridas	171
Anexo F. Tabla para el dimensionamiento de las silletas	172
Anexo G. Partes y montaje de las ballestas	173
Anexo H. Estándares para algunos muelles	174
Anexo I. Dimensiones de tubería	175
Anexo J. Proyecciones mínimas para las boquillas	176
Anexo K. Algunos detalles de construcción del recipiente a presión	177
Anexo L. Características de la malla	180
Anexo M. Características del medidor de interfase	181
Anexo N. Características flujómetro de coriolis	184
Anexo O. Características del manómetro a utilizar	188
Anexo P. Características de tuberías	189
Anexo Q. Sistema eléctrico en el remolque	190
Anexo R. Enganche de bola o esférico	192
Anexo S. Llantas	194
Anexo T. Cotización del tanque	195
Anexo U. Planos	196

NOMENCLATURA

$A_{\text{fon-NAI}}$	Área vertical entre el fondo del tambor y el NAI
$A_{\text{fon-NBI}}$	Área vertical entre el NBI y el fondo del tambor
$A_{\text{fon-NAL}}$	Área vertical entre el fondo y NAL
$A_{\text{fon-NBL}}$	Área vertical entre el fondo y NBL
A_{MALLA}	Área de la malla
a_{MALLA}	Ancho de la malla
$A_{\text{NBL-NAL}}$	Área vertical entre el NBL y el NAL para separadores horizontales
$A_{\text{NBI-NAI}}$	Área vertical entre el NBI y el NAI para separadores horizontales
$A_{\text{NBBL-NBL}}$	Área vertical entre el NBBL y NBL
$A_{\text{NAAL-NAL}}$	Área vertical entre el NAAL y NAL
$A_{\text{fon-NBBL}}$	Área vertical entre el NBBL y el fondo del tambor
$A_{\text{fon-NAL}}$	Área transversal entre el fondo del tambor y el NAL
$A_{\text{NBBL-NAAL}}$	Área vertical entre el NBBL y el NAAL para separadores horizontales
$A_{\text{fon-NAAL}}$	Área vertical entre el fondo y el NAAL
A_o	Área para el flujo de petróleo
A_{TAMB}	Área transversal para separadores horizontales
A_v	Área de sección transversal para el flujo de gas
A_{VD}	Área vertical disponible para el flujo de vapor
A_w	Área para el flujo de agua
b	Ancho de cada hoja del resorte
D_{be}	Diámetro de la boquilla de entrada
D_{bsg}	Diámetro de la boquilla de salida de gas
D_{bso}	Diámetro de la boquilla de salida de petróleo
D_{bsw}	Diámetro de la boquilla de salida de agua
D_o	Diámetro de la gota de aceite
D_w	Diámetro de la gota de agua
E	Módulo de elasticidad

e_{malla}	Espesor de la malla
f	Factor de disipación de la velocidad del chorro
F	Carga total aplicada en el extremo del resorte
F_2	Factor que depende de las unidades usadas
F_{21}	Factor que depende de las unidades usadas
h	Distancia de la cuerda disponible para instalar la malla
$h_{\text{fm-NAAL}}$	Distancia vertical entre el fondo de la malla al NAAL
$h_{\text{fon-NAI}}$	Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NAI
$h_{\text{fon-NAAL}}$	Altura entre el fondo del tambor y el NAL
$h_{\text{fon-NBBL}}$	Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NBBL
$h_{\text{fon-NBL}}$	Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NBL
$h_{\text{fon-NAL}}$	Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NAL
$h_{\text{NBBL-NAAL}}$	Altura entre el NAAL y NBBL
$h_{\text{NBI-NAI}}$	Altura entre el NAI y el NBI
h_0	Distancia entre el tope de la malla y la boquilla de salida de gas
$h_{\text{MALLA-NAAL}}$	Distancia vertical entre el fondo de la malla y NAAL
h_x	Distancia entre el tope de la malla y la boquilla de salida del gas
L	Longitud del voladizo o la mitad de la longitud del resorte semielíptico
n	Número total de hojas
n_e	Número de hojas adicionales de longitud completa
n_g	Número de hojas graduadas
Q_g	Caudal de gas a condiciones de operación
Q_{L1}	Flujo volumétrico de líquido liviano
Q_m	Caudal de mezcla
Q_o	Caudal de petróleo a condiciones de operación
Q_V	Flujo de descarga del gas
Q_w	Caudal de agua a condiciones de operación
s	Esfuerzo de flexión
t	Espesor de cada hoja del resorte

t_{r1}	Tiempo de residencia de operación de líquido liviano
t_w	Tiempo de retención requerido para el petróleo
ρ_g	Densidad del gas a condiciones de operación
ρ_l	Densidad del líquido a condiciones de operación
ρ_o	Densidad del aceite a condiciones de operación
μ_g	Viscosidad del gas a condiciones de operación
μ_o	Viscosidad del aceite o petróleo
μ_w	Viscosidad del agua
V_C	Velocidad crítica
V_E	Velocidad máxima de la mezcla a la salida de la boquilla de entrada
V_{EM}	Velocidad de entrada de la mezcla
V_o	Velocidad de elevación de las gotas de aceite en el agua
V_{r1}	Volumen de retención de operación de líquido liviano
V_{r2}	Volumen de retención de líquido liviano
V_{r3}	Volumen de retención de operación de líquido pesado
V_S	Velocidad real de entrada
V_{SG}	Velocidad de salida del gas
V_{SO}	Velocidad de salida del petróleo
V_{SW}	Velocidad de salida del agua
V_V	Velocidad permisible del gas
V_w	Velocidad de elevación de las gotas de agua en el aceite
W_g	Flujo másico de gas a condiciones de operación
W_o	Flujo másico de petróleo a condiciones de operación
W_w	Flujo másico de agua a condiciones de operación
y	Deformación en el extremo del resorte
σ	Tensión superficial del líquido a condiciones de operación

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO DE UN SEPARADOR MOVIL HORIZONTAL AGUA, GAS Y ACEITE PARA EL CAMPO ESCUELA COLORADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTORES:

Oscar Javier Berdugo Corredor.

Julio Ricardo Rojas Medina. **

PALABRAS CLAVES:

Separador, trifásico, móvil, campo escuela.

DESCRIPCIÓN:

El Campo Escuela Colorado es un convenio entre la Universidad Industrial de Santander y ECOPETROL, el cual busca incentivar a los estudiantes para que se interesen en el desarrollo y evolución de sistemas o equipos, que permitan explotar al máximo la producción, recolección y tratamiento del crudo, mediante proyectos de investigación y diseño que realicen los estudiantes para el mejoramiento de este campo en la industria.

Por lo cual en el presente trabajo se realiza el diseño de un separador móvil trifásico de prueba que se llevara a los diferentes pozos, con el fin de tomar pruebas de las características y propiedades del crudo, para tener un control de producción y clasificación, lo que permitirá que el campo cumpla con las condiciones necesarias de funcionamiento requeridas por los organismos de control. Para el diseño del separador se tiene en cuenta una serie de parámetros y datos de producción existentes proporcionados por el Campo Escuela Colorado.

El separador cumplirá con las condiciones de construcción y de seguridad necesarias establecidas por la norma ASME, para un funcionamiento eficaz y duradero, lo cual está justificado con sus análisis correspondientes de resistencia de materiales, proceso realizado con la herramienta CAD (Diseño Asistido por Computador) solidWork, también se realiza un análisis del comportamiento con el software HYSYS (Simulador de Procesos en la Industria del Petróleo, Gas y Refinación), con el fin de comprobar si el diseño realizaba el proceso de separación exitosamente y sus referentes resultados dependiendo de su composición cromatográfica, presión y temperatura.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ing. Isnardo Gonzalez, Codirector: ing. Emiliano Ariza

SUMMARY

TÍTULO:

DESING OF A MOVILE HORIZONTAL SEPARATOR WATER, GAS AND OIL FOR FIELD COLORADO SCHOOL UNIVERSITY INDUSTRIAL OF SANTANDER *

AUTHORS:

Oscar Javier Berdugo Corredor.

Julio Ricardo Rojas Medina. **

KEYWORDS:

Separator, phase, mobile, field school.

DESCRIPTION:

Colorado School Camp is an agreement between the Universidad Industrial of Santander and Ecopetrol, which seeks to encourage students to take an interest in the development and evolution of systems or equipment, to exploit to the maximum production, harvesting and processing of crude through research and design projects that students make to improve this area in the industry.

Therefore in the present paper, the design of a mobile phase test separator that will take the different wells, with the purpose of taking evidence on the characteristic sand properties of oil, for a production control and classification, which will allow the field meets the operating conditions Required by regulatory agencies. For the design of the separator is taken into account a number of parameters and existing production data provided by the Colorado Mountain School.

The separator shall comply with the conditions of construction and security measures established by the ASME, for an efficient and durable, which is justified with appropriate analysis of strength of materials, process performed with the tool CAD (Computer Aided Design) SolidWorks, also performed an analysis of the behavior with the software HYSYS (process Simulation in the Oil, Gas and Refining), to check whether the design of the separation process carried out successfully and related results depending on their composition chromatographic pressure and temperature.

* Degree Work

** Faculty of Engineering Physics Mechanics, School of Mechanical Engineering, Director: ing. Isnardo Gonzalez, Co-Director: ing. Emiliano Ariza

INTRODUCCIÓN

La evolución que ha tenido el mundo en las áreas tecnológica, económica, productiva y de desarrollo para grandes países se debe a la importancia que tiene el petróleo con sus derivados y respectivos tratamientos que reciben para la generación de productos y servicios, utilizados en el beneficio de las personas para mejorar su calidad de vida.

El petróleo o crudo es extraído mediante la perforación de un pozo sobre el yacimiento. Para sacar el crudo del pozo es necesario tener altas presiones, por lo cual es necesario utilizar bombas y otros equipos de extracción. El crudo es transportado por oleoductos hasta las estaciones donde se le realizan procesos de separación de componentes, con el fin de sacar los elementos más volátiles y poder enviar lo que sirve hacia las refinerías para su respectivo tratamiento.

Uno de los equipos de gran importancia en la estación es el separador general que permite separar los líquidos de los gases, con lo cual facilita la producción de crudo y permite el almacenamiento de este en tanques o remolques los cuáles serán llevados a las refinerías. El inconveniente que tienen estos separadores es que son diseñados para ser anclados en la superficie terrestre y conformar un solo grupo de equipos, a los que llaman estación de bombeo. Una de las necesidades que tienen las empresas petroleras es tener entre sus equipos un separador de prueba móvil el cual permita ser llevado a los pozos petrolíferos donde permitan evaluar la calidad del crudo, gas y agua de cada uno de los pozos. Lo cual no es posible realizar en el separador general de la estación debido que allí es donde llega todo el crudo producido por todos los pozos que tengan en servicio en el área. Los ensayos de pozos de petróleo constituyen prácticas necesarias en los yacimientos para determinar caudales de agua, petróleo y gas que está produciendo el pozo. Se diseñan separadores de ensayo que facilitarán la operación del equipo de producción y se adaptarán de manera flexible a los pozos

a ensayar. Desde el punto de vista de la producción, el conocimiento preciso de esta información permite determinar las necesidades y limitaciones de las estaciones y plantas de corte. Desde el punto de vista de la ingeniería de reservorios, es importante predecir el comportamiento del reservorio en el futuro, ya que esto constituirá el inicio de la ingeniería conceptual de todo el yacimiento en explotación.

Ante la necesidad de estas empresas y entre la cual encontramos el Campo Escuela Colorado, el cual es un convenio de extracción de crudo entre la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), se planteó el diseño de un separador trifásico móvil agua, gas y aceite que mejore el proceso de separación y tenga facilidad de moverse a cada uno de los pozos, para determinar la calidad del crudo y sus propiedades API.

Como objetivo general se pretende Contribuir con la Universidad Industrial de Santander (UIS) en la formación de personas de alta calidad ética y profesional realizando una participación activa en los procesos industriales que lleven al mejoramiento de la calidad, generando y aplicando los conocimientos adquiridos en nuestro plan de estudios en el diseño de un separador trifásico (agua, gas y aceite) con sus debidas especificaciones técnicas y normas contempladas por el Instituto Americano de Petróleos (API) para el crudo extraído de los pozos del campo, este separador será diseñado para el convenio CAMPO ESCUELA COLORADO que tienen la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL S.A).

Para el mejoramiento de las funciones de operación en el Campo Escuela Colorado, se requiere diseñar un separador trifásico (agua, gas y aceite) que cumpla con la capacidad de producción de aproximadamente (100 barriles por día), procesamiento y tratamiento del crudo, y que cuente con sistema de

traslación a otros pozos dentro del campo con una relativa facilidad y no afecte los procesos de separación.

Por esta razón en este libro se muestra el proceso del diseño de cada uno de los elementos que componen el separador trifásico móvil con imágenes, planos y simulaciones que permiten ver resultados de funcionamiento y proceso de los componentes.

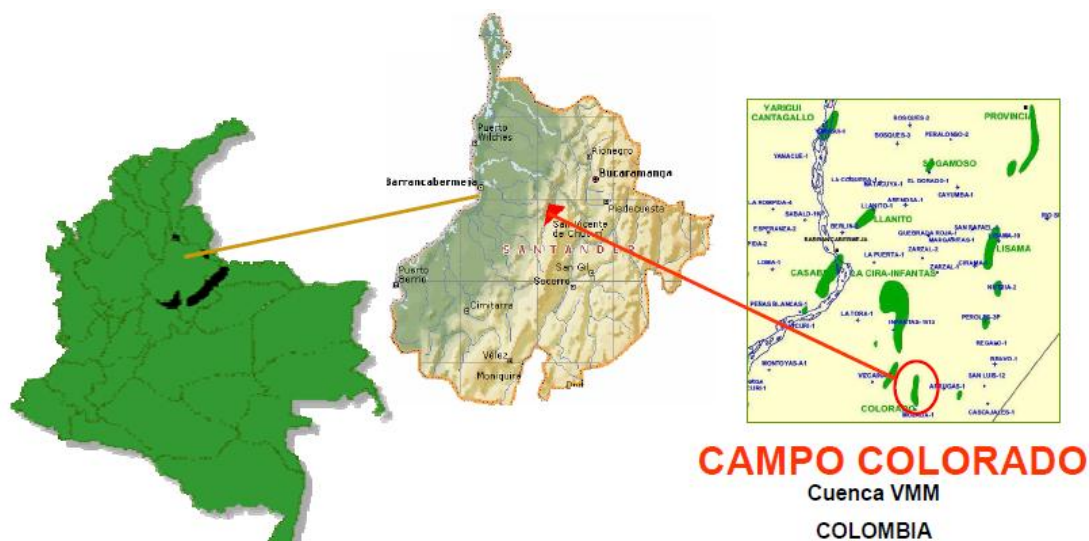
1. GENERALIDADES DEL CAMPO

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL CAMPO COLORADO

En 2006, nace el Campo Escuela Colorado bajo la firma del convenio interadministrativo de Colaboración Empresarial con fines Científicos y Tecnológicos, entre la UIS y ECOPETROL S.A. La Fecha de entrega del campo se realizó el 1 Junio de 2006. Con vigencia de 10 años, prorrogables.

Entre 1953 y 1964, ECOPETROL inició el desarrollo del Campo Colorado perforando un total de 75 pozos. Y en 1963 se alcanzó el máximo número de pozos activos, 44 pozos. El Campo Colorado está ubicado en el departamento de Santander (Colombia) en jurisdicción del Municipio de San Vicente de Chucuri, y en el municipio de Barrancabermeja (Santander), figura 1.

Figura 1. Ubicación Campo Escuela Colorado



Fuente: ARAMENDIZ, José Jorge. VELASQUEZ, Miguel. Consideraciones y Procedimientos Para el Análisis PVT del Crudo de Campos Maduros. Aplicación Campo Colorado. Bucaramanga, 2008, p.90. Trabajo de grado (Ingenieros de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

El yacimiento del Campo Escuela Colorado, posee acumulaciones de aceite liviano y gas con gravedades de 36 a 42 °API con un empuje por gas en solución como mecanismo de producción primaria. El Original Oil In Place (OOIP) es de 121 MMbls según el estimado del último reporte conocido por Ecopetrol S.A. y las reservas primarias producidas son de 8.582 MMbls con un factor de recobro del 15% a 2003.

El Campo Colorado fue desarrollado por completo entre los años de 1953 y 1964 en donde se perforaron la mayoría de los pozos, que fueron de 60 a 75 pozos perforados. Para el año de 1961 El campo Colorado alcanzó su máxima producción llegando a los 1771 barriles de aceite por día (BOPD), la cual fue declinando de manera acelerada con el transcurso de los años debido a la pérdida de pozos por problemas mecánicos y taponamientos por precipitación de parafinas. Aunque se trató de mantener la producción, en 1976 se empezó a ver una declinación más pronunciada, pasando de 692 BOPD a 47 BOPD en 1989.

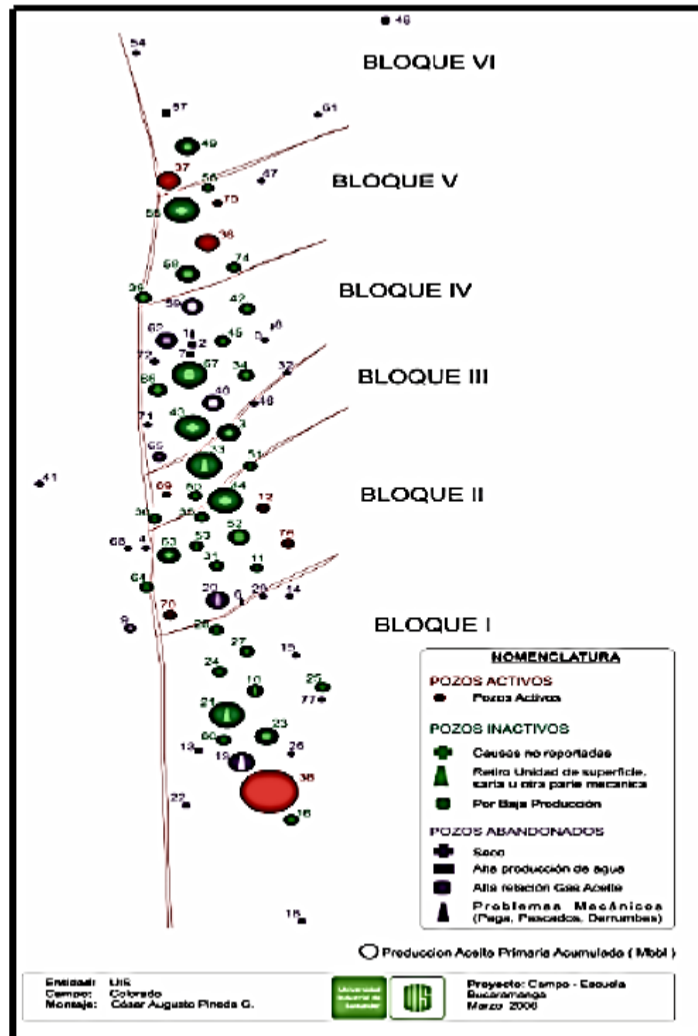
En la actualidad según el informe de mayo de 2011 el Campo Colorado cuenta con 75 pozos perforados, de los cuales 23 se encuentran activos con una producción de 412.5 BOPD.

1.2 ESTRUCTURA GEOGRÁFICA DEL CAMPO

La estructura del Campo Escuela Colorado está definida principalmente a partir de correlaciones de registros de pozos tomados y archivados en el Campo Escuela, se encuentra conformada por un anticlinal asimétrico cuyo flanco extenso va al oriente y dividido en siete bloques por fallas satélites SW –NE. El yacimiento se caracteriza porque presenta poca continuidad lateral, al igual que una baja energía del yacimiento y arenas delgadas. En el momento se maneja un modelo geológico donde el campo esta compartimentalizado. El yacimiento se divide en 7 fallas que

a su vez forman 6 bloques como se muestra en la figura 2. El petróleo en el Campo Colorado es extraído principalmente de la Formación Mugrosa (Zona B y C) y Esmeralda (Zona D) depositadas en un sistema fluvial meándrico.

Figura 2. Distribución de los pozos Campo Escuela Colorado



Fuente: ARAMENDIZ, José Jorge y VELASQUEZ, Miguel. Consideraciones y Procedimientos Para el Análisis PVT del Crudo de Campos Maduros. Aplicación Campo Colorado. Bucaramanga, 2008, p.93. Trabajo de grado (Ingenieros de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

1.3 ACTUALIDAD DEL CAMPO COLORADO

El Campo Escuela Colorado mantiene una producción de 412.5 BOPD a Mayo de 2011 según el reporte de producción del campo, con sistemas de producción de levantamiento artificial por Bombeo Mecánico. Durante los últimos años ha presentado un incremento notable en su producción debido a las operaciones de varilleo y reactivación de pozos, lo cual se ha observado claramente en los reportes e informes de producción que se muestran mensualmente en el Campo Escuela. Se espera que continúe el aumento de producción de crudo en un futuro cercano de una forma más acelerada con un pico de producción de 1406 BOPD. Esta proyección es producto de los trabajos que están siendo realizados por medio de trabajos de varilleo y las fases adicionales de reactivación del campo que aún no han iniciado, como son los trabajos de workover y el programa de Perforación infill, que consiste en la localización de pozos interespaciados colocados estratégicamente para permitir un completo drenaje de la zona que lleva a su vez a un aumento del recobro del crudo. Estas dos últimas fases se desean implementar después de un estudio del yacimiento con sísmica 3D para un mayor conocimiento del yacimiento lo cual ayudará a tomar las decisiones acertadas.

1.4 CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO DEL CAMPO

Los fluidos de producción del Campo Escuela Colorado, están compuestos por: el Crudo, que como ya se mencionó anteriormente es un crudo liviano, el agua asociada a la producción, y el gas que es rico en hidrocarburos como propano y butano.

En la tabla 1, se muestra la caracterización del crudo de un área productora, y se toma como caracterización del crudo del campo, se observa el alto porcentaje de parafinas que posee el crudo (C30+) y la alta concentración de livianos. De igual

forma el crudo del Campo Escuela Colorado posee muy bajo o casi insignificante contenido de CO₂, H₂S.

Tabla 1. Cromatografía del crudo en el Campo Escuela Colorado

COMPONENTES	Wt %	MOL%	MW	Densidad a 60°F (gr/cc)
NITROGENO	0,0016	0,09	28,01	0,808
CO2	0,0012	0,0043	44,01	0,827
C1	1,7747	17,2441	16,04	0,3
C2	1,1674	6,0508	30,07	0,356
C3	1,7405	6,1511	44,1	0,508
i-C4	1,5664	1,5189	58,12	0,563
n-C4	1,2945	3,4715	58,12	0,584
i-C5	0,8187	1,7685	72,15	0,625
n-C5	0,9925	2,1439	75,15	0,631
C6	1,8278	3,3914	84	0,685
C7	3,0044	4,8778	96	0,722
C8	3,8181	5,5615	107	0,745
C9	3,9235	5,0538	121	0,764
C10	3,6783	4,2784	134	0,778
C11	3,2389	3,4341	147	0,789
C12	2,9591	2,8646	161	0,8
C13	3,298	2,9372	175	0,811
C14	2,971	2,4372	190	0,822
C15	3,0575	2,3133	206	0,832
C16	2,7161	1,9069	222	0,839
C17	2,5292	1,6633	237	0,847
C18	2,5866	1,6061	251	0,852
C19	2,5317	1,5004	263	0,857
C20	2,276	1,2899	275	0,862
C21	2,0542	1,1002	291	0,867
C22	2,0287	1,0367	305	0,872
C23	1,9195	0,9408	318	0,877
C24	1,723	0,8113	331	0,881
C25	1,6576	0,7488	345	0,885
C26	1,5971	0,6934	359	0,889
C27	1,5932	0,6939	374	0,893
C28	1,5524	0,6236	388	0,896
C29	1,3167	0,5105	402	0,899
C30+	31,2126	8,3885	580	1,059
BENCENO	0,1445	0,2884	78,1	0,884
TOLUENO	0,4235	0,716	92,2	0,872
PROPIEDADES DE LAS FRACCIONES PESADAS				
FRACCION PLUS	WT%	MOL%	MW	DENSIDAD A 60°F (gr/cc)
C7+	89,815	58,246	362,237	0,9547
C10+	78,501	41,749	371,155	0,9574
C20+	48,934	16,808	472,551	0,9982
C30+	31,216	8,3885	580	1,0591
PESO MOLECULAR DE LA MUESTRA 155.86 g/mol				

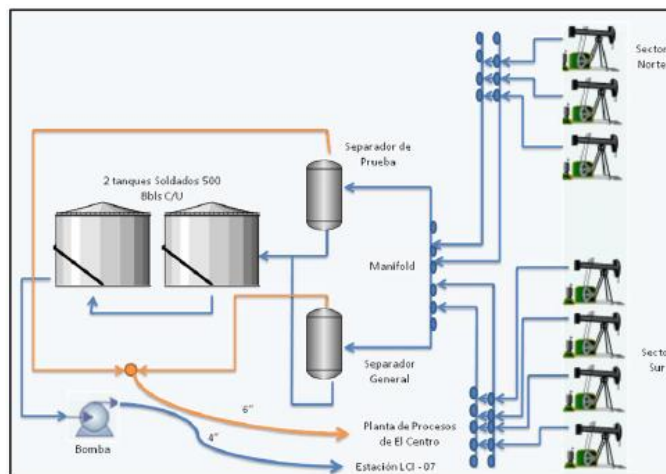
Fuente: HERRERA, Jorge y PATIÑO, Juan. Análisis integrado de fluidos para el Campo Escuela Colorado. Bucaramanga, 2009, p.91. Trabajo de grado (Ingenieros de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

1.5 ESTACIÓN GENERAL DE SEPARACIÓN DEL CAMPO ESCUELA COLORADO

La estación cuenta con dos colectores principales para los sectores sur y norte los cuales se dirigen al manifold principal a la entrada de la estación. Posterior a esto, se encuentra un separador bifásico vertical general y uno de prueba para realizar las mediciones de los pozos, figura 3. Las dimensiones actuales del separador son: diámetro de 48 pulgadas y longitud de 10 pies.

El separador actual que opera en el Campo Escuela Colorado soporta como máximo 62.83 pies cúbicos (50% de su volumen); para un tiempo de retención de un minuto se alcanza a acumular 7.7487 pies cúbicos lo que confirma el sobredimensionamiento. Posterior a esto, el crudo es dirigido a dos tanques de almacenamiento de láminas soldadas, cada uno con una capacidad de 500 barriles, mientras el gas por problemas operacionales actualmente es conducido por un compresor a una tea donde es quemado en su totalidad.

Figura 3. Sistema de recolección y tratamiento Campo Escuela colorado



Fuente: ARAMENDIZ, José Jorge. VELASQUEZ, Miguel. Consideraciones y Procedimientos Para el Análisis PVT del Crudo de Campos Maduros. Aplicación Campo Colorado. Bucaramanga, 2008, 95 h. trabajo de grado (Ingenieros de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

1.6 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Campo Escuela Colorado es un pozo petrolero el cual está siendo sometido a estudios por la Universidad Industrial de Santander (UIS) en compañía de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL S.A) en la extracción de crudo y sus derivados. La entidad encargada de realizar los procesos de extracción, producción y mantenimiento es la escuela de ingeniería de petróleo junto con otras dependencias de la universidad.

Figura 4. Pozo de extracción

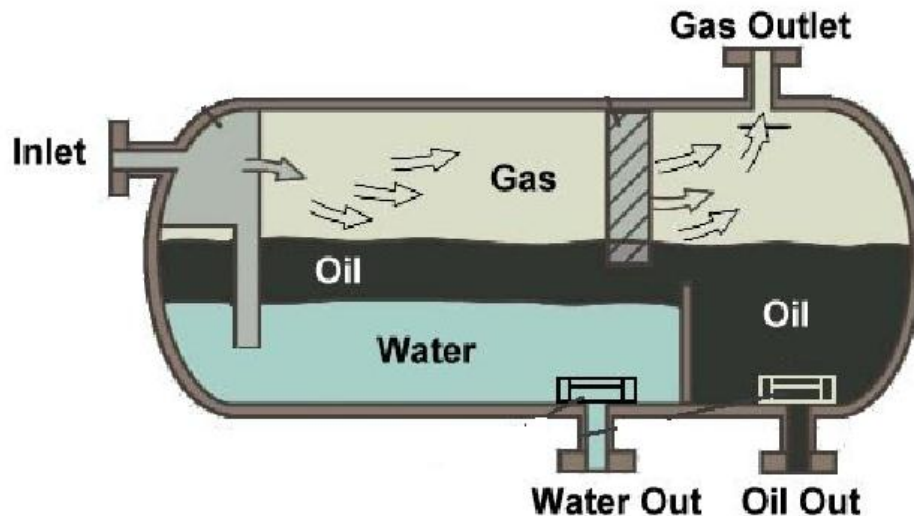


Fuente: informe Ecopetrol, campo escuela colorado 2003

Los estudios realizados y la recolección de información detectaron que el crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos producidos en forma líquida, esta mezcla de hidrocarburos cuenta con los siguientes componentes en su fase natural: agua, gas y aceite entre otros. Debido a las necesidades de la industria para la utilización correcta y eficaz de cada uno de los componentes extraídos del pozo es necesario separar cada uno de ellos en su fase homogénea. El método utilizado para separar cada uno de los componentes de la mezcla de

hidrocarburos es la utilización de un equipo industrial conocido como un separador trifásico (petróleo, gas y agua). Como se observa en la figura 5.

Figura 5. Separación mezcla de hidrocarburos



Fuente: OIL AND GAS PRODUCTION HANDBOOK, An introduction to oil and gas production. Håvard Devold, 2006 ABB ATPA Oil and Gas

En estos momentos el Campo Escuela Colorado está trabajando con un dispositivo o separador trifásico que no cumple ninguna de las normas técnicas de diseño para la construcción del separador, por este motivo pueden ocurrir fallas mecánicas de cualquier elemento que conforma el equipo de separación. Ya que en el Campo Escuela se está utilizando un dispositivo diseñado empíricamente llamado "EL ROLO" nombre que se le fue otorgado por que se tiene que trasladar de pozo en pozo cuando es necesario y es el único con el que cuenta el campo, el cual no cumple con las debidas normas de operación y funcionamiento. Este dispositivo está siendo utilizado en estos momentos para cumplir con las necesidades inmediatas de producción y extracción que el campo colorado requiere para su normal funcionamiento, por lo que es de vital importancia para el campo que se siga trabajando con este equipo para cumplir con el funcionamiento del pozo petrolero.

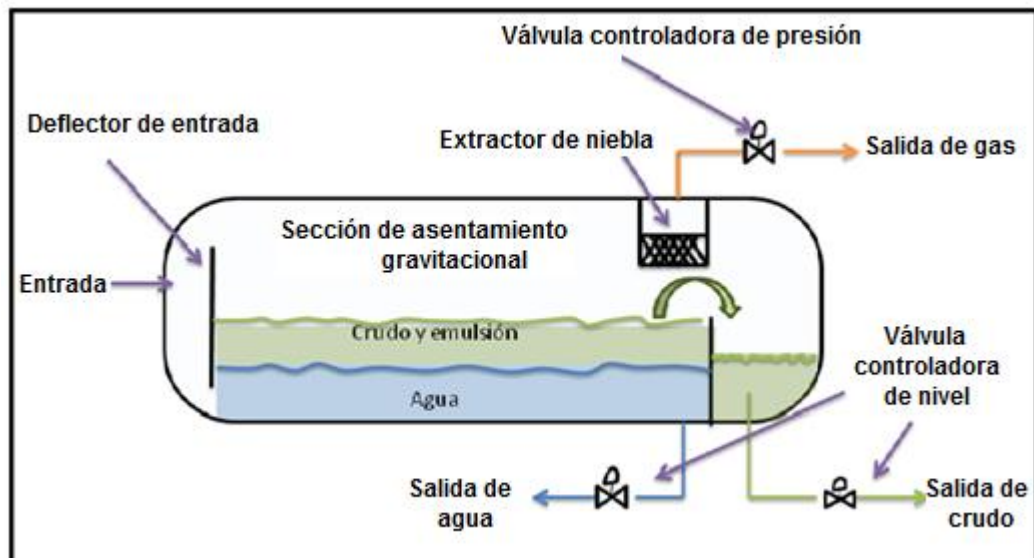
Cuando no se realiza la separación de componentes se presentan pérdidas económicas, las cuales en la industria de los hidrocarburos tiene un alto costo, perjudicando a las entidades encargadas de su normal funcionamiento.

Por la problemática mencionada anteriormente se hace necesario el diseño del separador trifásico móvil de prueba, el cual tendrá una capacidad aproximada de 100 barriles por día, y deberá cumplir con todas las normas contempladas por el Instituto Americano de Petróleo (API), y/o el diseño de construcción con las normas establecidas por la ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

2. SEPARACIÓN DE HIDROCARBUROS

El objetivo de las facilidades de producción en superficie es separar el flujo del pozo en sus tres componentes (fases): petróleo, gas y agua, y convertirlos por medio de un tratamiento en productos que cumplan con los requerimientos de calidad y control ambiental para su posterior venta (petróleo y gas) y desecho (agua), figura 6.

Figura 6. Separación



Fuente: ARNOLD, and K. STEWART, M. Surface Production Operations. Design of Oil-Handling Systems and Facilities; (2 ed) Vol. 1.Houston: Texas Editorial Gulf publishing company. 1999. p. 137, Modificado.

Los sistemas de tratamiento son muy variados y dependen fundamentalmente de las características de producción, las cuales varían con el tiempo. Por tal motivo, para diseñar unas buenas facilidades de producción en superficie es necesario conocer cómo interactúan entre sí los fluidos (fases) así como el equipo requerido para separarlos y su funcionamiento.

2.1 SELECCIÓN DE ETAPAS DE SEPARACIÓN¹

Para cada proceso de producción hay un número óptimo de etapas de separación. En muchos es muy difícil de determinarlo debido a que la composición del fluido de los pozos es muy variada y puede cambiar por pozo a medida que la presión del yacimiento va declinando. En la tabla 2 se muestra una guía para determinar el número óptimo de etapas de separación, excluyendo el tanque, y fue determinada a partir de experiencias de campo.

Tabla 2. Etapas de Separación

PRESIÓN SEPARADOR INICIAL (Psig)	NUMERO DE ETAPAS *
25 –125	1
125 – 300	1 – 2
300 – 500	2
500 – 700	2 – 3 **

* No incluye el tanque

** Si la tasa de producción es mayor a 100.000 barriles se pueden requerir más etapas

Fuente: ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS. Diplomado facilidades de superficie. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas; 2003. p 6.

2.2 PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN²

2.2.1 Fuerza de gravedad

Es un mecanismo de separación muy usado en la industria, debido a que el equipo utilizado es muy simple, la separación se produce debido a la diferencia de densidades de los fluidos (aceite, gas y agua), y a su tiempo de residencia, para que estas dos acciones tengan un buen resultado su velocidad de flujo debe ser baja. Las gotas de líquido se separan de la fase gaseosa, cuando la fuerza

¹ DIPLOMADO FACILIDADES DE SUPERFICIE. UIS. Facultad fisicoquímicas. 2003. P. 6.

² DIPLOMADO FACILIDADES DE SUPERFICIE. UIS. Facultad fisicoquímicas. 2003. P. 6.

gravitacional que actúa sobre las gotas del líquido es mayor que la fuerza de arrastre del fluido de gas sobre la gota.

2.2.2 Fuerza centrífuga

El separador centrífugo funciona mediante el efecto de la fuerza centrífuga, el agua contaminada con sólidos e hidrocarburos/aceites se inyectan tangencialmente a lo largo de la circunferencia del estanque cilindro-cónico para permitir la separación de las partículas pesadas. El aceite libre es retirado de la superficie del estanque y se almacena en el acumulador de hidrocarburo. Las partículas que pueden precipitar sedimentan al fondo del estanque, desde aquí son drenadas a un filtro de bolsa de fácil reemplazo.

2.2.3 Cambios en la cantidad de movimientos

Los fluidos con distintas densidades tienen diferente cantidad de movimientos, si una corriente de dos fases se cambia bruscamente de dirección, la fuerte cantidad de movimiento ó la gran velocidad adquirida por las fases, no permiten que las partículas de la fase pesada se muevan tan rápidamente como las de la fase liviana, este fenómeno provoca la separación.

2.2.4 Fuerzas electrostáticas

Consiste en someter la emulsión a un campo eléctrico intenso, generado por la aplicación de un alto voltaje entre dos electrodos. La aplicación del campo eléctrico sobre la emulsión induce a la formación de dipolos eléctricos en las gotas de agua, lo que origina una atracción entre ellas, incrementando su contacto y posterior coalescencia. Como efecto final se obtiene un aumento del tamaño de las gotas, lo que permite la sedimentación por gravedad.

2.2.5 Coalescencia

Las gotas muy pequeñas no pueden ser separadas por gravedad, estas gotas se unen por medio de un fenómeno de coalescencia, para formar gotas mayores, las cuales se acercan lo suficiente como para superar las tensiones superficiales individuales y poder de esta forma separarse por gravedad.

2.2.6 Absorción

Este es uno de los procesos de mayor utilidad en la industria del gas natural, el proceso consiste en remover el vapor de agua de la corriente de gas natural, por medio de un contacto líquido. El líquido que sirve como superficie absorbente debe cumplir con una serie de condiciones como alta afinidad con el vapor de agua, poseer estabilidad hacia los componentes del gas, bajo perfil corrosivo, viscosidad baja, baja presión de vapor a la temperatura de contacto y baja tendencia a la formación de emulsiones y producción de espumas.

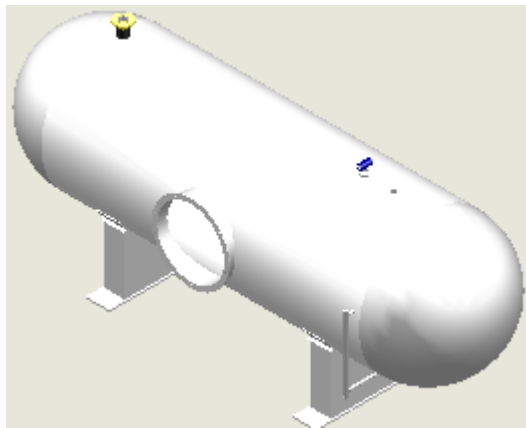
2.2.7 Adsorción

La adsorción es el proceso mediante el cual un sólido poroso es capaz de retener partículas de gas en su superficie tras entrar en contacto con este, una de las aplicaciones más conocidas de la adsorción en el mundo industrial, es la extracción de humedad del aire comprimido. Se consigue haciendo pasar el aire comprimido a través de un lecho de alúmina activa u otros materiales con efecto de adsorción a la molécula de agua, la saturación se consigue sometiendo a presión el gas o el aire, así la molécula de agua es absorbida por la molécula del lecho hasta su saturación.

3. SEPARADORES

Es un cilindro de acero estructural que por lo general se utiliza en los procesos de producción, procesamiento y tratamiento de los hidrocarburos para separar la mezcla en sus componentes básicos, petróleo y gas. Adicionalmente el recipiente permite aislar los hidrocarburos de otros componentes indeseables como arena, agua y otros productos, figura 7.

Figura 7. Cilindro de separación



Fuente: Autores Proyecto

3.1 FUNCIONES DE LOS SEPARADORES

Las funciones que debe cumplir un separador son:

- ✓ Hacer una primera separación de fases entre los hidrocarburos de la mezcla.
- ✓ Cuando el proceso de separación ocurre entre la fase gaseosa y líquida, la función del separador será: refinar el proceso de separación mediante la recolección de partículas líquidas atrapadas en la fase gaseosa, y partículas del gas atrapadas en la fase líquida.
- ✓ Liberar parte de la fase gaseosa que ha quedado atrapada en la líquida.

- ✓ Descargar por separado la fase líquida y gaseosa que salen del separador, con el objetivo de evitar que se vuelvan a mezclar, lo que haría que el proceso de separación sea de una baja eficiencia.

Un diseño apropiado de los separadores es de suma importancia, debido a que estos tipos de recipientes son normalmente equipos de primera necesidad en el proceso. En el diseño de separadores es necesario tomar en cuenta los diferentes estados en que pueden encontrarse los fluidos y el efecto que sobre estos puedan tener las diferentes fuerzas o principios físicos.

Para que un separador funcione correctamente debe cumplir lo siguiente:

- ✓ Controlar la energía del fluido al entrar en el separador.
- ✓ Las tasas de flujo deben responder a ciertos rangos de volumen.
- ✓ La turbulencia que ocurre en la sección ocupada por el gas debe ser minimizada.
- ✓ La acumulación de espuma y partículas contaminantes deben ser eliminadas.
- ✓ La salida de los fluidos debe estar provista de los controles de presión.
- ✓ Las regiones de acumulación de sólidos deben tener prevista la remoción de estas fases.
- ✓ El separador debe tener válvulas de alivio.
- ✓ El recipiente debe estar provisto de manómetros, termómetros, controles de nivel, etc.
- ✓ El recipiente debe tener agujero para inspección y mantenimiento "man-hold".

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SEPARADORES

Se clasifican según la función que cumplan:

3.2.1 Número de fase a separar

- ✓ Separadores bifásicos.
- ✓ Separadores trifásicos.
- ✓ Separadores tetrafásicos.

3.2.2 Forma geométrica

- ✓ Separadores verticales.
- ✓ Separadores horizontales.
- ✓ Separadores esféricos.

3.2.3 Ubicación

- ✓ Separadores de entrada.
- ✓ Separadores en serie, paralelo.
- ✓ Separadores tipo filtro, tipo tanque de venteo (flash), tipo centrífugo.
- ✓ Separadores tipo depuradores.
- ✓ Separadores de goteo en línea.
- ✓ Torre de destilación.

3.2.4 Presión de operación

- ✓ Separadores de alta, media y baja presión.

3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SEPARADORES

3.3.1 Ventajas separadores horizontales

- ✓ Por lo normal se emplea cuando la relación gas/liquido es baja.
- ✓ Requieren de poco espacio vertical para su instalación.

- ✓ Requieren menor diámetro que un separador vertical, para una capacidad dada de gas.
- ✓ Manejan grandes cantidades de líquido, optimizando el volumen de operación requerido.
- ✓ Su instalación, mudanza y servicio resulta menos complejo que el de un separador vertical.
- ✓ Son muy adecuados para manejar aceite con alto contenido de espuma. Para esto, donde queda la interfase gas/líquido se instalan placas rompedoras de espuma.
- ✓ Los volúmenes de retención facilitan la desgasificación de líquido y el manejo de espuma, si se forma.

3.3.2 Desventajas separadores horizontales

- ✓ Cuando existen variaciones a nivel de la fase pesada afectan la separación de la fase liviana.
- ✓ Ocupa mucho espacio horizontal.
- ✓ No son adecuados para manejar flujos de pozos que contienen materiales sólidos como arena o lodo, pues es difícil limpiar este tipo de separadores.
- ✓ El control de nivel de líquido es más crítico que en los separadores verticales.

3.3.3 Ventajas separadores verticales

- ✓ Es fácil mantenerlos limpios, por lo que se recomiendan para manejar flujos de pozos con alto contenido de lodo, arena o cualquier material sólido.
- ✓ El control de nivel de líquido no es crítico, puesto que se puede emplear un flotador vertical, logrando que el control de nivel sea más sensible a los cambios.

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

3.3.4 Desventajas separadores verticales

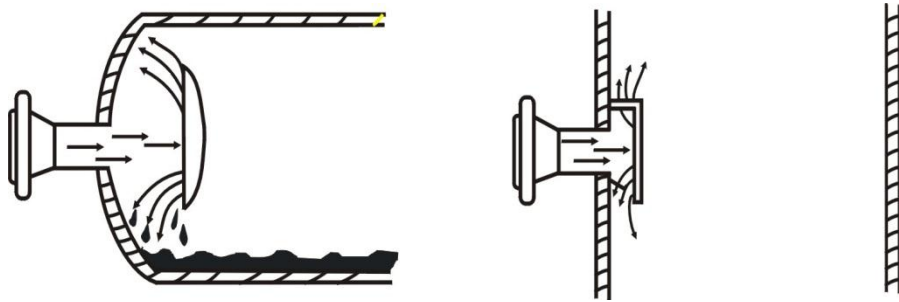
- ✓ Son más costosos que los horizontales.
- ✓ Son más difíciles de instalar que los horizontales.
- ✓ Se necesita un diámetro mayor que el de los horizontales para manejar la misma cantidad de gas.
- ✓ Un separador vertical ocupa menos espacio en el piso, siendo esto importante en plataformas costa afuera debido a un poco espacio disponible, aunque no sea tan importante en locaciones terrestres.
- ✓ El control de nivel del líquido no es tan crítico como en el separador horizontal, debido a que el flotador o mecanismo de control de nivel tiene mayor espacio vertical que le permite un mejor desplazamiento enviando más fácilmente la señal a la válvula de vaciar.
- ✓ Son utilizados cuando la producción de arena y sedimento en la corriente del pozo es alta.

3.4 COMPONENTES INTERNOS DEL SEPARADOR

3.4.1 Deflectores de entrada

Se emplean para producir un cambio en la cantidad de movimiento o de dirección del flujo de la corriente de entrada, y así producir la primera separación mecánica de las fases. Al producirse el choque, el líquido por gravedad se dirige hacia el fondo y los vapores hacia la cima, figura 8.

Figura 8. Deflectores de entrada



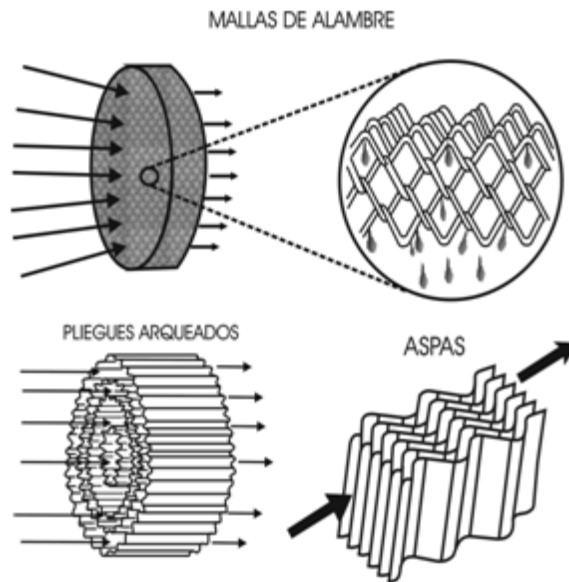
Fuente: ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS. Diplomado facilidades de superficie. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas; 2003. p 25.

3.4.2 Extractor de niebla

Es un elemento utilizado en la separación de gotas en suspensión demasiado pequeñas para depositarse por gravedad. Los separadores de campo en uso emplean varios tipos generales de extractores de niebla; la diferencia es la intensidad de la fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga resultante de un cambio en la dirección del flujo ejerce el mismo efecto sobre el vapor como un aumento en la fuerza de gravedad. Cuando un chorro de gas se aproxima a una obstrucción se desvía alrededor de él, pero las gotas de líquido que tienen una densidad mayor, ofrecen mayor resistencia para cambiar de dirección y tienden a continuar en línea recta. Por esta razón las partículas más grandes chocan contra las paredes de confinamiento y se separan del gas.

Los mecanismos de extracción de niebla más usados son: extractor de niebla tipo vena, mallas metálicas tipo peine, platos arqueados y las aspas, figura 9.

Figura 9. Eliminadores de niebla

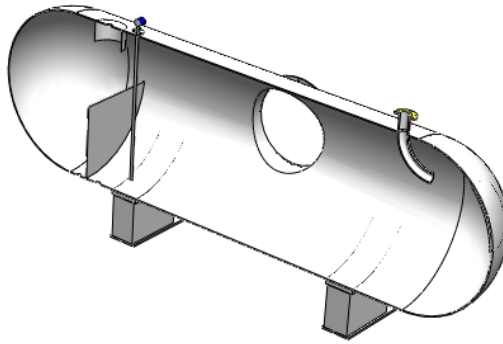


Fuente: ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS. Diplomado facilidades de superficie. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas; 2003. p 27.

3.4.3 Baffle

El baffle es el encargado de contener los líquidos el tiempo suficiente con el fin de que el proceso de separación entre el petróleo y el agua se efectuó correctamente. Las dimensiones de este dispositivo están basadas en las ecuaciones descritas en el documento de PDVSA manual de procesos (tambores separadores). La altura del baffle está entre un rango de 9" (230 mm) entre el NBBL y el NAI. Estos son construidos con el mismo material del cilindro, figura 10.

Figura 10. Bafle de separación



Fuente: Autores Proyecto

3.5 COMPONENTES EXTERNOS DEL SEPARADOR

3.5.1 Cilindro

Por lo general se fabrica con un proceso de rolado de una lámina de acero en frío o en caliente, por medio de este proceso se le da forma de cilindro a la lamina de acero, figura 11.

Figura 11. Rolado de láminas



Fuente: <http://pwp.etb.net.co/ramarino/frangal/servicios.html>

3.5.2 Cabezales o tapas

Los cabezales o tapa de cima y de fondo pueden ser de forma semiesférica o cónica. Para la misma presión de trabajo y diámetro del separador, los cabezales semiesféricos necesitan menor espesor y los cónicos mayor espesor. Sin embargo, los semiesféricos son más costosos por lo difícil para fabricarlos. Los cónicos son menos costosos por la facilidad de construcción.

3.5.3 Boquillas de entrada y salida

Pueden ser bridadas o roscadas según las condiciones de operación.

3.5.4 Cuellos para conexión de niveles e instrumentos

Son conexiones de drenaje periódico.

3.5.5 Agujeros de inspección o " man-holes"

Diámetro mínimo de 18 pulgadas.

3.6 PROBLEMAS DE OPERACIÓN EN LOS SEPARADORES

3.6.1 Crudos espumosos

- ✓ Dificultad para controlar el nivel del líquido.
- ✓ Problemas en la separación del líquido del gas.
- ✓ Probabilidad que el gas y el líquido salgan del separador con la espuma y con ello causar considerables pérdidas económicas.

3.6.2 Presencia de arenas

- ✓ Taponamiento de los dispositivos internos del separador.

- ✓ Erosión, corte de válvulas y líneas.
- ✓ Acumulación en el fondo del separador

3.6.3 Parafinas

La parafina en los separadores de petróleo y gas reduce su eficiencia y puede hacerlos inoperables llenando parcialmente el recipiente o bloqueando el extractor de mezcla y las entradas de fluido, puede ser removida efectivamente utilizando vapor o solventes.

3.6.4 Emulsiones

La presencia de emulsiones crea problemas en los separadores trifásicos, se pueden usar demulsificantes para romper la emulsión.

3.6.5 Corrosión

Los fluidos producidos del pozo pueden ser muy corrosivos y causar la falla temprana del equipo, los dos elementos más corrosivos son dióxido de carbono y el sulfuro de hidrogeno.

3.6.6 Flujo de avance

Algunas líneas de flujo bifásico muestran la tendencia a un tipo de flujo inestable, de oleaje, que se denomina flujo de avance. Obviamente la presencia del flujo de avance requiere incluir placas rompe olas en el separador.

3.6.7 Presencia y acumulación de sólidos

Pueden ser controladas instalando tuberías de lavado, boquillas de limpieza por inyección de líquidos, boquillas de remoción de sólidos, inclinación de recipientes horizontales, aberturas para la limpieza etc.

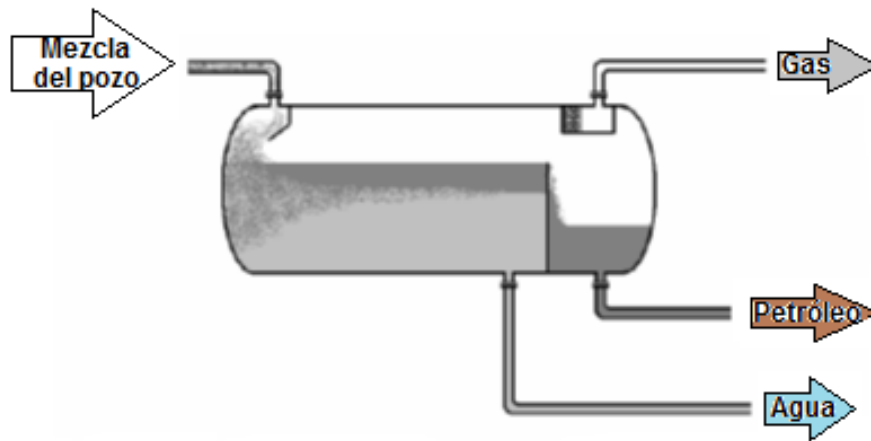
3.7 SEPARADORES TRIFÁSICOS

Los separadores de petróleo, gas y agua se llaman comúnmente “free wáter knock-out tanks”, estos son recipientes cerrados utilizados para separar mecánicamente líquido y gas de una corriente combinada de estos fluidos a determinada presión y temperatura. Los fluidos provenientes del pozo están compuestos por petróleo, vapor de agua, condensado, niebla, gas libre y parte de este flujo que cambia de líquido a gas, debido a la reducción continua de presión y temperatura, que experimentan los fluidos desde que salen del yacimiento, ascienden por el pozo y son conducidos a través de líneas en superficie.

El proceso de separación puede variar desde la remoción de gas que contiene la fase líquida hasta la deshidratación del gas ya que el líquido lleva burbujas de gas y este lleva gotas de líquido. La separación física de estas fases es una de las operaciones básicas en producción, procesamiento y tratamiento de crudo. Esta se hace más fácil si la diferencia de gravedad específica o densidad que exista

entre los fluidos es mayor, figura 12. La eficiencia de la separación se mide por la eliminación de líquido presente en el fluido que interviene en el proceso y la ineficiencia por lo tanto está indicada por el líquido arrastrado en la corriente de gas o de vapor una vez realizada la separación.

Figura 12. Separador trifásico horizontal



Fuente: GERMANIER, María Laura. VILABOA, Emilce. Instrumentación en Separadores de Ensayo. P. 8

Para la separación del hidrocarburo se tienen que seguir los siguientes pasos:

- ✓ El agua es la fase más pesada, y es la que primero se retira, por el fondo del recipiente.
- ✓ El petróleo es más liviano que el agua y una vez separado rebasa por encima del baffle, y se retira del recipiente por el fondo en el extremo opuesto a la entrada de fluido.
- ✓ El gas es la fase más liviana y la más fácil de separar en este caso. Se retira del separador por la parte superior, en el extremo derecho del recipiente, haciéndolo pasar previamente por el extractor de niebla donde se desprende de las últimas gotas de líquido que pudieron haber quedado suspendidas en la fase gaseosa.

3.8 SECCIONES DE SEPARACIÓN

3.8.1 Sección primaria

Esta sección comprende la entrada de la mezcla de fluidos (gas, petróleo y agua) que entran al separador. Allí se separa el líquido de la corriente de fluidos, ocurriendo una primera separación de fases: el gas libre y el líquido. Es conveniente remover rápidamente el líquido del chorro de gas para disminuir la turbulencia y arrastre de las partículas o gotas de líquido. Esto se consigue mediante la entrada tangencial del flujo, por lo que se produce un movimiento circular en el fluido. Por esto se emplean dispositivos ciclónicos o de fuerza centrífuga, platinas de choque o deflectores que disminuyen la turbulencia. La separación básica es realizada por gravedad.

3.8.2 Sección secundaria

Está representada por la etapa de separación máxima del líquido por efecto de la gravedad, en esta sección las gotas se separan principalmente por la gravedad, por lo que la turbulencia del flujo debe ser mínima. Para esto, el separador debe tener suficiente longitud. En algunos diseños se utilizan veletas o aspas alineadas para reducir aún más la turbulencia, sirviendo al mismo tiempo como superficies colectoras de gotas de líquido. La eficiencia de esta sección 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.

3.8.3 Sección extractora de humedad o niebla

En esta parte del separador se utiliza el efecto de choque o la fuerza centrífuga como mecanismo 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, que se drenan a través de 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 utilizado en esta sección, conocido como extractor de niebla, está constituido generalmente por un conjunto veletas o aspas; por alambre entretrejido, o por tubos ciclónicos.

3.8.4 Sección acumuladora de líquido

Es la sección de fondo que acumula los líquidos removidos en las secciones antes descritas permitiendo un tiempo de retención para facilitar la separación del gas disuelto aún en el líquido. Este tiempo puede ser de 2 a 5 minutos o inclusive hasta 20 minutos cuando existen posibilidades de formación de espuma. Esta sección debe tener suficiente volumen para manejar aumentos bruscos de flujo que pueden ocurrir al estar en operación y disponer de un mecanismo que no permita la agitación del líquido para evitar que se mezcle de nuevo con el gas ya separado.

3.9 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SEPARACIÓN

3.9.1 Tiempo de residencia en el equipo

Se define como el tiempo promedio que una molécula del líquido es retenida. Por lo tanto, el tiempo de retención es el volumen de almacenamiento de líquido

dividido por la tasa de flujo de líquido. El tiempo de residencia depende principalmente del caudal, temperatura y las condiciones físico – químicas del hidrocarburo que entra al separador, tabla 3.

Tabla 3. Tiempo de Retención en el Separador

TIPO DE LÍQUIDO	TIEMPO DE RETENCIÓN
Mayores de 35° API	2 minutos
25 < API < 35	3-5 minutos
15 < API < 25	4-6 minutos
Espuma pequeña	4-6 minutos
Espuma moderada	6-8 minutos
Espuma severa	10 minutos

Fuente: ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS. Diplomado facilidades de superficie. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas; 2003. p 31.

3.9.2 Densidad y viscosidad de los fluidos

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.

De la ley de Stokes se deduce que a medida que aumenta la viscosidad del gas, disminuye la velocidad de asentamiento y por lo tanto, la capacidad y eficiencia del separador.

3.9.3 Temperatura de operación

A medida que disminuye la temperatura de separación, se incrementa la recuperación de líquidos en el separador y cuando aumenta la temperatura disminuye la capacidad en la separación de gas.

3.9.4 Tamaño de las partículas

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. Las partículas más pequeñas son separadas mediante extractores de neblina y métodos electrostáticos.

3.9.5 Velocidad del gas en el equipo

Generalmente cuando se aumenta la velocidad del gas a través del separador, sobre un 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. Con esto se ocasiona que se inunde el extractor de niebla, y como consecuencia, que haya arrastres repentinos de baches de líquido en el flujo de gas que sale del separador.

3.9.6 Presión de operación

Al disminuir la presión de separación principalmente en la separación de gas y condensado la recuperación de líquidos aumenta. El efecto de la separación se ve reflejado en dos parámetros importantes que son las constantes de equilibrio y la cantidad de líquido recuperado, pues si la presión cae bruscamente, la corriente de gas arrastrará líquido y disminuirá la recuperación del mismo.

3.9.7 Composición

Si se presentan cambios bruscos en la composición de la mezcla podría afectar parámetros como la densidad del gas, afectando a su velocidad crítica. Generalmente se presentan cambios disminuyendo las propiedades de metano y etano, incrementando porcentajes de componentes más pesados por efecto de la presión a la cual están sometidos.

4. DISEÑO DEL SEPARADOR

4.1 CONDICIONES EN EL DISEÑO³

Para el diseño adecuado de un separador vapor – líquidos, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- ✓ La energía que posee el fluido al entrar al recipiente debe ser controlada.
- ✓ Los flujos de las fases líquida y gaseosa deben estar comprendidos dentro de los límites adecuados que permitan su separación a través de las fuerzas gravitacionales que actúan sobre esos fluidos y que establezcan el equilibrio entre las fases líquidas – vapor.
- ✓ La turbulencia que ocurre en la sección ocupada principalmente por el vapor debe ser minimizada.
- ✓ La acumulación de espuma y partículas contaminantes deben ser controladas.
- ✓ Las fases líquidas y vapor no deben ponerse en contacto una vez separadas.
- ✓ Las regiones del separador donde se puedan acumular sólidos deben, en lo posible, estar provistos de facilidades adecuadas para su remoción.
- ✓ El equipo será provisto de la instrumentación adecuada para su funcionamiento y seguro en el marco de la unidad/planta a la que pertenece.

³ PDVSA. Manual de procesos (tambores separadores) separadores líquido-líquido-vapor. Sección MDP-03-S-04. 1995. p 8.

4.1.1 Identificación de los niveles de un recipiente

En la tabla 4, se identifica la nomenclatura utilizada para describir los niveles ó alturas necesarias en el proceso de diseño del separador. Para una mayor identificación de los volúmenes ver anexo A.

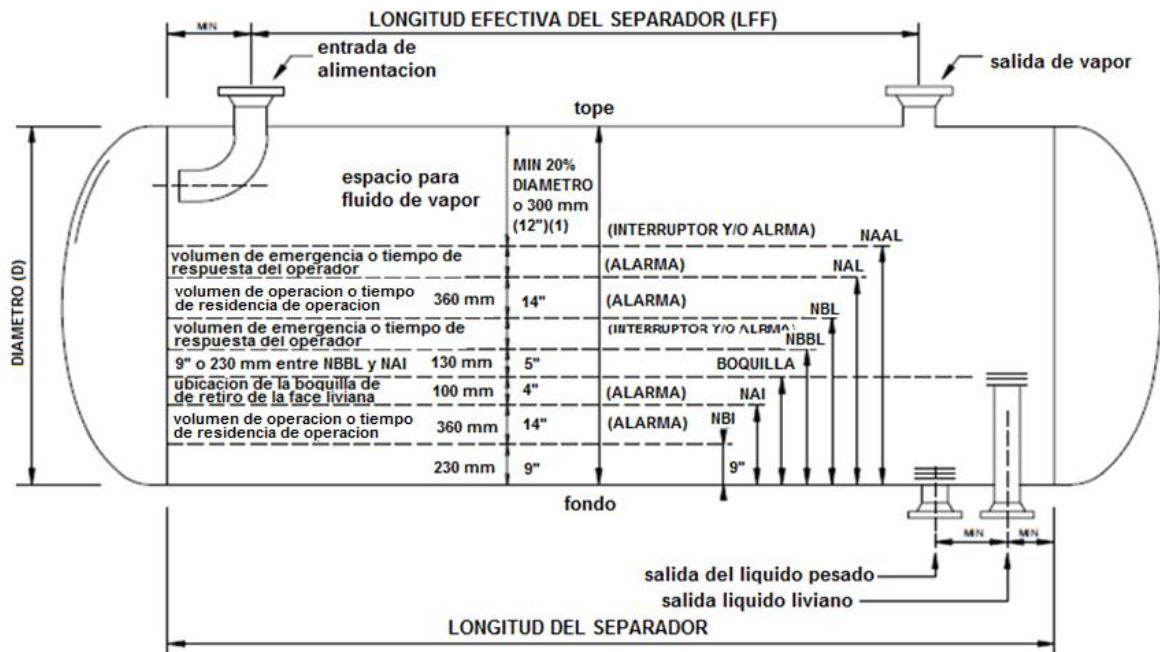
Tabla 4. Siglas Utilizadas en el Separador Horizontal

Siglas típicas en español	Descripción típica	Siglas típica en ingles
NAAL	Nivel alto-alto de líquido	HHLL
NAL	Nivel alto de líquido	HLL
NNL	Nivel normal de líquido	NLL
NBL	Nivel bajo de líquido	LLL
NBBL	Nivel bajo-bajo de líquido	LLLL
NAI	Nivel alto de interfase	HIL
NBI	Nivel bajo de interfase	LIL

Fuente: PDVSA. Manual de procesos (tambores separadores) separadores líquido-líquido-vapor. Sección MDP-03-S-05. 1995. p 9.

La nomenclatura utilizada para el dimensionamiento del tanque que se encuentra en la tabla 4. La cual se puede ver en la figura 13.

Figura 13. Niveles a tener en cuenta para el dimensionamiento



Fuente: PDVSA. Manual de procesos (tambores separadores) separadores líquido-líquido-vapor. Sección MDP-03-S-05. 1995. p 61.

Una mayor claridad de estas dimensiones de la figura 13 se puede ver en el anexo A. en un tamaño mayor.

4.1.2 Volumen de operación de la fase liviana

Es el volumen de líquido liviano existente entre NAL y NBL. Este volumen, también conocido como volumen retenido de líquido liviano, y en inglés como "light liquid surge volume" o "light liquid holdup", se fija de acuerdo a los requerimientos del proceso, para asegurar un control adecuado, continuidad de las operaciones durante perturbaciones operacionales, y para proveer suficiente volumen de líquido liviano para una parada ordenada y segura cuando se suceden perturbaciones mayores de operación.

4.1.3 Tiempo de residencia de operación de la fase liviana

Es el tiempo correspondiente en el cual el flujo de líquido liviano puede llenar el volumen de operación de la fase liviana en el recipiente bajo estudio. La mayoría de las veces, cuando se quiere especificar el volumen de operación de la fase liviana, lo que realmente se indica es cuantos minutos deben transcurrir entre NAL y NBL. También es conocido en inglés como “light liquid surge time”.

4.1.4 Volumen de operación de la fase pesada

Es el volumen de líquido pesado existente entre NAI y NBI. Este volumen, también conocido como volumen retenido de líquido pesado, y en inglés como “heavy liquid surge volume” o “heavy liquid holdup”, se fija de acuerdo a los requerimientos del proceso, para asegurar un control adecuado, continuidad de las operaciones durante perturbaciones operacionales, y para proveer suficiente volumen de líquido pesado para una parada ordenada y segura cuando se suceden perturbaciones mayores de operación.

4.1.5 Tiempo de residencia de operación de la fase pesada

Es el tiempo correspondiente en el cual el flujo de líquido pesado puede llenar el volumen de operación de la fase pesada en el recipiente bajo estudio. La mayoría de las veces, cuando se quiere especificar el volumen de operación de la fase pesada, lo que realmente se indica es cuantos minutos deben transcurrir entre NAI y NBI. También es conocido en inglés como “heavy liquid surge time”.

4.1.6 Tiempo de respuesta o de intervención del operador

Es el tiempo que tarda el operador (o grupo de operadores), en responder cuando suena una alarma de nivel en el panel y resolver la perturbación operativa que originó la alarma, antes que otros sistemas automatizados (Interruptores o “switches” de nivel), originen paradas seguras de equipos aguas abajo y/o de la planta completa. Si de un recipiente separador estamos alimentando a una bomba, será muy peligroso que la bomba se quedara “seca”, es decir, que no tuviera líquido que bombear, ya que se podría dañar al equipo; y si, a su vez, la bomba alimenta a un horno, se podría generar una emergencia mayor en la planta por rotura de un tubo del horno, ya que éste, a su vez, ha quedado “seco”. Por esa razón, el tambor alimentador de la bomba se equipa con alarmas de nivel de NAL y NBL, y con interruptores y/o alarmas de NAAL y NBBL: al sonar la alarma de NBL, los operadores investigarían y resolverían, en menos del llamado “tiempo de respuesta del operador”, el problema que originó la reducción de nivel; en el caso que no pudieran resolver el problema en el tiempo indicado, el interruptor de NBBL activaría una parada segura de la bomba y, seguramente, una parada segura del horno y de toda la planta.

Debido a las diferentes tradiciones operativas que existen en la Industria Petrolífera, Petroquímica y Carbonífera Nacional (IPPCN), es difícil establecer un criterio uniforme acerca de cuál es el “tiempo promedio de respuesta del operador”; sin embargo, se usará, como criterio general de diseño, que el tiempo de respuesta de un operador es de cinco minutos: esto significa que el tiempo de retención de líquido entre NAL y NAAL (o entre NBL y NBBL), será de cinco minutos.

4.1.7 Volumen de emergencia

Es el volumen adicional que corresponde al líquido que debe satisfacer el llamado “tiempo de respuesta o de intervención del operador”, cuando se tengan interruptores o alarmas de NAAL o NBBL, se tendrán cinco minutos adicionales de tiempo de residencia de líquido por interruptor/alarma, lo que indica que, cuando se tiene NAAL y NBBL, se añaden 10 minutos de tiempo de residencia, a lo cual corresponde un volumen de líquido de emergencia de 10 minutos del máximo flujo de líquido. Ver anexo A.

4.1.8 Nivel bajo–bajo de líquido liviano

La distancia mínima desde el nivel bajo–bajo de líquido liviano, si se tiene un Interruptor o alarma de nivel bajo–bajo de líquido liviano, (o nivel bajo, si no se tiene un Interruptor y/o alarma de nivel bajo–bajo), hasta el nivel alto de interfase (cuando se tengan dos fases líquidas en el tambor), o hasta el fondo del recipiente (cuando existe una bota decantadora), es 230 mm mínimo (9”).

Sin embargo, este valor puede cambiar debido a requerimientos de tiempo de residencia del líquido liviano, para lograr decantación exitosa del líquido pesado, como se verá posteriormente en los procedimientos de diseño. Para el caso del balde de líquido liviano, de separadores con compartimientos separados, medido desde el fondo del balde, este valor se conoce como $h_{BALDE-NBL}$. Para el caso del compartimiento de líquido pesado, de separadores con compartimientos separados, medido desde el fondo del tambor, este valor se conoce como h_{VNBBL} .

4.1.9 Nivel bajo de interfase

La distancia mínima desde el nivel bajo de interfase, hasta el fondo del recipiente, ya esté en una bota decantadora, o en un tambor con líquido pesado en el cuerpo cilíndrico, es 230 mm mínimo (9”).

4.1.10 Longitud efectiva de operación (Leff)

Es la longitud de tambor requerida para que se suceda la separación gas-líquido-líquido, y se puedan tener los volúmenes requeridos de líquido, tanto de operación como de emergencia. Esta es la longitud que normalmente se obtiene por puros cálculos de proceso. En el caso de tambores horizontales de una sola boquilla de alimentación, corresponde a la distancia entre la boquilla de entrada y la de salida de gas, la cual es la distancia horizontal que viaja una gota de líquido desde la boquilla de entrada, hasta que se decanta totalmente y se une al líquido retenido en el recipiente, sin ser arrastrada por la fase de vapor que sale por la boquilla de salida de gas.

4.1.11 Diferencia mínima de nivel entre NAAL y NBBL

Se fija como diferencia mínima de nivel entre NAAL y NBBL, 360 mm (14”), lo cual supone el uso de instrumentos de nivel que puedan trabajar en este rango. Si esto no fuera posible, como sería el caso de instrumentos de nivel con desplazadores externos, deberá ajustarse este valor mínimo apropiadamente.

4.1.12 Diferencia mínima de nivel entre NAI y NBI

Se fija como diferencia mínima de nivel entre NAI y NBI, 360 mm (14”), lo cual supone el uso de instrumentos de nivel que puedan trabajar en este rango. Si esto no fuera posible, como sería el caso de instrumentos de nivel con desplazadores externos, deberá ajustarse este valor mínimo apropiadamente.

4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO SEPARADOR DE PRUEBA⁴

Cálculo de la velocidad permisible del flujo de vapor:

$$V_c = F_{21} * \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}} \quad \text{Ecuación 1}$$

V_c = Velocidad crítica

ρ_l = Densidad del líquido a condiciones de operación

ρ_g = Densidad del gas a condiciones de operación

F_{21} = Factor que depende de las unidades usadas

La velocidad de vapor permisible en el recipiente (V_v), será un porcentaje de la velocidad crítica de acuerdo a lo indicado en el anexo B.

Cálculo del área vertical requerida (A_v), para el flujo de vapor por encima de NAAL:

$$A_v = \frac{Q_v}{V_v} \quad \text{Ecuación 2}$$

A_v = Área de sección transversal para el flujo de gas

Q_v = Flujo de descarga del gas

V_v = Velocidad permisible del gas

4.2.1 Dimensionamiento del recipiente del separador

Cálculo del volumen de retención de operación de líquido liviano, entre el NAL y el NBL:

$$V_{r1} = Q_{L1} * t_{r1} \quad \text{Ecuación 3}$$

⁴ PDVSA. Manual de procesos (tambores separadores) separadores líquido-líquido-vapor. Sección MDP-03-S-05. 1995. p 33.

V_{r1} = Volumen de retención de operación de líquido liviano

Q_{L1} = Flujo volumétrico de líquido liviano

t_{r1} = Tiempo de residencia de operación de líquido liviano

El volumen de retención de líquido liviano por tiempo de respuesta del operador al accionarse una alarma (sea de alta o sea de baja), entre NAAL y NAL (o entre NBBL y NBL), se obtiene multiplicando el flujo de alimentación líquida liviana por el tiempo de respuesta supuesto, el cual es 5 min (300 s), desde NAL hasta NAAL, y 5 min más (300 s), desde NBL hasta NBBL.

$$V_{r2} = Q_{L1} * 600 \quad \text{Ecuación 4}$$

V_{r2} = Volumen de retención de líquido liviano

Cálculo del volumen de retención de operación de líquido pesado, entre el NAI y el NBI:

$$V_{r3} = Q_{L2} * t_{r3} \quad \text{Ecuación 5}$$

V_{r3} = Volumen de retención de operación de líquido pesado

4.2.2 Primer tanteo

Asumir un valor inicial de la relación $F_{24} L_{eff}/D$

$$P < 250 \text{ Psig} \quad 1.5 < F_{24} L_{eff}/D < 3.0 \quad \text{Ecuación 6}$$

Asuma un diámetro y a partir de la relación $F_{24} L_{eff}/D$ cálculo la longitud L_{eff} .

Cálculo del área vertical entre el NBL y el NAL ($A_{NBL-NAL}$):

$$A_{NBL-NAL} = V_{r1}/L_{eff} \quad \text{Ecuación 7}$$

Cálculo del área vertical entre el NBI y el NAI ($A_{NBI-NAI}$):

$$A_{NBI-NAI} = V_{r3}/L_{eff} \quad \text{Ecuación 8}$$

Cálculo del área fraccional (A_8^*) de la sección transversal localizada entre el fondo del tambor y el NBI ($A_{fon-NBI}$), a la altura del NBI (h_{NBI}), utilizando el anexo C. en donde con el valor de R_8^* se lee el valor correspondiente a A_8^* .

$$R_8^* = h_{NBI}/D \quad \text{Ecuación 9}$$

Cálculo del área vertical entre el NBI y el fondo del tambor ($A_{fon-NBI}$)

$$A_{TAMB} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * (D/F_{24})^2 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A_{fon-NBI} = A_8^* * A_{TAMB} \quad \text{Ecuación 11}$$

Cálculo del área vertical entre el fondo del tambor y el NAI ($A_{fon-NAI}$), la altura entre el fondo y el NAI ($h_{fon-NAI}$), y la altura entre el NAI y el NBI ($h_{NBI-NAI}$):

$$A_{fon-NAI} = A_{NBI-NAI} + A_{fon-NBI} \quad \text{Ecuación 12}$$

Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NAI:

$$h_{fon-NAI} = R_9^* * D \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde R_9^* se calcula a partir del anexo C, con el valor de A_9^*

$$A_9^* = A_{\text{fon-NAI}}/A_{\text{TAMB}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Cálculo del área fraccional (A_1^*) de la sección transversal localizada entre el fondo del tambor y el NBBL ($A_{\text{fon-NBBL}}$), a la altura del NBBL (h_{NBBL}).

Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NBBL:

$$h_{\text{fon-NBBL}} = h_{\text{fon-NAI}} + h_{\text{NBBL-NAI}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Cálculo del área fraccional (A_1^*) de la sección transversal localizada entre el fondo del tambor y el NBBL ($A_{\text{fon-NBBL}}$), a la altura del NBBL ($h_{\text{fon-NBBL}}$), utilizando el anexo C, en donde con el valor de R_{10}^* se lee, el valor correspondiente a A_1^* .

$$R_{10}^* = h_{\text{fon-NBBL}}/D \quad \text{Ecuación 16}$$

Cálculo del área vertical entre el NBBL y el fondo del tambor ($A_{\text{fon-NBBL}}$):

$$A_{\text{fon-NBBL}} = A_1^* * A_{\text{TAMB}} \quad \text{Ecuación 17}$$

Obtención del área transversal entre el fondo y el NAL ($A_{\text{fon-NAL}}$):

$$A_{\text{fon-NAL}} = A_{\text{fon-NBBL}} + A_{\text{NAL-NBL}} + \frac{V_{r2}}{\frac{L_{\text{eff}}}{2}} \quad \text{Ecuación 18}$$

Cálculo del área vertical entre el NBBL y el NAAL ($A_{\text{NBBL-NAAL}}$), y la altura de la sección transversal correspondiente ($h_{\text{NBBL-NAAL}}$).

Área vertical entre el NBBL y el NAAL:

$$A_{\text{NBBL-NAAL}} = A_{\text{NBL-NAL}} + \frac{V_{r2}}{L_{\text{eff}}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Área vertical entre el fondo y el NAAL.

$$A_{\text{fon-NAAL}} = A_{\text{NBBL-NAAL}} + A_{\text{fon-NBBL}} \quad \text{Ecuación 20}$$

Cálculo del área fraccional de la sección transversal (A_5^*):

$$A_5^* = A_{\text{fon-NAAL}} / A_{\text{TAMB}} \quad \text{Ecuación 21}$$

Utilizando el anexo C, con el valor de A_5^* , se lee, el valor correspondiente a R_5^* .

Cálculo de la altura entre el fondo del tambor y el NAL ($h_{\text{fon-NAAL}}$):

$$h_{\text{fon-NAAL}} = R_5^* * D \quad \text{Ecuación 22}$$

Cálculo del área vertical disponible para el flujo de vapor A_{VD} :

$$A_{VD} = A_{\text{TAMB}} - A_{\text{fon-NAAL}} \quad \text{Ecuación 23}$$

Comparar el valor obtenido del área requerida (A_v) con el área disponible para el flujo de vapor (A_{VD}).

- ✓ Si A_v es igual a A_{VD} , el diámetro asumido es correcto.
- ✓ Si A_{VD} es significativamente mayor que A_v , el tamaño de tambor que se supuso es demasiado grande para el servicio.

- ✓ si A_{VD} es significativamente menor que A_v , el tamaño de tambor que se supuso es demasiado pequeño.

De acuerdo a lo expresado en los ítems anteriores, se debe repetir el procedimiento desde la ecuación 6. Con un valor de diámetro mayor o menor según sea el caso, hasta encontrar el valor para el diámetro óptimo; cuando se obtenga tal diámetro, redondear al diámetro comercial, por arriba, más cercano.

Al lograr esto, se obtendrá un valor mínimo de longitud de operación o longitud efectiva del tambor (L_{eff}). Esta longitud horizontal o longitud efectiva del tambor (L_{eff}), se mide desde la boquilla de entrada de alimentación hasta la boquilla de salida de gas.

4.2.3 Cálculo de otras áreas y distancias verticales del recipiente.

Cálculo del área vertical entre el NBBL y NBL ($A_{NBBL-NBL}$), corresponde al volumen de líquido de cinco minutos (300 s), de tiempo de residencia del líquido:

$$A_{NBBL-NBL} = Q_L * 300 / L_{eff} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$A_{NAAL-NAL} = A_{NBBL-NBL} \quad \text{Ecuación 25}$$

Cálculo del área vertical entre el fondo y NBL ($A_{fon-NBL}$):

$$A_{fon-NBL} = A_{fon-NBBL} + A_{NBBL-NBL} \quad \text{Ecuación 26}$$

Cálculo del área vertical entre el fondo y NAL ($A_{fon-NAL}$):

$$A_{fon-NAL} = A_{fon-NAAL} + A_{NAAL-NAL} \quad \text{Ecuación 27}$$

Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NBL:

$$h_{\text{fon-NBL}} = R_3^* * D \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde R_3^* se calcula a partir del anexo C, con el valor de A_3^* :

$$A_3^* = A_{\text{fon-NBL}}/A_{\text{TAMB}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Cálculo de la distancia vertical entre el fondo del tambor y el NAL:

$$h_{\text{fon-NAL}} = R_4^* * D \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde R_4^* se calcula a partir del anexo C, con el valor de A_4^* :

$$A_4^* = A_{\text{fon-NAL}}/A_{\text{TAMB}} \quad \text{Ecuación 31}$$

4.2.4 Verificación de distancias mínimas del tambor

- ✓ Se verifica que $h_{\text{NBBL-NAAL}}$ sea mayor o igual a 360 mm (14")

Obtención de la altura entre el NAAL y el NBBL ($h_{\text{NBBL-NAAL}}$):

$$h_{\text{NBBL-NAAL}} = h_{\text{fon-NAAL}} - h_{\text{fon-NBBL}} \quad \text{Ecuación 32}$$

- ✓ Si $h_{\text{NBBL-NAAL}}$ es menor que 360 mm (14").

$$h_{\text{NBBL-NAAL}} = 360 \text{ mm (14")} \quad \text{Ecuación 33}$$

Se modifica ($h_{\text{fon-NAAL}}$), manteniendo todas las demás alturas incrementales que ya se habían calculado.

$$h_{\text{fon-NALL}} = h_{\text{NBBL-NAAL}} - h_{\text{fon-NBBL}} \quad \text{Ecuación 34}$$

Se aumenta el diámetro en una cantidad igual a $h_{NBBL} - NAAL$. Se altera la longitud efectiva de separación acorde a la relación $F_{24} \times L_{eff} / D$.

- ✓ Verifique que $h_{NBI} - NAI$ sea mayor o igual a 360 mm (14").

Se obtiene la altura entre el NAI y el NBI ($h_{NBI} - NAI$).

$$h_{NBI-NAI} = h_{fon-NAI} - h_{fon-NBL} \quad \text{Ecuación 35}$$

- ✓ Si $h_{NBI} - NAI$ es menor que 360 mm (14"):

$$h_{NBI-NAI} = 360 \text{ mm (14")} \quad \text{Ecuación 36}$$

Se modifica ($h_{fon-NAI}$), manteniendo todas las demás alturas incrementales que ya se habían calculado.

$$h_{fon-NAI} = h_{NBI-NAI} - h_{fon-NBI} \quad \text{Ecuación 37}$$

Se aumenta el diámetro en una cantidad igual a $h_{NBI} - NAI$. Se altera la longitud efectiva de separación acorde a la relación $F_{24} \times L_{eff}/D$.

Se verifica que la altura de la zona de flujo de vapor sea mayor, sea mayor de 300 mm (12") y el 20% del diámetro del tambor. En caso que sea así, no alterar los cálculos realizados hasta ahora. En caso que no sea así, se procede a:

- ✓ Aumentar la altura de la zona de vapor hasta cumplir con la limitación antes mencionada.
- ✓ Aumentar el diámetro en la misma cantidad que aumentó la altura de la zona de flujo de vapor.

- ✓ No modificar las alturas que ya se habían calculado.

4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA BOQUILLA DE ENTRADA⁵

Determinación del diámetro de la boquilla (dp):

- ✓ Se tiene el diámetro de la tubería de entrada el cual es el mismo que el de la boquilla.

Cálculo de la velocidad real de la mezcla a la entrada V_s .

$$V_s = \frac{F_{20} * 4 * Q_M}{\pi * d_p^2} \quad \text{Ecuación 38}$$

V_s = Velocidad real de entrada

Boquilla de entrada con codo de 90°.

$$V_E = \frac{F_2 * \sigma}{f * \mu_G * \left[\frac{\rho_g}{\rho_l}\right]^{0.5}} \quad \text{Ecuación 39}$$

V_E = Velocidad máxima de la mezcla a la salida de la boquilla de entrada

F_2 = Factor que depende de las unidades usadas

σ = Tensión superficial del líquido a condiciones de operación

f = Factor de disipación de la velocidad del chorro

μ_G = Viscosidad del gas a condiciones de operación

ρ_l = Densidad del líquido a condiciones de operación

ρ_g = Densidad del gas a condiciones de operación

⁵ PDVSA. Manual de procesos (tambores separadores) separadores líquido-líquido-vapor. Sección MDP-03-S-04. 1995. p 17.

4.4 DISEÑO DE LA MALLA SEPARADORA DE GOTAS⁶

Cálculo del área de la malla

$$A_{MALLA} = \frac{Q_V}{V_V} \quad \text{Ecuación 40}$$

A_{MALLA} = Área de la malla

Selección del espesor y densidad de la malla, según los criterios de diseño ya seleccionados.

Cálculo del ancho de la malla cuadrada (a_{Malla}):

$$a_{MALLA} = F_{25} * (A_{MALLA})^{0.5} \quad \text{Ecuación 41}$$

a_{MALLA} = Ancho de la malla

Cálculo de la distancia mínima permisible h_0 entre el tope de la malla y la boquilla de salida del gas:

$$h_0 = \frac{F_8 * D_{MALLA} - d_0}{2} \quad \text{Ecuación 42}$$

Cálculo de la distancia vertical disponible entre el fondo de la malla y NAAL ($h_{Malla-NAAL}$):

$$h_{MALLA-NAAL} = D - (h_{fon-NAAL}) - h_0 - e_{MALLA} \quad \text{Ecuación 43}$$

- ✓ El $h_{Malla-NAAL}$ mínimo requerido es de 300 mm (12”), para prevenir un goteo excesivo en la malla.

Cálculo de la distancia de la cuerda disponible para instalar la malla:

⁶ PDVSA. Manual de procesos (tambores separadores) separadores líquido-líquido-vapor. Sección MDP-03-S-03. 1995. p 33.

$$h = D * \sin \left[\cos^{-1} \left(1 - \frac{2}{D} \right) * (D - h_{\text{MALLA-NAAL}} - h_{\text{fon-NAAL}}) \right] \quad \text{Ecuación 44}$$

Cálculo para el flujo másico de gas a condiciones de operación:

$$W_g = Q_g * \rho_g \quad \text{Ecuación 45}$$

W_g = Flujo másico de gas a condiciones de operación

Q_g = Caudal de gas a condiciones de operación

Cálculo para el flujo másico de petróleo a condiciones de operación:

$$W_o = Q_o * \rho_o \quad \text{Ecuación 46}$$

W_o = Flujo másico de petróleo a condiciones de operación

Q_o = Caudal de petróleo a condiciones de operación

Cálculo para el flujo másico de agua a condiciones de operación:

$$W_w = Q_w * \rho_w \quad \text{Ecuación 47}$$

W_w = Flujo másico de agua a condiciones de operación

Q_w = Caudal de agua a condiciones de operación

Cálculo para el caudal de mezcla:

$$Q_m = Q_o + Q_g + Q_w \quad \text{Ecuación 48}$$

Q_m = Caudal de mezcla

Cálculo sobre la determinación de relación de áreas entre petróleo y agua:

$$\frac{A_o}{A_w} = \frac{Q_o}{Q_w} \quad \text{Ecuación 49}$$

A_o = Área para el flujo de petróleo

A_w = Área para el flujo de agua

Cálculo del área para el flujo de agua:

$$A_w = \frac{A_o + A_w}{1 + \frac{A_o}{A_w}} \quad \text{Ecuación 50}$$

Cálculo de la velocidad para elevación de las gotas de aceite en el agua:

$$V_o = 0.0001072 * D_o^2 * \left[\frac{\rho_w - \rho_o}{\mu_w} \right] \quad \text{Ecuación 51}$$

V_o = Velocidad de elevación de las gotas de aceite en el agua

D_o = Diámetro de la gota de aceite

μ_w = Viscosidad del agua

Cálculo de la velocidad para elevación de las gotas de agua en el aceite:

$$V_w = 0.0001072 * D_w^2 * \left[\frac{\rho_w - \rho_o}{\mu_o} \right] \quad \text{Ecuación 52}$$

V_w = Velocidad de elevación de las gotas de agua en el aceite

D_w = Diámetro de la gota de agua

μ_o = Viscosidad del aceite o petróleo

Cálculo para el tiempo de retención requerido para el petróleo:

$$t_o = \frac{h_w}{V_o} \quad \text{Ecuación 53}$$

t_o = Tiempo de retención requerido para el petróleo

h_w = Distancia

Cálculo para velocidad de entrada de la mezcla al separador:

$$V_{EM} = \frac{60}{\sqrt{\rho_l}} \quad \text{Ecuación 54}$$

V_{EM} = Velocidad de entrada de la mezcla

Cálculo para velocidad de salida del gas:

$$V_{SG} = \frac{60}{\sqrt{\rho_g}} \quad \text{Ecuación 56}$$

V_{SG} = Velocidad de salida del gas

Cálculo para velocidad de salida del petróleo:

$$V_{SO} = \frac{60}{\sqrt{\rho_o}} \quad \text{Ecuación 57}$$

V_{SO} = Velocidad de salida del petróleo

Cálculo para velocidad de salida del agua:

$$V_{SW} = \frac{60}{\sqrt{\rho_w}} \quad \text{Ecuación 58}$$

V_{SW} = Velocidad de salida del agua

Cálculo para el diámetro de la boquilla de entrada del crudo:

$$D_{be} = \sqrt{\frac{4 * Q_m}{\pi * V_{EM}}} * 12 \quad \text{Ecuación 59}$$

D_{be} = Diámetro de la boquilla de entrada

Cálculo para el diámetro de la boquilla de salida de gas:

$$D_{bsg} = \sqrt{\frac{4 * Q_g}{\pi * V_{SG}}} * 12 \quad \text{Ecuación 60}$$

D_{bsg} = Diámetro de la boquilla de salida de gas

Cálculo para el diámetro de la boquilla de salida de petróleo:

$$D_{bso} = \sqrt{\frac{4 * Q_o}{\pi * V_{SO}}} * 12 \quad \text{Ecuación 61}$$

D_{bso} = Diámetro de la boquilla de salida de petróleo

Cálculo para el diámetro de la boquilla de salida de agua:

$$D_{bsw} = \sqrt{\frac{4 * Q_w}{\pi * V_{SW}}} * 12 \quad \text{Ecuación 62}$$

D_{bsw} = Diámetro de la boquilla de salida de agua

Cálculo para la distancia mínima entre el tope de la malla y la boquilla de salida del gas:

$$h_x = \frac{a_{\text{MALLA}} - D_{\text{bsg}}}{2} \quad \text{Ecuación 63}$$

h_x = Distancia entre el tope de la malla y la boquilla de salida del gas

4.5 CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SEPARADOR

En la tabla 5, se encuentran los datos para el dimensionamiento del separador de prueba Campo Escuela Colorado.

Tabla 5. Información requerida para el diseño del separador

Información	Gas	Petróleo	Agua	General
Densidad	0.1466 [lb/ft ³]	51.485 [lb/ft ³]	62.4 [lb/ft ³]	
Viscosidad	7 * 10 ⁻⁶ [lb/ft * s]	5.77 [lb/ft * s]	0.00552 [lb/ft * s]	
Caudal	1.16 [ft ³ /s]	80 [Bpd]	20 [Bpd]	
Presión de operación				200 [Psi]
Temperatura de operación				550 [R]
Factor de compresibilidad				0.9754
°API				40°

Fuente: autores del proyecto

Velocidad crítica del gas:

$$V_c = F_{21} * \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}}$$

$$\rho_l = 51,48455 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right]$$

$$\rho_g = 0,16 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right]$$

$$F_{21} = 0,157$$

$$\mathbf{V_c = 2,812 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]}$$

Área flujo de gas:

$$A_v = \frac{Q_v}{V_v}$$

$$V_v = V_c$$

$$V_v = 2,812 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

$$Q_v = 11,57 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

$$\mathbf{A_v = 4,115 \left[\text{ft}^2 \right]}$$

Volumen de retención líquido liviano:

$$V_{r1} = Q_{L1} * t_{r1}$$

$$Q_{L1} = 0,00536 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

$$t_{r1} = 180 \text{ [s]}$$

$$\mathbf{V_{r1} = 0,9648 \left[\text{ft}^3 \right]}$$

Volumen de retención del líquido liviano por tiempo de respuesta:

$$V_{r2} = Q_{L1} * 600$$

$$V_{r2} = 1,171 \text{ [ft}^3\text{]}$$

Volumen de retención del líquido pesado:

$$V_{r3} = Q_{L2} * t_{r3}$$

$$Q_{L2} = 0,00134 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

$$t_{r3} = 180 \text{ [s]}$$

$$V_{r3} = 0,2412 \text{ [ft}^3\text{]}$$

Primer tanteo

$$F_{24} * \frac{L_{\text{eff}}}{D} = 2$$

$$F_{24} = 1$$

$$D = 3,94 \text{ [ft]}$$

$$L_{\text{eff}} = 7,88 \text{ [ft]}$$

Tabla 6. Cálculos de L_{eff} .

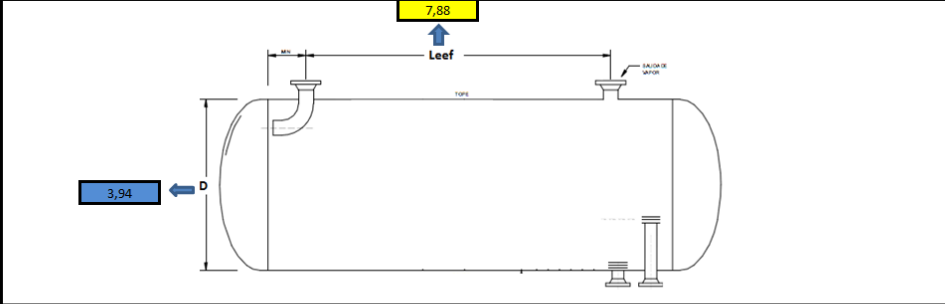


Diagram showing a horizontal cylindrical separator with diameter D and effective length L_{eff} . The diameter D is labeled as 3.94 and L_{eff} is labeled as 7.88.

ECUACIONES

$$F_{24} \cdot \frac{L_{eff}}{D} = 2$$

PARAMETROS DE ENTRADA				PARAMETROS DE SALIDA			
parametro	valor	nombre	unidades	parametro	valor	nombre	unidades
D	3,94	diametro del separador	pies	L_{eff}	7,88	longitud efectiva	pies
F 24	1	valor que depende de las unidades					
	2	media del rango de valores permitidos					

Fuente: autores del proyecto

Área vertical entre el NBL y el NAL ($A_{NBL-NAL}$):

$$A_{NBL-NAL} = V_{r1}/L_{eff}$$

$$A_{NBL-NAL} = 0,1224 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Área vertical entre el NBI y el NAI ($A_{NBI-NAI}$):

$$A_{NBI-NAI} = V_{r3}/L_{eff}$$

$$A_{NBI-NAI} = 0,03061 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Área fraccional (A_8^*)

$$R_8^* = h_{NBI}/D$$

$$h_{NBI} = 0.75 \text{ [ft]}$$

$$A_8^* = 0,1323$$

Área vertical entre el NBI y el fondo del tambor ($A_{\text{fon-NBI}}$)

$$A_{\text{TAMB}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * (D/F_{24})^2$$

$$\mathbf{A_{TAMB} = 12,19 \text{ [ft}^2\text{]}}$$

$$A_{\text{fon-NBI}} = A_8^* * A_{\text{TAMB}}$$

$$\mathbf{A_{\text{fon-NBI}} = 1,613 \text{ [ft}^2\text{]}}$$

Área vertical entre el fondo del tambor y el NAI ($A_{\text{fon-NAI}}$):

$$A_{\text{fon-NAI}} = A_{\text{NBI-NAI}} + A_{\text{fon-NBI}}$$

$$\mathbf{A_{\text{fon-NAI}} = 1,644 \text{ [ft}^2\text{]}}$$

Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NAI:

$$A_9^* = A_{\text{fon-NAI}}/A_{\text{TAMB}}$$

$$\mathbf{A_9^* = 0,1348}$$

$$\mathbf{R_9^* = 0,192}$$

$$h_{\text{fon-NAI}} = R_9^* * D$$

$$\mathbf{h_{\text{fon-NAI}} = 1,263 \text{ [ft]}}$$

Distancia vertical entre el fondo del tambor y el NBBL:

$$h_{\text{fon-NBBL}} = h_{\text{fon-NAI}} + h_{\text{NBBL-NAI}}$$

$$h_{\text{NBBL-NAI}} = 0,75 \text{ [ft]}$$

$$\mathbf{h_{\text{fon-NBBL}} = 0,7595 \text{ [ft]}}$$

Área fraccional (A_1^*):

$$R_{10}^* = h_{\text{fon-NBBL}}/D$$

$$R_{10}^* = 0,3824$$

$$A_1^* = 0,349$$

Área vertical entre el NBBL y el fondo del tambor ($A_{\text{fon-NBBL}}$):

$$A_{\text{fon-NBBL}} = A_1^* * A_{\text{TAMB}}$$

$$A_{\text{fon-NBBL}} = 4,255 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Área transversal entre el fondo y el NAL ($A_{\text{fon-NAL}}$):

$$A_{\text{fon-NAL}} = A_{\text{fon-NBBL}} + A_{\text{NAL-NBL}} + \frac{V_{r2}}{\frac{L_{\text{eff}}}{2}}$$

$$A_{\text{NAL-NBL}} = A_{\text{NBL-NAL}}$$

$$A_{\text{fon-NAL}} = 4,582 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Área vertical entre el NBBL y el NAAL ($A_{\text{NBBL-NAAL}}$):

$$A_{\text{NBBL-NAAL}} = A_{\text{NBL-NAL}} + \frac{V_{r2}}{L_{\text{eff}}}$$

$$A_{\text{NBBL-NAAL}} = 0,5306 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Área vertical entre el fondo y el NAAL.

$$A_{\text{fon-NAAL}} = A_{\text{NBBL-NAAL}} + A_{\text{fon-NBBL}}$$

$$A_{\text{fon-NAAL}} = 4,786 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Área fraccional de la sección transversal (A_5^*):

$$A_5^* = A_{\text{fon-NAAL}} / A_{\text{TAMB}}$$

$$A_5^* = 0,3925$$

$$R_5^* = 0,415$$

Altura entre el fondo del tambor y el NAL ($h_{\text{fon-NAAL}}$):

$$h_{\text{fon-NAAL}} = R_5^* * D$$

$$h_{\text{fon-NAAL}} = 1,631 \text{ [ft]}$$

Área vertical disponible para el flujo de vapor A_{VD} :

$$A_{\text{VD}} = A_{\text{TAMB}} - A_{\text{fon-NAAL}}$$

$$A_{\text{VD}} = 4,98 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Caudal de petróleo a condiciones de operación:

$$Q_o = 0,00536 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

Caudal de gas a condiciones de operación:

$$Q_g = 11,57 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

Caudal de agua a condiciones de operación:

$$Q_w = 0,00134 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

Flujo másico de gas a condiciones de operación:

$$W_g = Q_g * \rho_g$$

$$\rho_g = 0,16 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right]$$

$$W_g = 1,8512 \left[\frac{\text{lb}}{\text{s}} \right]$$

Flujo másico de petróleo a condiciones de operación:

$$W_o = Q_o * \rho_o$$

$$\rho_o = 0,825 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right]$$

$$W_o = 0,0004422 \left[\frac{\text{lb}}{\text{s}} \right]$$

Flujo másico de agua a condiciones de operación:

$$W_w = Q_w * \rho_w$$

$$\rho_w = 1,07 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right]$$

$$W_w = 0,0014338 \left[\frac{\text{lb}}{\text{s}} \right]$$

Determinación de relación de áreas entre petróleo y agua:

$$\frac{A_o}{A_w} = \frac{Q_o}{Q_w}$$

Área para el flujo de agua:

$$A_w = \frac{A_o + A_w}{1 + \frac{A_o}{A_w}}$$

$$A_o = 0,9908 \text{ [ft}^2\text{]}$$

$$A_w = 0,3303 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Velocidad de elevación de las gotas de aceite en el agua:

$$V_o = 0,0001072 * D_o^2 * \left[\frac{\rho_w - \rho_o}{\mu_w} \right]$$

$$D_o = 0,000492 \text{ [ft]}$$

$$\mu_w = 0,005521 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft} * \text{s}} \right]$$

$$V_o = 0 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

Velocidad de elevación de las gotas de agua en el aceite:

$$V_w = 0,0001072 * D_w^2 * \left[\frac{\rho_w - \rho_o}{\mu_o} \right]$$

$$D_w = 0,000492 \text{ [ft]}$$

$$\mu_o = 5,77 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft} * \text{s}} \right]$$

$$V_w = 0 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

Velocidad de entrada de la mezcla:

$$V_{EM} = \frac{60}{\sqrt{\rho_1}}$$

$$V_{EM} = 8,362 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

Velocidad de salida del gas:

$$V_{SG} = \frac{60}{\sqrt{\rho_g}}$$

$$V_{SG} = 156,7 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

Velocidad de salida del petróleo:

$$V_{SO} = \frac{60}{\sqrt{\rho_o}}$$

$$V_{SO} = 66,06 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

Velocidad de salida del agua:

$$V_{SW} = \frac{60}{\sqrt{\rho_w}}$$

$$V_{SW} = 58 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

Diámetro de la boquilla de entrada:

$$D_{be} = \sqrt{\frac{4 * Q_m}{\pi * V_{EM}}} * 12$$

$$D_{be} = 1,221 \text{ [in]}$$

Diámetro de la boquilla de salida de gas:

$$D_{\text{bsg}} = \sqrt{\frac{4 * Q_g}{\pi * V_{\text{SG}}}} * 12$$

$$D_{\text{bsg}} = 1,165 \text{ [in]}$$

$$\mathbf{D_{\text{bsg}} = 2 [in]} \text{ normalizado}$$

Diámetro de la boquilla de salida de petróleo:

$$D_{\text{bso}} = \sqrt{\frac{4 * Q_o}{\pi * V_{\text{SO}}}} * 12$$

$$\mathbf{D_{\text{bso}} = 0,124 [in]}$$

$$\mathbf{D_{\text{bso}} = 1 [in]} \text{ normalizado}$$

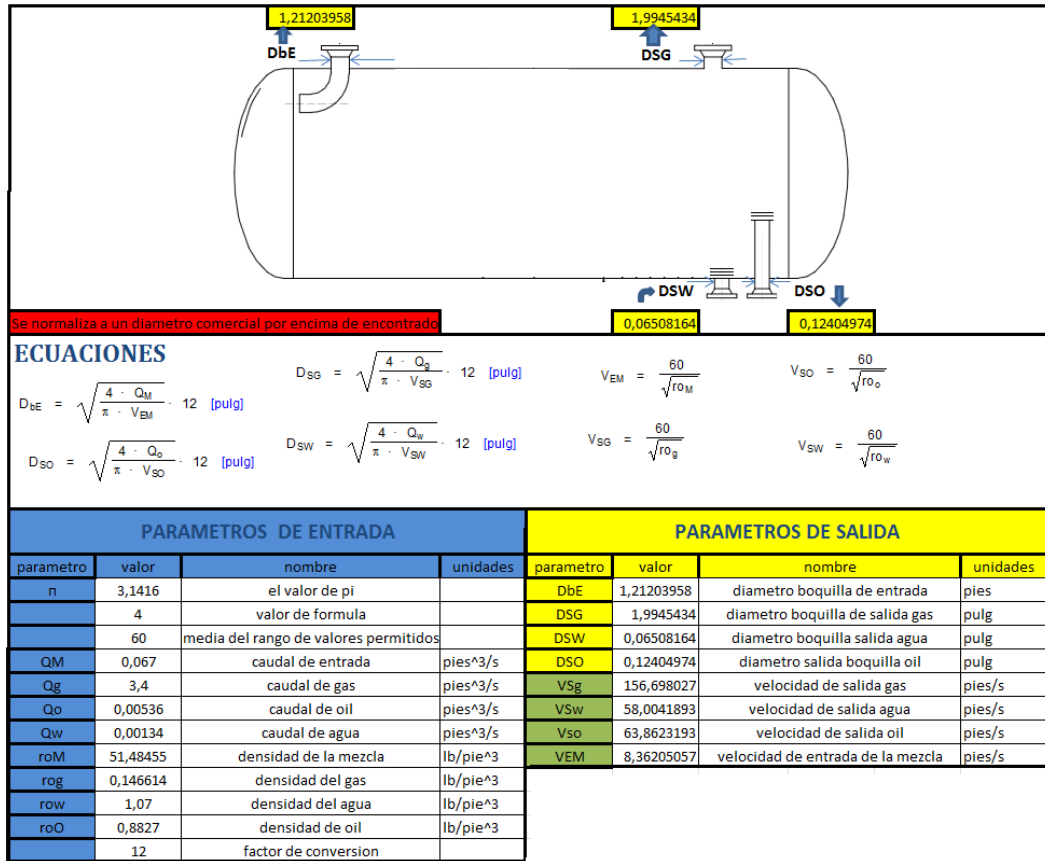
Diámetro de la boquilla de salida de agua:

$$D_{\text{bsw}} = \sqrt{\frac{4 * Q_w}{\pi * V_{\text{SW}}}} * 12$$

$$\mathbf{D_{\text{bsw}} = 0,065 [in]}$$

$$\mathbf{D_{\text{bsw}} = 1 [in]} \text{ normalizado}$$

Tabla 7. Cálculos boquillas del separador



Fuente: autores del proyecto

Área de la malla en la salida de gas:

$$A_{MALLA} = \frac{Q_g}{V_c}$$

$$A_{MALLA} = 0,3948 \text{ [ft}^2\text{]}$$

Ancho de la malla de salida de gas:

$$a_{MALLA} = 12 * \sqrt{A_{MALLA}}$$

$$a_{MALLA} = 7,54 \text{ [in}^2\text{]}$$

Distancia mínima entre el tope de la malla y la boquilla de salida del gas:

$$h_x = \frac{a_{\text{MALLA}} - D_{\text{bsg}}}{2}$$

$$h_x = 3.02 \text{ [in]}$$

Tabla 8. Cálculos dimensiones de malla

ECUACIONES

$$V_c = F_{21} \cdot \left[\sqrt{\frac{r_{o1} - r_{og}}{r_{og}}} \right]$$

$$A_{\text{malla}} = \frac{Q_g}{V_c}$$

$$h_x = \frac{a_{\text{malla1}} - D_{\text{SG1}}}{2}$$

$$a_{\text{malla1}} = 12 \cdot \sqrt{A_{\text{malla}}}$$

PARAMETROS DE ENTRADA				PARAMETROS DE SALIDA			
parametro	valor	nombre	unidades	parametro	valor	nombre	unidades
Qg	11,57	caudal de gas	pies^3/s	hx	11,1707351	distancia de la boquilla a la malla	pulg
rog	0,16	densidad del gas	lb/pie^3	Amalla	4,11463317	area de la malla	pulg^2
roM	51,48455	densidad de la mezcla	lb/pie^3	amalla1	24,3414703	ancho de la malla	pulg
F21	0,157	depende de las unidades		Vc	2,81191531	velocidad critica del gas	pies/s
Dsg	2	diametro de salida gas (normalizado)	pulg				

Fuente: autores del proyecto

Distancia vertical entre el fondo de la malla al NAAL:

$$h_{\text{fm-NAAL}} = D - h_{\text{fon-NAAL}} - h_x - e_{\text{malla}}$$

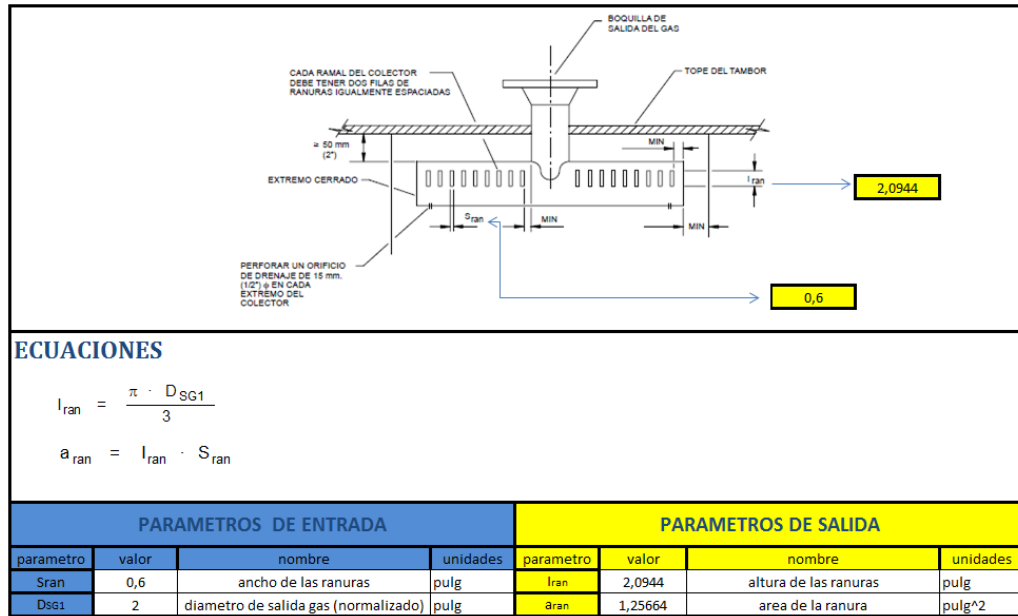
$$D = 39,37 \text{ [in]}$$

$$h_{\text{fon-NAAL}} = 24 \text{ [in]}$$

$$e_{\text{malla}} = 4 \text{ [in]}$$

$$h_{\text{fm-NAAL}} = 8,35 \text{ [in]}$$

Tabla 9. Cálculos boquilla de salida de gas en T

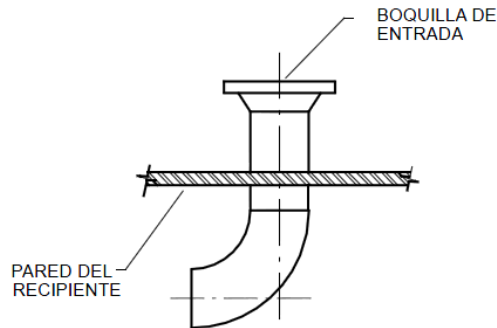


Fuente: autores del proyecto

4.6 CODOS DE 90° COMO DEFLECTORES DE ENTRADA

De acuerdo a las recomendaciones que se presentan a lo largo de este documento, pueden usarse codos de 90° como deflectores de entrada de la mezcla bifásica al tambor separador, cuyas dimensiones se pueden ver en el anexo D.

Figura 14. Forma de entrada al separador



Fuente: PDVSA, manual de procesos (tambores separadores). Manual de diseño de proceso separación física separadores líquido-líquido-vapor procedimientos de diseño. 1995. 28 p.

La información de medidas de los codos de 90°, se encuentra en el anexo D, en nuestro caso se tiene que la boquilla de entrada es de 2", por lo cual se selecciona el codo de radio largo de 3" (76 mm) y codo de radio corto de 2" (51 mm).

4.7 CÁLCULO DE ESPESOR DEL CILINDRO POR PRESIÓN INTERNA⁷

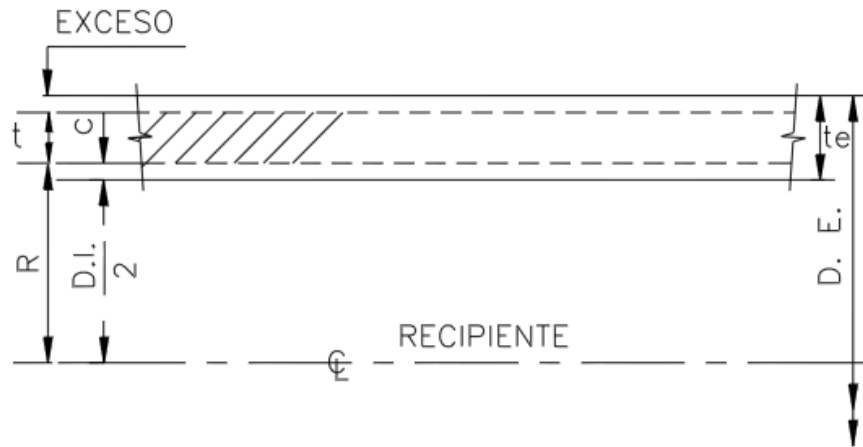
Al calcular un recipiente cilíndrico horizontal por presión interna, es necesario realizar independientemente el cálculo del cuerpo y las tapas. Los cálculos necesarios para seleccionar adecuadamente los espesores del cuerpo y las tapas de un recipiente cilíndrico horizontal son:

4.7.1 Cálculo espesor del cilindro

Para el cálculo de este espesor se toma una presión por encima de la presión de operación llamada presión de diseño, la cual es estimada en 200 psi.

⁷ LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual 2ed. p 89.

Figura 15. Espesor del cuerdo del cilindro



Fuente: LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual. 2ed. p.91

$$t = \frac{P * D}{(S * E) - (0,6 * P)} \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde

D = Diámetro interior

t = Espesor mínimo requerido en pulgada

P = Presión de diseño

S = Esfuerzo último del material

E = Eficiencia de soldadura

Operación para el espesor del cilindro

Tabla 10. Datos para el cálculo de espesor

DATO	VALOR	UNIDADES
D	47.24	[in]
P	200	[psi]
S	36259.43	[psi]
E	0.85	

Fuente: Autores Proyecto

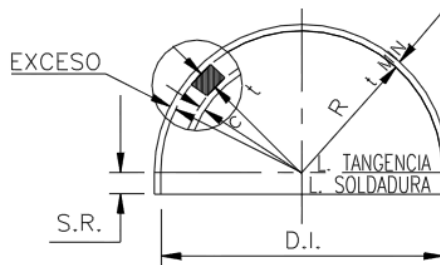
$$t = \frac{200 * 47.24}{(36259.43 * 0,85) - (0.6 * 200)}$$

$$t = 0,307 \text{ [in]}$$

4.7.2 Cálculo de las tapas

Con los datos utilizados para el cilindro y con la siguiente ecuación se puede hallar el espesor mínimo de las tapas

Figura 16. Espesor de las tapas



Fuente: LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual 2ed. p.95

$$t_1 = \frac{P * D}{(2 * S * E) - (0,2 * P)}$$

Ecuación 65

t_1 = Espesor de las tapas

$$t_1 = \frac{200 * 47,24}{(2 * 36259,43 * 0,85) - (0,2 * 200)}$$

$t_1 = 0,15 \text{ [in]}$

Tabla 11. Cálculo de espesores

el espesor obtenido aca es por resistencia de material, para calcular el verdadero valor hay que sumarle otros espesores considerados en la norma: ASME . como es el caso de: soldadura y corrosion en este caso el espesor de la tubería queda de 5/16 de pulgada

ECUACIONES

$$t_1 = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P}$$

$$t = \frac{P \cdot D}{S \cdot E - 0,6 \cdot P}$$

PARAMETROS DE ENTRADA				PARAMETROS DE SALIDA			
parametro	valor	nombre	unidades	parametro	valor	nombre	unidades
P	200	presion de operación	psig	t1	0,15337406	espesor de la tapa	pulg
D	47,24	diametro del separador	pulg	t	0,30774728	espesor del cilindro	pulg
S	36259,43	esfuerzo ultimo	psig				
E	0,85	factor de soldadura					

Fuente: Autores Proyecto

4.8 TOLERANCIAS DE ESPESOR POR CORROSIÓN⁸

Las superficies interiores de un recipiente, al estar en contacto con el fluido, pueden estar expuestas a sufrir la pérdida de espesor por efecto de la corrosión y en el caso de movimiento de sólidos en suspensión, por erosión o abrasión mecánica, figura 17.

⁸ ASME. Sección X

Figura 17. Corrosión en tanques



Fuente: <http://pwp.etb.net.co/ramarino/frangal/servicios.html>

El Código ASME no permite que el espesor mínimo de la envolvente y de los cabezales (luego de conformados) de un recipiente a presión, sea menor a $1/16''$ (1,59 mm), excluida la tolerancia por corrosión; en todos los casos en los que se considere que esta pudiere aparecer, se debe sumar un sobre espesor adicional al de cálculo; está establecido como recomendable, adicionar un valor del orden de $1/16''$, con lo cual el espesor mínimo, no debería ser menor de $1/8''$ (3,17 mm). En el caso de recipientes para aire comprimido, vapor de agua o agua a presión, el espesor mínimo será de $3/32''$ (2,38 mm) y previéndose corrosión, no debería ser menor de $5/32''$ (3,97 mm). En el caso de generadores de vapor sin fuego, no será menor de $1/4''$ (6,35 mm) y adicionando la tolerancia por corrosión, no menor de $5/16''$ (7,93 mm). Será responsabilidad del diseñador establecer en función del fluido y del servicio, el valor que resulte apropiado para permitir una vida útil razonable. Salvo casos especiales, los recipientes a presión deberán ser diseñados para una vida útil no menor de 15 años de operación continua. Esto es un límite temporal válido siempre y cuando el espesor se mantenga por sobre el mínimo admisible por cálculo; cuando el valor medido resulte menor a ese mínimo, la vida útil del recipiente para funcionar a la presión que ha sido diseñado ha concluido, cualquiera sea el tiempo transcurrido desde su puesta en servicio.

Como el avance real de una posible corrosión puede responder a factores que no hayan sido previstos, para no correr riesgos, la norma exige la realización del control periódico de espesores. Por lo indicado precedentemente y a los efectos de posibilitar el control periódico, los recipientes deberán contar con aberturas de inspección. Así por ejemplo, el código establece que los recipientes con diámetro interior hasta 36" deberán contar con una boca de hombre ó 2 cuplas de 2" c/tapón roscado. Los diámetros mayores de 36" siempre deberán contar con boca de hombre con diámetro mayor o igual a 16"; lo aconsejable es utilizar 18 ó 20". Cuando exista seguridad de que el fluido no es corrosivo, la boca de hombre podrá ser eliminada.

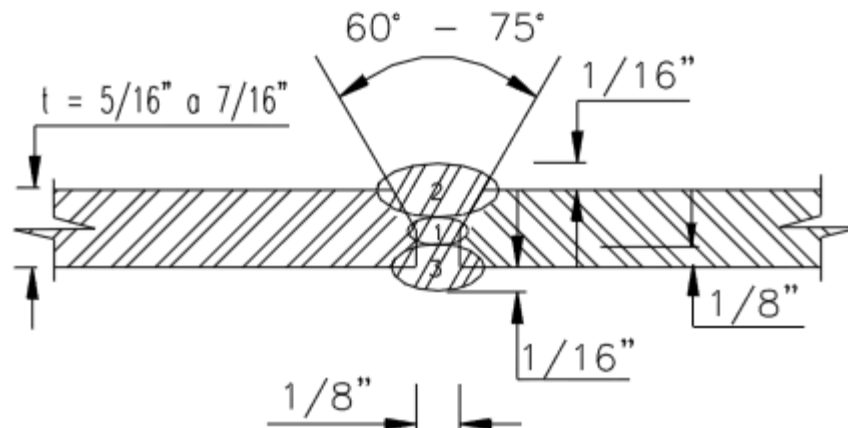
4.9 SOLDADURA

El fabricante no podrá comenzar a soldar hasta que el procedimiento de soldadura calificado y la habilidad del soldador/operador, sean aprobados por la inspección del adquirente. Todas las soldaduras se realizarán en un todo de acuerdo con las normas AWS (American Welding Society) en cuanto a los materiales de aporte utilizados y con el código ASME sección VIII y IX en lo referente a métodos y procedimientos de soldadura.

El punto óptimo de eficiencia de soldaduras, por experiencia para los cuerpos cilíndricos, se tiene cuando $E = 0.85$, es decir, el espesor no es muy grande y el costo del radiografiado es relativamente bajo. Según el aparte UW-12 de la sección VIII del código ASME.

Para la lámina de 5/16" se tienen las especificaciones de soldadura que se muestran en la figura 18.

Figura 18. Soldadura para placas de acero al carbono



Fuente: LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual. 2 ed. p.44

Se recomienda eliminar escorias y otras impurezas antes de hacer el siguiente cordón, se utilizara varilla de $1/8''$ máxima.

Para la soldadura de envolvente y casquetes se utilizará la forma "a tope" de penetración y fusión completa. El procedimiento de soldadura más moderno, seguro y rápido es el de Arco Sumergido (SAW) o soldadura Automática.

Una de las prácticas más comunes para soldadura de ambos lados es, con bisel en X ($2/3$ ext, $1/3$ int), realizando desde la cara interna la soldadura que hará de respaldo al SAW. Este respaldo, se realizará mediante procedimiento manual con electrodo revestido (SMAW), efectuando las pasadas necesarias s/espesor (s) o bien con semiautomática de alambre macizo (GMAW o tubular FCAW), en ambos casos con el modo de transferencia globular. Posteriormente, repelada la raíz, se efectuarán las pasadas externas de SAW, que sean necesarias para completar la soldadura.

Si no es posible el acceso al interior del tanque, se utilizará bisel del tipo "V", para soldar totalmente desde el exterior. Para este tipo de soldadura, es imprescindible utilizar un procedimiento adecuado que asegure la completa penetración; a este efecto, la raíz se efectuará preferentemente con el procedimiento TIG (GTAW o

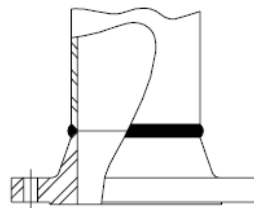
bien con SMAW) utilizando el clásico electrodo celulósico E-6010. Eventualmente se podrá colocar un anillo interno de respaldo que quedará incorporado en forma permanente a la soldadura al soldar desde el exterior con el proceso SAW o con otro procedimiento. En todos los casos, los procedimientos, siempre deberán estar calificados bajo ASME IX. Las restantes uniones menores (conexiones, refuerzos, etc.) podrán realizarse con SMAW o GMAW, utilizando material de aporte acorde a lo especificado por AWS

Para cada forma y tipo de junta que se adopte y según sea el grado de control radiográfico que se efectúe, el código ASME establece el valor de la eficiencia de junta E que interviene en el denominador de la fórmula de cálculo del espesor de pared del recipiente. Para el mismo tipo de junta, a mayor control mayor será el E permitido y consecuentemente, menor será el espesor mínimo requerido (ver UW-12 ASME VIII Div.1).

4.10 BRIDAS⁹

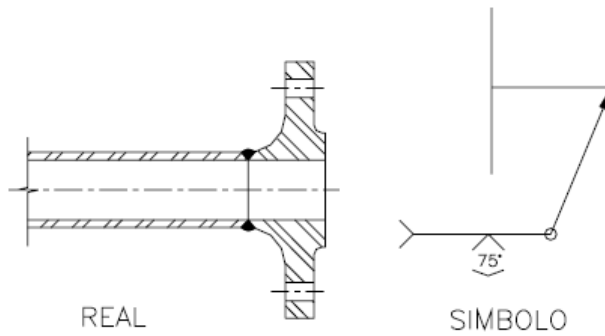
Las bridas utilizadas para el diseño son de cuello soldable, las especificaciones de las mismas se encuentran en la tabla del anexo E, figura 19.

Figura 19. Brida de cuello soldable



CUELLO SOLDABLE (WELDING NECK)

⁹ LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual 2ed. p 60.



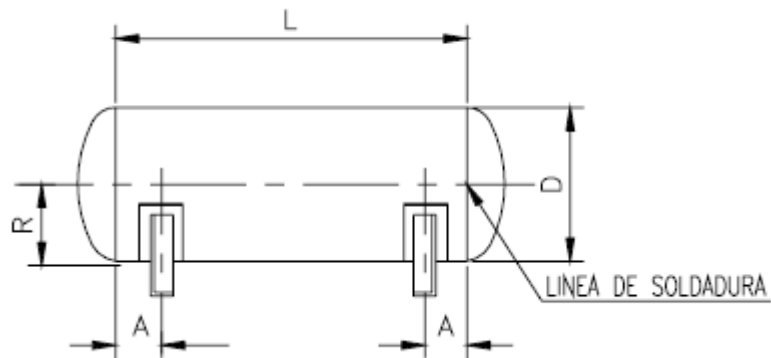
Fuente: LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual. 2 ed. p.44

4.11 SOPORTES PARA RECIPIENTES HORIZONTALES¹⁰

Tipo de silletas para recipientes horizontales de diámetro de 24" a 144". Para la localización de la silleta desde el punto de unión de la tapa y del cilindro (A) se tiene que:

$$0,2 * D \leq A \leq 0,2 * L$$

Figura 20. Posición de las silletas

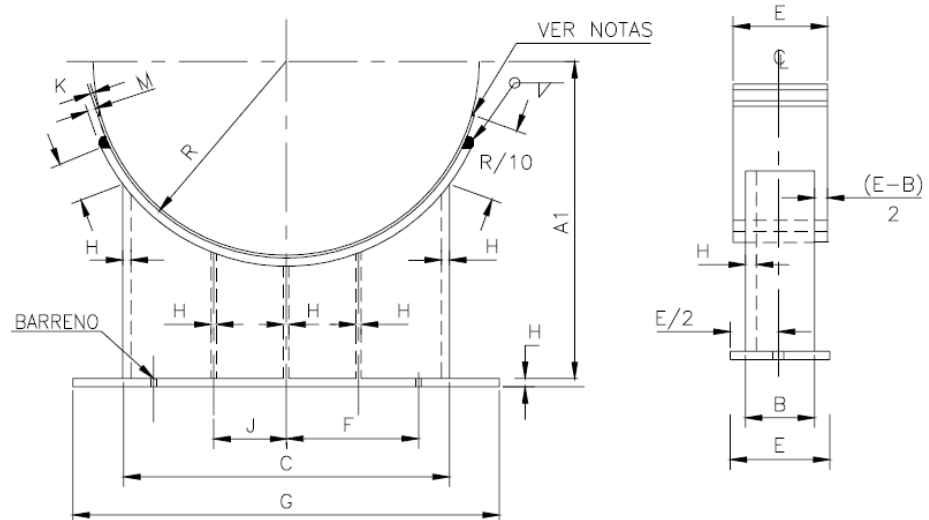


Fuente: LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual 2ed. p.134

¹⁰ LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual 2ed. p 134.

Como se muestra en la figura 21, la silleta cuenta con una serie de parámetros y medidas basadas en el diámetro del recipiente, estos parámetros se encontrarán en el anexo F.

Figura 21. Parámetros para el cálculo de silleta



Fuente: LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual. 2d. p.134

Las placas de refuerzo o de corrosión serán soldadas al recipiente con cordón corrido, y se extenderá $R/10$ (R en pulg.) a cada lado de la silleta.

Si el material del recipiente no es de acero al carbono, la placa será del mismo material del recipiente, y deberá soldarse al mismo con la soldadura adecuada.

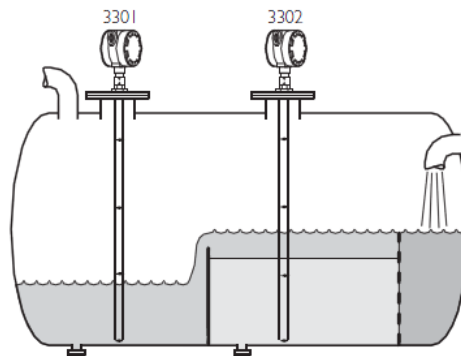
Los materiales óptimos para este tipo de silletas son el ASTM A-283 y el ASTM A-36.

4.12 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

4.12.1 Petróleo o crudo

Para la medición de nivel de petróleo se eligió un transmisor de presión diferencial con sellos remotos, a fin de independizar de cualquier variable que no sea la columna de líquido. Su funcionamiento consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. Si el recipiente se encuentra presurizado se conecta también una toma superior al nivel del líquido. En cambio, si el recipiente es atmosférico, esta toma no es necesaria. La diferencia de presión entre las dos tomas es proporcional a la altura de líquido y a su peso específico, figura 22.

Figura 22. Medición de altura del petróleo



Fuente: EMERSON, Process management. Transmisor de radar de onda guiada para medición de nivel e interfaces [online. <http://www.emersonprocess.com/rosemount/document/pds/00813-0109-4811.pdf>].

4.12.2 Interfase agua – petróleo

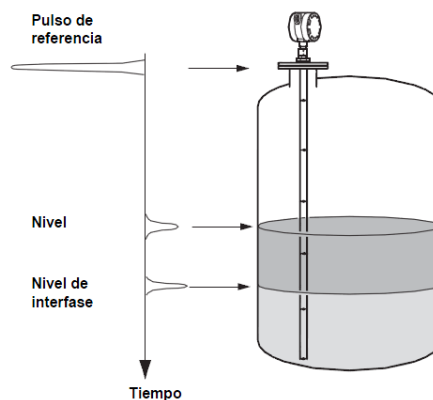
El nivel de interfase agua-petróleo es una variable difícil de controlar y resulta crítica para la operación del separador trifásico. Se tiene que poder separar agua con la menor cantidad de hidrocarburos posible. Dado que la interfase entre estos dos líquidos no resulta una superficie definida, sino que habrá un gradiente de concentración de hidrocarburos en agua que irá descendiendo hacia el fondo del

separador, resulta ventajoso utilizar un medidor de concentración de agua en el fluido para controlar el nivel de interfase. El instrumento está compuesto por una sonda con un transmisor en un extremo y una antena en el extremo opuesto, figura 23.

Su funcionamiento es absorción de energía de microondas, el agua absorbe mucha más energía que el hidrocarburo. El transmisor envía a través de la sonda una señal electromagnética a la antena, la cantidad de energía electromagnética absorbida es directamente proporcional a la concentración de agua alrededor de la antena. Cuando la antena está rodeada por petróleo seco la absorción es mínima y la salida del transmisor es 4 mA. Por el contrario, si la antena está rodeada por agua, la absorción es máxima y la salida del transmisor es 20 mA. La longitud de la antena es un factor a definir de acuerdo a la función deseada. Si sólo se desea una alarma se usará una antena puntual, pero si se quiere controlar una variable de proceso en un valor deseado a mayor longitud de antena más estable será el control.

Para un mayor detalle del medidor de interfase a utilizar ver el anexo N, en el cual se pueden ver las características principales de este sistema de medición de nivel.

Figura 23. Controlador de nivel de líquido



Fuente: EMERSON, Process management. Transmisor de radar de onda guiada para medición de nivel e interfaces [online. <http://www.emersonprocess.com/rosemount/document/pds/00813-0109-4811.pdf>].

4.12.3 Medición de agua de salida

Se tomo como referencia para esta medición la tecnología Coriolis. A priori puede parecer contradictorio el hecho de haber seleccionado un medidor de caudal másico para medir caudal volumétrico, figura 24, pero las siguientes características de esta tecnología resultan sumamente ventajosas:

- ✓ La medición de caudal volumétrico se ve afectada por cambios en la temperatura, presión, densidad, viscosidad y el perfil de velocidad del fluido de proceso.
- ✓ El medidor por efecto Coriolis mide directamente: caudal másico, densidad y temperatura.
- ✓ La medición de caudal másico por principio Coriolis provee medición directa de masa, la cual no se ve afectada por cambios en las características del fluido. El caudal volumétrico es obtenido como una medición indirecta a través de las mediciones directas de masa y densidad en línea.
- ✓ Gran rangeabilidad.
- ✓ Libre de mantenimiento.

No requiere tramos rectos aguas arriba y aguas abajo del medidor de caudal. Para mayor información los remitimos a el anexo O.

Figura 24. Flujómetro de coriolis



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos72/facilidades-superficie-industria-Petrolera/facilidades-superficie-industria-petrolera2.shtml>

4.12.4 Medición de petróleo de salida

Se seleccionó el medidor coriolis para medición de petróleo, por los siguientes motivos:

- ✓ No se ve afectado por los cambios de temperatura ya que mide masa y se puede estandarizar la medición a una temperatura de referencia.
- ✓ No necesita tramos rectos aguas arriba y aguas abajo del medidor.
- ✓ Su error es aceptable.
- ✓ Cumple con el rango requerido.

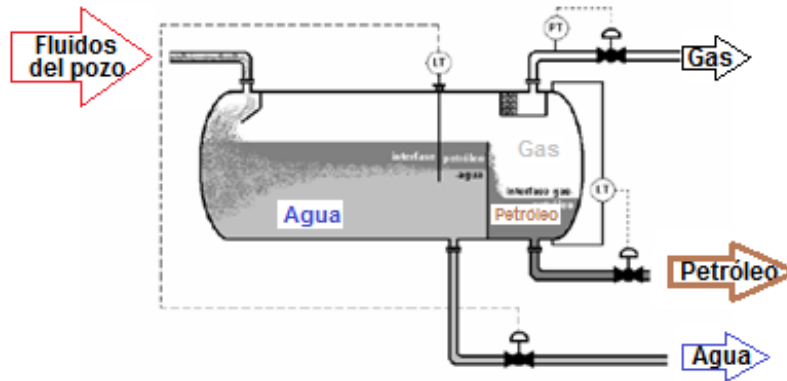
Se debe asegurar que el fluido que pase por el medidor másico y analizador de corte de agua sea “todo líquido”. Si hay presencia de gas, la medición se vera afectada.

4.12.5 Medición en el gas de salida

Se seleccionó para la medición en la fase gaseosa un caudalímetro de tipo Coriolis por los siguientes motivos:

- ✓ Al ser un medidor de masa, independizamos de la temperatura y de la presión, dos variables a tener en cuenta.
- ✓ Cumple con la rangeabilidad requerida
- ✓ No requiere tramos rectos tanto aguas arriba como aguas debajo del medidor.

Figura 25. Instrumentos de medición en el separador



Fuente: GERMANIER, María Laura. VILABOA, Emilce. Instrumentación en Separadores de Ensayo. p 10.

4.13 SELECCIÓN DE VÁLVULAS PARA SALIDA DE LOS FLUIDOS DEL SEPARADOR

4.13.1 Válvula y control de salida del gas

El controlador de presión mantiene constante la presión del separador regulando la salida del gas; si la presión aumenta por encima de la presión de operación esta presión actúa sobre la válvula de control de salida de gas y hace que se abra más para permitir más paso de gas; si la presión disminuye por debajo de la presión de operación, la válvula que controla la salida de gas se cierra y de esa manera bloquea la salida de gas permitiendo que el separador se presurice nuevamente. Adicional a la válvula de contrapresión, el sistema de control de presión en el separador posee una válvula de alivio y un disco de ruptura; en la situación de que por alguna razón la válvula de contrapresión no permita la despresurización del separador cuando esté a presiones por encima de la presión de operación, la válvula de alivio se abre para despresurizar el recipiente, figura 26.

Figura 26. Válvula de contrapresión de gas de baja presión



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos72/facilidades-superficie-industria-Petrolera/facilidades-superficie-industria-petrolera2.shtml>

4.13.2 Mantenimiento del nivel de líquido en el separador

Para mantener la presión en el separador, debe lograrse un nivel de líquido en la porción más baja del recipiente. Este nivel de líquido previene la pérdida de gas en el petróleo, y requiere el uso de un contador de nivel de líquido y una válvula de control de descarga de petróleo, figura 27.

Figura 27. Válvula de control tipo diafragma



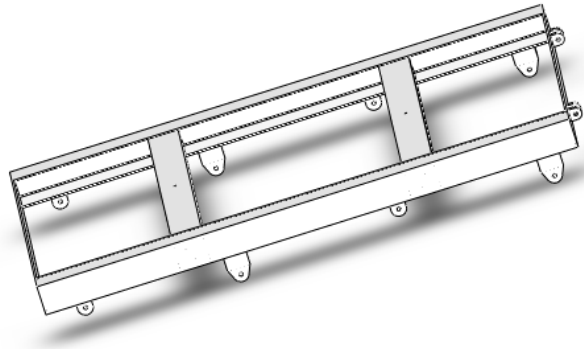
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos72/facilidades-superficie-industria-Petrolera/facilidades-superficie-industria-petrolera2.shtml>

5. DISEÑO DEL REMOLQUE

5.1 CHASIS O BASTIDOR

Es un conjunto de perfiles unidos rígidamente en forma de cuadro, de manera que el conjunto es indeformable. El chasis de un vehículo se destina al montaje de una carrocería con elementos desmontables, se compone de largueros, travesaños y diagonales. Este elemento estructural, es el encargado de soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos que tiene el vehículo, figura 28. Sus principales partes son:

Figura 28. Chasis



Fuente: autores del proyecto

5.1.1 Los largueros

Piezas longitudinales en forma de viga, de sección generalmente rectangular, situadas a un lado y otro de la chapa que forma el piso. Se pueden prolongar, con forma apropiada, hasta los soportes de los parachoques.

5.1.2 Las varas

Son pequeños largueros que no están colocados en la prolongación de un larguero principal. Los largueros principales son entonces más cortos. Las varas van soldadas a los travesaños que unen las extremidades de los largueros principales y están menos separadas que estos últimos.

5.2 SISTEMA DE SUSPENSIÓN

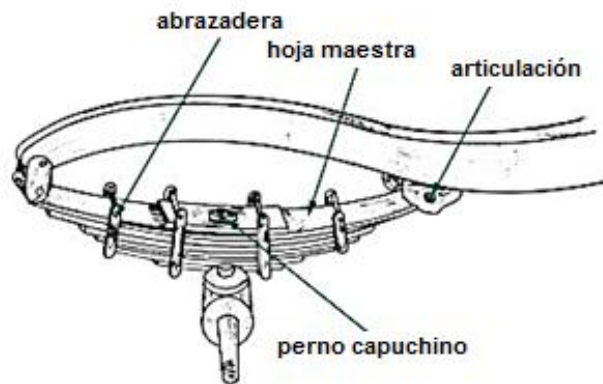
La suspensión en un remolque, es el conjunto de elementos que absorben las irregularidades del terreno por el que se circula para aumentar la comodidad y el control del vehículo. El sistema de suspensión actúa entre el chasis y las ruedas, las cuales reciben de forma directa las irregularidades de la superficie transitada. La suspensión de una remolque está formada por la ballestas, horquillas, rotulas, estabilizadores, ruedas y neumáticos. El bastidor o chasis se puede considerar el cuerpo integrador de la suspensión, está fijado a los ejes mediante las ballestas.

Las ballesta está formada por un conjunto elástico de láminas de un acero especial para muelles (aleado con pequeñas proporciones de silicio y manganeso) que, sometido a un tratamiento térmico de temple y revenido, tiene la característica fundamental de poder doblarse considerablemente bajo la característica de una fuerza, retornando a su posición original en cuanto esta fuerza que la dobla desaparece. Las hojas de la ballesta se mantienen unidas por medio de un tornillo colocado en su parte central, el tornillo atraviesa a cada una de las hojas por un orificio que existe en el centro de cada una de ellas, figura 29.

La hoja más larga recibe el nombre de hoja maestra o principal, es la que amarra el conjunto a los puntos de fijación del bastidor del vehículo. Para ello dispone en sus puntas de extremos doblados en forma de tubo para hacer posible la fijación

de las ballestas al bastidor, estos extremos curvados reciben el nombre de ojos. Hay que destacar también la presencia de la llamadas bridas en U que cumplen la misión de abrazar las hojas para que estas se mantengan dentro del mismo plano y no se desalineen durante el trabajo de absorción de los golpes que recibe la rueda. En el anexo G. se puede ver las partes y montaje de las mismas.

Figura 29. Suspensión de ballesta



Fuente: SISTEMAS DE SUSPENSIÓN. MODELOS CONVENCIONALES. Online. [Citado 5 de diciembre de 2011; 18:00]. Disponible en internet: <http://efamoratalaz.com/recursos/1%C2%BAEI-Fluidos-T6.pdf>

5.2.1 Diseño de resortes de ballesta¹¹

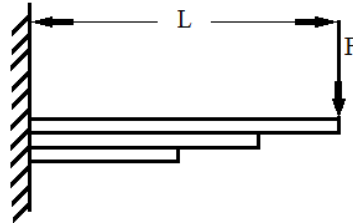
El diseño de resortes se basa en las relaciones entre fuerza, momento de torsión, deformación y esfuerzo. Los resortes tienen muchas aplicaciones en relación con el diseño de máquinas, tales como amortiguar impactos y choques por carga, almacenar energía, mantener el contacto entre los miembros de una máquina, para dispositivos de medición de fuerzas para controles de vibraciones y para otras funciones relacionadas.

Los resortes de múltiples hojas pueden ser del tipo voladizo simple, o de hojas semielípticas. El diseño de estos resortes se basa generalmente en las relaciones

¹¹ A.S HALL A.R. HOLLOWENCO Y H.G LAUGHLIN. Diseño de máquinas. McGraw-Hill. p 190. (Serie schaum).

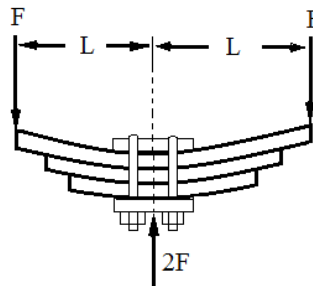
de fuerza, deformación y esfuerzo que se aplican a vigas de resistencia constante y espesor uniforme tales vigas son de perfil triangular, figura 30.

Figura 30. Resorte tipo voladizo



Fuente: A.S HALL A.R. HOLLOWENCO Y H.G LAUGHLIN. Diseño de máquinas. McGraw-Hill. p 190. (Serie schaum).

Figura 31. Resorte de hojas semielípticas

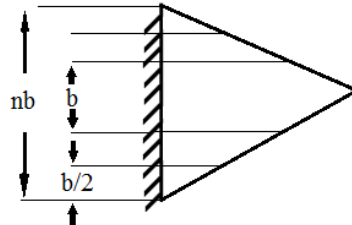


Fuente: A.S HALL A.R. HOLLOWENCO Y H.G LAUGHLIN. Diseño de máquinas. McGraw-Hill. p 191. (Serie schaum).

Básicamente el resorte de múltiples hojas puede considerarse como una placa triangular, figura 32, cortada en n franjas de ancho b, las cuales están aplicadas en forma graduada. Un resorte graduado hecho de una viga triangular se reduce a un punto en su extremo, lo cual es satisfactorio desde el punto de vista del esfuerzo de flexión. Sin embargo, debe disponer de suficiente metal para soportar el esfuerzo cortante transversal y para proporcionar conexiones para la carga, la cual a su vez debe soportar frecuentemente acarreamientos, empujes y acciones

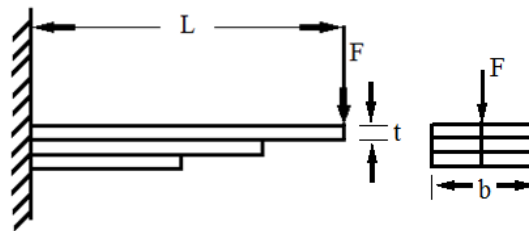
de giro. Esto puede lograrse añadiendo una o más hojas adicionales de longitud completa, ne , de espesor uniforme, sobre la pila graduada.

Figura 32. Placa triangular



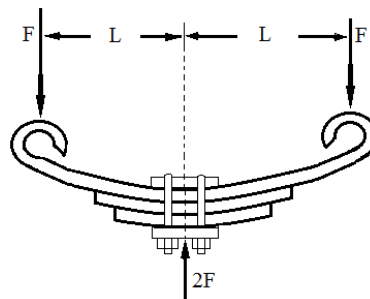
Fuente: A.S HALL A.R. HOLLOWENCO Y H.G LAUGHLIN. Diseño de máquinas. McGraw-Hill. p 190. (Serie schaum)

Figura 33. Resorte en voladizo graduado



Fuente: A.S HALL A.R. HOLLOWENCO Y H.G LAUGHLIN. Diseño de máquinas. McGraw-Hill. p 190. (Serie schaum)

Figura 34. Resortes de hojas adicionales semielípticas



Fuente: A.S HALL A.R. HOLLOWENCO Y H.G LAUGHLIN. Diseño de máquinas. McGraw-Hill. p 190. (Serie schaum)

Obsérvese que el número de hojas adicionales de longitud completa, n_e , es siempre uno menos que el número total de hojas de longitud completa, n . las hojas adicionales de longitud completa no son vigas de resistencia constante y tendrán un esfuerzo de flexión aproximadamente 50% más grandes que las hojas graduadas, a menos que sean preesforzadas durante el montaje. El preesforzamiento puede obtenerse haciendo que las hojas adicionales formen un radio de curvatura diferente al de las hojas graduadas.

Si las hojas adicionales de longitud completa se instalan sin un preesfuerzo inicial, se producirá un esfuerzo de flexión, S_e , dado por

$$S_e = \frac{18 F L}{b \cdot t^2 (3n_e + 2n_g)} \quad \text{Ecuación 66}$$

Dónde:

F = Carga total aplicada en el extremo del resorte, en [lb]

L = Longitud del voladizo o la mitad de la longitud del resorte semielíptico, en [in]

b = Ancho de cada hoja del resorte, en [in]

t = Espesor de cada hoja del resorte, en [in]

n_e = Número de hojas adicionales de longitud completa

n_g = Número de hojas graduadas

5.2.2 El esfuerzo de flexión, s_g ,

Producido en las hojas graduadas (si estas se montan con hojas adicionales de longitud completa en las cuales no hay preesfuerzo inicial), será

$$S_g = \frac{12 F L}{b t^2 (3n_e + 2n_g)} = \frac{2s_e}{3} \quad \text{Ecuación 67}$$

La deformación de un resorte de múltiples hojas, compuesto de hojas graduadas y de hojas adicionales de longitud completa será

$$y = \frac{12 F L^3}{bt^3 E (3n_e + 2n_g)} \quad \text{Ecuación 68}$$

Dónde:

y = Deformación en el extremo del resorte, en [in]

E = Módulo de elasticidad, en [Psi]

Esta ecuación determinara la deformación si $n_e=0$, así como también si hay hojas adicionales, y si estas son preesforzadas ó no lo son.

El esfuerzo de flexión, s , producido en resorte de hojas, con hojas adicionales de longitud completa que han sido preesforzadas, de tal forma que todas las hojas tengan el mismo esfuerzo cuando se aplique la carga total, puede determinarse por:

$$s = \frac{6 F L}{nbt^2} \quad \text{Ecuación 69}$$

Dónde:

s = Esfuerzo de flexión , en [Psi]

n = Número total de hojas

Tabla 12. Cálculo de esfuerzos en el muelle

ECUACIONES							
$s = \frac{6 F L}{n b t^2} = 201113,832 = 1386991946 \text{ N/m}^2$		$y = \frac{12 F L^3}{b t^3 E (3n_e + 2n_g)} = 0,46655807$					
PARAMETROS DE ENTRADA				PARAMETROS DE SALIDA			
parametro	valor	nombre	unidades	parametro	valor	nombre	unidades
F	1690	fuerza aplicada	lb	s	201113,832	esfuerzo de flexion	psi
L	19,68	longitud del voladiso	in	y	0,46655807	deformacion en el extremo del resorte	in
E	530000000	modulo de elasticidad	psi				
n	5	numero total de hojas					
b	2	ancho de hoja	in				
t	0,315	espesor de hoja	in				
ne	0	numero de hojas adicionales					
ng	5	numero de hojas graduadas					

Fuente: autores del proyecto

5.3 EJE DE LAS RUEDAS

En mecánica un eje es un elemento constructivo destinado a guiar el movimiento de rotación de una pieza o de un conjunto de piezas, como una rueda. El eje puede estar fijo (sin giro) o puede pertenecer a un sistema de rodamientos donde la pieza gira alrededor del eje.

Los ejes de un vehículo son las líneas imaginarias de dirección transversal respecto a las cuales giran las ruedas cuando el vehículo avanza recto. En los vehículos con ruedas a cada lado, el eje es la recta transversal que une los centros de dos ruedas.

5.3.1 Diseño del eje

Flexión

Es la deformación que presenta un elemento estructural en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

$$\sigma_x = \frac{M * d/2}{I} = \frac{32 * M}{\pi * d^3} \quad \text{Ecuación 70}$$

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad \text{Ecuación 71}$$

σ_x = Tensión de flexión (esfuerzo normal según la dirección x)

M = Momento flector en la sección crítica

d = Diámetro del eje

I = Momento de inercia transversal del eje

Torsión

$$\tau_{xy} = \frac{T * d/2}{J} = \frac{16 * T}{\pi * d^3} \quad \text{Ecuación 72}$$

$$J = \frac{\pi * d^4}{64} \quad \text{Ecuación 73}$$

τ_{xy} = Tensión de torsión (esfuerzo tangencial en el plano xy)

T = Momento torsor en la sección crítica

J = Momento de inercia polar del eje

Cálculo de la tensión cortante máxima

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = \frac{16}{\pi * d^3} \sqrt{M^2 + T^2} \quad \text{Ecuación 74}$$

τ_{max} = Tensión cortante máxima

Teoría para criterio del esfuerzo cortante máximo

Este criterio establece que la falla ocurre cuando el esfuerzo cortante en la pieza excede la mitad del esfuerzo de fluencia del material.

$$S_{sy} = \frac{S_y}{2} \quad \text{Ecuación 76}$$

S_{sy} = Esfuerzo cortante del eje

S_y = Esfuerzo de fluencia del material

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}} \quad \text{Ecuación 76}$$

n = Factor de seguridad del material

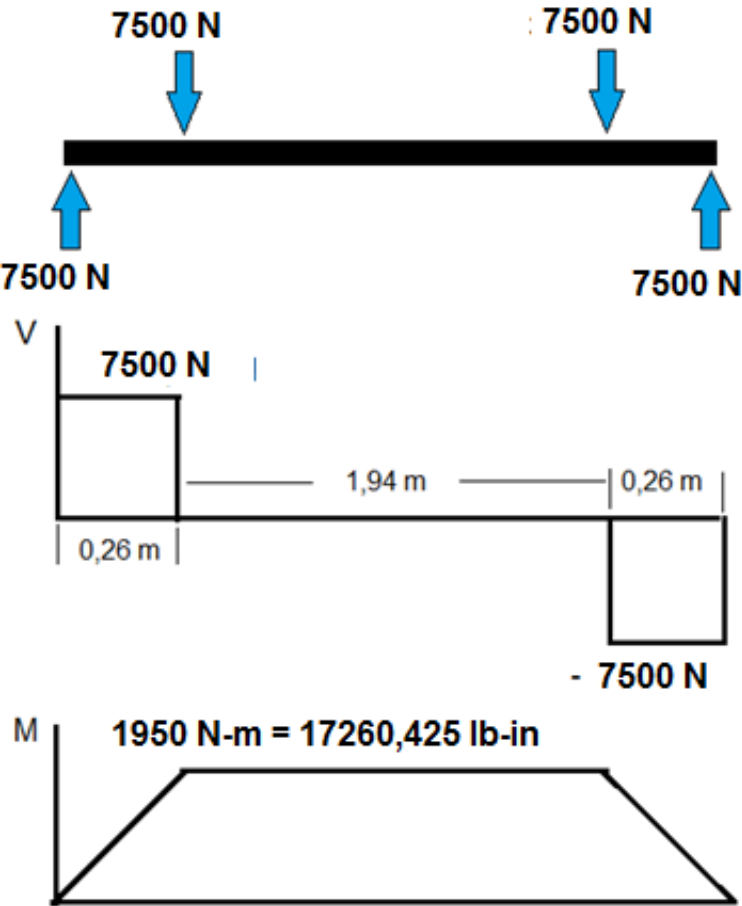
$$d = \left[\frac{32 * n}{\pi * S_y} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 77}$$

5.3.2 Cálculo de cargas

Para el cálculo de las cargas en el eje es necesario conocer la masa completa de la estructura, separador y chasis, lo cual genera una masa aproximada de 3

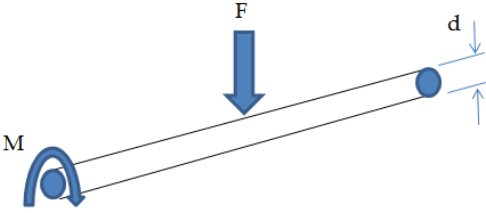
toneladas. La masa del recipiente se calculó lleno de fluido (agua), esto se efectuó por consideraciones de diseño, figura 35.

Figura 35. Diagrama de esfuerzos



Fuente: Autores Proyecto

Tabla 13. Cálculo de esfuerzos para el eje

							
<p>ECUACIONES</p> $\sigma_x = \frac{M * d/2}{I} = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$ $I = \frac{\pi * d^4}{64}$ $\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = \frac{16}{\pi * d^3} \sqrt{M^2 + T^2}$ $n = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$ $S_{sy} = \frac{S_y}{2}$ $d = \left[\frac{32 * n}{\pi * S_y} (M^2 + T^2) \right]^{\frac{1}{3}}$							
PARAMETROS DE ENTRADA				PARAMETROS DE SALIDA			
parametro	valor	nombre	unidades	parametro	valor	nombre	unidades
d	2	ancho de las ranuras	in	δ_x	21976,60428	esfuerzo de flexion	psi
L	80	longitd del eje	in	I	0,785425	momento de inercia	in
M	17260,425	momento maxima	lb.in	τ_{max}	10988,30214	tension cortante maxina	psi
Sy	30968,53	limite elastico del materia 1045	kpsi	n	1,409159013	factor de seguridad	
				Ssy	15484,265	limite elastico	psi

Fuente: Autores Proyecto

5.4 FRENOS DE EMERGENCIA

Su principal función es disminuir o anular progresivamente la velocidad del vehículo, o mantenerlo inmovilizado cuando está detenido. El sistema de freno principal, o freno de servicio, permite controlar el movimiento del vehículo, llegando a detenerlo si fuera preciso de una forma segura, rápida y eficaz, en cualquier condición de velocidad y carga en las que rueda. Para inmovilizar el vehículo, se utiliza el freno de estacionamiento, el cual también será utilizado como freno de emergencia en caso de falla del sistema principal. Debe cumplir los requisitos de inmovilizar al vehículo en pendiente, incluso en ausencia del conductor.

Se necesita un sistema de bloqueo para mayor estabilidad del vehículo en el momento que se esté realizando el procedimiento de separación, situación por la cual se diseñó un sistema de bloqueo, ya que no se cuenta con el sistema normal de transmisión utilizado por los vehículos, para instalar un sistema de frenos de pastillas o de campana.

La solución que diseñamos fue el bloqueo de las llantas mediante la implementación de una placa con orificios ajustada al chasis, la cual es sujeta mediante un trinquete, los orificios son para que se pueda conectar un pasador entre el orificio del rin y la placa de bloqueo, figura 36.

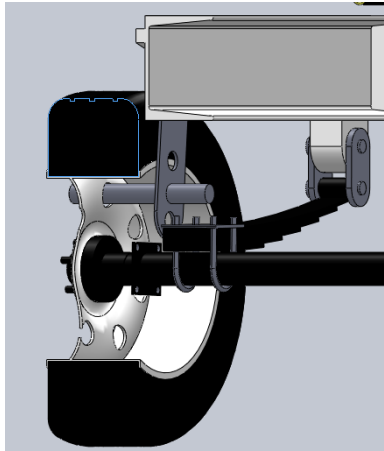
Figura 36. Sistema de bloqueo



Fuente: autores del proyecto

El sistema cuenta con un pasador que atraviesa la placa y el rin lo que permitirá el bloqueo del remolque durante el proceso de separación. El pasador es una barra del mismo material del chasis acero (A 36), figura 37.

Figura 37 . Pasador de bloqueo



Fuente: autores del proyecto

5.5 ANÁLISIS ELEMENTOS DEL REMOLQUE

Conociendo los resultados de las fuerzas generadas por el separador, provocadas por el peso del recipiente, componentes internos y de los fluidos presentes dentro del mismo en el momento de la separación.

Para el diseño de los componentes se tiene en cuenta parámetros o criterios que correspondan a una buena movilidad en las carreteras que conducen a los pozos del campo, para esta situación el remolque se diseño con un ancho de 2 metros.

5.6 ANÁLISIS DE ESFUERZOS PARA EL EJE

El eje es el encargado de trasladar y soportar el peso del separador, cuando está en movimiento o este realizando el trabajo de separación.

5.6.1 Material

Para el eje, el material que cumple con las condiciones de uso y de resistencia es el acero 1045 cuyas propiedades se describen en la tabla 14.

Tabla 14. Material utilizado para el eje

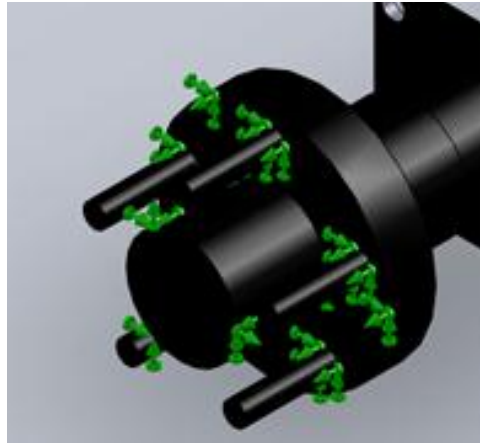
Propiedad	valor	Unidades
Módulo elástico	2.05e+011	N/m^2
Coeficiente de poisson	0.29	N/D
Módulo constante	8e+010	N/m^2
Densidad	7850	N/m^3
Límite de tracción	615000000	N/m^2
Límite elástico	530000000	N/m^2
Coef. de expansión térmica	1.5e-005	$/k$
Conductividad térmica	49.8	$w/(m * K)$
Calor específico	486	$J/(Kg * K)$

Fuente: Autores Proyecto

5.6.2 Sujeciones

La sujeción que se tiene en cuenta es la correspondiente a la generada por el rin en los espárragos, figura 38.

Figura 38. Sujeción del eje con el rin



Fuente: Autores Proyecto

5.6.3 Fuerzas

La fuerza a la que se somete el eje, es generada por la masa del separador y chasis, la cual es de 750 kg, esta masa produce una fuerza de 7500 Newton. La fuerza esta ubicada en la parte que el eje hace contacto con la ballesta, figura 39.

Figura 39. Ubicación de la fuerza

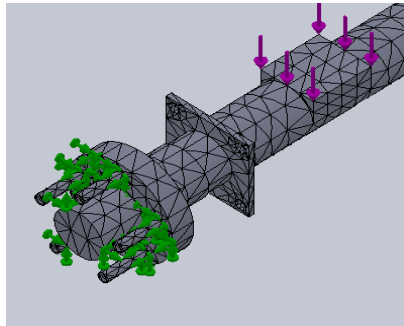


Fuente: Autores Proyecto

5.6.4 Mallado

Características del mallado utilizado en el eje, realizado por el software solidworks, tabla 15.

Tabla 15. Características del mallado para el eje



Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	2.0256 cm
Tolerancia:	0.10128 cm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	8841
Número de nodos:	16244

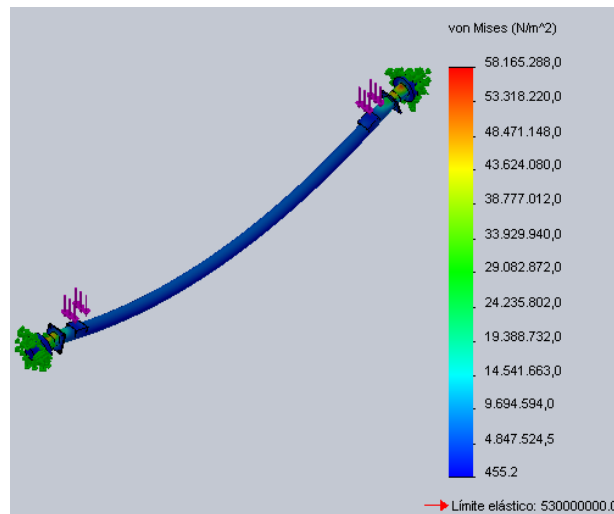
Fuente: Autores Proyecto

5.6.5 Resultados de la simulación

5.6.5.1 Von mises

En la figura 40, se puede observar que el material utilizado para el eje resiste la exigencia de carga generada, ya que el límite elástico del material es de 530 Mpa, y el límite elástico provocado por la carga es de aproximadamente 60 Mpa. Por lo que el material es el adecuado para este diseño.

Figura 40. Esfuerzo generado por la carga

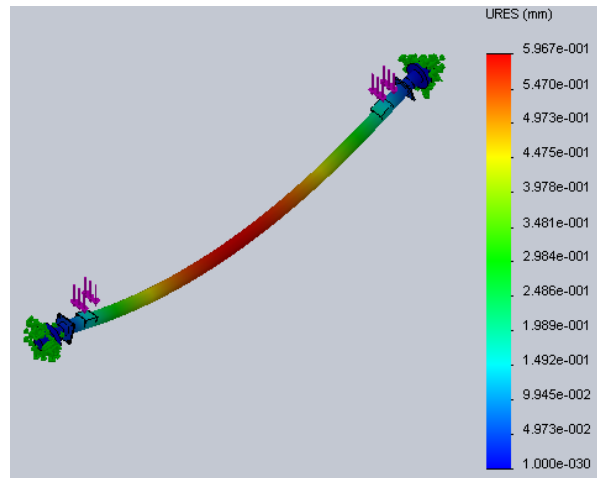


Fuente: Autores Proyecto

5.6.5.2 Desplazamiento

El desplazamiento que se ocasiona en el eje cuando se presenta la máxima carga, ocurre en la parte central del mismo como se observa en la figura 41. El cual es de 0.5967 mm.

Figura 41. Desplazamiento causado por la carga

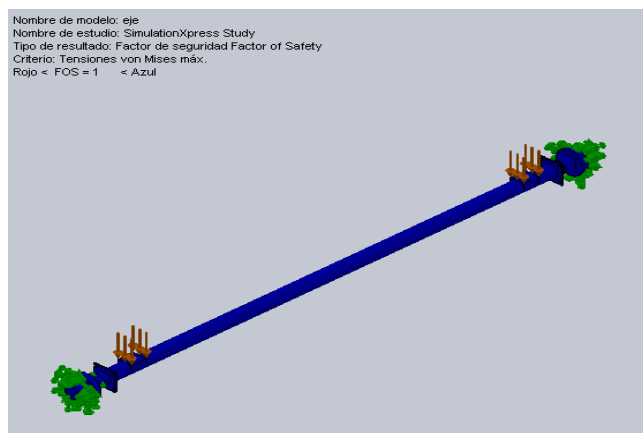


Fuente: Autores Proyecto

5.6.5.3 Factor de seguridad

Con base en los parámetros especificados, el factor de seguridad (FOS) más bajo encontrado en el diseño del eje es de 9.11, figura 42.

Figura 42. Factor de seguridad del eje



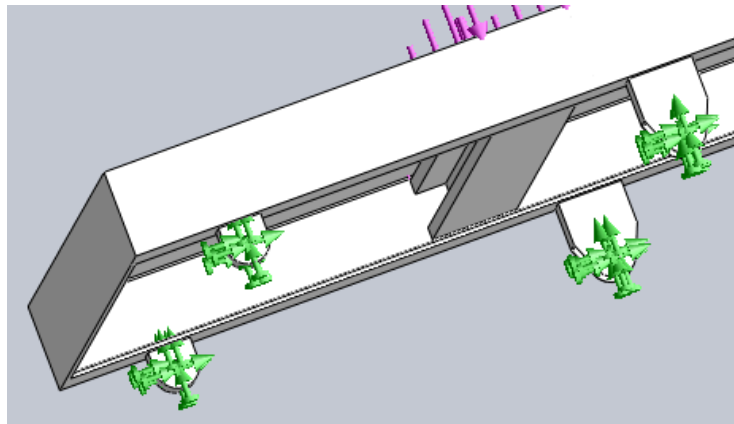
Fuente: Autores Proyecto

5.7 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL CHASIS

5.7.1 Sujeciones

Las sujeciones que lleva el chasis para la simulación, son colocadas en las partes donde se instalan las ballestas o muelles, figura 43.

Figura 43. Forma de sujeción del chasis



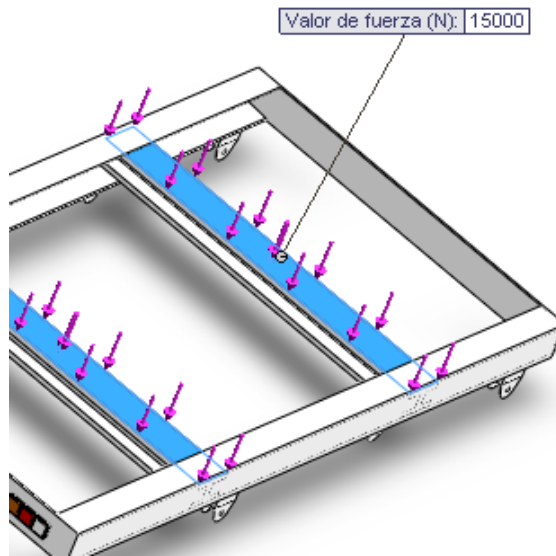
Fuente: Autores Proyecto

5.7.2 Fuerzas

La máxima fuerza que tiene que soportar el chasis es el peso del separador en operación, es decir con los líquidos y gases en su interior, y sus dispositivos como lo son medidores, extractor de niebla, tuberías, etc.

El peso generado por el separador en operación es de 1500 Kg. Lo que genera una fuerza de 15000 Newton, figura 44.

Figura 44. Fuerza soportada por el chasis



Fuente: Autores Proyecto

5.7.3 Material

El material que cumple con las condiciones de uso y de resistencia para el chasis es el acero A36, cuyas propiedades se describen en la tabla 16.

Tabla 16. Propiedades del acero para el chasis

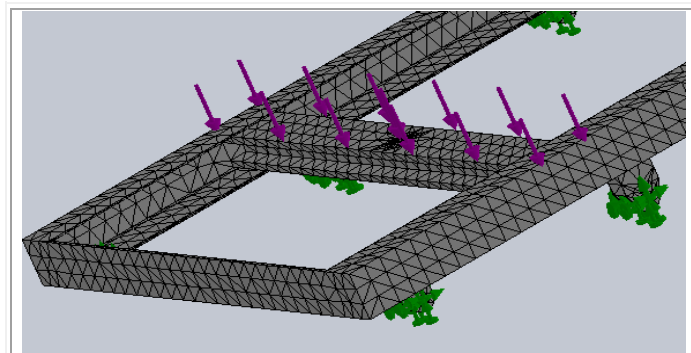
Propiedad	valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m^2
Coefficiente de poisson	0.26	N/D
Módulo constante	7.93e+010	N/m^2
Densidad	7850	N/m^3
Límite de tracción	400000000	N/m^2
Límite elástico	250000000	N/m^2

Fuente: Autores Proyecto

5.7.4 Mallado

Malla estándar para el chasis, cuyas características están en la tabla 17.

Tabla 17. características de mallado del chasis



Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	7.1633 cm
Tolerancia:	0.35817 cm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	12794
Número de nodos:	26397

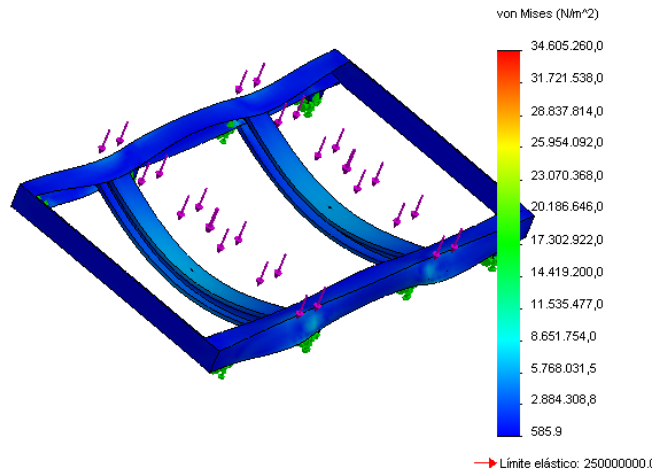
Fuente: Autores Proyecto

5.7.5 Resultados análisis del chasis

5.7.5.1 Von mises

En la figura 45, se puede observar el material utilizado para el chasis, resiste la exigencia de carga generada, ya que el límite elástico del material es de 250 Mpa, y el límite elástico provocado por la carga es de aproximadamente 35.3 Mpa. Por consiguiente el material es adecuado para este diseño.

Figura 45. Esfuerzo generado por la carga al chasis

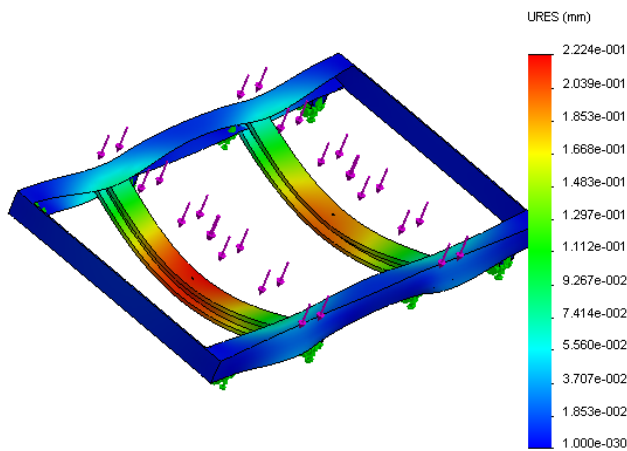


Fuente: Autores Proyecto

5.7.5.2 Desplazamiento

El desplazamiento que se ocasiona en el chasis cuando se tiene la máxima carga, ocurre en la parte central del mismo, figura 46. El cual es de 0.2224 mm.

Figura 46. Desplazamiento en el chasis

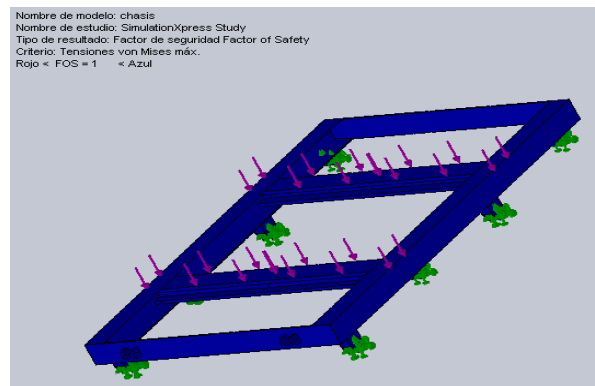


Fuente: Autores Proyecto

5.7.5.3 Factor de seguridad

Con base en los parámetros especificados, el factor de seguridad (FOS) más bajo encontrado en el diseño del chasis es de 7.22, figura 47. Este valor representa que el diseño cumple con el propósito.

Figura 47. Factor de seguridad del chasis



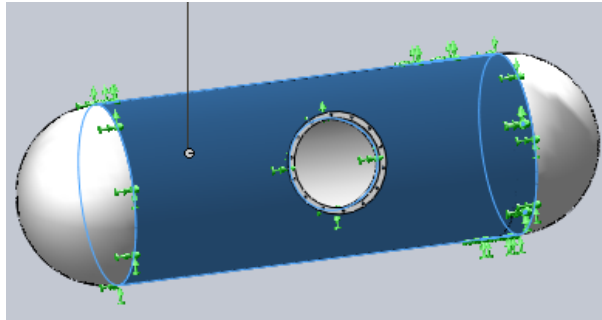
Fuente: Autores Proyecto

5.8 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LAS TAPAS

5.8.1 Sujeciones

Se analizan las tapas que son más propensas a fallar en la simulación, las sujeciones son colocadas en el cilindro, figura 48.

Figura 48. Sujeción en el cilindro

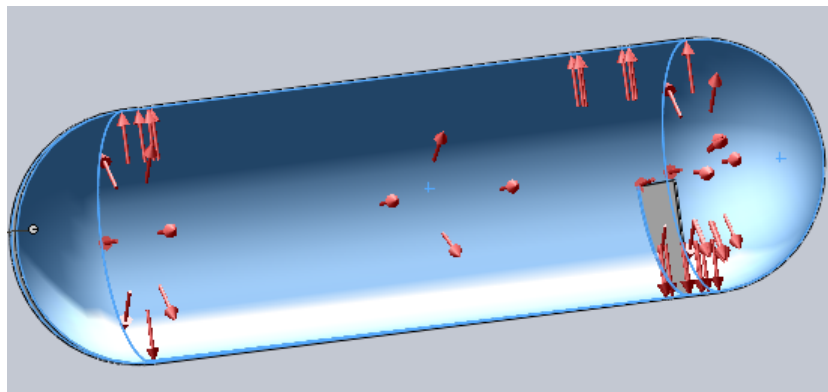


Fuente: Autores Proyecto

5.8.2 Presión

La presión que se genera del pozo es de 200 Psi, el cual está distribuido por todo el interior del separador. Para esta simulación el cilindro tiene las sujeciones, y la presión se está efectuando en las tapas, figura 49.

Figura 49. Presión dentro del separador

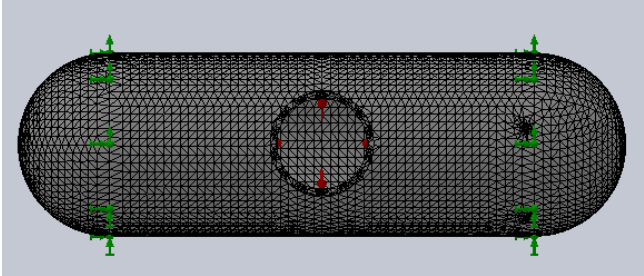


Fuente: Autores Proyecto

5.8.3 Mallado

El mallado utilizado para esta simulación está especificado en la tabla 18.

Tabla 18. Propiedades del mallado para el tanque



Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	7.1633 cm
Tolerancia:	0.35817 cm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	12794
Número de nodos:	26397

Fuente: Autores Proyecto

5.8.5 Material

El material utilizado para las tapas es un acero estructural A36 cuyas especificaciones se encuentran en la tabla 19.

Tabla 19. Propiedades del acero para las tapas

Propiedad	valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m^2
Coefficiente de poisson	0.26	N/D
Módulo constante	7.93e+010	N/m^2
Densidad	7850	N/m^3
Límite de tracción	400000000	N/m^2
Límite elástico	250000000	N/m^2

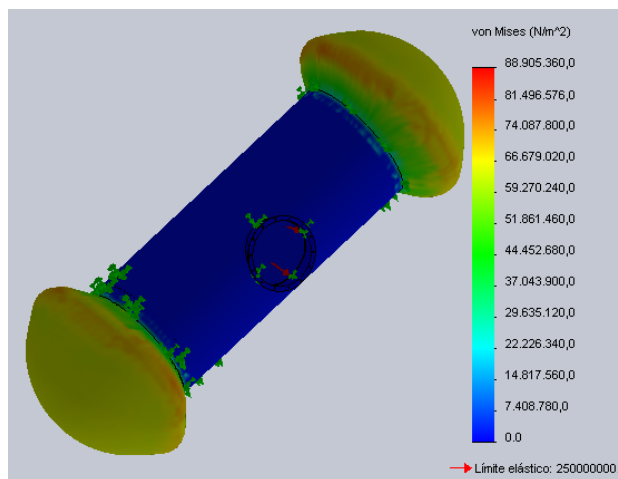
Fuente: Autores Proyecto

5.8.5 Resultado de la simulación

5.8.5.1 Von mises

En la figura 50. se puede observar que el material utilizado para las tapas resiste la exigencia de carga generada, ya que el límite elástico del material es de 250 Mpa, y el límite elástico provocado por la carga es de aproximadamente 89 Mpa. Por consiguiente el material es el adecuado para este diseño.

Figura 50. Esfuerzo que causa la presión en las tapas

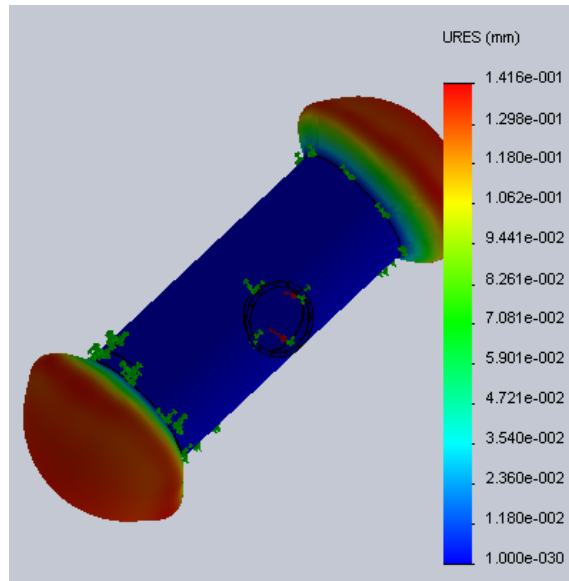


Fuente: Autores Proyecto

5.8.5.2 Desplazamiento

El desplazamiento que se ocasiona en las tapas cuando se presenta la máxima carga, ocurre en la parte central del mismo, figura 51. El cual es de 0.1416 mm.

Figura 51. Desplazamiento en las tapas del tanque



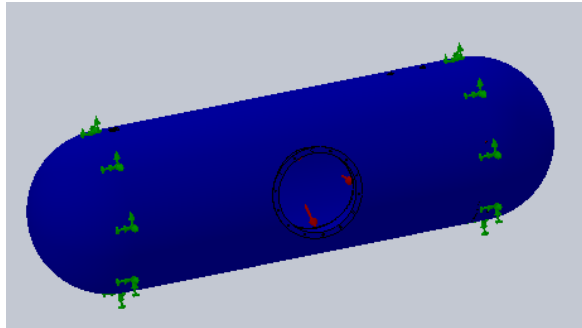
Fuente: Autores Proyecto

5.8.5.3 Factor de seguridad

Con base en los parámetros especificados, el factor de seguridad (FOS) más bajo encontrado en el diseño de las tapas es de 2.9, figura 52.

El resultado del factor de seguridad es elevado, debido a que el espesor de las tapas es dimensionado para que resista problemas por corrosión y soldadura.

Figura 52. Factor de seguridad en el tanque



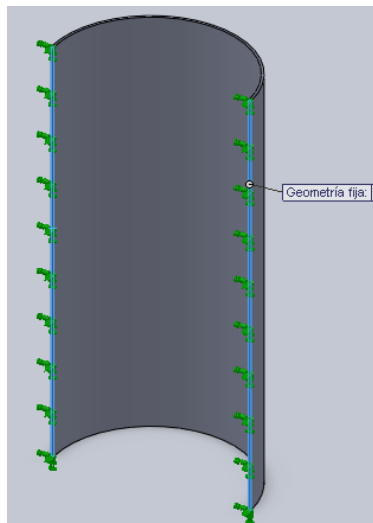
Fuente: Autores Proyecto

5.9 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL CILINDRO

5.9.1 Sujeciones

Para analizar el cilindro se corta por la mitad, dónde se colocan las sujeciones, se puede observar en la figura 53.

Figura 53. Sujeción del cilindro

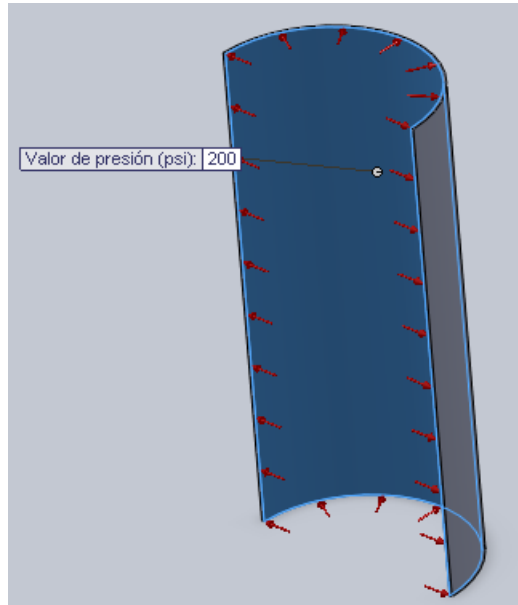


Fuente: Autores Proyecto

5.9.2 Presión

La presión que se tiene en el interior del cilindro es de 200 psi, la cual es aumentada para consideraciones de diseño, figura 54.

Figura 54. Presión del cilindro

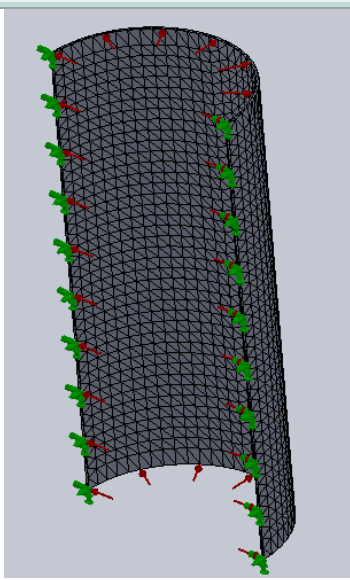


Fuente: Autores Proyecto

5.9.3 Mallado

El mallado utilizado para esta simulación está especificado en la tabla 20.

Tabla 20. Especificaciones de mallado del cilindro



Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	6.3481 cm
Tolerancia:	0.3174 cm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	7497
Número de nodos:	15260
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:05

5.9.4 Material

El material utilizado para el tanque es un acero estructural A36 cuyas especificaciones se encuentran en la tabla 21.

Tabla 21. Propiedades del acero para el tanque

Propiedad	valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m^2
Coefficiente de poisson	0.26	N/D
Módulo constante	7.93e+010	N/m^2
Densidad	7850	N/m^3
Límite de tracción	400000000	N/m^2
Límite elástico	250000000	N/m^2

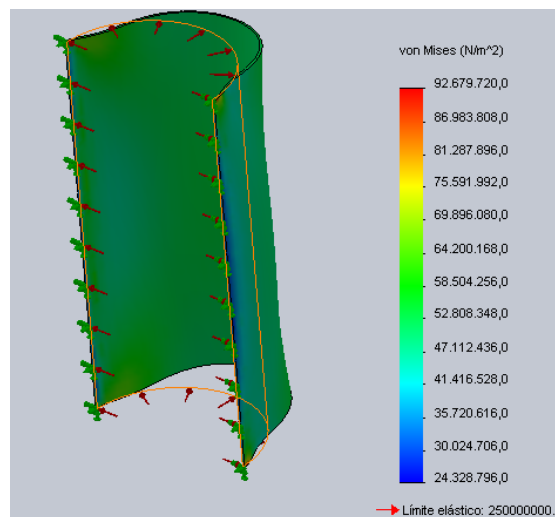
Fuente: Autores Proyecto

5.9.5 Resultados de la simulación

5.9.5.1 Von mises

En la figura 55. se puede observar que el material utilizado para el cilindro resiste las exigencia de carga generada, ya que el límite elástico del material es de 250 Mpa, y el límite elástico provocado por la carga es de aproximadamente 93 Mpa. Por consiguiente el material es el adecuado para este diseño.

Figura 55. Esfuerzo que causa la presión en el cilindro

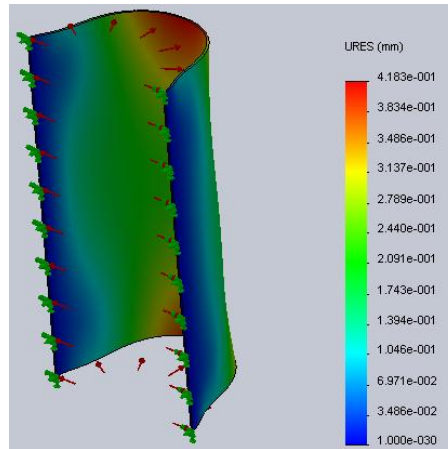


Fuente: Autores Proyecto

5.9.5.2 Desplazamiento

El desplazamiento que se ocasiona en el cilindro cuando se presenta la máxima carga, ocurre en la parte central del mismo, figura 56. El cual es de 0.4183 mm.

Figura 56. Desplazamiento en el cilindro



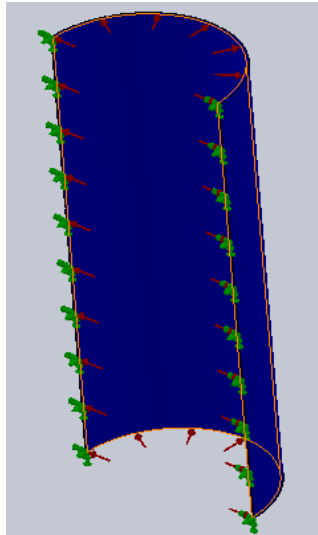
Fuente: Autores Proyecto

5.9.5.3 Factor de seguridad

Con base en los parámetros especificados, el factor de seguridad (FOS) más bajo encontrado en el diseño del cilindro es de 2.697, figura 57.

El resultado del factor de seguridad es elevado, debido a que el espesor del cilindro fue dimensionado para que resista problemas por corrosión y soldadura.

Figura 57. Factor de seguridad del cilindro

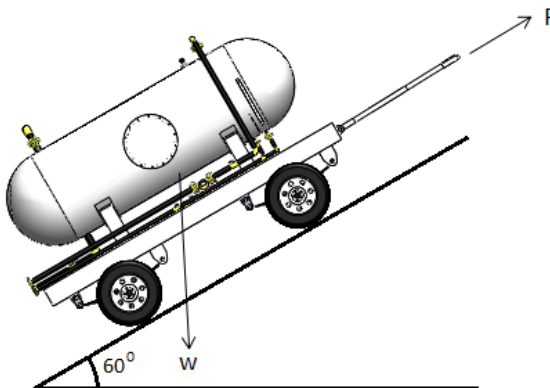


Fuente: Autores Proyecto

5.10 ANÁLISIS DE ESFUERZOS TIRANTE DEL REMOLQUE

Para el análisis del dispositivo utilizado para halar el remolque se tiene en cuenta como diseño, que es necesario subir por una pendiente con una inclinación de 60 grados aproximadamente, figura 58.

Figura 58. Remolque en una subida



Fuente: Autores Proyecto

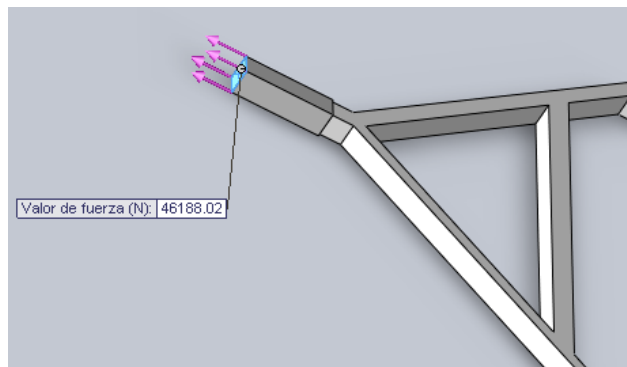
Para calcular cuánta fuerza es aplicada, se realiza una sumatoria de fuerzas, teniendo en cuenta que el peso del conjunto es de aproximadamente 4 toneladas.

$$\sum F_y = 0$$
$$F * \text{sen}60 = W$$
$$F = \frac{W}{\text{sen } 60} = 46188.02 [N] \text{ tension}$$
$$F = 46188.02 [N] \text{ tension}$$

5.10.1 Fuerza aplicada

Como se realizó anteriormente con la estática, la fuerza de arrastre que se genera en una subida de pendiente de 60 grados es de 46188.02 Newton, figura 59.

Figura 59. Fuerza de arrastre

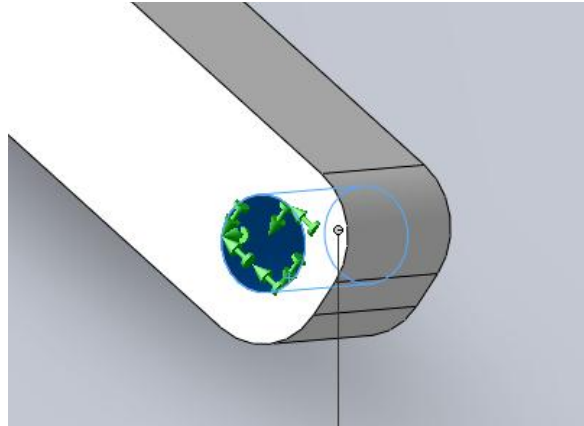


Fuente: Autores Proyecto

5.10.2 Sujeciones

Las sujeciones en el tirante, son colocadas en la parte donde se une el chasis con el tirante mediante un perno, figura 60.

Figura 60. Sujeción del tirante del remolque con el chasis

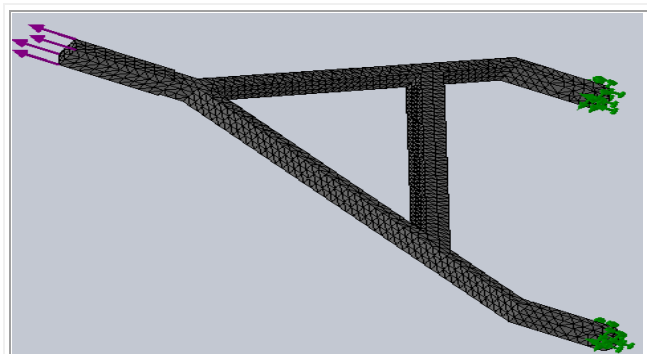


Fuente: Autores Proyecto

5.10.3 Mallado

Las características del mallado utilizado para el tirante, se encuentran en la tabla 22.

Tabla 22. Características del mallado tirante del remolque



Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	2.0172 cm
Tolerancia:	0.10086 cm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	8528
Número de nodos:	15781

Fuente: Autores Proyecto

5.10.4 Material

El material utilizado para el tirante es de acero estructural A36 cuyas especificaciones se encuentran en la tabla 23.

Tabla 23. Características material tirante del remolque

Propiedad	valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m^2
Coefficiente de poisson	0.26	N/D
Módulo constante	7.93e+010	N/m^2
Densidad	7850	N/m^3
Límite de tracción	400000000	N/m^2
Límite elástico	250000000	N/m^2

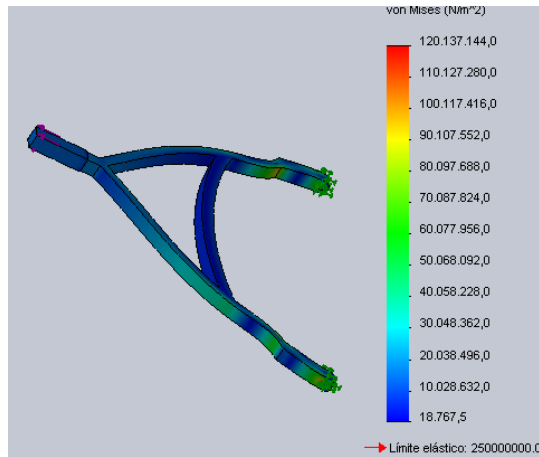
Fuente: Autores Proyecto

5.10.5 Resultado análisis tirante del remolque

5.10.5.1 Von mises

Se obtiene que el material utilizado para el tirante resiste la exigencia de carga generada, ya que el límite elástico del material es de 250 Mpa, y el límite elástico provocado por la carga es de 120 Mpa, figura 61. Por consiguiente el material es el adecuado para este diseño.

Figura 61. Esfuerzos en el tirante del remolque

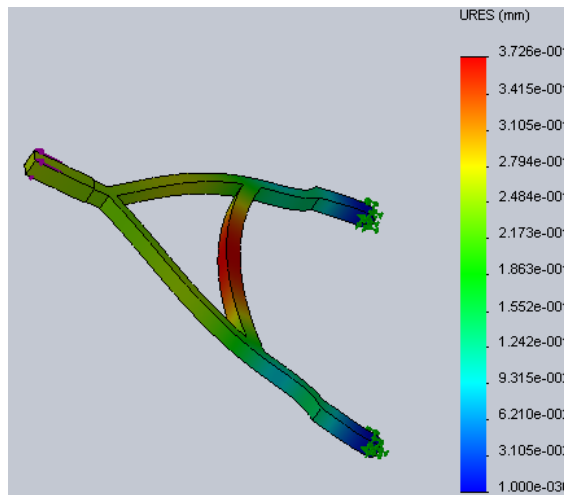


Fuente: Autores Proyecto

5.10.5.2 Desplazamiento

El desplazamiento que se ocasiona en el tirante cuando se presenta la máxima carga, ocurre en la parte central del mismo, figura 62. El cual es de 0.3726 mm

Figura 62. Desplazamiento en el tirante del remolque

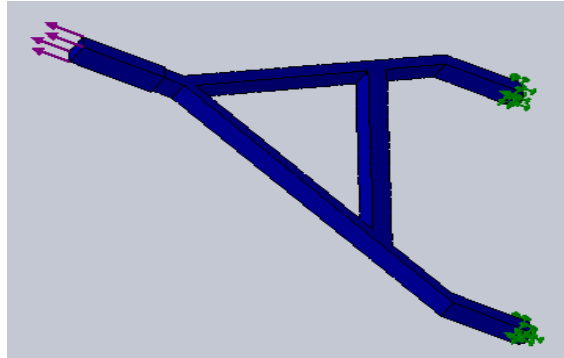


Fuente: Autores Proyecto

5.10.5.3 Factor de seguridad

Con base en los parámetros especificados, el factor de seguridad (FOS) más bajo encontrado en el diseño para el tirante es de 2.1, figura 63.

Figura 63. Factor de seguridad tirante del remolque



Fuente: Autores Proyecto

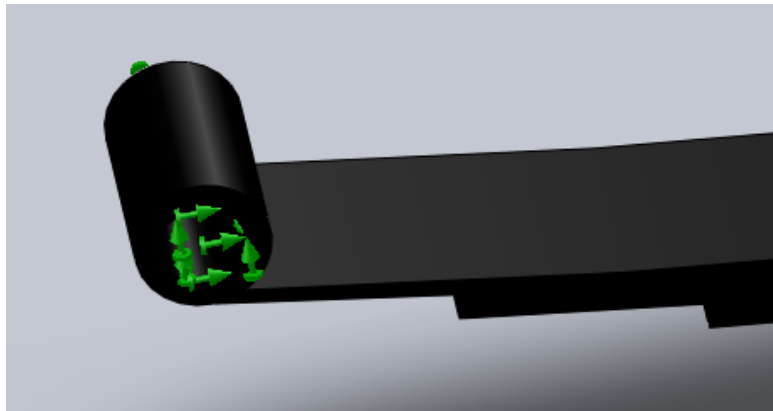
5.11 ANÁLISIS DE ESFUERZOS PARA LAS BALLESTAS

Las ballestas están sometidas a una carga muerta de 750 kg. La cual debe resistir esta masa en un punto de impacto, en caso que pase un bache o un resalto.

5.11.1 Sujeciones

Las sujeciones se colocan en la parte de unión de la ballesta con el chasis, en el punto donde se instala el rodillo o perno de sujeción, figura 64.

Figura 64. Forma de sujeción de la ballesta

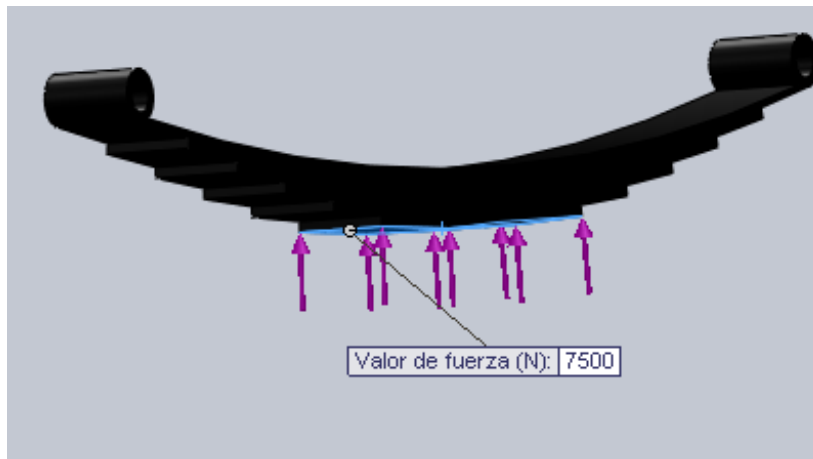


Fuente: Autores Proyecto

5.11.2 Fuerzas

La fuerza para la ballesta se aplica en la parte donde se une con el eje, la fuerza que se genera en esa parte es 7500 Newton, figura 65.

Figura 65. Aplicación de fuerza en la ballesta



Fuente: Autores Proyecto

5.11.3 Material

El material utilizado en la ballesta es un acero 1020 cuyas características se especifican en la tabla 24.

Tabla 24. Propiedades del material de la ballesta

Propiedad	valor	Unidades
Módulo elástico	2.05e+011	N/m^2
Coeficiente de poisson	0.29	N/D
Módulo constante	8e+010	N/m^2
Densidad	7850	N/m^3
Límite de tracción	615000000	N/m^2
Límite elástico	530000000	N/m^2
Coef. de expansión térmica	1.5e-005	$/k$
Conductividad térmica	49.8	$w/(m * K)$
Calor específico	486	$J/(Kg * K)$

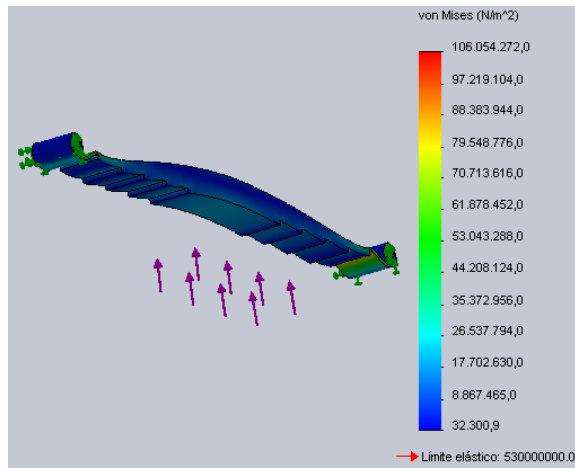
Fuente: Autores Proyecto

5.11.4 Resultados análisis de la ballesta

5.11.4.1 Von mises

En la figura 66, se obtiene que el material utilizado para el muelle o ballesta resiste la exigencia de carga generada, ya que el límite elástico del material es de 530 Mpa, y el límite elástico provocado por la carga es de 106 Mpa. Se eligió un material superior a lo requerido para evitar rotura por posibles impactos.

Figura 66. Esfuerzos en la ballesta

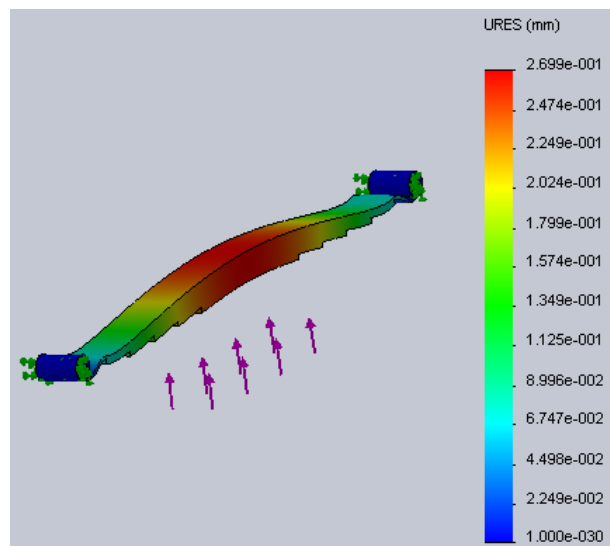


Fuente: Autores Proyecto

5.11.4.2 Desplazamiento

El desplazamiento que se ocasiona en el muelle cuando se presenta la máxima carga, ocurre en la parte central del mismo, figura 67. El cual es de 0.2669 mm.

Figura 67. Desplazamiento en la ballesta

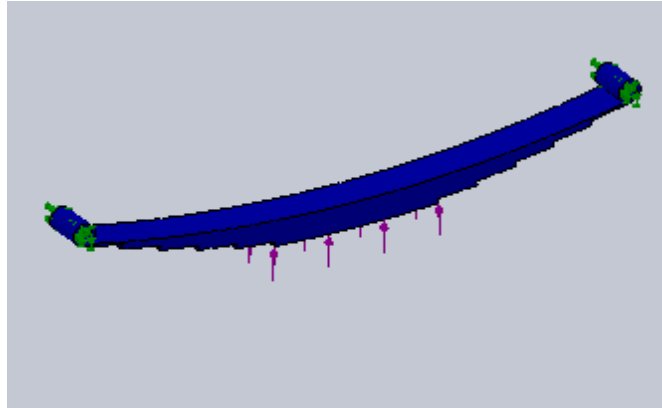


Fuente: Autores Proyecto

5.11.4.3 Factor de seguridad

Con base en los parámetros especificados, el factor de seguridad (FOS) más bajo encontrado en el diseño del muelle es de 5, figura 68.

Figura 68. Factor de seguridad en la ballesta



Fuente: Autores Proyecto

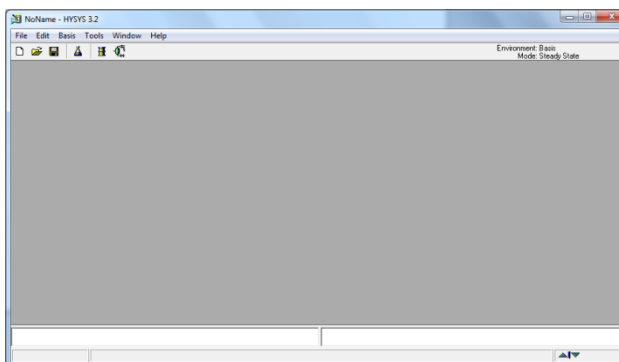
6. SIMULACIÓN DEL PROCESO CON EL SOFTWARE HYSYS

El diseño y simulación de procesos químicos permite obtener una solución aproximada a un problema exacto, por lo que se requiere de datos, propiedades físicas, termodinámicas y de transporte. El software de simulación hysys permite estimar propiedades físicas y termodinámicas en base a modelos teóricos o empíricos. En este subcapítulo se expone una introducción a la simulación, y los resultados de la simulación para el separador de prueba diseñado para el Campo Escuela Colrado.

6.1 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

Para comenzar el desarrollo de la simulación, se accede al software hysys 3.2, click en el botón inicio, programas Hyprotech, Hysys 3.2. A continuación se despliega la siguiente ventana (Figura 69) de inicio del software.

Figura 69. Pantalla de inicio en hysys

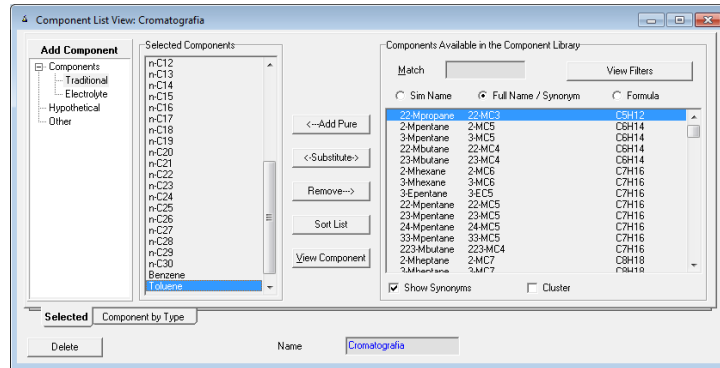


Fuente: Autores Proyecto

Seleccione la opción File, New case (nuevo caso). Click en Add, donde aparece la ventana (Figura 70), se introducen los componentes de la composición cromatográfica de crudo (Tabla 1), se oprime Add Pure, que permite agregar

cada componente a una lista. En el cuadro Name, se escribe el nombre cromatografía, para identificar la lista de los componentes.

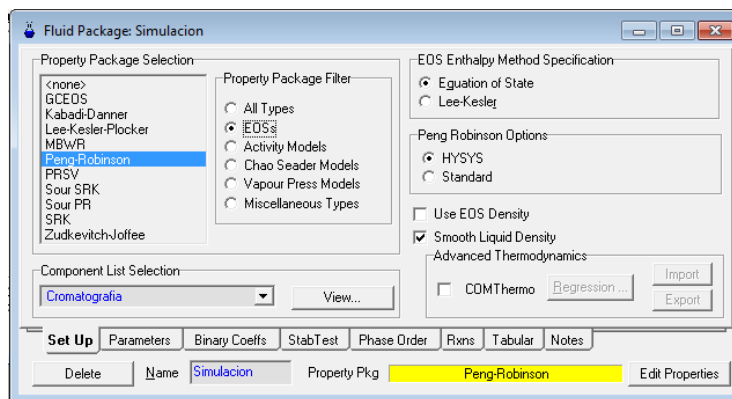
Figura 70. Lista de componentes



Fuente: Autores Proyecto

Ingresados los componentes, regresa a la ventana Simulation Basis Manager, y oprime el cuadro Fluid Pkgs. Click en Add, donde aparece la ventana (Figura 70), selecciona EOSs del cuadro Property Package Filter, y Peng-Robinson del cuadro Property Package Selection, con lo cual aparecen los cuadros automáticamente seleccionados en la ventana (Figura 71). En el cuadro Name, se escribe el nombre simulación, para identificar el fluido.

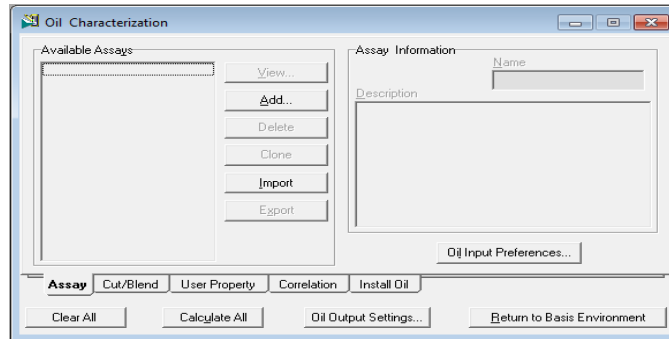
Figura 71. Paquete de propiedades del fluido



Fuente: Autores Proyecto

Se dirige a la ventana Simulation Basis Manager, busca el cuadro Oíl Manager, click en Enter Oíl Environment, donde aparece la ventana (Figura 72).

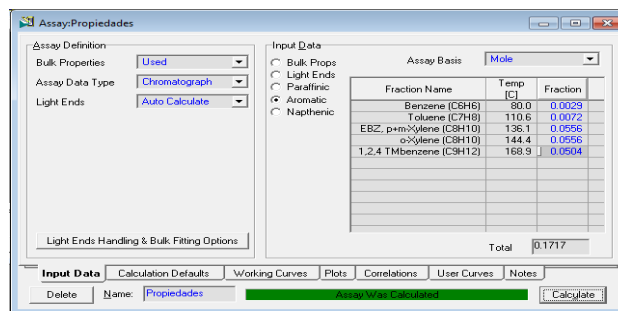
Figura 72. Caracterización del crudo



Fuente: Autores Proyecto

De la ventana Oíl Characterization, en el cuadro Assay, click en Add, el cual genera la ventana (Figura 73), en el cuadro Bulk Properties, selecciona Used, y en Assay Data Type, selecciona Chromatograph, en el cuadro Light Ends, selecciona Auto Calculate. Del siguiente cuadro ingresa las fracciones molares de los compuestos de la mezcla. Ingresados los datos se oprime Calculate, que se encuentra en la parte final de la ventana. En el cuadro Name, se escribe el nombre propiedades, para identificar la caracterización del fluido.

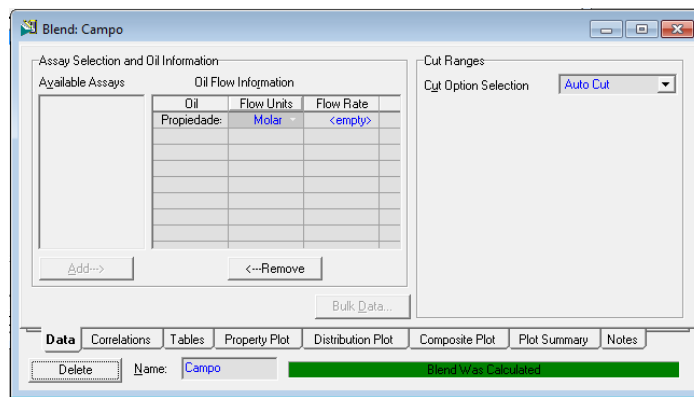
Figura 73. Propiedades y composición del crudo



Fuente: Autores Proyecto

Regresa a la ventana Oil Characterization, oprime el cuadro Cut/Blend, click en Add, lo cual genera la ventana (Figura 74), selecciona propiedades, en la casilla Available Assays, click en Add, para agregar la información del crudo y sus propiedades al cuadro de Oil Flow Information. En el cuadro Name, escribe el nombre del campo, para identificar el ingreso de la caracterización del fluido.

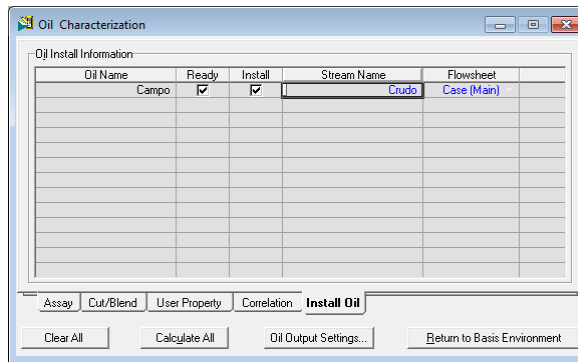
Figura 74. Selección de la información del crudo



Fuente: Autores Proyecto

En la ventana Oil Characterization, oprime el cuadro Install Oil, el cual genera la ventana (Figura 75), en el cuadro Stream Name, se escribe el nombre crudo, o cómo se llamara el fluido de entrada al separador en la simulación, el siguiente paso es click en el cuadro Return to Basis Environment, el cual regresa a la ventana Simulation Basis Manager.

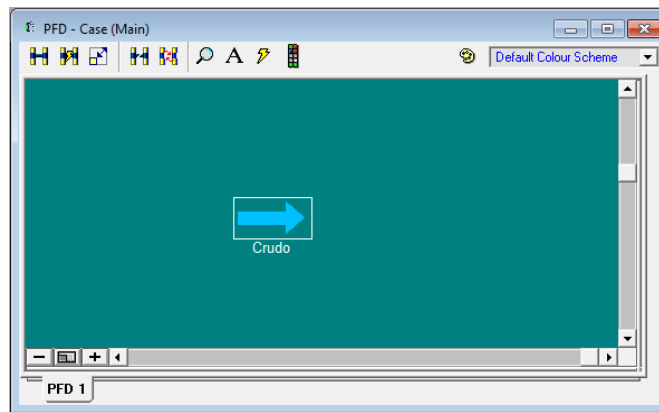
Figura 75. Instalación del crudo



Fuente: Autores Proyecto

En la ventana Simulation Basis Manager, click al cuadro Enter Simulation Environment, para ingresar las propiedades y composición a la simulación, la cual se identifica con un ícono (Flecha). Se muestra en la ventana (Figura 76), que significa el ingreso a la simulación.

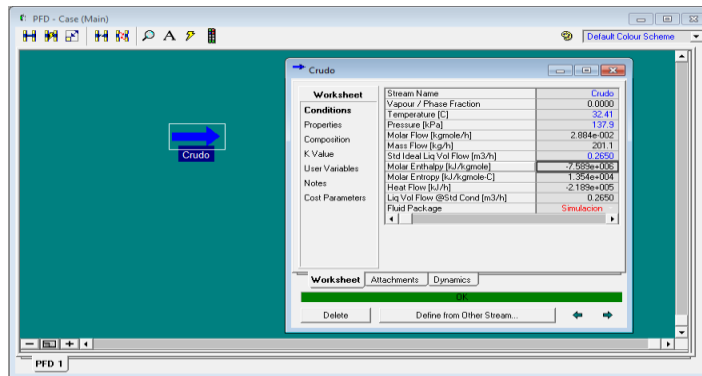
Figura 76. Inicio de la simulación



Fuente: Autores Proyecto

Estando en la simulación PFD-Case (Main), click con el botón derecho del mouse sobre el ícono (Flecha), que aparece en la simulación. Lo cual aparece la ventana (Figura 77), ingresan datos conocidos del crudo como presión, temperatura y caudal proporcionados por el Campo Escuela Colorado.

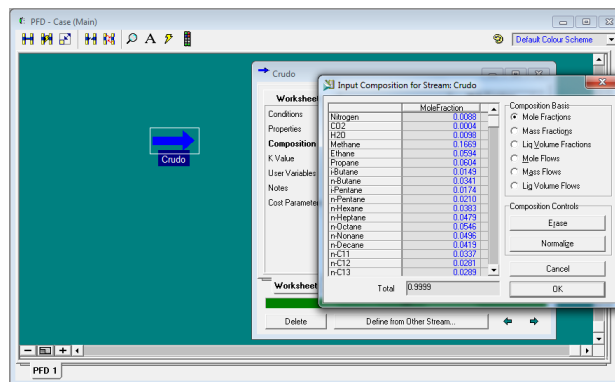
Figura 77. Ingreso de propiedades físicas



Fuente: Autores Proyecto

En esta ventana (Figura 77), click en el cuadro Composition, el cual genera la ventana (Figura 78), donde se ingresa la fracción molar de los compuestos del Campo Escuela Colorado, ingresados oprime Ok, y cierra la ventana.

Figura 78. Ingreso de la fracción molar

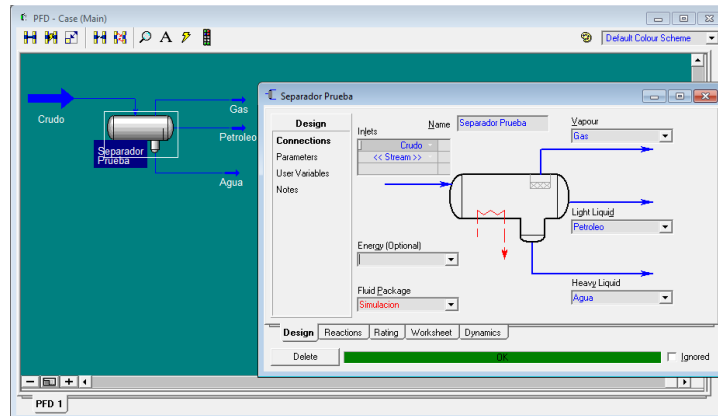


Fuente: Autores Proyecto

Estando en la simulación se dirige a la barra de herramientas Case (Main), y busca el ícono 3-Phase Separator, doble click sobre él, aparecerá la figura del separador en la ventana con su cuadro de variables, como se muestra en la ventana (Figura 79). En el cuadro Desing y connections, se dirige a Inlets, donde selecciona el nombre Crudo, es el nombre de entrada del fluido al separador, simulación en el cuadro Fluids Package, es el nombre del paquete de fluidos a

utilizar, gas en el cuadro de Vapour, petróleo en el cuadro Light liquid, y agua en el cuadro Heavy Liquid, los cuales son salidas del separador trifásico horizontal. En el cuadro Name, escribe el nombre separador prueba, para identificar el nombre del equipo.

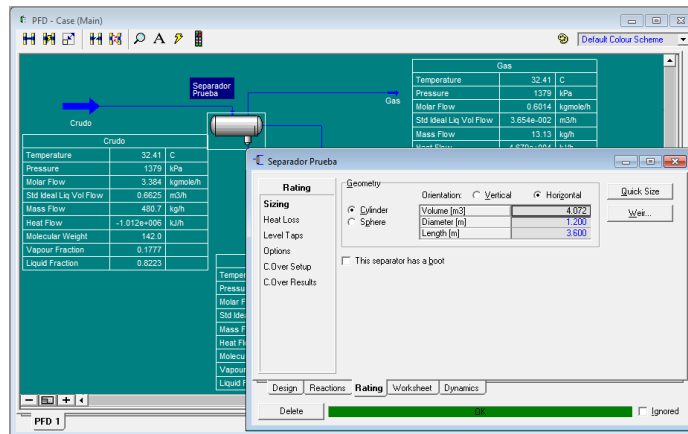
Figura 79. Ingreso de la corriente de crudo al separador



Fuente: Autores Proyecto

Estando en el cuadro de variables de separador prueba (Figura 80), click en la pestaña Rating, en Geometry, selecciona Cylinder, en Orientation, selecciona Horinzotal, y en los cuadros de Diameter y length, se digita los datos pedidos que se han calculado con anterioridad en el diseño del separador, con estos datos hysys calcula el cuadro de Volumen. Se desactiva el cuadro This Separator has a book, debido que este separador no es de bota decantadora, después de haber realizado todos estos pasos se ha terminado con la simulación de la cual se puede tener resultados del proceso.

Figura 80. Cálculo del volumen

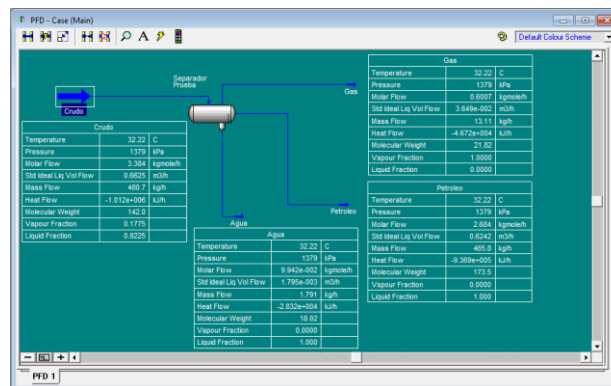


Fuente: Autores Proyecto

En la ventana (Figura 81), se observa el proceso final de la simulación en el separador de prueba, para obtener estas tablas se hace click derecho sobre cada ícono (Flechas), selecciona Show Table, e inmediatamente aparecerá la tabla con los tres resultados más importantes.

Para agregar más resultados, click sobre tabla y selecciona View Properties, Add Variable, y podrá incluir cualquier resultado que se quiera tener en la tabla 25.

Figura 81. Resultados de la simulación



Fuente: Autores Proyecto

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN HYSYS

La tabla 25, son resultados para el presente del Campo Escuela Colorado donde todavía no se ha reportado presencia de agua en la composición cromatográfica del crudo.

Tabla 25. Resultados de la simulación de hysys

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA SIMULACIÓN					
		Mezcla	Gas	Petróleo	Agua
Temperatura	°c	32.22	32.22	32.22	32.22
Presión	Kpa	1379	1379	1379	1379
Flujo de volumen líquido	m ³ /h	0.6625	3.66e-002	0.6254	5.1e-004
Flujo molar	Kgmole/h	3.320	0.6018	2.689	2.8e-002
Flujo másico	Kg/h	480.3	13.13	466.7	0.5156
Flujo de calor	Kj/h	-9.94e+005	-4.68+004	-9.38+e005	-8151
Peso molecular		144.7	21.82	173.5	18.02
Fracción de vapor		0.1813	1.0000	0.0000	0.0000
Fracción de líquido		0.8187	0.0000	1.0000	1.0000

Fuente: Autores Proyecto

La tabla 26, son resultados para la simulación en el futuro de los pozos del Campo Escuela Colorado, donde se toma 30% de presencia de agua en la composición cromatográfica del crudo.

Tabla 26. Resultados de la Simulación de hysys

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA SIMULACIÓN					
		Mezcla	Gas	Petróleo	Agua
Temperatura	°c	32.22	32.22	32.22	32.22
Presión	Kpa	1379	1379	1379	1379
Flujo de volumen líquido	m ³ /h	0.6625	3.64e-002	0.6242	1.8e-003
Flujo molar	Kgmole/h	3.384	0.6007	2.684	9.9e-002
Flujo másico	Kg/h	480.7	13.11	465.8	1.791
Flujo de calor	Kj/h	-1.01e+006	-4.67+004	-9.36+e005	-2+e004
Peso molecular	g/mol	142	21.82	173.5	18.02
Fracción de vapor		0.1775	1.0000	0.0000	0.0000
Fracción de líquido		0.8225	0.0000	1.0000	1.0000

Fuente: Autores Proyecto

7. PRESUPUESTO

COMPONENTE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CILINDRO	1	\$18.177.512	\$18.177.512
CHASIS	1	\$15.700.00	\$15.700.000
EJE	2	\$194.000	\$388.000
MUELLE	4	\$300.000	\$1.200.000
LLANTA Y RIN	4	\$510.900	\$2.043.600
TUBERÍA	3x 6 metros	\$20.000	\$60.000
FLUJÓMETRO	2	\$18.000.000	\$36.000.000
VÁLVULA	3	\$200.000	\$600.000
MANÓMETRO	1	\$350.000	\$350.000
MEDIDOR DE INTERFASE	1	\$18.000.000	\$18.000.000
BRIDA	6	\$45.000	\$270.000
CONEXIÓN ELÉCTRICA	1	\$475.000	\$475.000
ACCESORIOS			\$1.550.000
ACOPLE DEL REMOLQUE	1	\$800.000	\$800.000
TRANSPORTE			\$ 5.678.576
MANO DE OBRA			\$5.000.000
SUBTOTAL			\$106.332.688
IVA (16%)			\$17.013.230
INPREVISTOS (10%)			\$10.633.268
TOTAL			\$133.979.718

8. CONCLUSIONES

- ✓ El presente proyecto de grado cumplió el objetivo principal de determinar el tipo de separador que se necesitaba para el proceso a realizar en el campo Escuela Colorado. Como resultado de la investigación realizada se determinó que se requería un separador horizontal y móvil, debido a que se necesita realizar mediciones en cada uno de los pozos productores del campo. Se cumplió con el objetivo de diseñar el separador trifásico móvil de prueba para las características y necesidades del Campo Escuela Colorado.
- ✓ Se cumplió con el objetivo de analizar el comportamiento del separador con el software HYSYS para una simulación con 0% y 30% de agua en la cromatografía del crudo. Los resultados respaldan el diseño y corroboran que el proceso de separación cumple las necesidades de producción del Campo Escuela Colorado. Para el funcionamiento del separador se observa un buen comportamiento de las dimensiones que se calcularon, y de sus accesorios
- ✓ El diseño que se obtuvo sirve para una capacidad de producción a futuro de 100 barriles por día, según pronósticos y estudios realizados por el Campo Escuela Colorado.
- ✓ Se obtuvo un recipiente con las especificaciones de las normas ASME y API, como también se realizó el modelo tridimensional del montaje del separador y su tráiler, los cuales son especificados en planos. Todo este proceso se realizó con metodología CAD en el software solidworks.
- ✓ Se identifican y seleccionan cada uno de los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de este equipo de separación, como válvulas, medidores de flujo, medidores de interfase, bridas, etc.

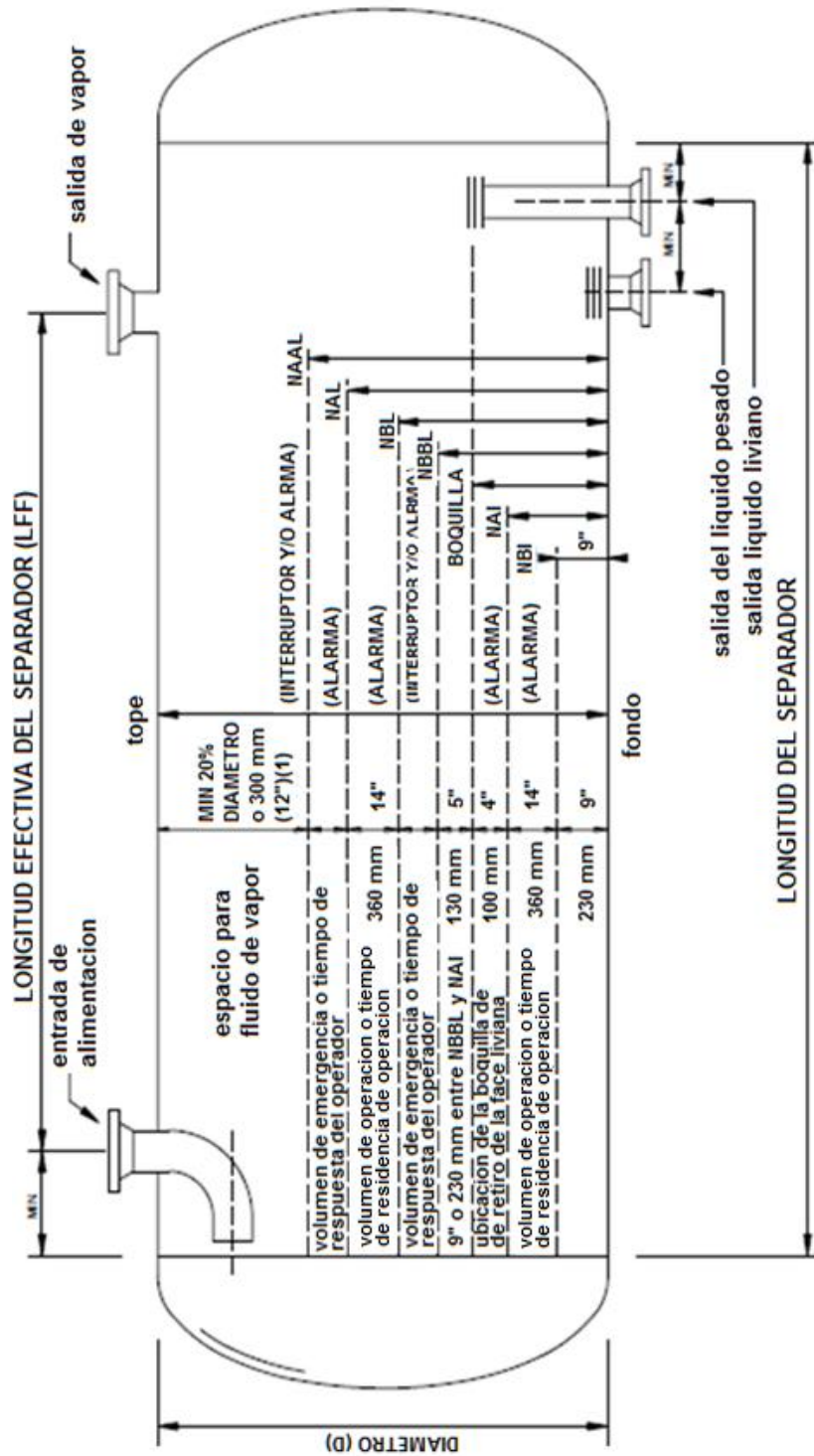
- ✓ El diseño del equipo se complementa con instrumentos de seguridad para el traslado por carretera como para el bienestar del operario, cuenta con la correspondiente iluminación de frenos y estacionarias. para llevarlo por vías transitadas.
- ✓ Se entrega un presupuesto tentativo para la construcción de separador trifásico móvil. Este presupuesto se respalda con las correspondientes cotizaciones actualizadas de constructores nacionales y extranjeros.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ CHI U. Ikkoku. Natural gas production engineering. 1 ed. John Wiley, 1984. p. 106-171.
- ✓ CODIGO, ASME, sección VIII, recipientes a presión. UG, UW. New York, 2009, 798 p.
- ✓ CODIGO ASME, sección IX, calificación de soldadura, QW. New York, 2009, 275 p.
- ✓ DIPLOMADO FACILIDADES DE SUPERFICIE. UIS. Facultad físicoquímicas. 2003. 108 p.
- ✓ HANDBOOK, OIL AND GAS PRODUCTION. Edition 1.3 Oslo, June 2006. Håvard Devold. p. 84.
- ✓ HOLLOWENCO, A.S and LAUGHLIN, H.G. Diseño de máquinas. McGraw-Hill. 192 p. (Serie Schaum).
- ✓ KEN, Arnold and STEWAL, Maurice. Surface production operational, design of oil handling systems and facilities. 3 ed. Elsevier Inc. 2008. p. 244-350
- ✓ LEON ESTRADA, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión. Manual. 2 ed. 190p.
- ✓ PDVSA. Manual de procesos (tambores separadores) separadores líquido-líquido-vapor. Sección MDP-03-S-01, MDP-03-S-03, MDP-03-S-04. 1995. 204 p.
- ✓ SAEID, William; POE, A. and SPEIGHT, James. Handbook of natural gas transmission and processing. Elsevier Inc, 2006. p.82-173.

ANEXOS

Anexo A. Identificación de niveles y dimensiones del separador



Fuente: PDVSA, manual de procesos (tambores separadores). Manual de diseño de proceso separación física separadores líquido-líquido-vapor procedimientos de diseño. 1995. 201 p.

Anexo B. Criterios de diseño para la velocidad de gas

<p>Parámetro de Diseño</p> <p>Velocidad de vapor permisible</p> <p>% de Vc sin Malla</p> <p>% de Vc con Malla(1)</p> <p>Volumen de operación / Tiempo de Residencia</p>	<p>Tambores de Alimentación de Líquidos, Tambores de Destilado</p> <p>–</p> <p>100–125(2)</p> <p>El mayor valor de:</p> <ol style="list-style-type: none"> Dimensiones mínimas de instrumento según PDVSA-MDP-(Pendiente) (Consultar MDP versión 1986, Sección 12-C, Medida y Control de Nivel; Requerimiento de retención para el control del proceso (normalmente, el volumen retenido de líquido en los niveles alto y bajo de líquido debería ser 2 minutos para productos que van a almacenamiento, 15 minutos para productos alimentando una torre subsiguiente o 5 minutos para productos a ser reciclados, tomando en todo caso el mayor valor). Requerimientos de inventario para arranque, parada, reabastecimiento, etc. 	<p>Tambores de Succión/Interetapas de Compresores</p> <p>–</p> <p>100–125(2)</p> <p>Diez minutos de salida de líquido proveniente de la unidad productora mas grande localizada antes del compresor.(3)</p> <p>Para tambores separadores de interetapas, se deberían suministrar 10 minutos entre NAAL y un punto localizado a una distancia de un Diámetro de tubería, por debajo de la boquilla de entrada, basados en un caudal de producción máxima de condensado entre las etapas.</p> <p>Cuando la succión proviene de los absorbedores, tome 5 minutos basados el caudal de circulación.</p> <p>Para sistemas de refrigeración, use 5 minutos basados en el caudal de flujo normal de refrigerante a la unidad de enfriamiento más grande del sistema.(3)</p>	<p>Separadores de Gas Combustible</p> <p>–</p> <p>100(2)</p> <p>Igual o mayor que el volumen equivalente a 15 m de flujo condensado en el cabezal adyacente de combustible.(3)</p> <p>5 minutos al caudal de circulación total de aceite pobre(3), si el tambor está después de un absorbedor.</p>
<p>Parámetro de Diseño</p> <p>Velocidad de vapor permisible</p> <p>% de Vc sin Malla</p> <p>% de Vc con Malla(1)</p> <p>Volumen de operación / Tiempo de Residencia</p>	<p>Tambores de Vapor</p> <p>–</p> <p>100(2)</p> <p>Un tercio del volumen del generador de vapor y su red de tuberías, ó 2 minutos basados en el caudal de alimentación de agua, tomando en todo caso el más grande de los dosvalores.</p> <p>Si existe el riesgo de algún daño debido a la pérdida del nivel de agua, estipule una retención mayor, dependiendo del proceso. En diseños recientes se han suministrado alrededor de 5 a 10 minutos de retención basado en el flujo de alimentación de agua.</p>	<p>Tambores de Separación de Agua</p> <p>100</p> <p>–</p> <p>La retención por debajo del nivel bajo de líquido se basa en un flujo ascendiente de 20 mm/s (50 pulg/min), para vapores de hidrocarburos ascendiendo a través del agua. El estimado del flujo ascendiente se basa en la ecuación de flujo de asentamiento / ascenso dada en PDVSA-MDP-03-S-01.</p>	<p>Tambores de Descarga (Blowdown Drums) de no – Condensables</p> <p>100</p> <p>–</p> <p>Ver PDVSA-MDP-08-SD-01</p>
<p>Parámetro de Diseño</p> <p>Velocidad de vapor permisible</p> <p>% de Vc sin Malla</p> <p>% de Vc con Malla(1)</p> <p>Volumen de operación / Tiempo de Residencia</p>	<p>Tambores de Descarga (Blowdown Drums) de condensables</p> <p>100</p> <p>–</p> <p>La retención de agua en el reservorio del fondo debería ser suficiente para absorber el calor de una descarga máxima de 2 minutos, sin exceder 90°C (200°F).</p>	<p>Tambores Separadores para Alimentación a Depuradores de MEA</p> <p>–</p> <p>100(2)</p> <p>Use el mayor valor de:</p> <ol style="list-style-type: none"> Igual o mayor que el volumen equivalente a 15 m (50 pie) del líquido en la tubería Una retención de diez minutos basados en la descarga combinada de líquidos provenientes de las unidades localizadas aguas arriba. 	<p>Separadores de Alta Presión</p> <p>100</p> <p>100–125(2)</p> <p>Adecuado para una separación completa de burbujas de 220 µm , basado en las ecuaciones de flujo de asentamiento (ascenso) dadas en PDVSA-MDP-03-S-01.</p> <p>Altura mínima a nivel bajo de líquido = 450 mm (18 pulg).</p>
<p>Parámetro de Diseño</p> <p>Velocidad de vapor permisible</p> <p>% de Vc sin Malla</p> <p>% de Vc con Malla(1)</p> <p>Volumen de operación / Tiempo de Residencia</p>	<p>Tambores alimentados por válvulas de seguridad solamente</p> <p>170</p> <p>–</p> <p>La retención de líquido es gobernada por el proceso aguas arriba y cada caso debe ser evaluado.</p>		

Anexo C. Nivel de cuerda y área de las secciones circulares vs alturas de cuerda

R*	L*	A*	R*	L*	A*	R*	L*	A*	R*	L*	A*	R*	L*	A*	R*	L*	A*
0.030	0.341	0.0087	0.090	0.572	0.0446	0.150	0.714	0.0941	0.210	0.815	0.153	0.255	0.872	0.201	0.340	0.947	0.300
0.031	0.347	0.0092	0.091	0.575	0.0453	0.151	0.716	0.0950	0.211	0.816	0.154	0.256	0.873	0.202	0.342	0.949	0.302
0.032	0.352	0.0096	0.092	0.578	0.0460	0.152	0.718	0.0959	0.212	0.817	0.155	0.257	0.874	0.203	0.344	0.950	0.306
0.033	0.357	0.0101	0.093	0.581	0.0468	0.153	0.720	0.0968	0.213	0.818	0.156	0.258	0.875	0.204	0.346	0.951	0.307
0.034	0.362	0.0106	0.094	0.584	0.0475	0.154	0.722	0.0977	0.214	0.820	0.157	0.259	0.876	0.205	0.348	0.953	0.309
0.035	0.368	0.0110	0.095	0.586	0.0483	0.155	0.724	0.0986	0.215	0.822	0.158	0.260	0.877	0.207	0.350	0.954	0.312
0.036	0.373	0.0115	0.096	0.589	0.0490	0.156	0.726	0.0996	0.216	0.823	0.159	0.262	0.879	0.209	0.355	0.957	0.318
0.037	0.378	0.0119	0.097	0.592	0.0498	0.157	0.728	0.1006	0.217	0.824	0.160	0.264	0.882	0.211			
0.038	0.382	0.0124	0.098	0.595	0.0505	0.158	0.729	0.1014	0.218	0.826	0.161	0.266	0.884	0.213	0.360	0.960	0.324
0.039	0.387	0.0129	0.099	0.597	0.0513	0.159	0.731	0.1023	0.219	0.827	0.162	0.268	0.886	0.216	0.366	0.963	0.330
0.040	0.392	0.0134	0.100	0.600	0.0520	0.160	0.733	0.1033	0.220	0.828	0.163	0.270	0.888	0.218	0.370	0.966	0.336
0.041	0.397	0.0139	0.101	0.603	0.0528	0.161	0.735	0.1042	0.221	0.830	0.164	0.272	0.890	0.220	0.375	0.968	0.343
0.042	0.401	0.0144	0.102	0.605	0.0536	0.162	0.737	0.1051	0.222	0.831	0.165	0.274	0.892	0.222			
0.043	0.406	0.0149	0.103	0.608	0.0544	0.163	0.739	0.1061	0.223	0.833	0.166	0.276	0.894	0.225	0.380	0.971	0.349
0.044	0.410	0.0155	0.104	0.611	0.0551	0.164	0.741	0.1070	0.224	0.834	0.167	0.278	0.896	0.227	0.385	0.973	0.355
0.045	0.415	0.0160	0.105	0.613	0.0559	0.165	0.742	0.1080	0.225	0.835	0.168	0.280	0.898	0.229	0.390	0.975	0.361
0.046	0.419	0.0165	0.106	0.616	0.0567	0.166	0.744	0.1089	0.226	0.836	0.169	0.282	0.900	0.231	0.395	0.978	0.367
0.047	0.423	0.0171	0.107	0.618	0.0575	0.167	0.746	0.1099	0.227	0.838	0.171	0.284	0.902	0.234			
0.048	0.428	0.0176	0.108	0.621	0.0583	0.168	0.748	0.1108	0.228	0.839	0.172	0.286	0.904	0.236	0.400	0.980	0.374
0.049	0.432	0.0181	0.109	0.623	0.0591	0.169	0.750	0.1118	0.229	0.840	0.173	0.288	0.906	0.238	0.405	0.982	0.380
0.050	0.436	0.0187	0.110	0.626	0.0598	0.170	0.751	0.1127	0.230	0.842	0.174	0.290	0.908	0.241	0.410	0.984	0.386
0.051	0.440	0.0193	0.111	0.628	0.0606	0.171	0.753	0.1137	0.231	0.843	0.175	0.292	0.909	0.243	0.415	0.985	0.392
0.052	0.444	0.0198	0.112	0.631	0.0614	0.172	0.755	0.1146	0.232	0.844	0.176	0.294	0.911	0.245			
0.053	0.448	0.0204	0.113	0.633	0.0623	0.173	0.756	0.1156	0.233	0.845	0.177	0.296	0.913	0.248	0.420	0.987	0.399
0.054	0.452	0.0210	0.114	0.636	0.0631	0.174	0.758	0.1166	0.234	0.847	0.178	0.298	0.915	0.250	0.425	0.989	0.406
0.055	0.456	0.0215	0.115	0.638	0.0639	0.175	0.760	0.1175	0.235	0.848	0.179	0.300	0.917	0.252	0.430	0.990	0.411
0.056	0.460	0.0221	0.116	0.640	0.0647	0.176	0.762	0.1185	0.236	0.849	0.180	0.302	0.918	0.255	0.435	0.992	0.417
0.057	0.464	0.0227	0.117	0.643	0.0655	0.177	0.763	0.1195	0.237	0.850	0.181	0.304	0.920	0.257			
0.058	0.467	0.0233	0.118	0.645	0.0663	0.178	0.765	0.1204	0.238	0.852	0.182	0.306	0.922	0.259	0.440	0.993	0.424
0.059	0.471	0.0239	0.119	0.648	0.0671	0.179	0.767	0.1214	0.239	0.853	0.183	0.308	0.923	0.262	0.445	0.994	0.430
0.060	0.475	0.0245	0.120	0.650	0.0680	0.180	0.768	0.1224	0.240	0.854	0.185	0.310	0.925	0.264	0.450	0.995	0.436
0.061	0.479	0.0251	0.121	0.652	0.0688	0.181	0.770	0.1234	0.241	0.855	0.186	0.312	0.927	0.266	0.455	0.996	0.443
0.062	0.482	0.0257	0.122	0.655	0.0696	0.182	0.772	0.1244	0.242	0.857	0.187	0.314	0.928	0.269			
0.063	0.486	0.0263	0.123	0.657	0.0705	0.183	0.773	0.1253	0.243	0.858	0.188	0.316	0.930	0.271	0.460	0.997	0.449
0.064	0.490	0.0270	0.124	0.659	0.0713	0.184	0.775	0.1263	0.244	0.859	0.189	0.318	0.931	0.273	0.465	0.998	0.455
0.065	0.493	0.0276	0.125	0.661	0.0721	0.185	0.777	0.1273	0.245	0.860	0.190	0.320	0.933	0.276	0.470	0.998	0.462
0.066	0.497	0.0282	0.126	0.664	0.0730	0.186	0.778	0.1283	0.246	0.861	0.191	0.322	0.934	0.278	0.475	0.999	0.468
0.067	0.500	0.0288	0.127	0.666	0.0738	0.187	0.780	0.1293	0.247	0.863	0.192	0.324	0.936	0.281			
0.068	0.503	0.0295	0.128	0.668	0.0747	0.188	0.781	0.1303	0.248	0.864	0.193	0.326	0.937	0.283	0.480	0.999	0.475
0.069	0.507	0.0301	0.129	0.670	0.0755	0.189	0.783	0.1313	0.249	0.865	0.194	0.328	0.939	0.285	0.485	1.000	0.481
0.070	0.510	0.0308	0.130	0.673	0.0764	0.190	0.785	0.1323	0.250	0.866	0.196	0.330	0.940	0.288	0.490	1.000	0.487
0.071	0.514	0.0314	0.131	0.675	0.0773	0.191	0.786	0.1333	0.251	0.867	0.197	0.332	0.942	0.290	0.495	1.000	0.494
0.072	0.517	0.0321	0.132	0.677	0.0781	0.192	0.788	0.1343	0.252	0.868	0.198	0.334	0.943	0.293			
0.073	0.520	0.0327	0.133	0.679	0.0790	0.193	0.789	0.1353	0.253	0.869	0.199	0.336	0.945	0.295	0.500	1.000	0.500
0.074	0.524	0.0334	0.134	0.681	0.0798	0.194	0.791	0.1363	0.254	0.871	0.200	0.338	0.946	0.297			
0.075	0.527	0.0341	0.135	0.683	0.0807	0.195	0.792	0.1373									
0.076	0.530	0.0347	0.136	0.686	0.0816	0.196	0.794	0.1383									
0.077	0.533	0.0354	0.137	0.688	0.0825	0.197	0.795	0.1393									
0.078	0.536	0.0361	0.138	0.690	0.0833	0.198	0.797	0.1403									
0.079	0.539	0.0368	0.139	0.692	0.0842	0.199	0.798	0.1414									
0.080	0.543	0.0375	0.140	0.694	0.0851	0.200	0.800	0.1424									
0.081	0.546	0.0382	0.141	0.696	0.0860	0.201	0.801	0.1434									
0.082	0.549	0.0389	0.142	0.698	0.0869	0.202	0.803	0.1444									
0.083	0.552	0.0396	0.143	0.700	0.0878	0.203	0.804	0.1454									
0.084	0.555	0.0403	0.144	0.702	0.0886	0.204	0.806	0.1465									
0.085	0.558	0.0410	0.145	0.704	0.0895	0.205	0.807	0.1475									
0.086	0.561	0.0417	0.146	0.706	0.0904	0.206	0.809	0.1485									
0.087	0.564	0.0424	0.147	0.708	0.0913	0.207	0.810	0.1496									
0.088	0.567	0.0431	0.148	0.710	0.0922	0.208	0.812	0.1506									
0.089	0.569	0.0439	0.149	0.712	0.0932	0.209	0.813	0.1516									

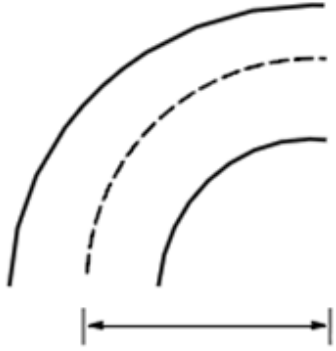


$$R^* = \frac{\text{Altura de la cuerda}}{\text{Diámetro}} = \frac{h}{D}$$

$$L^* = \frac{\text{Long. de la cuerda}}{\text{Diámetro}} = \frac{L}{D} = \text{Sen } \frac{\theta}{2} = \text{Sen Cos}^{-1} \left(1 - \frac{2h}{D} \right)$$

$$A^* = \frac{A_{\text{segmento}}}{A_{\text{Circular}}} = \frac{r^2 (\theta - \text{Sen}\theta)}{2\pi r^2} = \frac{\theta - \text{Sen}\theta}{2\pi}; \theta = 2 \left[\text{Cos}^{-1} \left(1 - \frac{2h}{D} \right) \right], \theta \text{ en Radianes}$$

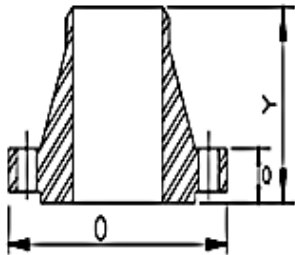
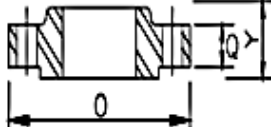
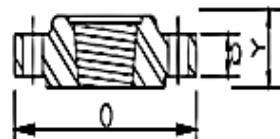
Anexo D. Dimensiones del codo de entrada



DISTANCIA DEL CENTRO
AL EXTREMO

TAMAÑO NOMINAL DE LA TUBERIA		DISTANCIA DEL CENTRO AL EXTREMO, mm			
		CODOS DE RADIO LARGO		CODOS DE RADIO CORTO	
mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
25	1	38	1 1/2	25	1
40	1 1/2	57	2 1/4	38	1 1/2
50	2	76	3	51	2
65	2 1/2	95	3 3/4	64	2 1/2
80	3	114	4 1/2	76	3
90	3 1/2	133	5 1/4	89	3 1/2
100	4	152	6	102	4
125	5	191	7 1/2	127	5
150	6	229	9	152	6
200	8	305	12	203	8
250	10	381	15	254	10
300	12	457	18	305	12
350	14	533	21	356	14
400	16	610	24	406	16
450	18	686	27	457	18
500	20	762	30	508	20
550	22	838	33	559	22
600	24	914	36	610	24

Anexo E. Parámetros para el dimensionamiento de las bridas

ESPECIFICACIONES:
 DIMENSIONES: ANSI B 16.5
 MATERIAL: ASTM A105 GRADO I (3)

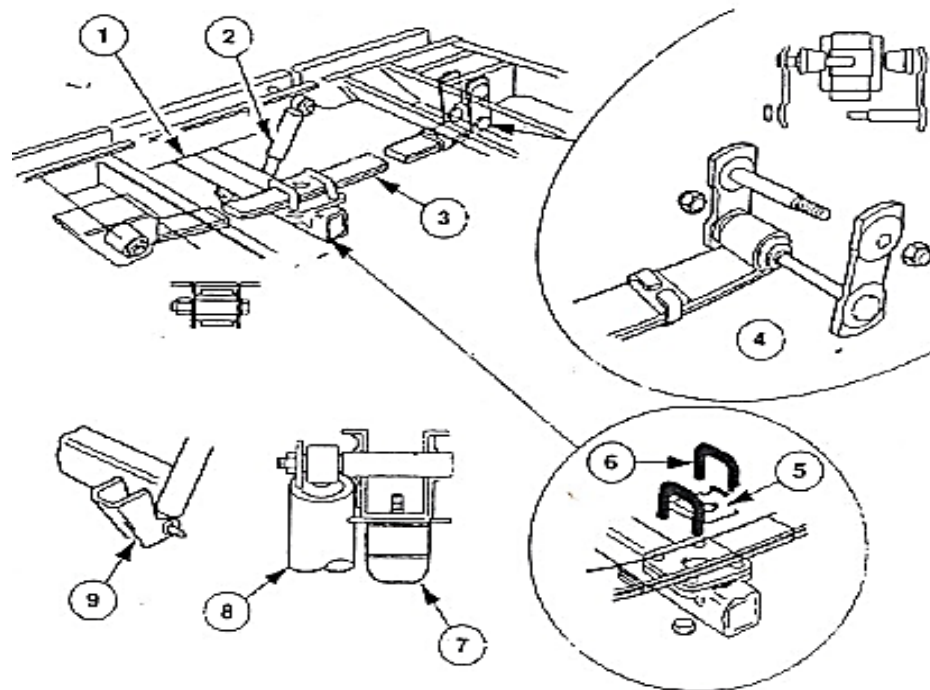
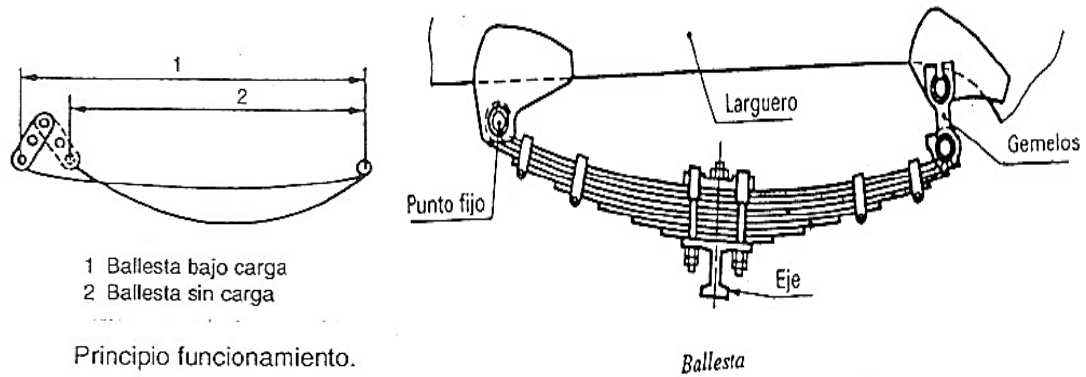
(1) EN EL VALOR DE "Y" Y "Q", EL VALOR DE LA CARA REALIZADA ESTA INCLUIDO
 (2) EN LAS BRIDAS CON CUELLO Y DE RECESO EL DIÁMETRO INTERIOR (Ø) SURTIDO, ES PARA TUBERIA PESO ESTANDAR OTROS DIÁMETROS SE SURTEN A SOLICITUD
 (3) PUEDE SURTIRSE A SOLICITUD, EN CALIDAD A181-II O A105 GRADO I O II
 (4) LA ALTURA DE LAS BRIDAS CIEGAS ES IGUAL AL VALOR DEL ESPESOR.

DIAMETRO NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR Ø		ESPESOR Q (1) (4)		ALTURA TOTAL Y (1) (4)						No. DE BARRENOS	DIAM. DEL CIRCULO DE BARRENOS		DIAMETRO DE LOS BARRENOS	
PULG.	mm.	PULG.	mm.	PULG.	mm.	CON CUELLO		DESUZABLE (2) ROSCA RECESO		TRASLAPE			PULG.	mm.	PULG.	mm.
150 PSI REALCE DE LA CARA 1.5 mm. (1/16") (4) 10.5 Kg/cm ²																
1/2	12.70	3 1/2	88.90	7/16	11.11	1 7/8	47.62	5/8	15.87	5/8	15.87	4	2 3/8	60.32	1/2	12.7
3/4	19.05	3 7/8	98.42	1/2	12.70	2 1/16	52.38	5/8	15.87	5/8	15.87	4	2 3/4	69.85	1/2	12.7
1	25.40	4 1/4	107.95	9/16	14.29	2 3/16	55.56	11/16	17.46	11/16	17.46	4	3 1/8	79.37	1/2	12.7
1 1/4	31.75	4 5/8	117.47	5/8	15.87	2 1/4	57.15	13/16	20.63	13/16	20.63	4	3 1/2	88.90	1/2	12.7
1 1/2	38.10	5	127.00	11/16	17.46	2 7/16	61.91	7/8	22.22	7/8	22.22	4	3 7/8	98.42	1/2	12.7
2	50.80	6	152.40	3/4	19.05	2 1/2	63.50	1	25.40	1	25.40	4	4 3/4	120.65	5/8	15.87
2 1/2	63.50	7	177.80	7/8	22.22	2 3/4	69.85	1 1/8	28.57	1 1/8	28.57	4	5 1/2	139.70	5/8	15.87
3	76.20	7 1/2	190.50	15/16	23.81	2 3/4	69.85	1 3/16	30.16	1 3/16	30.16	4	6	152.40	5/8	15.87
3 1/2	88.90	8 1/2	215.90	15/16	23.81	2 13/16	71.43	1 1/4	31.75	1 1/4	31.75	8	7	177.80	5/8	15.87
4	101.60	9	228.60	15/16	23.81	3	76.20	1 5/16	33.33	1 5/16	33.33	8	7 1/2	190.50	5/8	15.87
5	127.00	10	254.00	15/16	23.81	3 1/2	88.90	1 7/16	36.51	1 7/16	36.51	8	8 1/2	215.90	3/4	19.05
6	152.40	11	279.1	1	25.40	3 1/2	88.90	1 9/16	39.69	1 9/16	39.68	8	9 1/2	241.30	3/4	19.05
8	203.20	13 1/2	342.90	1 1/8	28.57	4	101.60	1 3/4	44.45	1 3/4	44.45	8	11 3/4	298.45	3/4	19.05
10	254.00	16	406.40	1 3/16	30.16	4	101.60	1 15/16	49.21	1 15/16	49.21	12	14 1/4	361.95	7/8	22.22
12	304.80	19	482.60	1 1/4	31.75	4 1/2	114.30	2 3/16	55.56	2 3/16	55.56	12	17	431.80	7/8	22.22
14	355.60	21	533.40	1 3/8	34.92	5	127.00	2 1/4	57.15	3 1/8	79.37	12	18 3/4	476.25	1	25.4
16	406.40	23 1/2	596.90	1 7/16	36.51	5	127.00	2 1/2	63.50	3 7/16	87.31	16	21 1/4	539.75	1	25.4
18	457.20	25	635.00	1 9/16	39.69	5 1/2	139.70	2 11/16	68.26	3 13/16	96.83	16	22 3/4	577.85	1 1/8	28.57
20	508.00	27 1/2	698.50	1 11/16	42.86	5 11/16	144.46	2 7/8	73.02	4 1/16	103.18	20	25	635.00	1 1/8	28.57
24	609.60	32	812.80	1 7/8	47.62	6	152.40	3 1/4	82.55	4 3/8	111.12	20	29 1/2	749.30	1 1/4	31.75

Anexo F. Tabla para el dimensionamiento de la silleta

DIAM. REDUCE D	COTA MILIMETROS S	CARACTERÍSTICAS																PISO DE LA SILLA EN INCHAS	CANTIDAD DE SILLAS EN CADA PISO
		TODAS LAS DIMENSIONES EN PULGADAS																	
		A1	B	C	D	E	F	G	H	J	K	DIBUJO DE LA SILLA		CANTIDAD DE SILLAS EN CADA PISO	P.L.T. DE SILLAS EN INCHAS				
24	3410	19	6	22	3/8	7	8	23	5/16	11	3/16	3/4	1	1/1-1/2	1/4		23	1	
30	4545	22	6	27	7/16	7	10-1/2	29	5/16	13-1/2	3/16	3/4	1	1/1-1/2	1/4	30	1		
36	6818	25	6	32	1/2	7	12-1/2	34	3/8	16	1/4	3/4	1	1/1-1/2	1/4	41	1		
42	9090	28	6	38	9/16	7	16	40	1/2	19	5/16	3/4	1	1/1-1/2	5/16	50	1		
48	18180	31	8	43	5/8	9	18	45	1/2	21-1/2	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	91	1		
54	22727	34	8	48	5/8	9	20	50	1/2	12	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	110	2		
60	27270	37	8	53	5/8	9	23	55	1/2	13	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	123	2		
66	34090	40	8	58	5/8	9	25	60	1/2	14	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	136	2		
72	38636	43	8	63	5/8	9	28	65	1/2	16	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	148	2		
78	45455	46	8	69	5/8	9	31	71	1/2	17	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	160	2		
84	68180	49	9	74	3/4	10	33	76	5/8	19	1/2	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	1/2	225	2		
90	79540	52	9	79	3/4	10	35	81	5/8	20	1/2	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	1/2	250	2		
96	90900	55	9	84	3/4	10	37	86	5/8	21	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	270	2		
102	104540	58	9	90	3/4	10	40	92	5/8	23	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	295	2		
108	125000	61	10	95	3/4	11	42	97	5/8	24	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	320	2		
114	159100	64	10	100	3/4	11	44	102	5/8	25	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	345	2		
120	177270	67	10	105	3/4	11	46	107	5/8	26	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	365	2		
126	200000	70	10	110	3/4	11	48	112	5/8	28	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	385	2		
132	227270	73	10	116	3/4	11	51	118	5/8	29	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	410	2		
138	245450	76	10	121	3/4	11	53	123	5/8	30	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	430	2		
144	263600	79	10	126	3/4	11	55	128	5/8	32	1/2	1	1-1/4	1-1/4-3/4	1/2	455	2		



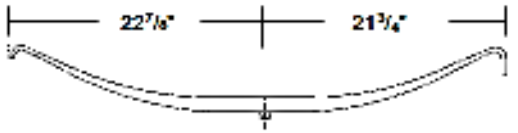





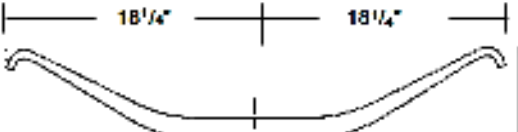
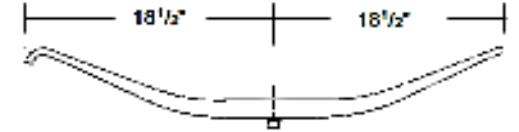
Anexo G. Partes y montaje de la ballesta




- | | |
|---|---------------------------|
| 1 Cuerpo de eje trasero | 5 Chapa guía |
| 2 Amortiguador | 6 Brida en U |
| 3 Ballesta | 7 Tope de goma |
| 4 Soporte de ballesta con compensación longitudinal | 8 Amortiguador |
| | 9 Soporte de amortiguador |

Construcción de la ballesta


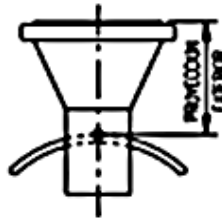
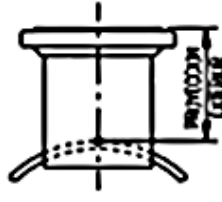




Anexo H. Estándares para muelles

STANDENS		LEAF SPRINGS	
 <p>Trailer Spring, Single Leaf - Low 4³/₈" Arch 42.5" Axle Spacing, 22,400 lb. GAWR Hutchens 7051-42 Part No. TRA026</p>	 <p>Trailer Spring, Single Leaf - High 7¹/₈" Arch 22,400 lb. GAWR Hutchens 360-00 (TRA-023) Part No. 360-00</p>		
 <p>Trailer Spring, Single Leaf - Low Arch 22,400 lb. GAWR Hutchens 363-00 Part No. 363-00</p>	 <p>Trailer Spring, Single Leaf, 5¹/₄" Arch Replaces T/M 3-A3-56 Part No. TRA051</p>		
 <p>Trailer Spring, Single Leaf, 4³/₄" Arch 10,500 lb. capacity Replaces Fruehauf UXAD186-1 Part No. TRA011</p>	 <p>Trailer Spring, Single Leaf 4³/₄" arch, 14,500 lb capacity Replaces Fruehauf UCC007280-001 Part No. TRA012</p>		
 <p>Trailer Spring, Single Leaf 4" Medium Arch, 11,000 lb. capacity Replaces Reyco T5555, 5555-00 Part No. TRA031</p>	 <p>Trailer Spring, Single Leaf Low 4⁵/₈" arch, 10,500 lb capacity Replaces Fruehauf UCDD08315-001 Part No. TRA013</p>		
 <p>Trailer Spring, Single Leaf High 4⁵/₈" arch, 10,500 lb. capacity Replaces Fruehauf UXAD00178 Part No. TRA015</p>	 <p>Trailer Spring, Single Leaf Medium 3" arch, 11,000 lb. capacity Replaces Reyco T7297 Part No. TRA035</p>		

Anexo I. Dimensiones de tubería

		DIMENSIONES DE TUBERIA													NORMAS	
		1.- TODAS LAS DIMENSIONES EN PULGADAS 2.- EL ESPESOR NOMINAL DE PARED MOSTRADO ESTÁ SUJETO A 12.5 % DE TOLERANCIA 3.- NO INCLUIDO EN LA NORMA ANSI B36.10													FIGURA No. 33	
Tamaño Nominal del Tubo	Diámetro Exterior	CEDULA 10	CEDULA 20	CEDULA 30	PESO NOMINAL	CEDULA 40	CEDULA 60	EXTRA FUERTE BO	CEDULA 100	CEDULA 120	CEDULA 140	CEDULA 160	X X FUERTE	Tamaño Nominal del Tubo		
1/8	0.405	--	--	--	0.068	0.068	--	0.095	0.095	--	--	--	--	1/8		
1/4	0.540	--	--	--	0.088	0.088	--	0.119	0.119	--	--	--	--	1/4		
3/8	0.675	--	--	--	0.091	0.091	--	0.126	0.126	--	--	--	--	3/8		
1/2	0.840	--	--	--	0.109	0.109	--	0.147	0.147	--	--	0.187	0.294	1/2		
3/4	1.050	--	--	--	0.113	0.113	--	0.154	0.154	--	--	0.218	0.308	3/4		
1	1.315	--	--	--	0.133	0.133	--	0.179	0.179	--	--	0.250	0.358	1		
1 1/4	1.660	--	--	--	0.140	0.140	--	0.191	0.191	--	--	0.250	0.382	1 1/4		
1 1/2	1.900	--	--	--	0.145	0.145	--	0.200	0.200	--	--	0.281	0.400	1 1/2		
2	2.375	--	--	--	0.154	0.154	--	0.218	0.218	--	--	0.343	0.436	2		
2 1/2	2.875	--	--	--	0.203	0.203	--	0.276	0.276	--	--	0.375	0.532	2 1/2		
3	3.500	--	--	--	0.216	0.216	--	0.300	0.300	--	--	0.438	0.600	3		
3 1/2	4.000	--	--	--	0.226	0.226	--	0.318	0.318	--	--	--	0.636	3 1/2		
4	4.500	--	--	--	0.237	0.237	--	0.337	0.337	--	0.438	--	0.531	4		
5	5.563	--	--	--	0.258	0.258	--	0.375	0.375	--	0.500	--	0.625	5		
6	6.625	--	--	--	0.280	0.280	--	0.432	0.432	--	0.562	--	0.718	6		
8	8.625	--	0.250	0.277	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.593	0.718	0.812	0.906	8		
10	10.750	--	0.250	0.307	0.365	0.365	0.500	0.500	0.593	0.718	0.843	1.000	1.125	10		
12	12.750	--	0.250	0.330	0.375	0.406	0.562	0.500	0.687	0.843	1.000	1.125	1.312	12		
14	14.00	0.250	0.312	0.375	0.375	0.438	0.593	0.500	0.750	0.937	1.093	1.250	1.406	14		
16	16.00	0.250	0.312	0.375	0.375	0.500	0.656	0.500	0.843	1.031	1.218	1.438	1.593	16		
18	18.00	0.250	0.312	0.438	0.375	0.562	0.750	0.500	0.937	1.156	1.375	1.562	1.781	18		
20	20.00	0.250	0.375	0.500	0.375	0.593	0.812	0.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.968	20		
24	24.00	0.250	0.375	0.562	0.375	0.687	0.968	0.500	1.218	1.531	1.812	2.062	2.343	24		
30	30.00	0.312	0.500	0.625	0.375	--	--	0.500	--	--	--	--	--	30		

Anexo J. Proyecciones mínimas para las boquillas

	PROYECCIONES MINIMAS RECOMENDADAS PARA BOQUILLAS		NORMAS				
			FIGURA No. 35				
<p>LAS TABLAS DAN PROYECCION EXTERIOR MINIMA DE BOQUILLAS, Y EN CASO NECESARIO DEBERA INCREMENTARSE LA PROYECCION, POR ESPESORES DE AISLAMIENTO Y PLACA DE REFUERZO (A CRITERIO DEL DISEÑADOR)</p>							
<p>PROYECCION EXTERIOR EN PULGADAS PARA BRIDAS WELDING NECK</p>							
	DIAM. NOM. TUBO	RANGO DE PRESION DE LA BRIDA EN LBS.					
		150	300	600	900	1500	2500
	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		
<p>PROYECCION EXTERIOR EN PULGADAS PARA BRIDAS {SLIP-ON {LAP-JOINT</p>							
	DIAM. NOM. TUBO	RANGO DE PRESION DE LA BRIDA EN LBS.					
		150	300	600	900	1500	2500
	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	12	12	12			
<p>PROYECCION INTERIOR</p>							
a)		b)		c)		d)	
CORTE AL RAS DEL TUBO A LA CURVATURA DEL RECIPIENTE		CORTE RECTO A LA CURVATURA		PROYECCION MINIMA PARA SOLDADURA		PROYECCION PARA REFUERZO U OTRO PROPOSITO	

Anexo K. Detalles de construcción del recipiente a presión

1. Alcance del suministro: Es criterio generalizado entre los adquirentes de recipientes a presión que conocen y exigen la aplicación de Normas Internacionales, incluir en su requerimiento el alcance siguiente:

- Recipiente completo construido conforme a las especificaciones técnicas particulares y generales incluidas en la documentación del pedido de cotización, más aquella cuya definición ha sido asignada al proveedor, todo lo cual constará en la oferta de éste y será aceptada por el adquirente por medio de la correspondiente orden.
- El suministro, como mínimo alcanza hasta los elementos de conexión externa vinculados por soldadura al recipiente, tal como lo son las conexiones bridadas y roscadas.
- Agujero de inspección ó control tales como entrada de hombre, entrada de mano y cualquier otro tipo de abertura para esas finalidades. En todos los casos se entiende con las correspondientes tapas ciegas, juntas y bulonería.
- Aditamentos externos requeridos para la sustentación del recipiente, tales como cunas, patas, faldones bridados, etc.
- Aditamentos internos indicados en planos.
- Elementos necesarios para el transporte y movimiento, tales como orejas o cáncamos de izaje, rigidizadores, bulones y juntas adicionales para ser utilizadas en las pruebas. Certificados del fabricante de la chapa o de ensayos locales requeridos por normas para constatar la calidad del material. Procedimientos de soldadura calificados por especialistas y soldadores con habilidad certificada y vigente. Pruebas y ensayos requeridos por Norma, tales como: prueba hidráulica, tratamiento térmico, radiografiado de soldaduras y todo otro ensayo no destructivo que hubiere sido preestablecido o que a criterio del inspector y del adquirente, resultara procedente para evaluar posibles defectos de fabricación. Placa de identificación del recipiente, con los datos de

Norma y su correspondiente soporte. Trabajos de limpieza y pintura de todas las superficies exteriores o revestimientos interiores que se hubieren acordado. Preparación para el transporte, carga sobre camión en el taller del fabricante y transporte hasta la planta del adquirente si así hubiere sido acordado. Todo otro o suministro que, aunque no estuviere explícitamente indicado, resulte necesario para una fabricación acorde a la Norma constructiva aplicada y a las mejores reglas del arte.

Figura 82. Construcción del tanque



Fuente: ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS. Diplomado facilidades de superficie. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería Físicoquímicas; 2003. p 25.

2 Detalles constructivos:

- El fabricante deberá desarrollar los planos constructivos necesarios a partir de la documentación de diseño.
- Las envolventes deberán ser roladas con un diámetro coincidente con el de transición de los cabezales.
- En recipientes con cabezales de diferente espesor que la envolvente se efectuará la transición de espesores sobre el exterior del recipiente. La longitud de transición nunca será menor que 3 veces la diferencia de espesores.
- Los cordones longitudinales de las envolventes serán ubicados de manera que no sean afectados por aberturas, placas de refuerzo, cuñas de apoyo, etc. y permanecer perfectamente visibles.

- Para los cordones circunferenciales son válidas las mismas consideraciones pero, si una interferencia es inevitable, el cordón será rebajado a ras de la chapa y examinado radiográficamente previo a la colocación del refuerzo.
- No se permitirá ninguna conexión roscada directamente sobre la envolvente o cabezales, cualquiera fuere su espesor. Toda conexión que no se prolongue hacia el interior del tanque, terminará a ras de la cara interna y la soldadura se efectuará con penetración completa. Los refuerzos de conexiones y entrada de hombre, deberán ser calculados conforme lo especifica el Código. El material del refuerzo será el mismo tipo de acero que el utilizado en el recipiente. Los bordes interiores de la entrada de hombre o de mano, serán amoladas con un radio mínimo de 6 mm. Para conexiones de $\varnothing 2''$ o menores, es recomendable la utilización de cuplas o medias cuplas forjadas de serie 3000 como mínimo; las de $2-1/2''$ y mayores deberán ser bridadas de tipo SORF de Serie 150 como mínimo y para servicios de mayor presión, el tipo WNRF de la Serie que corresponda. Los cuellos de conexión (Welding Neck) para diámetros menores a $1-1/2''$ serán sch 80 y la conexión al cuerpo se realizará mediante accesorios socked weld. Todos los agujeros para los bulones de bridas, quedarán a horcajadas de los ejes principales del recipiente, salvo especificación en contrario. Los recipientes horizontales con 2 silletas de apoyo soldadas al cuerpo, deberán tener el anclaje de una de ellas con correderas para permitir la dilatación por temperatura. Los recipientes de acero inoxidable podrán contar con medios de sustentación contruidos en acero al carbono, siempre que se suelden a placas externas del mismo material del cuerpo, soldadas previamente.

Anexo L. Características de la malla

El tipo más común de extractor de vapor que se encuentra en las operaciones de producción, es el tipo de punto de malla de alambre (Figura 83). Esta unidad supera en número a todos los demás tipos de extractores de niebla. Se trata de tejido de punto (en lugar de tejido alambre), estos dispositivos tienen gran superficie y volumen vacío. Mientras que el alambre tejido tiene un conjunto de cables que corren perpendiculares a otros. Los hilos de punto cuentan con una serie de bucles entrelazados como paño de la fibra. Esto hace que el producto sea lo suficientemente flexible, y estructuralmente estable.

Figura 83. Extractor de niebla



Fuente: ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS. Diplomado facilidades de superficie. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físicoquímicas; 2003. p 25.

El extractor de niebla de malla de alambre a menudo se especifica para un determinado espesor (generalmente de 3 a 7 pulgadas), y la densidad de malla (generalmente de 10 a 12 libras por pie cúbico). Por lo general son construidos de cable de diámetro que van desde 0.10 hasta 0.28 mm, con una fracción de huecos volumen típico de 0.95 a 0.99. La plataforma de cable se coloca entre la parte superior e inferior con redes de apoyo para completar el montaje. Las rejillas deben ser lo suficientemente fuerte a luz entre los apoyos, y disponen de una superficie libre suficiente para el flujo.

Anexo M. Características del medidor de interfase

Transmisor de radar de onda guiada para medición de nivel de interfase

La serie 3300 de Rosemount esta compuesto de transmisores inteligentes de interfase y de nivel alimentados por el lazo basados en la tecnología de radar de onda guiada. Estos instrumentos proporcionan notables mediciones fiables de líquidos y lodos, incluso para condiciones rigurosas, gracias al avanzado procesamiento de señales con muestreo digital y una alta relación de señal con respecto al ruido.

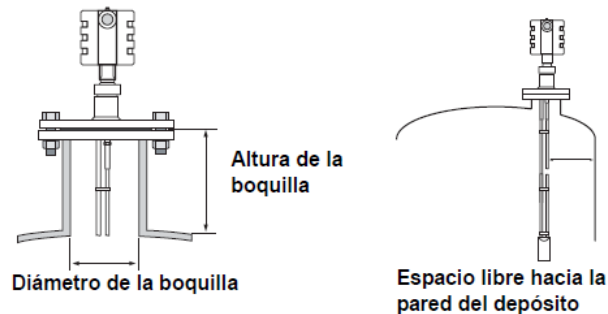
Figura 84. Medidor de interfase



Consideraciones mecánicas

Generalmente el transmisor se monta con una conexión bridada o roscada al depósito, pero la sonda también se puede instalar en un ángulo de hasta 90° con respecto a la vertical. También es posible girar el alojamiento del transmisor en cualquier dirección. La sonda debe estar colgada y extendida totalmente, en toda la distancia donde se desean las lecturas. Para obtener el mejor rendimiento posible, se debe considerar lo siguiente antes de instalar el transmisor:

Figura 85. Boquilla de instalación del sensor



- ✓ Las entradas de llenado que generan turbulencia se deben mantener a una distancia adecuada.
- ✓ La altura máxima recomendada de la boquilla es de 10 cm (4 in.) + diámetro de la boquilla.
- ✓ Evitar el contacto físico entre las sondas y los agitadores así como las aplicaciones con fuerte movimiento del fluido a menos que la sonda esté anclada. Si la sonda se puede mover en un espacio de 30 cm (1 ft) respecto a cualquier objeto durante la operación, entonces se recomienda amarrar la sonda.
- ✓ Con el fin de estabilizar la sonda para las fuerzas laterales, es posible fijar o guiar la sonda al fondo del depósito.
- ✓ Se debe seleccionar la longitud de la sonda de acuerdo al rango de medición requerido. La mayoría de las sondas se pueden cortar en campo. Sin embargo, existen algunas restricciones para las sondas coaxial HP y estándar: Las sondas de más de 1,25 m (4.1 ft) se pueden cortar para obtener una longitud de 0,6 m (2 ft). Las sondas más pequeñas se pueden cortar para obtener una longitud mínima de 0,4 m (1.3 ft). La sonda coaxial HTHP y las sondas cubiertas de teflón no se pueden cortar en campo.
- ✓ Para obtener un óptimo rendimiento de la sonda simple en depósitos no metálicos, la sonda se debe montar con una brida metálica de 2 pulg. / DN 50 ó

mayor, ó se debe usar una hoja de metal con un diámetro de 200 mm (8 in.) ó mayor (consultar el manual de referencia para ver la ubicación).

Si existe la posibilidad de que la sonda entre en contacto con una pared, boquilla o con otra obstrucción del depósito, la única recomendación es utilizar la sonda coaxial. El espacio libre mínimo se proporciona en la siguiente tabla.

	Coaxial	Sonda doble rígida	Sonda doble flexible	Sonda simple rígida	Sonda simple flexible
Diámetro de boquilla recomendado	Suficiente espacio para la sonda	10 cm (4 in.) o más	10 cm (4 in.) o más	15 cm (6 in.) o más	15 cm (6 in.) o más
Diámetro de boquilla mínimo ⁽¹⁾	Suficiente espacio para la sonda	5 cm (2 in.)	5 cm (2 in.)	5 cm (2 in.)	5 cm (2 in.)
Espacio libre mínimo a la pared u obstrucción del depósito ⁽²⁾	0 cm (0 in.)	10 cm (4 in.)	10 cm (4 in.)	10 cm (4 in.) si la pared es metálica y pulida. 30 cm (12 in.) si existen objetos perturbadores, si la pared es metálica y áspera o de concreto/plástico.	10 cm (4 in.) si la pared es metálica y pulida. 30 cm (12 in.) si existen objetos perturbadores, si la pared es metálica y áspera o de concreto/plástico.
Diám. mín. de tubería / derivación	3,8 cm (1.5 in.)	5 cm (2 in.) ⁽³⁾	Consultar con la fábrica	5 cm (2 in.) ⁽⁴⁾	Consultar con la fábrica

(1) Requiere configuración especial y ajuste de la zona nula superior.

(2) El espacio mínimo desde el fondo del depósito para la sonda coaxial y sonda simple rígida es de 5 mm (0.2 in.).

(3) La sonda ubicada más al centro debe estar cuando menos 15 mm (0.6 in.) alejado de la pared de la tubería/derivación.

(4) La sonda debe estar centrada en la tubería/derivación. Se puede utilizar un disco de centrado para evitar que la sonda haga contacto con la pared de la brida.

Anexo N. Características flujómetro de coriolis

El *medidor Coriolis* se basa en el teorema de Coriolis. La generación de la fuerza Coriolis puede producirse de dos formas:

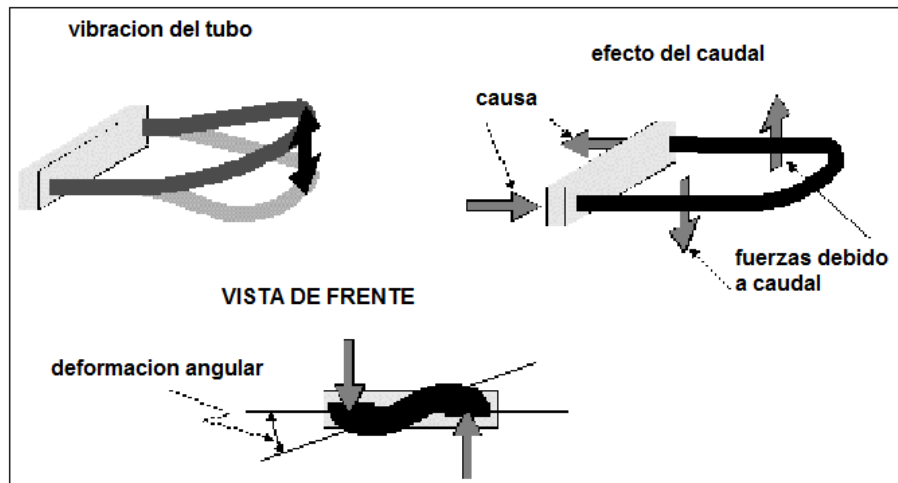
1. Por inversión de las velocidades lineales del fluido mediante la desviación de un bucle en forma de omega en estado de vibración controlada (frecuencia de resonancia). La vibración del tubo perpendicular al sentido de desplazamiento del fluido crea una fuerza de aceleración en la tubería de entrada del fluido y una fuerza de desaceleración en la de salida. Se genera un par cuyo sentido va variando de acuerdo con la vibración y el ángulo de torsión del tubo, que es directamente proporcional a la masa instantánea de fluido circulante.

2. Por inversión de las velocidades angulares del fluido mediante un tubo recto. Por la vibración a la que se somete el tubo, existe una diferencia de fase entre las velocidades angulares en distintos puntos. Esta diferencia de fase es la que miden los sensores y es proporcional al caudal másico. La ventaja del tubo recto respecto al tubo omega es que su pérdida de carga es muy baja. La medida en masa es independiente de la temperatura, presión y densidad del fluido. En general la medición en volumen debe ser corregida a determinadas condiciones (a una temperatura y presión definida), por lo que es necesario conocer las propiedades termodinámicas y el factor de compresibilidad del fluido. Si la medición de masa no es directa, se presentan fuentes de error adicionales:

- ✓ Lectura del caudal (velocidad)
- ✓ Presión
- ✓ Temperatura
- ✓ Composición o densidad operativa

La tecnología Coriolis provee múltiples mediciones: caudal másico, densidad de líquido y temperatura.

Figura 86. Principio de funcionamiento efecto coriolis



Esto provoca una oscilación mecánica (80 a 100 Hz)

Ventajas

- * Su salida es lineal con el flujo másico.
- * No requiere compensación por variaciones de temperatura o presión
- * Es adecuado para casos de viscosidad variable
- * Permite la medición de caudales másicos de líquidos difíciles de medir: adhesivos, nitrógeno líquido, etc.

Desventajas

- * No es apto para caudales elevados.

Caudalímetro másico

Es el Medidor más preciso para medir por masa. Utiliza el efecto coriolis, por lo tanto es ideal para procesos delicados de bacheo por peso, o para facturar líquidos o gases de alto precio que se venden por Kg., como el GNC, ya que su exactitud es independiente de la viscosidad, temperatura y densidad. Emite pulsos para medir masa.

Instalación: en cualquier posición.

Rango: 1,5 Kg/h a 700.000 Kg/h

Exactitud: 0,2% del valor leído.

Apto Intemperie NEMA4 y Zona Ex.

Requiere Indicador.

Origen: ALEMANIA

Precio: US\$ 9900



Por si el encargado de construir el separador al momento de incluir el flujómetro se encuentra con que es muy caro o no se encuentra para la dimensión de tubería, se recomiendan dos opciones como lo son el flujómetro de turbina o el de desplazamiento positivo ya que estos cuentan con una características similares al de coriolis, las características de estos se identifican en la tabla 27.

Tabla 27. Comparación de diferentes tipos de medición

Comparación de los diferentes tipos de medidores		
Para transferencia de custodia		
Desplazamiento Positivo	Turbina	Coriolis
Bajo precio y pequeños	Bajo precio	
Amplia gama de técnicas de medición (engranaje, pistón, helicoidal)	Tecnología tradicional	Ninguna condición especial de flujo
Buen desempeño en alta viscosidad	Amplio rango de temperatura y presión	Insensible a la viscosidad
Unidireccional	Unidireccional	Bidireccional
Daño por bolsas de aire	Baja caída de presión	Perdida de presión
Volumétrico	Volumétrico	Másico
Rangeabilidad limitada	Rangeabilidad limitada	Alta rangeabilidad
Exactitud y calibración dependientes de la viscosidad	Excelente repetibilidad	Alta exactitud y repetibilidad
Alto mantenimiento	Requiere mantenimiento	Mínimo mantenimiento
Sin restricciones (analizar las posibilidades de cavitación)	Numero Reynolds > 4000	Insensible al número Reynolds
Alto costo de instalación y mantenimiento	Alto costo de instalación y mantenimiento	Sin partes
Sensibilidad a fluidos sucios	Depende del perfil de flujo	Limitado el rango
	Requiere tramos largos aguas arriba y aguas abajo	Tamaños hasta 6 pulg.

Fuente: Manual Único de Medición MPMS, Capítulo 5, ECOPETROL

Anexo O. Características del manómetro a utilizar

Descripción	Rango	Cod.
	- 30 / 0 PSI	M258
	-30 / 150 PSI	M262
	0 / 15 PSI	M263
	0 / 30 PSI	M266
	0 / 60 PSI	M332
Carátula: 4"	0 / 100 PSI	M334
Conexión: Vertical 1/4", Bronce	0 / 150 PSI	M336
Caja: Acero Inoxidable	0 / 200 PSI	M338
Partes Internas: Bronce, con glicerina (opcional)	0 / 400 PSI	M340
	0 / 600 PSI	M342
	0 / 1000 PSI	M344
	0 / 2000 PSI	M346
	0 / 3000 PSI	M348
	0 / 5000 PSI	M350
	0 / 10000 PSI	M351



Anexo P. características de tuberías

TODO TUBOS LTDA.

Calle 15 N° 27 - 58/68

PBX: (57 1) 237 2222

Fax: (57 1) 351 1886

E-mail: oscaracero@todotubos.com

www.todotubos.com

Cel. (57) 310 859 3342

Bogotá D.C - COLOMBIA.



TUBERÍA EN ACERO AL CARBÓN DE 2" SCH 40 (3.91mm) SIN COSTURA EN TRAMOS DE 6.0 METROS A \$ 20.000= VALOR POR METRO LINEAL MÁS IVA.

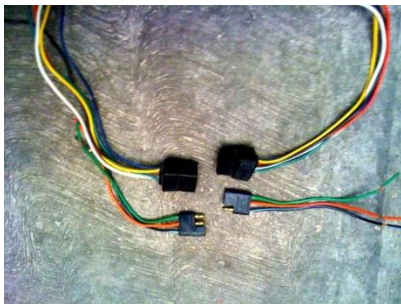
Anexo Q. Sistema eléctrico en el remolque

Se instala una batería en el remolque, deberá ser instalado en el vehículo remolcador un aparato denominado "Dual Battery" que cargue de forma independiente a esa batería con el mismo alternador vehicular, llevara un cableado grueso (de preferencia AWG 10) hasta donde se encuentre la batería del remolque.



baterías al alternador y viceversa.

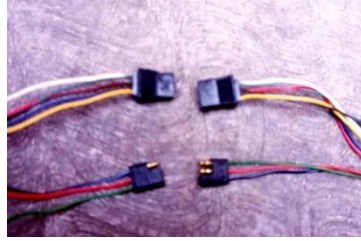
El Dual Battery es un aparato eléctrico o electrónico que sirve para que, mediante el mismo alternador del vehículo remolcador sean cargadas dos o más baterías siempre y cuando estén bien conectados los aparatos y



Existen conectores portátiles de 6 cables, en este caso es de 6 cables pero delgados, sin embargo se considera en este caso será mejor adaptar definitivamente un conector fijo como los que se usa en los tráilers, ya que la mayoría cuentan con esos 6 conectores siendo mejor el resultado obtenido.



También se encuentran de tres cables o más, y hasta de menos cables.



Cuando los remolques por su peso tienen freno eléctrico, regularmente vienen con sus propios conectores eléctricos pero si no se cuenta con estos conectores es sencillo hacerlos dependiendo del número de cables que requieran estos.

Anexo R. Enganches de bolas o esféricos

Existen diferentes tipos de bolas para jalones de remolques dependiendo de su peso, es la medida que se debe adquirir; las más comunes son las de 1 7/8" pero para mayores pesos existen las de 2" habiendo hasta de 2 1/2" y 3" para pesos excesivos y en esos casos es preferible usar remolques de "quinta rueda" adaptados a camionetas pick up de doble rodada. Con este dispositivo es que se va a unir el remolque con el carro que lo va a trasportar a los pozos, es un dispositivo estándar



acople remolque clase 3 - 6.000 lb bola 2"



Marca del Vehículo : UNIVERSAL
Marca del Repuesto : TITAN
Referencia : 5237002
Precio : \$800.000

Teléfonos: (57) 1- 370 1907 - (57) 1- 247 4550 Fax (57) 1-237 0975

Móvil (57) 300 200 3586

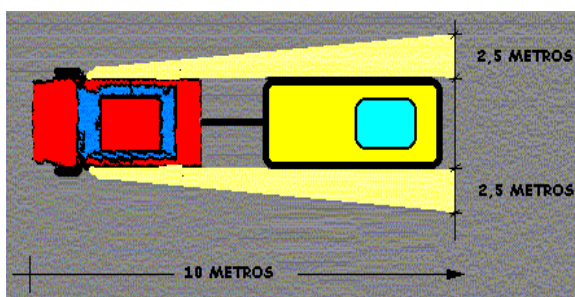
Dirección: Av. Calle 6 No. 27-29 Bogotá D.C. Colombia

Recomendaciones

OJO: no olvidar conectar siempre como medida de seguridad un par de cadenas a los lados de cada conexión de bola entre cada vehículo y remolque ya que a veces en los baches o topes se salen los jalones de las bolas y se desprenden los remolques de forma muy peligrosa.

PELIGRO: Nunca llevar personas adultos y menos a niños, (tampoco a mascotas) a bordo de los remolques en movimiento, (la mayoría de los reglamentos de tránsito así lo exigen). Si las bolas no coinciden con los jalones en tamaño, es preferible no arriesgarse y no intentar jalar remolques con una bola de diferente medida.

Para tener una adecuada visión, instala en tu vehículo remolcador espejos



retrovisores exteriores adicionales o prolonga los que ya tienes instalados en tu vehículo mediante brazos especiales. No olvides retirarlos cuando desenganches el remolque.

Observa siempre por los espejos retrovisores laterales exteriores antes de efectuar cualquier maniobra de rebase, cambio de carril, vuelta, frenado, etc.




Anexo S. Llantas

Se instalan llantas del mismo tipo y medida de la camioneta que va a trasladar el separador.



Referencia	Perforación rueda	Dimensiones	Carga por rueda	D	Presión neumático	8	R2	O	Peso kg
22 02 001	4T 115	350 x 8	150	0	2,5	89	173	388	1,3
22 02 002	4T 115	480 x 8	224	0	4	110	188	423	1,6
22 03 001	4T 115	400 x 10	250	0	2,5	100	198	450	4,4
22 03 002	4T 115	450 x 10	265	0	3,5	131	222	503	4,6
22 03 003	4T 115	500 x 10	280	0	3,5	141	232	522	5,5
22 04 003	4T 115	135 x 12	300	0	5	135	240	525	8,2
22 04 001	4T 130	155/70 x 12 C	800	0	6,2	165	254	531	13,0
22 04 002	5T 140	155/70 x 12 C	800	0	6,2	165	254	531	13,0
22 06 001	4T 115	135 x 13	335	0	2,4	134	265	550	8,0
22 06 002	4T 100	135 x 13	335	30	2,4	134	265	550	8,0
22 06 003	4T 130	135 x 13	335	20	2,4	134	265	550	8,0
22 06 004	4T 115	145 x 13	387	0	2,4	145	272	566	12,5
22 06 006	4T 130	145 x 13	387	20	2,4	145	272	566	12,5
22 06 008	4T 130	155 x 13	437	20	2,4	150	277	578	13,1
22 06 007	4T 130	165 x 13	475	20	2,3	167	285	596	13,5
22 06 008	4T 130	175 x 13	530	20	2,3	177	295	599	13,8
22 06 009	4T 130	185/70 x 13	530	20	2,5	185	285	594	14,0
22 06 010	5T 140	185/70 x 13	530	0	2,5	185	285	594	14,0
22 08 001	5T 140	165R 14C	670	0	4,5	167	300	622	17,5
22 08 002	5T 140	165R 14C	670	30	4,5	167	300	622	17,5
22 08 003	5T 140	185R 14C	850	0	4,5	188	316	650	20,7
22 08 004	5T 140	185R 14C	850	30	4,5	188	316	650	20,7
22 08 006	5T 140	195R 14C	950	0	4,5	198	323	666	22,3
22 08 008	5T 140	195R 14C	950	30	4,5	198	323	666	22,3

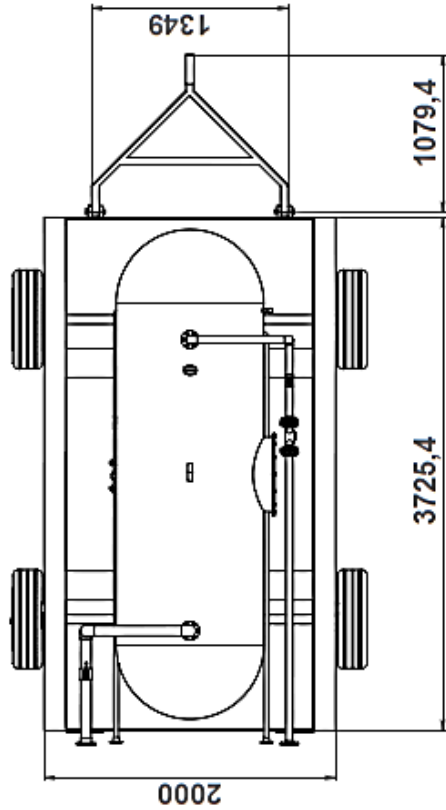
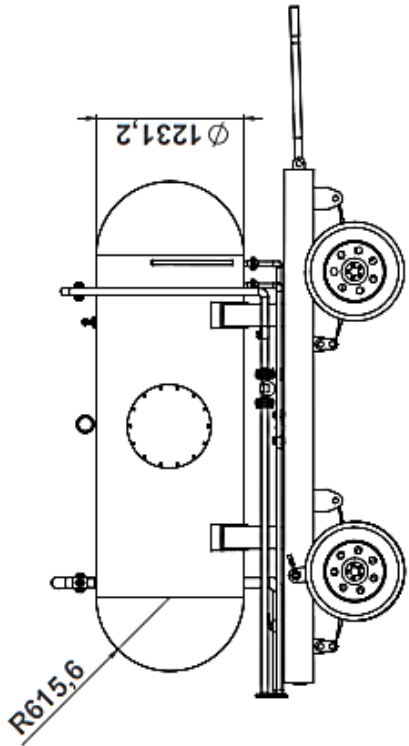
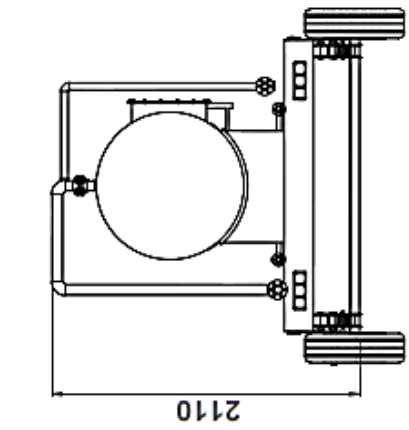
Anexo T. Cotización del tanque

 			
Documento No. 7.2.2.00.10	Fecha rev: 18/10/2011	Rev: 00	Página 1 de 1
COTIZACION Y REVISION DE REQUISITOS DEL CUENTE No. 2182			
CLIENTE UNIVERSIDAD IND. SANTANDER CONTACTO Ing. Ricardo Rojas CIUDAD Bucaramanga / Santander FECHA 31 de Enero 2012 VALIDEZ 30 días e-mail ricardorojas10@hotmail.com FAX:	COLAMINAS NIT. 800,003,711-4 DIRECCION. CALLE 15 No.11-132 PUE. 003 3636 FAX. 003 3833 CALI (VALLE) E-MAIL. info@colaminas.com WEB. www.colaminas.com		
CANTIDAD	DETALLE - ALCANCE DE TRABAJO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL + IVA
1	Fabricacion de tanque en lamina 5/8 (15 mm) A-36 de 1200 mm de diametro exterior por 3500 mm de longitud, con tapas embutidas sin pestaña. Armado y soldado.	\$ 11,843,100	\$ 11,843,100
1	Fabricacion de base para tanque en 5/8 de 1200 mm de diametro por 3500 mm de longitud, en lamina de 1/2 (12 mm) A-36.	\$ 2,965,100	\$ 2,965,100
			\$ -
		Subtotal	\$ 14,808,200
		IVA 16%	\$ 2,369,312
		Total	\$ 17,177,512
Observaciones: los productos aquí contemplados se entregaran puesto en el camion en nuestras instalaciones planta COLAMINAS previo transporte contratado por el cliente.			
NOTA: El servicio de ultrasonido es un costo adicional al del trabajo requerido			
Nota: Esta cotizacion no incluye pintura, transporte ni montaje. Tiempo de entrega: 08 dia(s) habil(es) despues de orden de compra Forma de pago: 50% anticipo y saldo a la entrega Para iniciar la obra es necesario enviar orden de compra (firmado, sellado y reenviando esta cotizacion), o el anticipo y aprobacion de las medidas para construccion.		 RAPHAEL RIVERA JIMENEZ Jefe de Ventas	

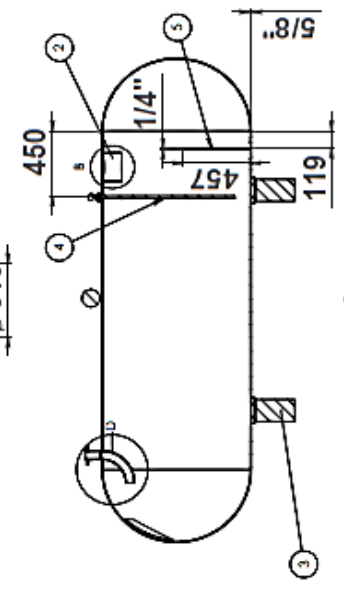
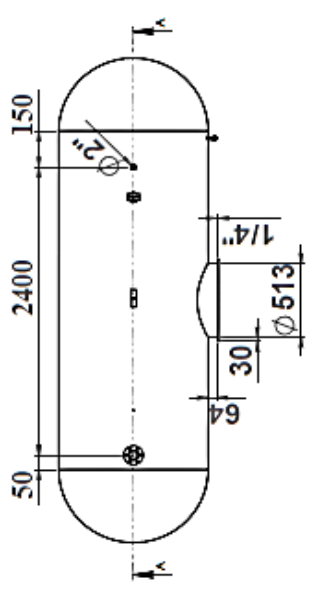
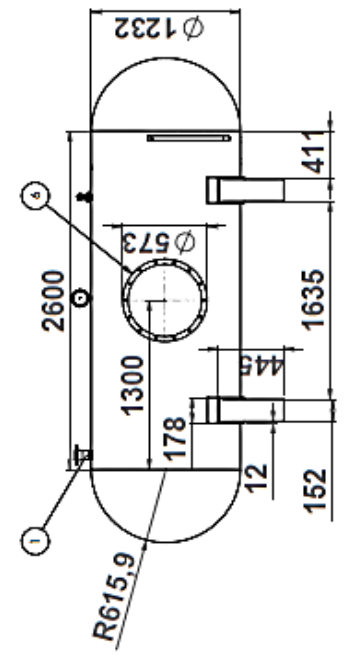
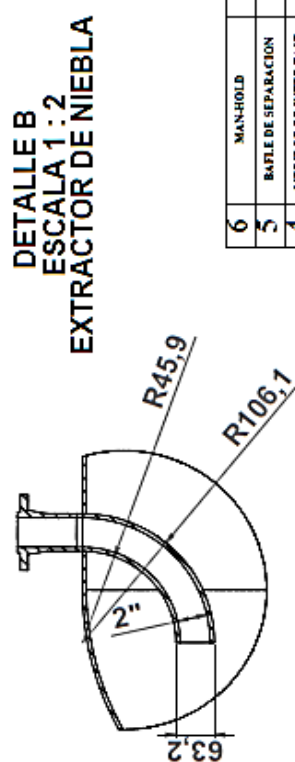
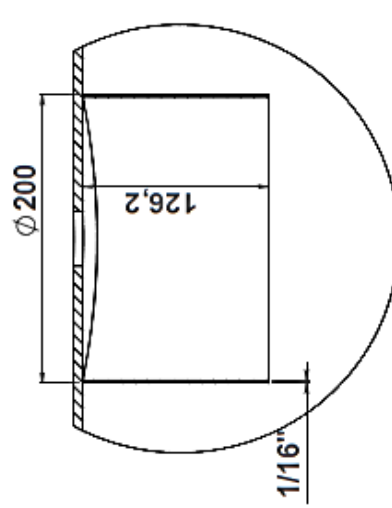
Anexo U. Planos

7	MAN-HOLD	A-36
6	SILLETAS	A-36
5	MUELLE PARA SUSPENSION	1045
4	EJE REMOLQUE	1045
3	TIRANTE REMOLQUE	A-36
2	CHASIS DEL REMOLQUE	A-36
1	RECIPIENTE DE SEPARACION	A-36
NUM	NOMBRE DE LA PIEZA	MATERIAL

NOMBRE	FECHA	U.I.S	
Universidad Industrial de Santander			
DIBUJO:	GSCAR BERDUGO RICARDO ROMAS	TITULO:	SEPARADOR TRIFASICO MOVIL
REVISO:	ISSEBIO GONZALEZ	TAMAÑO:	A2
APROBADO 1		PLANO:	1
APROBADO 2		REV:	
		EXPLOSION GENERAL	
		MEDIDAS	
		ESCALA: 1:20 PESO: 3000 Kg PLANO: 1 - 10	



NOMBRE		FECHA	
OSCAR BERDIGO RICARDO RODAS		13/02/2012	
U.I.S Universidad Industrial de Santander			
TITULO: SEPARADOR TRIFASICO MOVIL			
REVISO: ENARDO CONZATIZ		TAMANO: A2	PLANO: 2
APROBADO 1		REV:	
APROBADO 2		MEDIDAS GENERALES	
MEDIDAS mm.		ESCALA: 1:20	PESO: 3000 Kg.
		PLANO: 2-10	



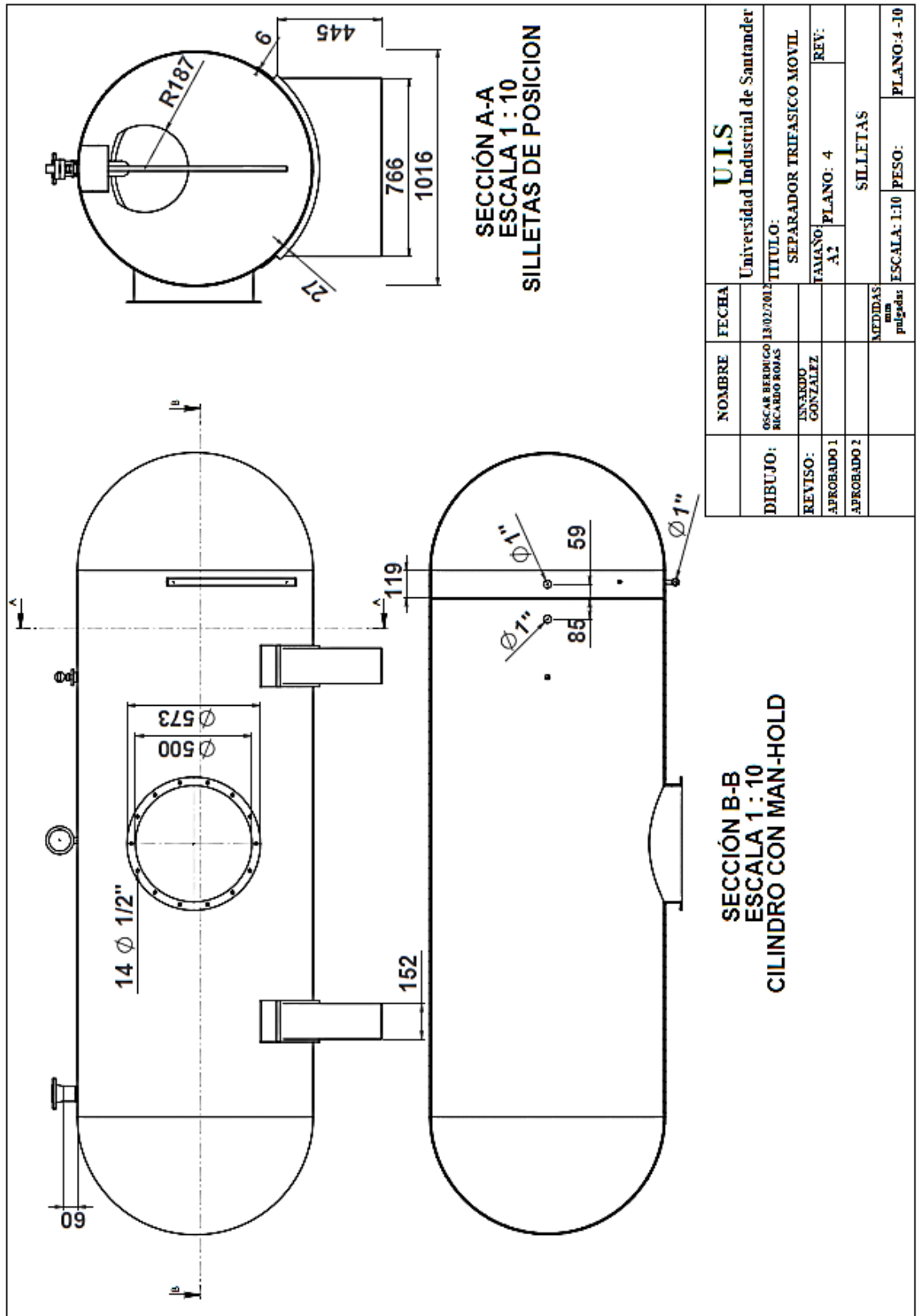
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 20
CORTE CILINDRO

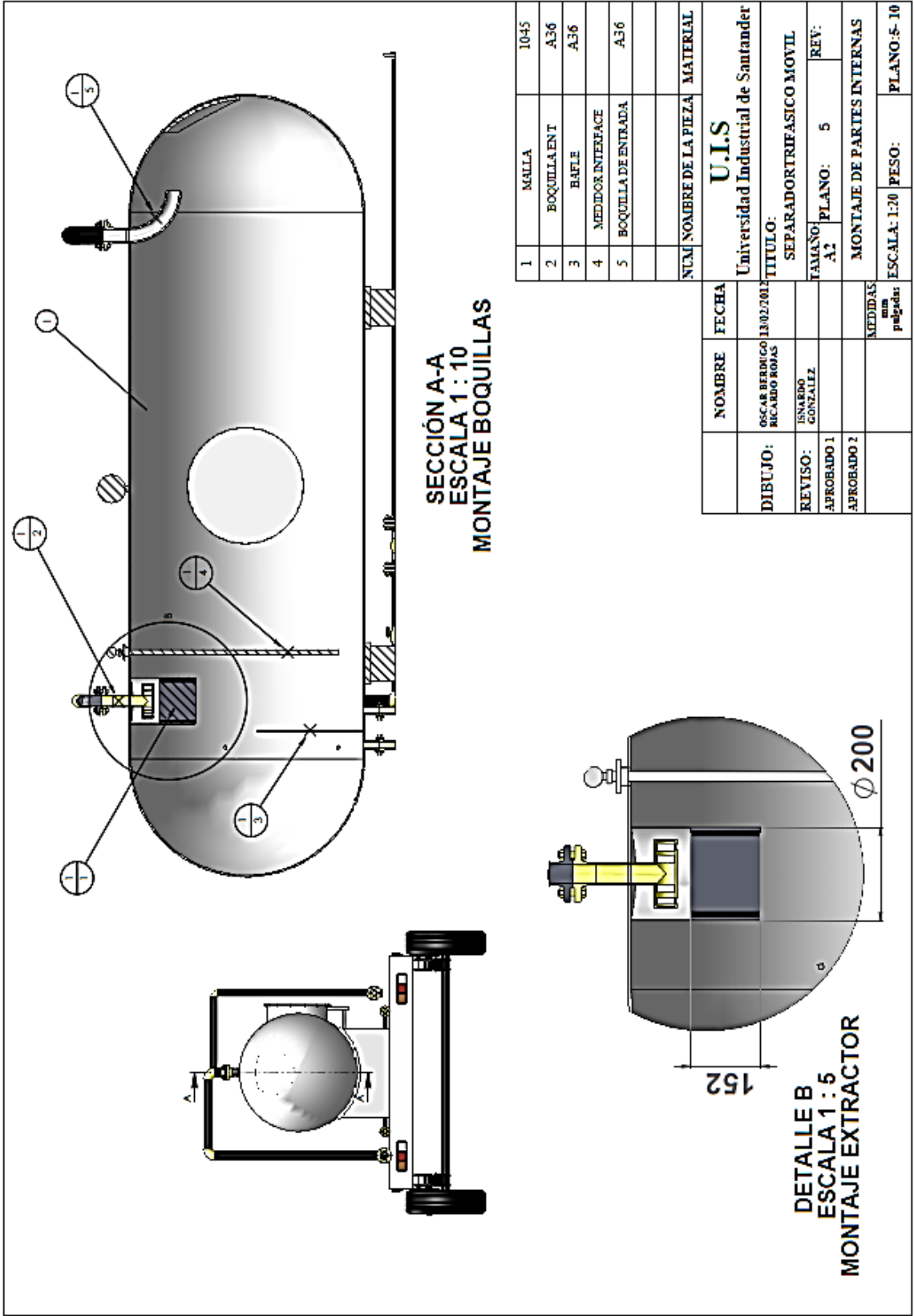
DETALLE B
ESCALA 1 : 2
EXTRACTOR DE NIEBLA

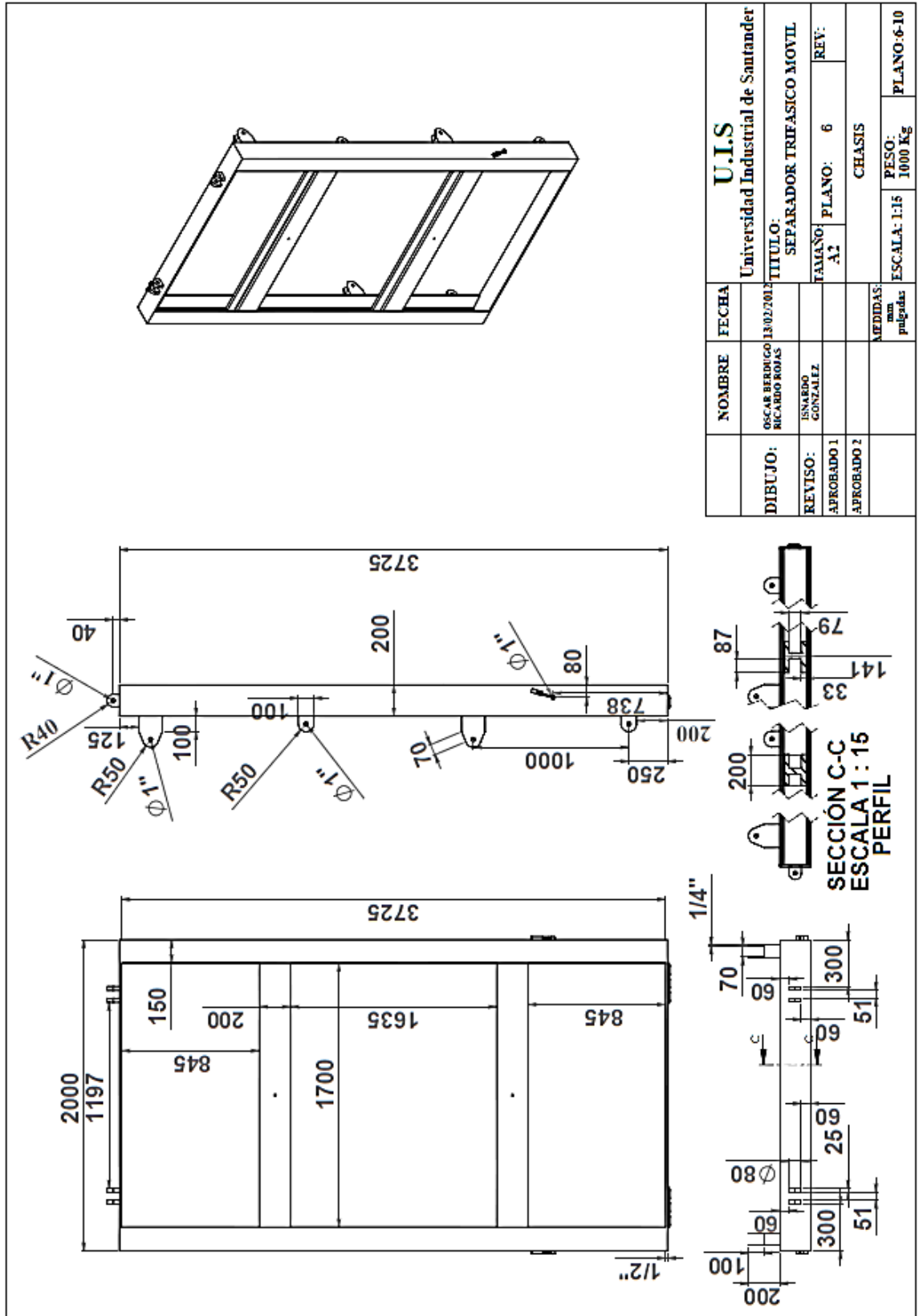
DETALLE D
ESCALA 1 : 5
BOQUILLA DE ENTRADA

6	MAN-HOLD	A-36
5	BAFLE DE SEPARACION	A-36
4	MEDIDOR DE INTER FASE	
3	SILETAS DE APOYO	A-36
2	EXTRACTOR DE NIEBLA	1045
1	BOQUILLA DE ENTRADA CRUJIDA	A-36
NUM. NOMBRE DE LA PIEZA		MATERIAL

U.I.S	
Universidad Industrial de Santander	
TITULO:	
SEPARADOR TRIFASICO MOVIL	
TAMANO:	PLANO: 3
A2	REV:
RECIPIENTE DE SEPARACION	
ESCALA: 1:20 PESO: 680 Kg PLANO: 3 - 10	
NOMBRE	FECHA
OSCAR BERDUGO RICARDO ROJAS	13/02/2012
REVISO:	
ENARDO GONZALEZ	
APROBADO 1	
APROBADO 2	
MEDIDAS	
mm ? pulgadas	

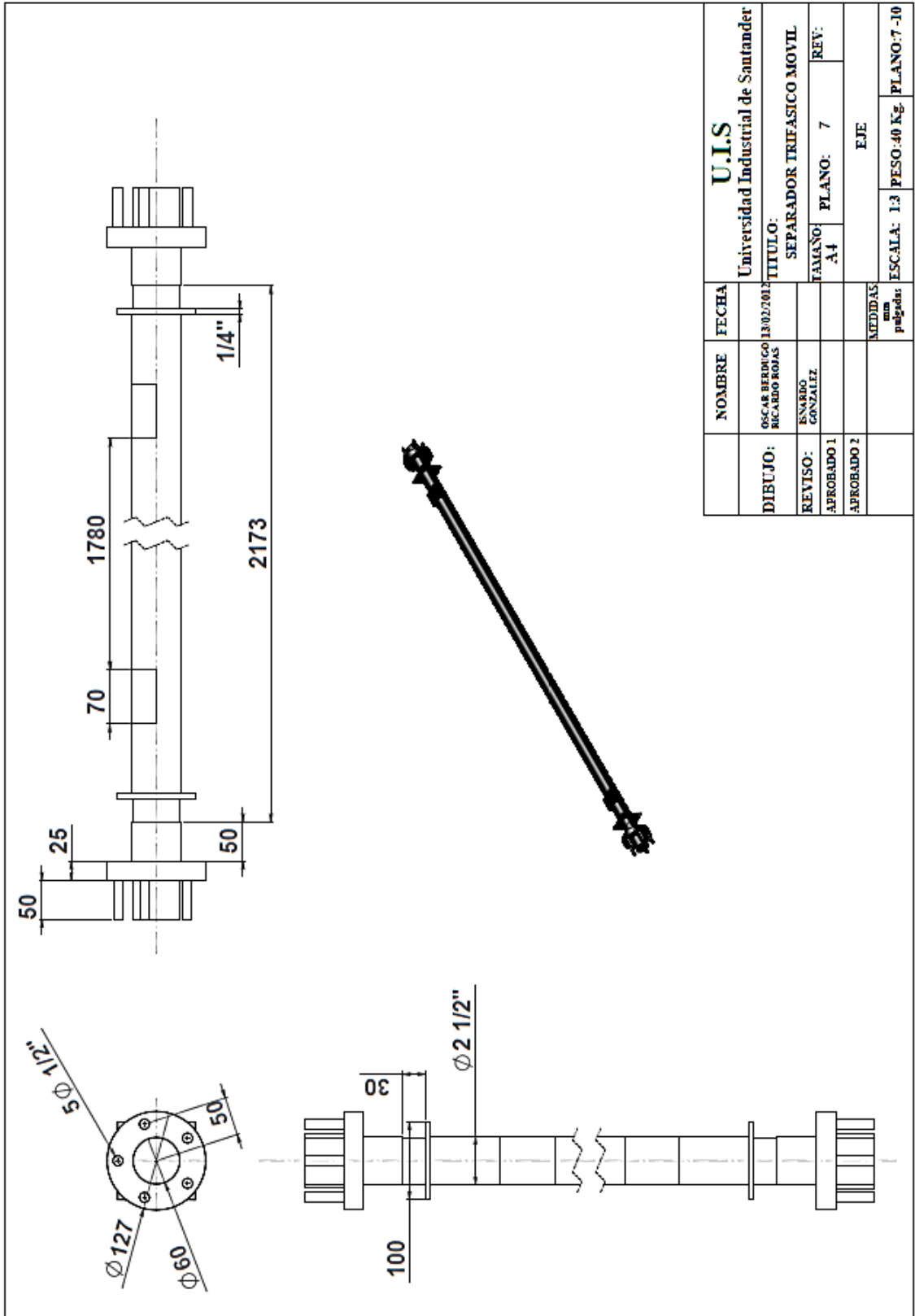




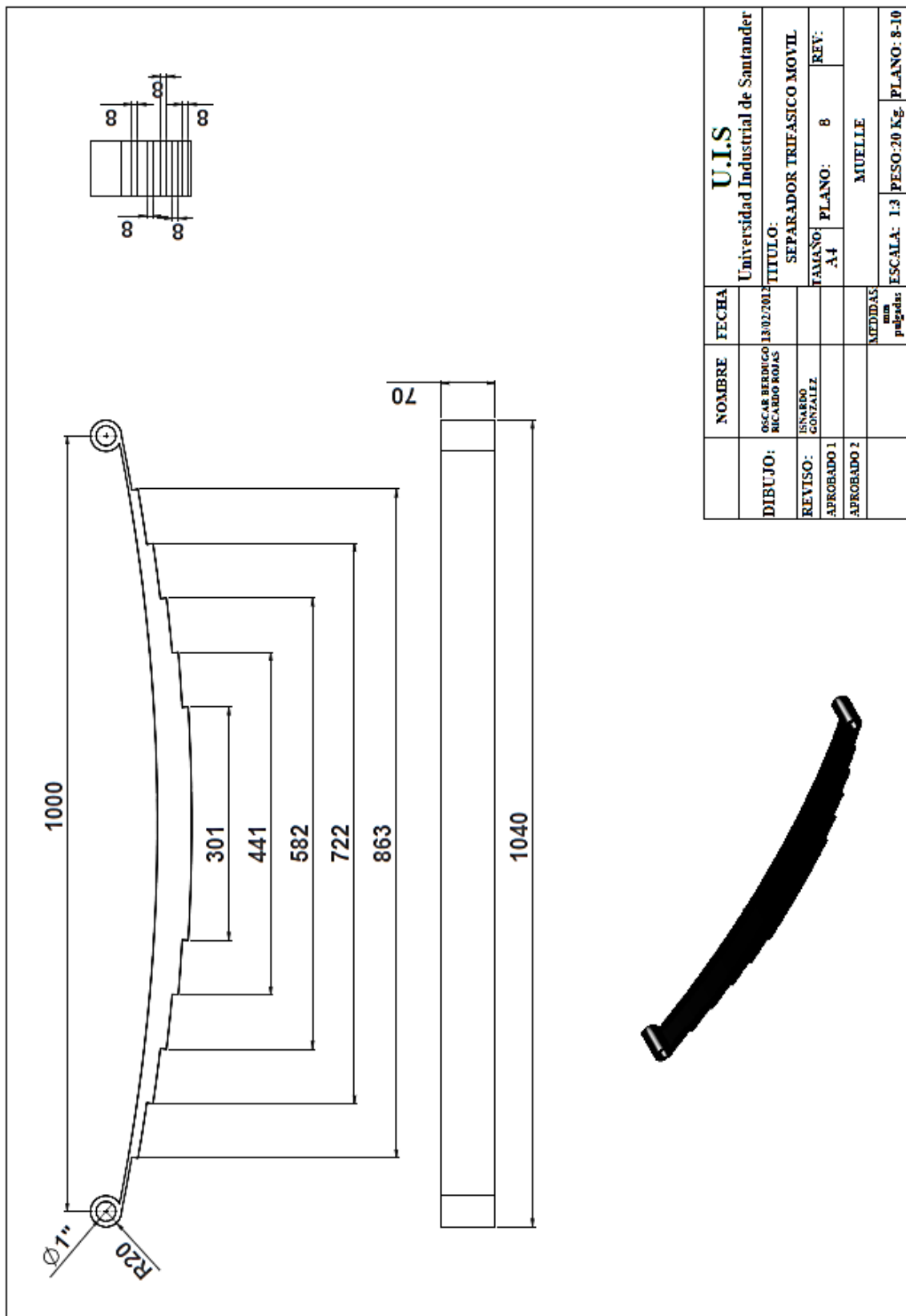


NOMBRE	FECHA
OSCAR FREDRIGO RICARDO ROJAS	13/02/2011
ISNARDO GONZALEZ	
APROBADO 1	
APROBADO 2	

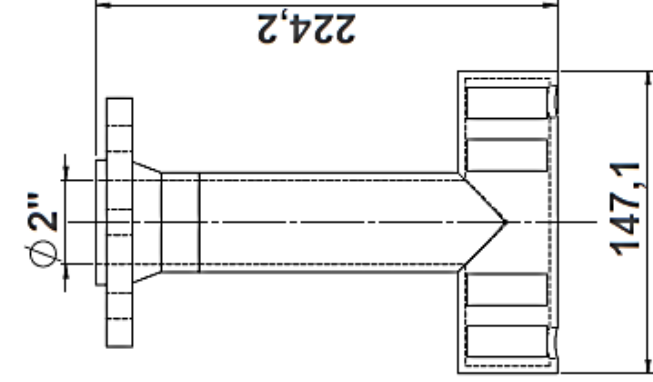
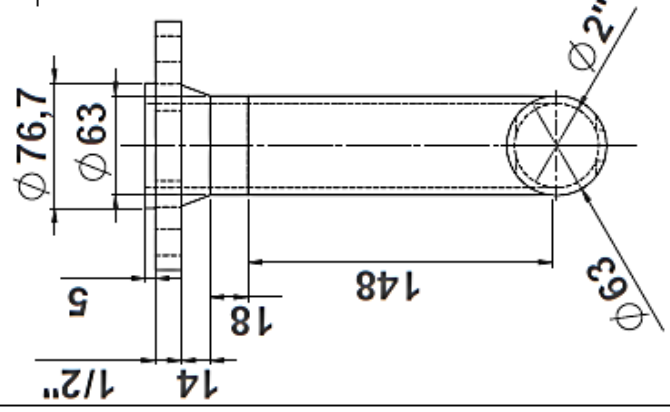
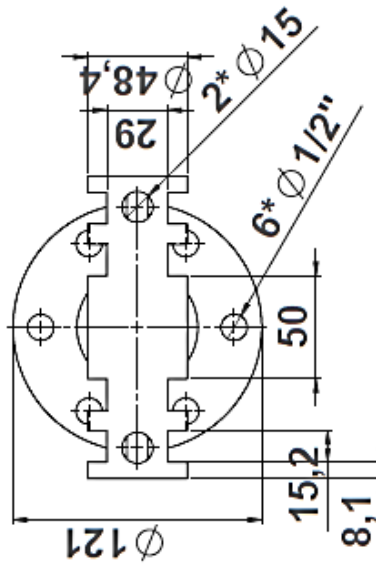
DIBUJO:	FECHA
OSCAR FREDRIGO RICARDO ROJAS	13/02/2011
ISNARDO GONZALEZ	
APROBADO 1	
APROBADO 2	



U.I.S		NOMBRE	FECHA
Universidad Industrial de Santander		OSCAR BERDUGO RICARDO ROJAS	13/02/2012
TITULO: SEPARADOR TRIFASICO MOVIL			
REVISO:	ENARDO GONZALEZ	TAMANO: A4	PLANO: 7
APROBADO 1			REV: 7
APROBADO 2			
MEDIDAS mm pulgada:		ESCALA: 1:3 PESO: 40 Kg PLANO: 7-10	
		EJE	



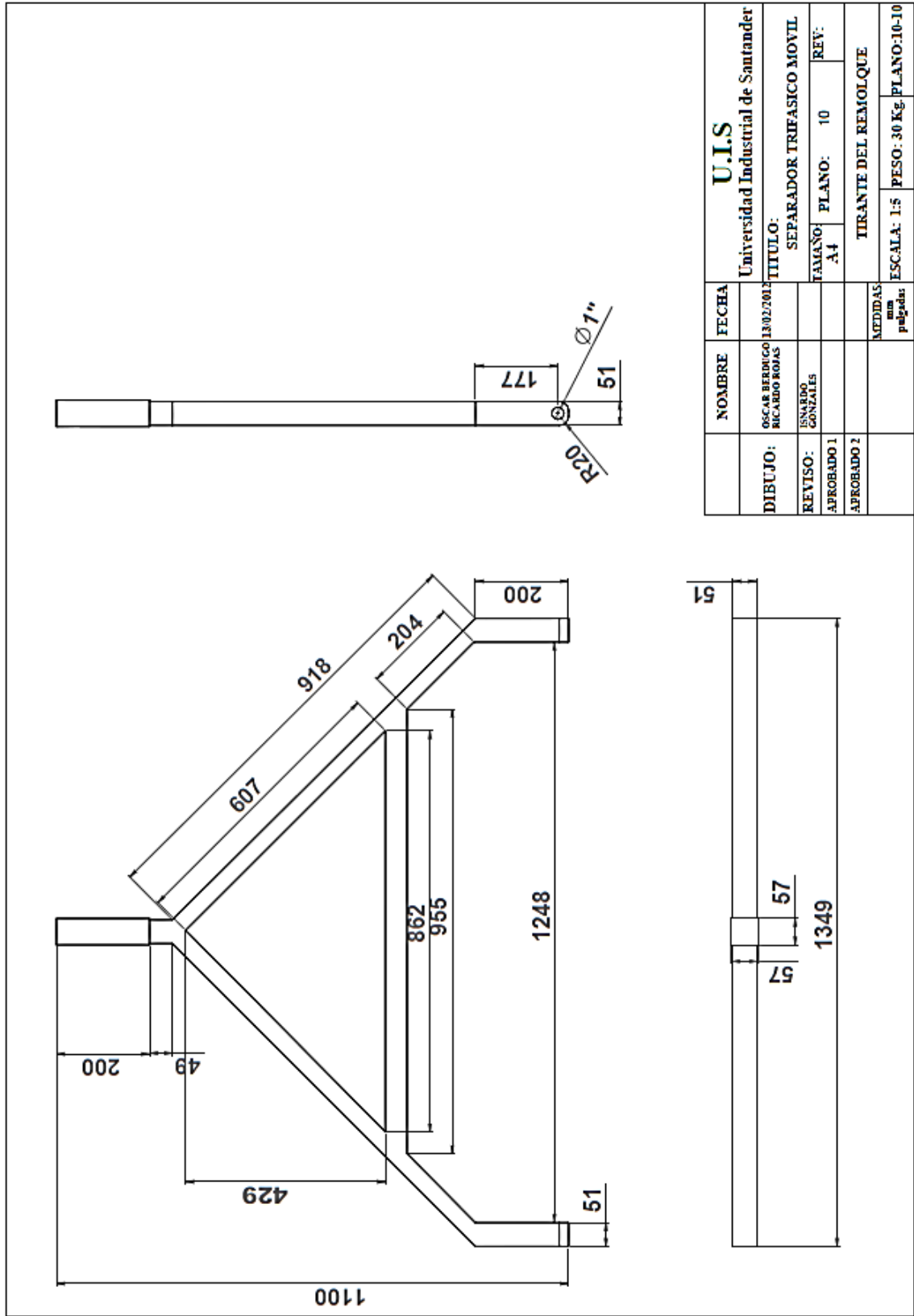
U.I.S		Universidad Industrial de Santander	
DIBUJO:	OSCAR BERRUGO RICARDO ROMAS	FECHA:	13/03/2017
REVISO:	ISMAEL GONZALEZ	TITULO:	SEPARADOR TREFASICO MOVIL
APROBADO 1		TAMANO:	A4
APROBADO 2		PLANO:	8
		REV:	
		MEDDIAS	MUELLE
		mm	
		palgadas:	ESCALA: 1:3 PESO: 20 Kg. PLANO: 8-10



DESCRIPCION	
MATERIAL	A 36
MEDIDAS	mm

U.I.S		FECHA	
Universidad Industrial de Santander		13/02/2012	
TITULO:		SEPARADOR TRIFASICO MOVIL	
TAMANO		A4	
REV		PLANO 9	
BOQUILLA SALIDA DE GAS		ESCALA: 1:2 PESO: PLANO 9-10	

NOMBRE	FECHA
Oscar Berdugo Ricardo Rojas	13/02/2012
REVISO	
ESMADO GONZALEZ	
APROBADO 1	
APROBADO 2	



NOMBRE	FECHA	U.I.S
OSCAR BERBUCO RICARDO ROJAS	13/02/2012	Universidad Industrial de Santander
REVISO: ENARDO GONZALEZ		TITULO: SEPARADOR TRIFASICO MOVIL
APROBADO 1		TAMANO: A4
APROBADO 2		PLANO: 10
		REV:
		TIRANTE DEL REMOLQUE
		ESCALA: 1:5
		PESO: 30 Kg
		PLANO: 10-10