



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**AUTORES: ENRÍQUEZ SÁNCHEZ ANDRÉS SEBASTIÁN
SALVADOR RUMAZO FRANCISCO JAVIER**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE PARA
CRUDO DE 13000 LITROS, CON CHASIS**

DIRECTOR: ING. JÁCOME, OSWALDO

CODIRECTOR: ING. SANTILLÁN, ERNESTO

LATACUNGA, AGOSTO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**ING. OSWALDO JÁCOME****Director****ING ERNESTO SANTILLÁN****Codirector****CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TANQUE PARA CRUDO DE 80 BLS. O 13000 LITROS, CON CHASIS”, realizado por: Enríquez Sánchez Andrés Sebastián y Salvador Rumazo Francisco Javier, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que el presente trabajo es una aplicación práctica que permitirá a la industria ecuatoriana conocer los estándares de construcción para auto-tanques, se recomienda su publicación

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF)

Latacunga, agosto de 2014

ING. OSWALDO JÁCOME**Director**

ING ERNESTO SANTILLÁN**Codirector**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD****Enríquez Sánchez Andrés Sebastián****Salvador Rumazo Francisco Javier****DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado **“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TANQUE PARA CRUDO DE 80 BLS. O 13000 LITROS, CON CHASIS”** ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas páginas se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos de su contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, agosto de 2014

Enríquez Sánchez Andrés Sebastián

C.C. 1717180168

Salvador Rumazo Francisco Javier

C.C 1717183303

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**AUTORIZACIÓN****Enriquez Sánchez Andrés Sebastián****Salvador Rumazo Francisco Javier****AUTORIZAMOS:**

Nosotros, Enriquez Sánchez Andrés Sebastián y Salvador Rumazo Francisco Javier, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación en la biblioteca virtual la tesis de investigación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TANQUE PARA CRUDO DE 80 BLS. O 13000 LITROS, CON CHASIS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Enriquez Sánchez Andrés Sebastián

C.C. 1717180168

Salvador Rumazo Francisco Javier

C.C 1717183303

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a mi familia, en especial a mi madre que es el soporte de mi vida y el motor que me hace trabajar cada día para ser mejor, mi bendición y mi mejor ejemplo, el pilar fundamental de mi vida.

Andrés Sebastián Enríquez Sánchez

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo entregado en estos años de aprendizaje y también el desarrollo y elaboración de este importante trabajo de tesis son dedicados a mi mamá que siempre estuvo a mi lado para guiarme y brindarme todo el apoyo necesario para llegar a este punto de ser un profesional con valores.

Francisco Javier Salvador Rumazo

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud, a mi director y codirector de tesis por guiarme en el desarrollo del presente proyecto, a mi familia por su apoyo incondicional, a la Universidad de las Fuerzas Armadas-Espe por brindarme todos los conocimientos y bases para poder desarrollar el siguiente proyecto

Andrés Sebastián Enríquez Sánchez

AGRADECIMIENTO

Aquel que quiere permanentemente “llegar más alto” tiene que contar con que algún día le invadirá el vértigo.

- Milan Kundera –

Esta carrera nos ha forjado como profesionales integrales y líderes comprometidos con el desarrollo y avance del país. Es por eso que quiero agradecer sobre todas las cosas a Dios que me bendijo con un familia maravillosa y que todo lo que soy y he alcanzado en mi vida fue por la tenacidad y trabajo de mi mama, que supo conducirme sabiamente por el camino del bien con el valioso apoyo de mi Tia Alegria y mi abuelita Julia; y a mi padre a quien estimo mucho.

Mi agradecimiento especial a esta gran Escuela donde encontré a los mejores docentes y profesionales en sus diferentes ramas de especialización quienes me brindaron todos sus conocimientos que se verán plasmados en esta tesis.

Francisco Javier Salvador Rumazo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xix
ÍNDICE DE FIGURAS	xx
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xxiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxv
RESUMEN.....	xxvii
ABSTRACT	xxviii
Capítulo I.....	1
1. Generalidades	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del Problema.....	1
1.3 Objetivo General.....	2
1.4. Objetivos Específicos del Proyecto	2
1.5 Justificación e Importancia	2

Capítulo II.....	3
2. Marco Teórico	3
2.1 Definición de Tanques Cisterna.....	3
2.1.1 Camión Cisterna.	3
2.1.2 Dispositivos de seguridad en las cisternas.	4
2.1.3 Plataformas superiores.	4
2.1.4 Escaleras de acceso a cisternas.....	5
2.2 Importancia de los Tanques Cisterna.....	6
2.3 Tipos de Tanques Cisterna.....	7
2.3.1 Remolques	7
2.3.2 Semirremolques	7
2.4 Historia de la Industria y Comercio Hidrocarburífero en el Ecuador.....	9
2.4.1 El Petróleo y su Proceso de Extracción.....	11
2.5 Análisis del Sector Hidrocarburífero Ecuatoriano en 2012	12
2.5.1 Producción.....	12
2.5.2 Perforación	14
2.5.3 Exploración - Reservas.....	15
2.5.4 Tendencias Petroamazonas EP	16
2.6. Normas Técnicas de Diseño, Construcción, Inspección y Seguridad	
Industrial	17
2.6.1 Generalidades.	17
2.6.2 Norma NTE INEN 2261.....	19
2.6.2.1 Definiciones.....	19
2.6.2.2 Disposiciones Generales.....	20
2.6.2.3 Disposiciones Específicas	20

2.6.2.3 Requisitos	21
2.6.2.3.1 Requisitos específicos	21
2.6.3 Norma NFPA 385.....	24
2.6.3.1 Alcance:.....	24
2.6.3.2 Definiciones:	25
2.6.3.3 Generalidades:	26
2.6.4 Código de Regulaciones Federales de EEUU (CFR).....	33
2.6.4.1 Definiciones:	34
2.6.5 Especificaciones DOT (Department of Transportation).	35
2.6.5.1 Definiciones.....	35
2.6.5.2 Requerimientos Generales:.....	36
2.6.5.3 Requerimientos Especiales DOT 406.....	42
2.6.5.4 Requerimientos Especiales DOT 407.....	47
2.6.5.5 Requerimientos Especiales DOT 412.....	48
2.6.6 Norma NTE INEN 2341.....	49
2.6.6.1 Definiciones.....	49
2.6.7 Análisis de Normativas existentes en la DNH	50
2.6.8 Disposiciones de Seguridad Industrial para Transporte, Carga y Descarga de Combustible en Auto-tanque.	54
2.6.8.1 Definiciones.....	54
2.6.8.2 Disposiciones Generales.....	55
2.7 Parámetros de control adaptados a la Realidad Nacional.....	57
2.8 Normativa de Pintura y Colores de Etiquetas.....	60
2.8.1 Colores de las Etiquetas	61
2.8.1.1 Etiqueta para Líquido Inflamable (DOT 172.419).....	61

2.9 Requisitos de Control según Petroecuador	62
2.10 Análisis de Mercado	63
Capítulo III	65
3. Determinación de las Especificaciones del Tanque	65
3.1 Diseño Concurrente	65
3.2 Definición y Diseño conceptual.....	66
3.2.1 Análisis Funcional	66
3.2.1.1 Definición de Estructura Funcional.....	66
3.2.1.2 Desarrollo y Análisis de Diagramas funcionales.	67
3.2.2 Definición de Módulos.....	68
3.2.2.1 División Modular.	69
3.2.2.2 Soluciones para cada Módulo.....	69
3.2.2.2.1 Módulo I.....	69
3.2.2.2.2 Módulo 2.	70
3.2.2.3 Análisis de Alternativas.....	73
3.2.2.4 Cuadro de Ponderaciones	76
3.2.2.5 Selección	78
3.3 La Casa de la Calidad	78
3.3.1 Voz del Usuario.....	78
3.3.2 Voz del Ingeniero.	79
3.3.3 Resultados.	79
Capítulo IV	81
4. Diseño Estructural del Tanque Seleccionado	81
4.1 Generalidades	81
4.2 Diseño del Auto-Tanque según Código DOT	81

4.2.1 Material a Transportar (Crudo).....	81
4.3 Requisitos de Material	82
4.3.1 Requisitos Dimensionales	83
4.3.2 Requisitos Estructurales	84
4.3.3 Requisitos de Accesorios.....	85
4.3.4 Protección Contra Accidentes	85
4.3.4.1 Presión.....	86
4.3.4.2 Cierres.	86
4.4 Cargas.	86
4.4.1 Cargas por Viento.....	87
4.4.2 Cargas Vivas (Dinámicas).....	93
4.5 Esfuerzos Permisibles Máximos.....	97
4.5.1 Cargas Normales de Operación.....	97
4.5.2 Cargas Dinámicas Extremas.....	99
4.6 Material.....	102
4.7 Factor de Seguridad	103
4.8 Espesor del Material	105
4.9 Deformación Permitida.....	105
4.10 Acero Equivalente	105
4.11 Corrosión	106
4.12 Soportes y Refuerzos	106
4.13 Refuerzo del Tanque.....	106
4.14 Protección de Uniones	106
4.15 Tapas del Tanque (Anexo A1).....	107
4.15.1 Análisis de Esfuerzos	109

4.15.2 Deformación	110
4.16 Cuerpo del Tanque (Anexo A2, Anexo A2.1)	111
4.16.1 Análisis de Esfuerzos	112
4.16.2 Deformación	112
4.17 Diseño del Bastidor (Anexo A3)	112
4.17.1 Análisis de Esfuerzos	114
4.17.2 Deformación	114
4.18 Espejos o Baffles (Anexo A4)	115
4.18.1 Análisis de Esfuerzos	116
4.19 Tanque	117
4.19.1 Selección de Accesorios del Tanque	117
4.19.2 Selección de Válvulas del Auto-tanque.....	117
4.19.2.1 Kit de alivio de Presión	117
4.19.2.2 Válvula de Descarga (Anexo A6)	119
4.19.3 Selección de Manhole o Escotillas	121
4.20 Soldadura	124
4.20.1 Tipo y Reparación de las Juntas	125
4.20.2 Soldadura en el Cuerpo	126
4.20.3 Soldadura en las tapas	129
4.20.4 Soldadura en los baffles.....	130
4.20.5 Soldadura en las sillas.	131
4.20.6 Otras soldaduras	133
Capítulo V	134
5. Tecnología de la Construcción y Costos	134
5.1 Antecedentes.....	134

5.2 Tecnología de la Construcción	134
5.3 Operaciones Tecnológicas	136
5.4 Cursograma sinóptico de la construcción	137
5.4.1 Cilindros para el cuerpo del tanque	138
5.4.2 Base del tanque.....	138
5.4.3 Construcción Chasis	139
5.4.4 Pasamanos y corredores	139
5.4.5 Ubicación de Espejos	140
5.4.6 Ubicación de refuerzos.....	140
5.4.7 Tubos de carga y descarga.....	141
5.4.8 Accesorios del tanque	141
5.5 Operaciones de Montaje	141
5.5.1 Cursograma de montaje.....	142
5.6 Mapa de Procesos Construcción y Ensamblaje	142
5.7 Identificación de Procesos	143
5.7.1 Diagrama de Flujo de Proceso.....	143
5.8 Costos de la Construcción del Tanque.....	145
5.8.1 Costos de Materiales	145
5.8.2 Costos de Fabricación	146
5.8.3 Costos de Diseño	146
5.8.4 Costo Total del Tanque	146
Capítulo VI.....	147
6. Presentación y Análisis de Resultados	147
Capítulo VII.....	148
7. Conclusiones y Recomendaciones	148

7.1 Conclusiones.....	148
7.2. Recomendaciones	149
BIBLIOGRAFÍA.....	150
NETGRAFÍA	152
ANEXOS.....	153

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- SOTE** Sistema de Oleoductos Trans Ecuatoriano
- CEPE** Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana
- OPEP** Organización de Países Exportadores de Petróleo
- OCP** Oleoducto de Crudos Pesados
- ITT** (Ishpingo, Tambococha, Tiputini)
- REE** Refinería Estatal Esmeraldas
- DNH** Dirección Nacional de Hidrocarburos
- GLP** Gas Licuado de Petróleo
- Petroamazonas EP** Petroamazonas Empresa Pública
- Bppd** Barriles de petróleo por día
- NTE** Norma Técnica Ecuatoriana
- INEN** Instituto Ecuatoriano de Normalización
- DOT (Código)** Departamento de Transporte (Department of Transportation)
- ASCE** Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (The American Society of Civil Engineers)
- AISC** Instituto Americano de Construcción en Acero
- LRFD** Factores de Carga y Resistencia Diseño (Load and Resistance Factor Design)
- API** Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute)
- NFPA** Asociación Nacional de Protección contra Incendios (National Fire Protection Association)
- AWS** Instituto Americano de Soldadura (American Welding Society)

CFR Código de Regulaciones Federales de EEUU.

ASTM Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials)

MC Vehículos Motorizados (Motor Carriers)

MAWP Máxima presión de trabajo permisible

ASME Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers)

MTOP Ministerio de transporte y Obras Publicas

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Módulo de sección para acero	30
Ecuación 2.2 Módulo de sección para Aleación de Aluminio	30
Ecuación 4.1 Fuerza de presión de Aire.....	88
Ecuación 4.2 Velocidad de la presión del viento	88
Ecuación 4.3 Área proyectada del tanque	90
Ecuación 4.4 Presión de la velocidad del viento	91
Ecuación 4.5 Carga hidrostática.....	95
Ecuación 4.6 Fuerza ejercida por riesgo de accidentes	95
Ecuación 4.7 Carga por salto.....	96
Ecuación 4.8 Fuerza de aceleración	96
Ecuación 4.9 Tensión efectiva (Cargas Normales de Operacion).....	97
Ecuación 4.10 Tensión efectiva (Cargas Dinamicas Extremas).....	99
Ecuación 4.11 Espesor equivalente en acero común.....	105
Ecuación 4.12 Límite de resistencia a la fatiga	127
Ecuación 4.13 Tensión media	128
Ecuación 4.14 Amplitud de la tensión.....	128
Ecuación 4.15 Factor de seguridad segun “Solderberg”	128
Ecuación 4.16 Longitud del cordón de soldadura	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Camión Cisterna	3
Figura 2.2: Camión Cisterna Shell	4
Figura 2.3: Vista Superior de un Tanque	5
Figura 2.4: Vista Posterior Tanque.....	6
Figura 2.5: Vista Lateral Auto-tanque.....	7
Figura 2.6: Semirremolque-cisterna Soportado sobre Bastidor	8
Figura 2.7: Semirremolque-cisterna Autoportante	8
Figura 2.8: Pozos de Explotación Petroamazonas EP	12
Figura 2.9: Producción de los Bloques que opera Petroamazonas EP	13
Figura 2.10: Distribución de Pozos en los Bloques Petroamazonas EP.....	15
Figura 2.11: Anillos de Refuerzo	30
Figura 2.12: Etiqueta para Líquidos Inflamables DOT	61
Figura 2.13: Capacidad de Llenado del Tanque	62
Figura 2.14: Tamaño de Letras.....	62
Figura 3.1: Función Global Análisis Funcional	67
Figura 3.2: Análisis Funcional Nivel 0	67
Figura 3.3: Análisis Funcional Nivel 1	67
Figura 3.4: Análisis Funcional Nivel 2	68
Figura 3.5: División Modular	69
Figura 3.6: Esquema de Comparación de Tipos de Tapas	75
Figura 3.7: Comparación de Presiones Máximas Permitidas por Tipo de Tapa en Diferentes Diámetros.....	75
Figura 3.8: Comparación de Capacidad Volumétrica por Tipo de Tapa en Diferentes Diámetros.	76
Figura 3.9: Esquema Casa de la Calidad	80
Figura 4.1: Esquema Sotavento y Barlovento Caso 1.	87
Figura 4.2: Esquema Sotavento y Barlovento Caso 2.	87
Figura 4.3: Sección del Tanque para el Caso 1.	90
Figura 4.4: Sección del Tanque para el Caso 2.	92
Figura 4.5 Dirección de las Cargas Posibles	93

Figura 4.6: Área baffle	104
Figura 4.7: Simulación Factor de Seguridad	104
Figura 4.8: Área, Masa y Volumen del Casco	107
Figura 4.9: Ubicación de Fuerzas en la Tapa 1	108
Figura 4.10: Ubicación de Fuerzas en la Tapa 2	108
Figura 4.11: Distribución de Esfuerzos en la Tapa 1	109
Figura 4.12: Distribución de Esfuerzos en la Tapa 2	109
Figura 4.13: Deformación de la Tapa 1	110
Figura 4.14: Deformación de la Tapa 2	110
Figura 4.15: Ubicación de Esfuerzos y Restricciones en el Cuerpo	111
Figura 4.16: Distribución de Esfuerzos	112
Figura 4.17: Deformación en el Cuerpo	112
Figura 4.18: Cargas en el Bastidor	113
Figura 4.19: Distribución de Esfuerzos del Bastidor	114
Figura 4.20: Deformación del Bastidor	114
Figura 4.21: Distribución de Cargas en los Espejos.	115
Figura 4.22: Distribución de Esfuerzos en los Espejos	116
Figura 4.23: Deformación de los Espejos	116
Figura 4.24: Kit de Alivio de Presión (NVE)	119
Figura 4.25: Válvula de Descarga (NVE)	120
Figura 4.26: Velocidad de Descarga	121
Figura 4.27: Escotilla con Corte de Emergencia (NVE)	122
Figura 4.28: Esquema del sistema de corte de emergencia (NVE)	122
Figura 4.29: Escotilla Superior para Mantenimiento (NVE)	123
Figura 4.30: Escotilla Posterior (NVE)	124
Figura 4.31: Cable Recubierto para Soldar (LICOLN ELECTRIC)	125
Figura 5.1: Cursograma Cilindros para el Cuerpo del Tanque	138
Figura 5.2: Cursograma Base del Tanque	138
Figura 5.3: Cursograma Construcción Chasis	139
Figura 5.4: Cursograma Pasamanos y Corredores	139
Figura 5.5: Cursograma Ubicación Espejos	140

Figura 5.6: Cursograma Ubicación Espejos	140
Figura 5.7: Cursograma Tubos de Carga y Descarga	141
Figura 5.8: Cursograma Accesorios del Tanque	141
Figura 5.9: Cursograma de Montaje	142
Figura 5.10: Diagrama de Flujo del Proceso	144

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Plancha Rolada y Punteada con Soldadura 6010	169
Fotografía 2: Planchas Roladas y Punteadas	169
Fotografía 3: Posicionamiento Tapa-Cilindro	170
Fotografía 4: Guías Ubicadas en Cilindro	170
Fotografía 5: Soldadura Tapa-Cilindro	171
Fotografía 6: Soldadora Biselada Unión Tapa-Cilindro	171
Fotografía 7: Cordones de Soldadura al Interior del Tanque	172
Fotografía 8: Posicionamiento Unión Cilindro-Cilindro.....	172
Fotografía 9: Soldadura AFCA en Unión de dos Cilindros	173
Fotografía 10: Soldaduras Terminadas al Interior del Tanque	173
Fotografía 11: Rolado de Platina	174
Fotografía 12: Corte de los Refuerzos de los Espejos	174
Fotografía 13: Ubicación Espejos	175
Fotografía 14: Ubicación Refuerzo con Ayuda de Prensa Hidráulica	175
Fotografía 15: Soldadura de Espejos y Refuerzos de Espejos	176
Fotografía 16: Hoyo para Manhole	176
Fotografía 17: Cuerpo del Tanque Completo	177
Fotografía 18: Rolado de Refuerzo para Base del Cuerpo del Tanque	177
Fotografía 19: Unión con Cadena Refuerzo Base-Cuerpo del Tanque	178
Fotografía 20: Base del Chasis Terminada para Unir al Tanque	178
Fotografía 21: Construcción Pasamanos	179
Fotografía 22: Construcción Corredores	179
Fotografía 23: Soldadura en la Construcción de Corredores	180
Fotografía 24: Tol Coarrugado Doblado para Escaleras	180
Fotografía 25: Gradadas Soldadas al Chasis	181
Fotografía 26: Bandejas	181
Fotografía 27: Base de Pintura para las Bandejas	182
Fotografía 29: Defensa Lateral Chasis	183
Fotografía 30: Defensa Chasis	183
Fotografía 31: Manhole	184

Fotografía 32: Soldadura Construcción del Chasis	184
Fotografía 33: Oreja y Base Soldados en el Tanque	185
Fotografía 34: Unión Tanque-Base por medio de una Cargadora	185
Fotografía 35: Colocación de Refuerzos UPN Alrededor del Tanque	186
Fotografía 36: Corredor Superior Soldado al Tanque	186
Fotografía 37: Bases de Bandejas Soldadas al Tanque	187
Fotografía 38: Colocación y Soldadura de las Bandejas al Tanque	187
Fotografía 39: Escalera Soldada al Tanque	188
Fotografía 40: Manhole Soldado al Tanque	188
Fotografía 41: Tubos de Carga	189
Fotografía 42: Tubos de Descarga Vista Anterior	189
Fotografía 43: Medidor de Nivel	190
Fotografía 44: Boya de Nivel	190
Fotografía 45: Soporte Manómetro	191
Fotografía 46: Soporte Filtro	191
Fotografía 47: Soporte Mangueras	192
Fotografía 48: Tanque Terminado	192
Fotografía 49: Colocación de Señales	193
Fotografía 50: Tanque Pintado y Terminado	193

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Pozos (Bppd).....	13
Tabla 2. 2: Pozos de Perforación Petroamazonas EP.....	14
Tabla 2. 3 Tendencias Petroamazonas EP.....	17
Tabla 2.4: Códigos y Normas de Diseño a Utilizar.....	18
Tabla 2.5: Tabla de colores Norma NTE INEN 440.....	21
Tabla 2.6: Sección Acreditada de la Coraza.....	31
Tabla 2. 7: Capacidad Total de Venteo de Emergencia.....	33
Tabla 2. 8: Clasificación de Combustibles (Según el CFR).....	35
Tabla 2.9 Materiales ASTM Aprobados para la construcción de auto-tanques.....	37
Tabla 2.10: Aleaciones de Aluminio ASTM aprobados por el código ASME.....	37
Tabla 2.11: Aceros aprobados por la norma DOT 406.....	42
Tabla 2.12: Requisitos mínimos de propiedades para aceros Norma MC 306.....	43
Tabla 2.13: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (MC 306).....	44
Tabla 2.14: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (DOT 406).....	45
Tabla 2.15: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (MC 306)......	46
Tabla 2.16: Especificación DOT 406.....	47
Tabla 2.17: Aceros autorizados para la construcción del auto-tanque (DOT 412).....	48
Tabla 2.18: Tipo de Vehículos para Transporte de Tanques.....	51
Tabla 2.19: Temperaturas Máximas de Carga.....	52
Tabla 2.20: Cuadro de la Presión Máxima Permisible.....	60
Tabla 3.1: Cuadro de Ponderación Tanque.....	77
Tabla 3.2: Cuadro de Ponderación Tapas.....	77
Tabla 4.1: Especificaciones Generales de un Crudo.....	81
Tabla 4.2: Características físicas y químicas.....	82
Tabla 4.3: Cuadro Demostrativo de Pesos y Dimensiones Máximas Permitidas.....	84
Tabla 4.4: Clasificación de Edificios y Otras Estructuras para Cargas de Viento.....	89
Tabla 4.5: Factor de importancia, I.....	90
Tabla 4.6: Propiedades de los Materiales (ASTM).....	102
Tabla 4.7: Propiedades del Acero ASTM A-36.....	103
Tabla 4.8: Capacidad de Venteo.....	118

Tabla 4.9: Acabado de la Superficie	126
Tabla 5.1: Máquinas y Equipos Utilizados en la Construcción del Tanque.	135
Tabla 5.2: Herramientas y Accesorios Auxiliares	136
Tabla 5.3: Operaciones Tecnológicas	137
Tabla 5.4: Nomenclatura Cursograma Sinóptico	137
Tabla 5.5: Operaciones de Montaje	142
Tabla 5.6: Costos de Materiales	145
Tabla 5.7: Costos de Fabricación	146
Tabla 5.8: Costo Total del tanque	146

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objeto el diseño y la construcción de un tanque con chasis que será montado a un cabezal para transportar crudo pesado en el Oriente ecuatoriano. En el primer capítulo se da a conocer los conceptos básicos para familiarizarse con los auto-tanques, el planteamiento y la formulación del problema, así como también, los objetivos que se tiene para el proyecto y por último, la justificación y la importancia del proyecto. El segundo capítulo, corresponde a la investigación y al estudio de los diversos componentes de un auto-tanque, normas que se van a utilizar en el desarrollo del proyecto, y por otro lado aun análisis del sector hidrocarburífero en el Ecuador. El tercer capítulo, corresponde a las especificaciones del tanque, en el cual se realiza un análisis funcional para determinar cuál es la mejor alternativa de construcción del auto-tanque, mediante la casa de la calidad se postulan los requerimientos técnicos, así como también los requerimientos de los usuarios, después de un análisis completo se elige la mejor alternativa de construcción. En el cuarto capítulo, se realiza el diseño estructural de la alternativa seleccionada en el capítulo anterior, se calculan las cargas que el tanque va a soportar, después, se realizan análisis de fuerzas, deformaciones en los principales componentes del tanque, así como también se realiza la selección de los accesorios del auto-tanque. En el capítulo quinto, se realiza un análisis de la tecnología de la construcción y de los costos del proyecto en su totalidad, y se realiza un cursograma de sinóptico de construcción y de montaje, para conocer detalladamente el proceso de construcción del proyecto. El capítulo sexto, corresponde a la presentación de análisis y resultados obtenidos del proyecto. Para finalizar el último capítulo muestra las conclusiones y recomendaciones del proyecto de tesis.

PALABRAS CLAVE

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ / TRANSPORTE DE CRUDO PESADO /
TANQUES PARA CAMIONES – DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN / SOLIDWORKS

ABSTRACT

The present project has as object the design and the construction of a tank with chassis that will be mounted to a cab truck to transport crude oil in the Ecuadorian East. In the first chapter one occurs to know the basic concepts to become familiar with the auto-tanks, the exposition and the formulation of the problem, as well as, the objectives that exist for the project and finally, the justification and the importance of the project. The second chapter corresponds to the investigation and the study of the diverse components of auto-tank, norms that are going to be used in the development of the project, and on the other hand the analysis of the oil sector in Ecuador. The third chapter, corresponds to the specifications of the tank, in as a functional analysis is made to determine which is the best alternative of construction of the tanker, by means of the house of the quality postulate the technical requirements, as well as the requirements of the users, after a complete analysis chooses the best alternative of construction. In the fourth chapter, the structural design of the alternative selected in the capitulate previous, is made, calculations of the forces that will support the tank are made, later, the analysis, deformations in the main components of the tank, as well as the selection of the accessories of the tanker is made. In the fifth chapter, an analysis of the technology of the construction and the costs of the project is made in their totality, and a flowchart synoptic of construction and assembly is made, to know in detail the process construction of the project. In the sixth chapter, upon presentment corresponds of analysis and obtained results of the project. Finally the last chapter shows the conclusions and recommendations of the thesis project.

KEYWORDS

**AUTOMOTIVE ENGINEERING / HEAVY CRUDE OIL TRANSPORTATION /
TANKS FOR TRUCKS – DESIGN AND CONSTRUCTION / SOLIDWORKS**

Capítulo I

1. Generalidades

1.1 Planteamiento del Problema

El continuo desarrollo en la economía del país, el crecimiento de la industria petrolera estatal así como la privada, aumenta la necesidad de expandir el parque automotor a diesel y gasolina dentro de dichas industrias para diversas necesidades.

Para realizar el planteamiento del problema se ha tomado en cuenta la necesidad de transportar líquidos como el crudo, diesel o gasolina, los cuales son transportados diariamente por las industrias petroleras, para lo cual se plantea diseñar un tanque de almacenamiento y transporte para crudo.

La empresa Noroccidental, una empresa líder en el mercado de transporte de carga pesada y extra pesada, succión y transporte de fluidos, alquiler de maquinaria de izaje y montajes especiales, permite realizar el análisis del proceso de diseño y construcción de un tanque para transporte de crudo de 80 BLS o 13000 Lt., con lo cual se puede comprobar que el diseño del tanque cumpla satisfactoriamente con los requerimientos establecidos en normas vigentes para la transportación de combustibles líquidos en el país.

1.2 Formulación del Problema

La necesidad industrial de expandirse nacionalmente e internacionalmente compromete a las industrias del país a entregar un producto en las más óptimas condiciones.

En el país se desarrollan numerosas empresas petroleras que extraen combustibles líquidos y los transportan en tanques cisterna, estos tanques cisterna se fabrican en pocas empresas a nivel nacional, y en su mayoría carecen de un proceso analítico y tecnológico, por lo cual, mediante solicitud al Departamento de Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas se va a realizar un análisis, diseño y

construcción de un tanque cisterna de 80 BLS o 13000 Lt, que sirva para como referente y guía para futuras construcciones.

1.3 Objetivo General

Diseñar un tanque para transportar crudo con chasis, con capacidad de 80 BLS o 13000 Lt., y documentar su construcción en la empresa Noroccidental.

1.4. Objetivos Específicos del Proyecto

- Emplear y comparar Normas para el diseño y la construcción de tanques para transportación de crudo.
- Realizar un análisis completo de los materiales y herramientas que se van a utilizar.
- Realizar la simulación virtual del diseño en un software de última generación.
- Utilizar software de especialidad para el desarrollo de la aplicación.
- Definir un esquema para la construcción de tanques de este tipo con el desarrollo de este proyecto de tesis.
- Evaluar el desarrollo del proyecto de diseño y construcción de un tanque de crudo de 30000 galones.

1.5 Justificación e Importancia

El presente proyecto pretende verificar que el diseño y el proceso de construcción de un tanque de 13000 Litros, cumpla satisfactoriamente con las normas establecidas para la transportación de combustibles líquidos.

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1 Definición de Tanques Cisterna

2.1.1 Camión Cisterna.

El camión cisterna es un depósito especial dedicado al transporte normalmente de sección cilíndrica o más o menos elipsoidal, de eje horizontal, con casquetes o fondos abombados en sus extremos y provisto de valvulería, conducciones y dispositivos de carga y descarga. Una de las muchas variedades de camión que sirve tanto para el transporte de líquidos como para su mantenimiento por tiempo prolongado según sus características.

La mercancía se transporta en estado líquido ya que los fluidos tienen un menor volumen en estado líquido que gaseoso, pudiendo transportar mayor cantidad de este, pero a mayor presión. Los tanques cisterna son vehículos grandes de 6 a 8 ejes.



Figura 2.1: Camión Cisterna
Fuente: (Wikipedia, 2013)

Entre estos se destacan por su mayor uso los de agua para riego y trasvase, los de transportes de combustibles líquidos como gasolina, queroseno, glp y otros, o los de productos químicos líquidos, estando el transporte de éstos regulado en casi todo el mundo por su peligrosidad.

Coloquialmente también se le ha llamado "zeppelin" o "pipa"; como por ejemplo, un camión cisterna que transporta agua a alguna comunidad, es conocido como la "*pipa de agua*"



Figura 2.2: Camión Cisterna Shell
Fuente: (Wikipedia, 2013)

2.1.2 Dispositivos de seguridad en las cisternas.

Con independencia de las válvulas y elementos propios de llenado y vaciado, las cisternas suelen ir provistas de otros dispositivos, cuya misión es conferir seguridad intrínseca a las operaciones de carga y descarga. A título simplemente de reseña, los más importantes son los siguientes.

2.1.3 Plataformas superiores.

Consisten en un pasillo metálico formado por un entramado a lo largo de la parte superior de la cisterna y cuya funcionalidad reside en el tránsito y en la operatividad precisa para efectuar con seguridad las maniobras de apertura y cierre de bocas de carga, controles e inspección del interior de los compartimentos.

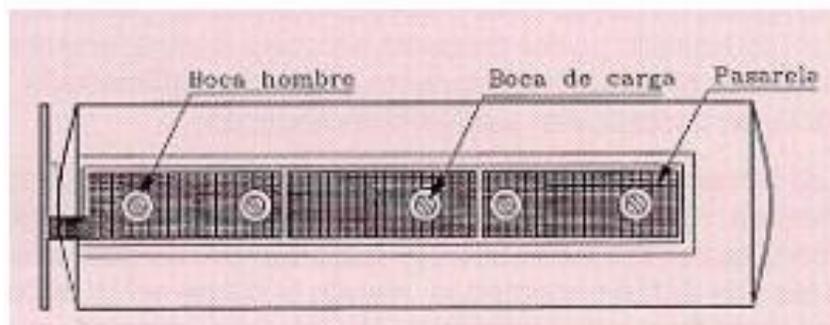


Figura 2.3: Vista Superior de un Tanque
Fuente: (Bernal, "sin año")

Dispositivos en cúpula de cisterna correspondientes a bocas de hombre, bocas de carga y pasarela con plataforma de desembarco desde la escala de acceso

Su disposición relativa es la de un pasillo central de anchura constante a lo largo de la generatriz superior de la cisterna, de longitud comprendida entre el último peldaño de la escala o desde la plataforma de desembarque hasta un mínimo de 40 cm aproximadamente, sobrepasada la última boca de carga.

La anchura de la pasarela a ambos lados de las bocas de carga debería ser como mínimo de 40 cm. Las plataformas estarán exentas de obstáculos que emerjan a lo largo de su recorrido y su diseño posibilitará la operatividad de las bocas de carga, de forma que éstas cierren en sentido contrario al de la marcha. Estas plataformas carecerán de plintos en sus laterales, debiendo estar fuertemente ancladas, firmes y perfectamente asentadas.

Todos estos elementos están formados por trama antideslizante (ver fig. 2.1), constituyendo su ausencia circunstancia propicia a todo un cúmulo de situaciones de riesgo por deslizamientos, torceduras, esguinces y caídas, llegando a poder revestir caracteres de gravedad, si la caída se produce desde el camión cisterna, dado el carácter resbaladizo de gran número de productos. (Bernal, "sin año")

2.1.4 Escaleras de acceso a cisternas.

Consiste en una escala vertical de peldaños antideslizantes situada en la parte posterior de la cisterna y que permite el acceso a la plataforma de ésta.

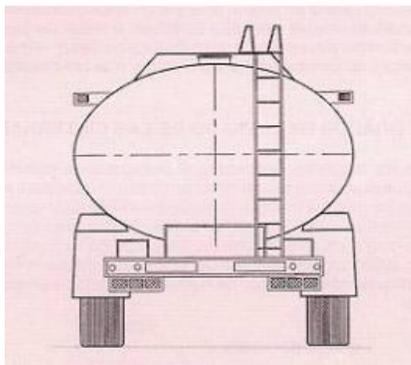


Figura 2.4: Vista Posterior Tanque
Fuente: (Bernal, "sin año")

Escalera antideslizante de acceso al domo de la cisterna, provista de barandillas en la plataforma de desembarco a la pasarela

La altura máxima desde el suelo al primer peldaño de la escalera debería ser como máximo de 50 cm, a vehículo vacío y en orden de marcha.

Como primer peldaño podrá utilizarse, previo acondicionamiento, la parte superior del dispositivo de protección contra empotramientos (parachoques trasero). El nivel del último peldaño debe coincidir con el de la plataforma superior de desembarque.

La separación mínima de cualquier punto de la escalera a la cisterna no debería ser inferior a 16 cm. La pletina antideslizante soldada a cada peldaño de la escalera debería tener una anchura mínima de 6 cm. Para facilitar el acceso a la plataforma es recomendable que las barandillas laterales de la escalera se eleven un mínimo de 50 cm sobre aquella. Ningún elemento de la escalera debe obstaculizar la introducción o retirada de las mangueras en los portamangueras laterales correspondientes.

2.2 Importancia de los Tanques Cisterna

El sector petrolero es uno de los que más contribuye a la riqueza del país, por lo cual existe un crecimiento acelerado en la industria petrolera y su impacto es determinante para varios sectores industriales como transporte, generación eléctrica, etc.

En Ecuador el transporte de crudo en largas distancias se lo realiza en su mayoría por medio de oleoductos, poliductos y gasoductos cuya longitud alcanzan los 1600 km. El

Sistema de Oleoductos Trans Ecuatoriano SOTE, transporta el crudo desde la región oriental hasta Balao, cerca de la Refinería Estatal de Esmeraldas.

Petroecuador transporta los productos de la Refinería de Esmeraldas a Quito y Guayaquil, por medio de un poliducto y desde allí hasta las ciudades por cabotaje.

El transporte desde las plantas y depósitos a los diferentes lugares del país, se lo hace mediante auto tanques a cargo de transportistas.

El sistema de tanque cisterna es el más adecuado y seguro para transportar líquidos de manera segura minimizando riesgos para las personas ajenas al sector, los operadores, evitando daños a la propiedad y al medio ambiente.

2.3 Tipos de Tanques Cisterna

2.3.1 Remolques

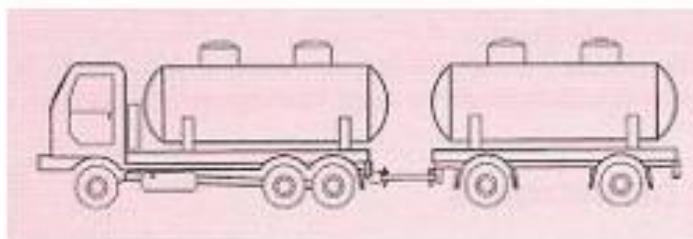


Figura 2.5: Vista Lateral Auto-tanque
Fuente: (Bernal, "sin año")

Son elementos de transporte integrados por una cisterna sobre un bastidor soportado por ejes de ruedas delantero y trasero, unido a una parte tractora o camión cisterna por un enganche reglamentario, pudiendo ambas partes quedar separadas.

2.3.2 Semirremolques

Al igual que los remolques, no pueden moverse por sí mismos, precisando de un elemento motriz. Carecen de ejes de rueda delanteros, materializándose la unión a la parte tractora a través de una articulación especial donde queda fijado el pivote de sujeción (pivote real) de 2 pulgadas de diámetro del que va provisto todo semirremolque. A la parte de esta unión que va fija al tractor se le denomina la quinta rueda y se localiza a unos 300 mm por delante del último eje del tractor.

Tienen un número par de ejes de ruedas (2 - 4 ejes) pudiendo sostenerse apoyados por sí mismos, aunque estén desenganchados de la cabeza motriz que los remolca.

Con independencia del sistema de tracción, los semirremolques pueden ser: con chasis (ver fig. 2.4), en los que la cisterna va apoyada en toda su longitud sobre un bastidor y autoporlantes (ver fig. 2.5), sin bastidor, estando la propia cisterna calculada para resistir mecánicamente apoyada, por un lado en una placa giratoria y por otro, en los ejes traseros por medio del carretón trasero, falso bastidor auxiliar en la zona trasera. Tiene la gran ventaja de su reducido peso muerto y la de permitir la libre dilatación con productos a temperaturas distintas a la atmosférica. Mecánicamente trabaja como una viga simplemente apoyada en sus extremos. Son casi cilíndricas con fondos o casquetes semiesféricos.

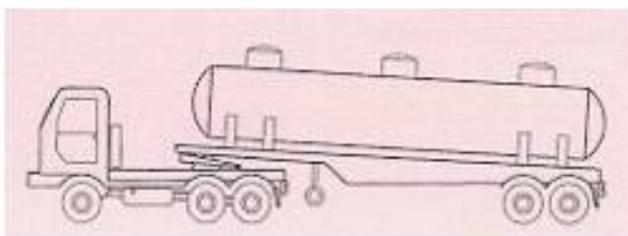


Figura 2.6: Semirremolque-cisterna Soportado sobre Bastidor
Fuente: (Bernal, "sin año")

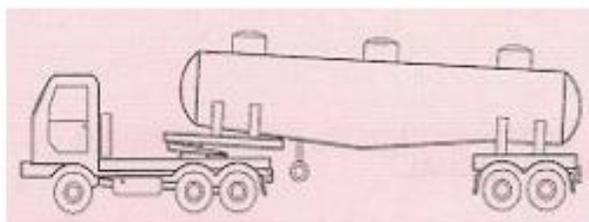


Figura 2.7: Semirremolque-cisterna Autoportante
Fuente: (Bernal, "sin año")

Existen otras clasificaciones de cisternas según materiales constructivos (acero, aluminio y plástico); compartimentaje (compartimentadas y sin compartimentar); aislamiento térmico (con y sin aislamiento) y con aislamiento de vacío; energía de aportación (calentadas y refrigeradas), etc.

2.4 Historia de la Industria y Comercio Hidrocarburífero en el Ecuador

El primer pozo petrolero fue perforado en la región de la Costa en 1911, La empresa inglesa Anglo llega al país en 1922, la misma que durante 67 años explota, comercializa y refina el crudo de la Península de Santa Elena. En 1937 la Shell que estaba trabajando con la Exxon, abandona el Ecuador, luego de cerrar algunos pozos en la Amazonía que no fueron productivos.

En 1967 Texaco perforó el primer pozo comercial en la Amazonía. En los años siguientes, las mayores obras de infraestructura fueron el Sistema de Oleoducto Trans Ecuatoriano SOTE y la Vía Coca. Hasta 1990 Texaco extrajo el 88% del total de la producción nacional de petróleo y operó el oleoducto. Perforó 399 pozos y construyó 22 estaciones de perforación.

Hasta 1971 se habían entregado miles de hectáreas a una media docena de empresas petroleras, sin establecer casi ninguna regulación, ni se habían firmado contratos con estas empresas. En este año el Ecuador fue gobernado por una dictadura militar, la que con un espíritu nacionalista decidió entrar a la OPEP, en efecto, el 23 de junio de 1972 se creó la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana CEPE y la primera exportación fue el 17 de agosto de 1972 con 308.238 barriles a USD. 2,34 el barril, desde el Puerto de Balao en Esmeraldas. Se puso en vigencia la Ley de Hidrocarburos, y se incrementó las regalías para el estado. Se estableció que los contratos petroleros podían durar máximo 20 años y su extensión se fijó en 200.000 has, con lo cual las compañías devolvieron el 80% de sus concesiones que les fueron otorgadas originalmente por 50 años.

En septiembre de 1989 se creó PETROECUADOR en reemplazo de CEPE y se conformó, un Holding es decir, una matriz y seis Filiales: tres permanentes: PETROPRODUCCION, PETROINDUSTRIAL y PETROCOMERCIAL; y, tres temporales: PETROPENINSULA, PETROAMAZONAS Y PETROTRANSPORTE.

A partir de 1982, debido a presiones de los organismos multilaterales y de las propias empresas, la política petrolera ha sido volcada hacia la apertura a las transnacionales.

En 1993 por decisión del Gobierno de Sixto Durán Ballén el Ecuador se retiró de la OPEP, reintegrándose en el periodo 2007-2008.

Desde 1985 hasta 1996 han habido 8 rondas petroleras que ocupan un área de aproximadamente 4.2 millones de hectáreas de las cuales casi 3.6 millones corresponden a los de los 13 millones de has que conforman la Amazonía ecuatoriana ésta a su vez, representa el 46% del territorio nacional. La novena ronda se produjo en 2002 donde se licitó los campos de la costa, excluyendo los de la Amazonía. Para fines del 2002 se termina de construir el Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) como parte de la estrategia de expansión de la frontera petrolera. Desde el 2003 el gobierno anuncia la décima ronda petrolera para la concesión de áreas en los territorios de Napo, Pastaza y Zamora Chinchipe, además de la continuación del proyecto ITT (Ishpingo, Tambococha, Tiputini) que está situado en el Parque Nacional Yasuní y la Reserva Faunística Cuyabeno.

En el 2006 se declaró la caducidad del contrato de explotación del bloque 15 que el estado mantenía con la compañía Occidental. En ese año se alcanzaron precios records para el crudo a nivel mundial.

A inicios del 2007 el nuevo gobierno anuncia la construcción de una nueva refinería en la provincia de Manabí con una capacidad de refinación de 300.000 barriles diarios. En este año también se inicia el intercambio de crudo por derivados con Venezuela (alrededor de 1.5 – 1.6 barriles de crudo de Ecuador por 1 barril de derivados de Venezuela).

En este mismo año se renegociaron los contratos petroleros con la hispano- Argentina Repsol, la Francesa Perenco, la Brasileña Petrobras, la china Andes Petroleum y la compañía de capital estadounidense afincada en Panamá City Oriente. A pesar de la propuesta inicial publicada mediante decreto presidencial, en el cual se señalaba que Ecuador negociaría una ganancia del 99 % frente al 1% del precio diferencial fijado en el contrato de concesión, el acuerdo final fue el cambio de naturaleza del contrato que pasó de ser el crudo de propiedad de las empresas, a otro de prestación de servicios, en que el estado paga por la extracción de crudo tras la presentación de las facturas, además de someter eventuales divergencias a un centro de mediación en Chile.

2.4.1 El Petróleo y su Proceso de Extracción

El Ecuador cuenta al momento con una capacidad de procesamiento de petróleo de 157.500 barriles por día. Los productos más importantes son la gasolina y el diesel, combustibles de uso mayoritario en el transporte. El sector de hidrocarburos aporta con el 71% del requerimiento nacional de energía, repartiéndose el porcentaje restante entre fuentes de la biomasa e hidroeléctrica.

Las fases de la industria petrolera son:

Exploración.- consiste en búsqueda de yacimientos de hidrocarburos con métodos geológicos y sísmicos.

Explotación.- es la extracción del petróleo y gas del subsuelo, mediante perforación de pozos y construcción de la infraestructura para su transporte y almacenamiento en los campos petroleros.

Refinación.- fase donde se transforma el crudo en combustibles, dándoles valor agregado y satisfaciendo las necesidades energéticas internas y exportando combustibles.

Almacenamiento y transporte de crudo y derivados.- constituyen los sistemas de oleoductos, tanques y poliductos, que sirven para transporte y almacenamiento de crudo y derivados, desde el lugar de producción hasta otros de consumo exportación o industrialización.

Comercialización.- proceso de venta externa del petróleo al mercado internacional y la comercialización interna de combustibles.

Los centros de industrialización del país son:

- Refinería Estatal Esmeraldas (REE).- productos de la REE.- produce Gasolina, Diesel, Gas Licuado de Petróleo (GLP), Jet Fuel, Fuel Oil No. 4 y No. 6, Asfaltos AP-3 y RC-2, además de Butano, Propano y Azufre.
- Refinería La Libertad.- se obtiene los siguientes productos.- GLP, Gasolina Base, Diesel 1 y 2, Turbo Fuel Base, Rubbert Solvent, Mineral Turpentine (para

elaboración de pinturas), Spray Oil (fumigación de bananeras), Absorver Oil (químicos) y Fuel Oil No. 4 (para sector eléctrico, barcos).

- El Complejo Industrial Shushufindi.- integrado por: la Planta de GAS.- entrega GLP y Refinería Amazonas.- entrega productos finales como: Gasolina Extra, Diesel 1, Jet Fuel, Diesel 2, Residuo.
- Almacenamiento Flotante de GLP.- desde 1960, Ecuador importa gas de uso doméstico (GLP), para satisfacer la demanda interna, desde México y Venezuela; y, desde abril de 1985 en el Gobierno de León Febres Cordero, se adoptó la modalidad de importar GLP con almacenamiento flotante, el buque se encuentra anclado en aguas al oeste de la Isla Puná.

2.5 Análisis del Sector Hidrocarburífero Ecuatoriano en 2012

2.5.1 Producción

Durante el 2012, las actividades de Exploración y Explotación de Petroamazonas EP se desarrollaron en los Bloques 7, 12, 15, 18, 21, y 31; conforme con las metas definidas en el Programa de Actividades y Presupuesto de Inversiones, Costos y Gastos



Figura 2.8: Pozos de Explotación Petroamazonas EP
Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2012)

La producción de los 549 pozos en producción, fue de 54'284,810 Barriles de Petróleo, equivalentes a 148.319 Bppd, lo que generó un cumplimiento del 97% de la meta anual.

Tabla 2.1 Pozos (Bppd)

Activo Indillana	37,203
Activo Edén Ytuturi	54,879
Activo Oso Yuralpa	39,391
Activo Palo Azul	16,847
Total Petroamazonas EP	148,319
Meta Petroamazonas EP	152,697
Cumplimiento	97%

Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2012)

Gráficamente la producción de los diferentes bloques que opera Petroamazonas EP se expresa en el cuadro a continuación

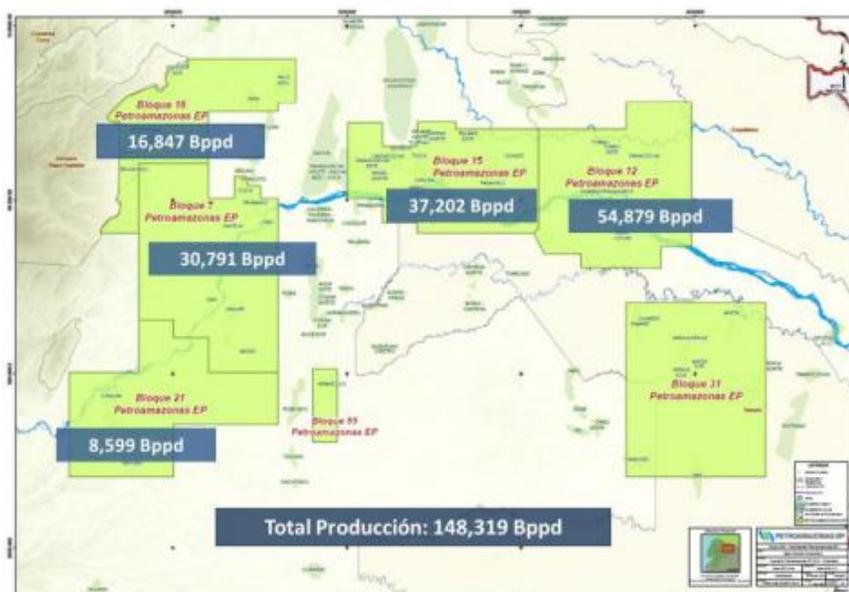


Figura 2.9: Producción de los Bloques que opera Petroamazonas EP

Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2012)

2.5.2 Perforación

Durante el 2012, Petroamazonas EP mantuvo en promedio de 10 torres de perforación activas, con las cuales se perforaron 80 Pozos, de los cuales 75 fueron Pozos de Desarrollo, 4 fueron Pozos Exploratorios y 1 Pozo Inyector de la meta anual.

Meta (Pozos):84

Real (Pozos):80

Tabla 2. : Pozos de Perforación Petroamazonas EP

Activo Indillana	26
Activo Edén Ytuturi	26
Activo Oso Yuralpa	22
Activo Palo Azul	6
Total Petroamazonas EP	80
Meta Petroamazonas EP	84
Cumplimiento	95%

Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2012)

Elaboración: Petroamazonas EP

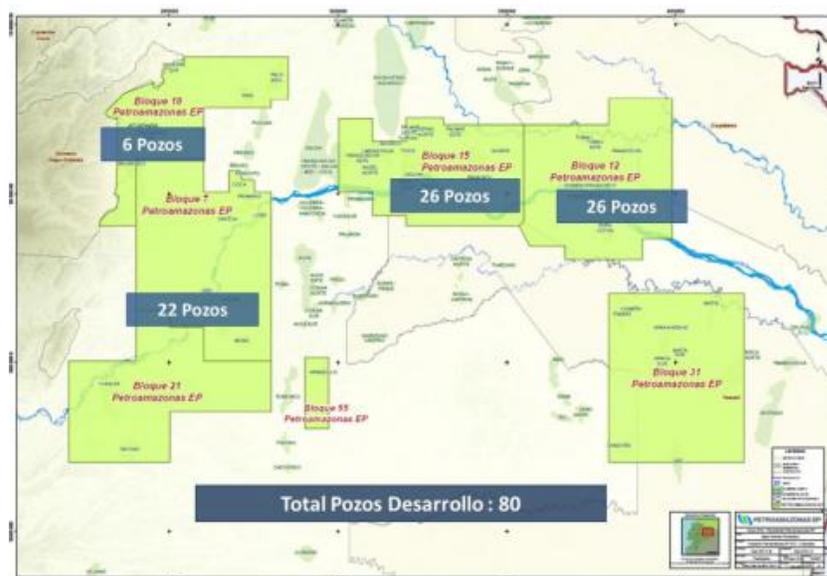


Figura 2.10: Distribución de Pozos en los Bloques Petroamazonas EP
 Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2012)
 Elaboración: Petroamazonas EP

2.5.3 Exploración - Reservas

El Plan Exploratorio del año 2012 consideró un programa de perforación de 5 pozos exploratorios con el fin de descubrir una media de reservas con riesgo geológico de 27.18 MMBP.

Adicionalmente, se planteó la adquisición de 286 Km² de sísmica 3D en las áreas Waponi del Bloque 7 y Pañacocha Este, iniciar en el Bloque 31 la adquisición de 688 Km² y continuar con el Proyecto de microsísmica pasiva de baja frecuencia, geoquímica, estudios geológico-geofísicos del Pre-Cretácico y del Subandino.

Los 5 pozos exploratorios comprendían las areniscas: Basal Tena, M1, M2, U y T de la Formación Napo y los reservorios de la Formación Hollín en trampas estructurales, identificadas en la sísmica 3D/2D registradas en el área de operación de Petroamazonas EP y fueron:

- Yanaquincha Norte-1
- Oso Norte-1
- Pañacocha Volcánico-1
- Tangay Este-1

- Balsayacu-1

Durante el 2012, PAM EP perforó cuatro pozos exploratorios localizados en los Pañacocha, Yanaquincha, Balsayacu y Oso. Estos pozos fueron localizados en zonas de fácil acceso y cercanos a la infraestructura existente, con el fin de incorporarlos a la producción inmediatamente.

Los pozos perforados fueron: Yanaquincha Norte – 001, Oso Norte G – 001, Pañacocha Volcánico-001 y Balsayacu – 1. Los tres primeros fueron exitosos y reportaron nuevas reservas por 30.44 MMBbls, dando un cumplimiento del 112% con respecto a la meta anual.

2.5.4 Tendencias Petroamazonas EP

Desde su creación, Petroamazonas EP, ha demostrado ser una de las empresas más eficientes del país, motivo por el cual ha recibido cada vez más responsabilidades por parte del Estado Ecuatoriano, tal es el caso que en el año 2007 manejaba y operaba 1 Bloque en el Oriente Ecuatoriano, y hasta el cierre del año 2012, operó 6 Bloques.

La producción petrolera de Petroamazonas EP se ha incrementado año a año, así como las actividades de exploración, perforación y reacondicionamientos.

Se han utilizado eficientemente los recursos entregados por el Estado Ecuatoriano, invirtiendo en los proyectos que generan mayor utilidad a la empresa.

Las inversiones realizadas en las áreas operadas por Petroamazonas EP, se quintuplicaron durante el periodo 2007 a 2012.

Así mismo, la actividad exploratoria se incrementó en el 2012, con la perforación de 4 pozos exploratorios que permitieron incorporar 30.44 millones de barriles de petróleo de reservas.

Tabla 2. 3 Tendencias Petroamazonas EP

	2008	2009	2010	2011	2012
Producción	34,749,138	36,183,180	46,902,13	57,218,860	54,284,77
Inversiones (US\$)	421,132,258	598,484,880	656,596,672	825,210,036	1,150,881,439
Pozos de Desarrollo	34	61	67	78	76
Pozos Exp.	3	1	3	3	4
Reservas Exp.	27.25	0.55	8.70	14.08	30.44

Fuente: (PETROAMAZONAS EP, 2012)

2.6. Normas Técnicas de Diseño, Construcción, Inspección y Seguridad Industrial

2.6.1 Generalidades.

Dentro de este capítulo se analizará y estudiará los códigos y estándares nacionales e internacionales con el objetivo de determinar los factores que influyen en el diseño, inspección y seguridad de tanqueros destinados a la transportación de crudo. El empleo de un código o norma facilita el desarrollo de un diseño, donde se puede obtener datos específicos y generales, como: cargas consideradas, dimensiones generales, tipo de material, materiales, etc.

Tabla 2.4: Códigos y Normas de Diseño a Utilizar

Código	Descripción
INEN 2261 “Tanques para gases a baja presión. Requisitos e Inspección”	Definiciones
	Disposiciones Generales
	Disposiciones Específicas
	Requisitos
Norma NFPA 385	Alcance
	Definiciones
	Generalidades
Código de Regulaciones Federales de EEUU (CFR).	Definiciones
Especificaciones DOT (Department of Transportation).	Definiciones
	Requerimientos generales
	Requerimientos Especiales DOT 407
	Requerimientos Especiales DOT 412
	Normativa de Pintura y Colores de Etiquetas
Norma NTE INEN 2341.	Definiciones
Normativas existentes en la DNH	Definiciones
Disposiciones de Seguridad Industrial para Transporte, Carga y Descarga de Combustible en Auto-tanque.	Definiciones
	Disposiciones Generales
NTE INEN 440	Colores de Identificación tanques

Fuente: Propia

2.6.2 Norma NTE INEN 2261.

Esta norma establece los requisitos (INEN) para el cálculo, diseño, fabricación, ensayo e inspección de tanques de acero soldado, estacionarios o móviles, para el almacenamiento o transportes de gases a baja presión.

Establece también, los requisitos mínimos de los accesorios que deben tener para control y seguridad.

Esta norma se aplica a los tanques fijos o móviles que almacenen o transporten gas de hasta 1,73 MPa de presión y mayores a 0,11 m³ de capacidad.

2.6.2.1 Definiciones

Capacidad del tanque. Volumen máximo de agua que puede contener el tanque, en m³

Conexión a tierra. Instalación que permita descargar a tierra la electricidad estática acumulada o producida en el tanque, sin emitir arco o chispa.

Diámetro exterior. Diámetro exterior de la sección circular del tanque, excluyendo los cordones de soldadura.

Diámetro interior del tanque. Mayor diámetro interior medido o calculado de la sección circular.

Gas licuado. Gas que mediante presión se encuentra en estado líquido.

Inspección visual. Aquella que se realiza a la parte interior y exterior del tanque y sus accesorios, para determinar la presencia de defectos en sus diferentes partes constitutivas.

Presión de diseño. Es función de la máxima presión de servicio.

Presión máxima de servicio. Es aquella presión manométrica desarrollada por el gas a la máxima temperatura de servicio.

Presión de servicio. Es la presión desarrollada por el gas a la temperatura de servicio.

Probeta. Es una muestra del material utilizado para la construcción del tanque y preparado para los ensayos mecánicos correspondientes.

Remolque cisterna. Vehículo provisto de un tanque montado permanentemente, cuyo peso total descansa sobre ruedas propias, sin que tenga medios propulsores autónomos.

Semi-remolque cisterna. Vehículo provisto de un tanque montado permanentemente, cuyo peso descansa parcialmente, sobre sus propias ruedas y parcialmente sobre el vehículo tractor.

Soldadura principal. Aquella que sirve para unir las partes del tanque sometidas a la presión del gas.

Soldadura secundaria. Aquella que sirve para unir al tanque los diferentes accesorios que no están sometidos a la presión del gas.

Tanque. Recipiente para almacenar gases a baja presión.

Tanque móvil. Tanque que ha sido diseñado y construido para ser instalado en un vehículo.

Vehículo cisterna (tanquero). Vehículo que tiene el tanque montado permanentemente y con medio propulsor propio.

2.6.2.2 Disposiciones Generales

Los tanques para almacenar y transportar gases a baja presión, que se fabriquen modifiquen o reparen, deben ser diseñados, construidos y ensayados, de acuerdo con esta norma

En los tanques es obligatorio el accesorio para la instalación de la “Conexión a tierra”

2.6.2.3 Disposiciones Específicas

Los tanques fijos y móviles que van a contener GLP, a más de los requisitos establecidos en esta norma, deben cumplir con lo siguiente

Pintura y señalización. Los tanques para GLP deben pintarse del color blanco y tendrá las siguientes señales:

- Capacidad del tanque, en m³
- Cantidad máxima permitida, en kg.
- Señales de seguridad, mediante la simbología especificada en NTE INEN 439, con la leyenda “CUIDADO, PELIGRO DE FUEGO” y “GAS INFLAMABLE!”
- Otras señales requeridas por reglamentos, leyes o normas vigentes, relacionadas con el tema.

2.6.2.3 Requisitos

2.6.2.3.1 Requisitos específicos

Materiales

Pintura. Los tanques deben pintarse del color de identificación del gas que va a contener y de acuerdo a lo especificado en la NTE INEN 440 (Tabla 2.5) y previamente debe ser limpiado ya sea mecánicamente o químicamente de acuerdo a lo especificado por el fabricante. Los tanques deben tener protección anticorrosiva de acuerdo al uso y al medio en que va a permanecer.

Tabla 2.5: Tabla de colores Norma NTE INEN 440

Fluido	Color
Agua	Verde
Vapor de agua	Gris Plata
Aire y oxígeno	Azul
Gases Combustibles	Amarillo ocre
Gases no combustibles	Amarillo ocre
Ácidos	Anaranjado
Álcalis	Violeta
Líquidos combustibles	Café
Líquidos no combustibles	Negro
Vacio	Gris
Agua o vapor contra incendios	Rojo de seguridad
GLP (gas licuado de petróleo)	Blanco

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social)

Diseño

Tanque fijo. El cálculo, diseño, características dimensionales, químicas y mecánicas del acero para la construcción de los tanques para gases a baja presión, se deben determinar de conformidad con lo especificado que se indica a continuación:

- La presión de diseño no debe ser inferior a la presión de vapor para el gas específico que va a contener, considerando una temperatura no menor a 50 °C.
- Los tanques deben diseñarse para ser auto-soportantes, sin requerir de cables tensores o soportes adicionales, y deben satisfacer los criterios de diseño para nuestro país, tomando en cuenta los esfuerzos que provengan del viento, fuerzas de origen sísmico y cargas hidrostáticas.
- Debe estar apoyado sobre soportes fijos al tanque que permitan el anclaje o sujeción a la estructura donde va a permanecer.

Tanque móvil. El diseño del tanque cisterna para vehículo, semiremolque o remolque, debe tomar en cuenta las relaciones estructurales entre el tanque, las estructuras soportantes y los elementos de propulsión y movimiento del vehículo.

Debe cumplir con todas las regulaciones vigentes en el país referentes a dimensiones, cargas máximas, número de ejes, elementos de protección y seguridad.

Construcción

Los tanques fijos y móviles deben estar provistos de aberturas para drenaje y todas las aberturas, no destinadas a válvulas de seguridad, conexiones de carga, descarga, indicadores de nivel o de temperatura, deben equiparse con válvula de flujo interna en combinación con válvula de cierre y tapón.

Accesorios

Las válvulas, tuberías, accesorios y conectores flexibles, tanto para tanques fijos como móviles, deben ser seleccionados y apropiados para el uso con el gas contenido y soportar las presiones correspondientes.

Los dispositivos de alivio de presión, válvulas de cierre, válvulas antiretorno, válvulas de exceso de flujo, medidores de nivel y dispositivos para evitar el sobrellenado, utilizados individualmente o en combinaciones compatibles, deben cumplir con lo siguiente:

a. Para orificios de extracción de vapor y líquido

a.1 Una válvula de cierre, ubicada tan cerca del tanque como sea posible, en combinación con una válvula de exceso de flujo instalada en el tanque.

b. Para orificios de entrada de vapor y líquido

b.1 Una válvula de cierre ubicada tan cerca del tanque como sea posible, en combinación, ya sea con una válvula antiretorno o con una válvula de exceso de flujo instalada en el tanque.

c. Válvulas de seguridad

c.1 Las válvulas de seguridad deben ser de tipo de resorte calibrado y que empiecen a descargar cuando la presión de operación alcance los límites 88 % mínimo y 100 % máximo, del valor de la presión de diseño del tanque y se deben seleccionar de acuerdo a la superficie externa del mismo.

c.2 Las cubiertas o tapas de protección deben mantenerse en su lugar, excepto cuando la válvula funciona, y debe permitir entonces la operación a total capacidad de la válvula.

c.3 Cada válvula de seguridad debe llevar la siguiente información:

c.3.1) La presión en MPa (psi) a la cual está ajustada para descarga.

c.3.2) El caudal real de descarga en $\text{m}^3/\text{min.}$ de aire a $15,5\text{ }^\circ\text{C}$.

c.3.3 El nombre del fabricante y número de serie.

c.3.4 Estampe de un organismo certificador o norma de fabricación.

Todas las válvulas y elementos de control deben ser certificados por el INEN o por un organismo reconocido por el INEN.

Los accesorios y elementos de control, montados por el constructor, en el vehículo cisterna, debe fijarse a soportes y bases en forma segura y estable, incluidas las conexiones de las tuberías y demás accesorios requeridos por el gas a ser contenido y por las recomendaciones del fabricante del elemento de control, tomando en cuenta los esfuerzos adicionales de vibración y fatiga mecánica causada por el vehículo en movimiento.

Tuberías. Las tuberías utilizadas en tanques fijos y móviles deben ser construidas de acero al carbono o inoxidable, deben cumplir con los requisitos y ensayos establecidos en la NTE INEN correspondiente al gas que va a contener o la internacionalmente aceptada.

Indicadores de nivel

Los vehículos cisterna deben estar equipados con indicadores de nivel, uno de los cuales debe ser obligadamente una sonda.

2.6.3 Norma NFPA 385

Es un estándar para vehículos tanque para líquidos inflamables y combustibles, fue preparada por el Comité Técnico sobre Transporte de Líquidos Inflamables (NFPA).

2.6.3.1 Alcance:

Este estándar deberá aplicar a vehículos tanque usados para el transporte de asfalto o líquidos inflamables y combustibles normalmente estables con puntos de inflamación por debajo de 200°F (93°C).

Las provisiones de este estándar no deberán prohibir el uso de salvaguardas para vehículos tanque usados para el transporte de líquidos inflamables y combustibles que tengan características que introduzcan factores adicionales tales como altas tasas de expansión, inestabilidad, corrosividad, y toxicidad.

2.6.3.2 Definiciones:

Camión Tanque. Cualquier vehículo de motor autopropulsado único con un tanque de cargamento montado sobre él y usado para el transporte de líquidos inflamables y combustibles o asfalto

Rompe Olas (Baffle).- Es una pantalla o división interior no hermética de un tanque, que no permite el desplazamiento brusco de la carga durante su transportación.

Espejo.- Es una división interior hermética del tanque, que da lugar a los compartimentos.

Auto-tanque.- Unidad automotriz con tanque, que se utiliza para el transportar combustibles.

Punto de ignición (Flash Point).- Es la temperatura mínima de un líquido a la cual suficiente vapor es producido para formar una mezcla inflamable con el aire cerca de la superficie del líquido dentro del tanque.

Líquido combustible.- Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación en o por encima de 100°F (37.8°C) y debajo de 140°F (60°C). Su clasificación es:

Líquido Clase II. Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 100°F (37.8°C) y por debajo de 140°F (60°C).

Líquido Clase III. Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 140°F (60°C). Líquidos Clase III deberán ser además clasificados en conformidad con (a) y (b), como sigue:

- Líquido Clase IIIA. Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 140°F (60°C), pero por debajo de 200°F (93°C).
- Líquido Clase IIIB. Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 200°F (93°C).

Líquido Inflamable.- Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación de copa cerrada debajo de 100°F (37.8°C) y una presión de vapor Reid no excediendo 276 kPa (40 psia o 2068 mm Hg). Su clasificación es:

- **Líquido Clase IA.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación por debajo de 73°F (22.8°C) y un punto de ebullición por debajo de 100°F (37.8°C).
- **Líquido Clase IB.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación por debajo de 73°F (22.8°C) y un punto de ebullición en o por encima de 100°F (37.8°C).
- **Líquido Clase IC.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 73°F (22.8°C) pero debajo de 100°F (37.8°C).

Líquidos Combustibles Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación en o por encima de 100°F (37.8°C) y debajo de 140°F (60°C), su clasificación es:

- **Líquido Clase II.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 100°F (37.8°C) y por debajo de 140°F (60°C).
- **Líquido Clase III.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 140°F (60°C).
 - **Líquido Clase IIIA.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 140°F (60°C), pero por debajo de 200°F (93°C).
 - **Líquido Clase IIIB.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 200°F (93°C).

2.6.3.3 Generalidades:

El diseño de los auto-tanques debe considerar la relación entre el tanque, el equipo de propulsión, y los miembros de respaldo, si los hubiera, con consideración debida al peso y temperatura del cargamento, comportamiento en carretera, frenado, y robustez requerida. El material del tanque usado debe ser compatible con las características químicas del líquido a ser transportado.

Los espesores del metal especificados deberán ser los espesores mínimos dictados por la estructura del tanque mismo. Estos espesores deberán ser permitidos para ser incrementados donde la coraza del tanque debe ser sujeta a esfuerzo adicional.

Los tanques de cargamento, tubería, y conexiones diseñados para transportar líquidos inflamables o combustibles en o por encima de sus puntos de ebullición deberán ser construidos en conformidad con las regulaciones del Departamento de Transporte de U.S. en 49 CFR 178, “Regulaciones de Materiales Peligrosos”, la cual se detalla más adelante.

5.3 Tanques de cargamento, Tubería, y Conexiones Diseñados para Transferencia Integridad Estructural:

Cargas.- Los tanques de cargamento deben ser provistos con elementos estructurales adicionales como necesario para prevenir esfuerzos resultantes en exceso de aquellos permitidos, el valor del esfuerzo calculado máximo no deberá exceder el 20 por ciento de la resistencia última mínima del material (figura 2.11). Consideración deberá ser dada para fuerzas impuestas por cada una de las siguientes cargas individualmente y, donde aplicable, una suma vectorial de cualquier combinación de las mismas:

- Carga dinámica bajo todas las configuraciones de carga de producto.
- Presión interna
- Cargas superpuestas tales como equipo operativo, aislamiento, revestimientos, tubos de manguera, gabinetes, y tubería.
- Reacciones de asientos y sillas de respaldo u otros soportes.
- Efecto de gradientes de temperatura resultantes de extremos de temperatura del ambiente y del producto (Coeficientes térmicos de materiales disimiles donde usados deberán ser acomodados.)

Uniones

Todas las uniones entre la coraza, cabezas, rompe olas (baffles) y espejos (bulkheads) del tanque deben ser soldados de acuerdo a los requerimientos que se detallan a continuación.

Todas las uniones de aleación de aluminio soldadas deberán ser hechas en conformidad con prácticas aceptadas de soldadura, y la eficiencia de las uniones no deberán ser menos de 85 por ciento de las propiedades del material adyacente.

Aleaciones de aluminio deberán ser unidas por el proceso de soldadura de arco de gas inerte usando metales de aporte de magnesio-aluminio que sean consistentes con las recomendaciones del proveedor del material.

Todas las uniones soldadas en acero dulce (MS), acero de baja aleación de alta resistencia (HSLA), y acero inoxidable austenítico (SS) deberán ser hechas en conformidad con práctica de soldadura aceptada, y la eficiencia de las uniones no deberá ser menos de 85 por ciento de las propiedades mecánicas del metal adyacente en el tanque.

Cuandoquiera que láminas de acero inoxidable son usadas en combinación con láminas de otros tipos de acero, las uniones hechas por soldadura deberán ser formadas por el uso de electrodos o varillas de aporte de acero inoxidable y los electrodos o varillas de aporte de acero inoxidable usados en la soldadura deberán ser adecuados para el uso con el grado de acero inoxidable concernido de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de los electrodos o varillas de aporte de acero inoxidable.

Soportes y Anclaje:

Un Auto-tanque diseñado y construido de manera tal que el tanque de carga constituye, en todo o en parte, la estructura resistente utilizada en lugar del bastidor deberá ser soportado de tal manera que los niveles de esfuerzo resultante en el tanque no excedan los valores máximos de tensión descritos.

El tanque con accesorios no hechos integrales con el tanque (como por soldadura) deberán ser provistos con dispositivos de restricción para eliminar cualquier movimiento relativo entre el tanque y el marco que podría resultar de la detención, arranque, o giro del vehículo. Tales dispositivos de restricción deben ser fácilmente accesibles para inspección y mantenimiento, salvo que el aislamiento y enchaquetado deben ser permitidos para cubrir los dispositivos de restricción.

Cualquier tanque de cargamento diseñado y construido a fin de que constituya en todo o en parte el miembro estructural usado en lugar de un marco deberá ser soportado en tal manera que los niveles de esfuerzo resultantes en el tanque de cargamento no

excedan aquellos especificados anteriormente Los cálculos de diseño de los elementos de soporte deberán incluir cargas impuestas por detención, arranque, y giro en adición a aquellas impuestas como indicado en anteriormente, usando 20 por ciento de la resistencia última mínima del material de soporte.

Refuerzos Circunferenciales:

Tanques con espesores de coraza menores de 3/8 pulg. (9 mm) deben ser, en adición al reforzamiento provisto por las cabezas del tanque, circunferencialmente reforzados con espejos, deflectores, o refuerzos de anillo (baffles). Cualquier combinación de los reforzamientos antes mencionados deberá ser permitida para ser usada en un tanque de cargamento único.

Baffles (Rompe Olas).- Son usados como miembros de refuerzo deben ser soldados circunferencialmente a la coraza del tanque. La soldadura no debe ser menor que el 50% de la circunferencia total del envase, y el máximo espacio sin soldar sobre esta junta no debe exceder 40 veces el espesor de la coraza.

Deflectores o anillos anexados del deflector (Doble espejo).- usados como miembros de reforzamiento, deberán ser circunferencialmente soldados a la coraza del tanque. La soldadura no deberá ser menos de 50 por ciento de la circunferencia total del recipiente, y el máximo espacio no soldado sobre esta unión no deberá exceder 40 veces el espesor de la coraza.

Dondequiera que mamparos dobles sean provistos, deben ser separados por un espacio de aire. Este espacio de aire debe ser venteado y equipado con medios para facilidades de drenaje que deben ser mantenidas operativas en todo tiempo.

Donde refuerzos de anillo son usados para cumplir con esta sección, deberán ser continuos alrededor de la circunferencia de la coraza del tanque y deberán tener un módulo de sección cerca del eje neutral de la sección del anillo paralela a la coraza al menos igual a aquella determinada por las siguientes formulas:

Para Acero (MS, HSLA Y SS):

$$\frac{I}{c}(\text{Min}) = 0.00027 \cdot W \cdot L \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

Para Aleación de Aluminio (AL):

$$\frac{I}{c}(\text{Min}) = 0.000467 \cdot D \cdot L \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

Dónde:

$\frac{I}{c}$ = Módulo de Sección (*pulg*³).

W = Diámetro o ancho del tanque (*pulg.*).

L = Espaciamiento del anillo (pulg), es decir, la máxima distancia desde el punto medio de la coraza no soportada sobre el lado opuesto del refuerzo de anillo.

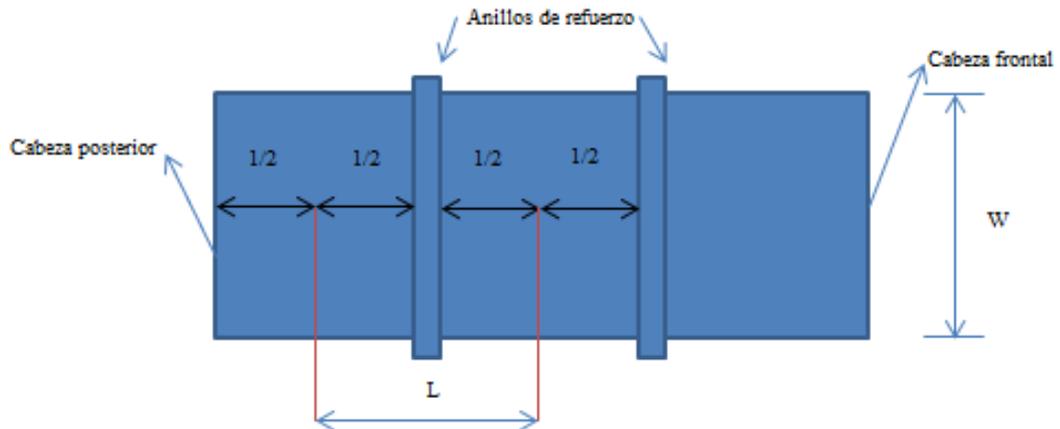


Figura 2.11: Anillos de Refuerzo

Elaboración: Propia

Si un anillo de refuerzo de anillo es soldado a la coraza del tanque (con cada soldadura circunferencial no menor de 50 por ciento de la circunferencia total del recipiente y el espacio máximo no soldado sobre esta junta no excediendo 40 veces el espesor de la coraza), una porción de la coraza deberá ser permitida para ser considerada

como parte de la sección del anillo para propósitos de computar el módulo de sección del anillo. La porción máxima de la coraza a ser usada en estos cálculos deberá ser como dada en la Tabla 2.6

Tabla 2.6: Sección Acreditada de la Coraza

Soldaduras Circunferenciales de Refuerzo de Anillo-a-Coraza del Tanque	Distancia entre Soldaduras Circunferenciales Paralelas de Refuerzo de Anillo-a-Coraza del Tanque	Crédito de Sección de Coraza
1	-	20t
2	Menos de 20t	20t + W
2	20t o mas	40t

Fuente (Comité Técnico sobre Transporte de Líquidos Inflamables, 1 de Diciembre, 2006)

Dónde:

t = Espesor de la coraza [mm]

W = Distancia entre la suelda paralela circunferencial del anillo de refuerzo a la coraza [mm].

Si la configuración de un refuerzo de anillo interno o externo encierra un espacio de aire, este espacio de aire deberá ser arreglado para venteo y deberá ser equipado con medio para drenaje que deberá ser mantenido operativo en todo tiempo.

Cubiertas para Aberturas de Llenado y Boca de Carga y de inspección (Manholes):

Cada compartimiento en exceso de 2500 gal (9500 L) de capacidad debe ser accesible a través de un manhole de al menos 11 pulg. x 15 pulg (280 mm x 380 mm).

Las cubiertas del manhole y aberturas de llenado deberán ser diseñadas para proveer cierre seguro de las aberturas.

Los cierres deberán tener la capacidad estructural para resistir una presión interna de fluido de 9 psi de presión manométrica (62 kPa de presión manométrica) sin deformación permanente.

Los dispositivos de seguridad deberán ser provistos para impedir que cubiertas del manhole y de llenado se abran totalmente cuando presión interna este presente.

Ventoe para Auto-Tanques:

Cada compartimiento del tanque debe ser provisto con dispositivos de alivio de seguridad que comuniquen con el espacio de vapor del tanque de cargamento en conformidad con los requerimientos contenidos en esta sección.

Las válvulas de cierre no deberán ser instaladas entre la abertura del tanque y cualquier dispositivo de seguridad.

Los dispositivos de alivio de seguridad deberán ser montados, protegidos, o drenados a fin de eliminar la acumulación de agua, el congelamiento del cual podría arruinar la operación o capacidad de descarga del dispositivo.

Cada compartimiento del tanque deberá ser provisto con venteos normales de presión y vacío, cada uno teniendo un área de sección transversal libre neta de 0.44 pulg² (284 mm²). Venteos de presión deberán ser fijados para abrir en una presión manométrica de no más de 1 psi (6.9 kPa). Venteos de vacío deberán ser fijados para abrir en 6 oz (170 g). Las válvulas de cierre no deben ser instaladas entre la abertura del tanque y cualquier dispositivo de seguridad.

Ventoe de carga y descarga.- Si un compartimiento del tanque de cargamento es diseñado para ser cargado o descargado con la cubierta del domo cerrada, el ventoe debe limitar la presión del tanque a 3 psi (20.7 kPa) basado en el máximo rango del producto transferido.

A menos que protección efectiva en contra de sobrellenado sea hecha, el ventoe de presión también deberá tener suficiente capacidad de líquido para impedir que la presión exceda una presión manométrica de 3 psi (20.7 kPa) en caso de sobrellenado accidental.

Ventoe de Emergencia para Exposición a Incendio.- La capacidad de ventoe de emergencia total en pie cúbico/hora (metros cúbicos/segundo) para cada compartimiento del tanque de cargamento no deberá ser menos que aquel determinado de la Tabla 2.8

Tabla 2. 7: Capacidad Total de Ventoe de Emergencia

Área Expuesta Pie2	Pie3 Aire libre/hr	Área Expuesta Pie3	Pie3 Aire libre/hr
20	15800	275	214300
30	23700	300	225100
40	31600	350	245700
50	39500	400	265000
60	47400	450	283200
70	55300	500	300600
80	63300	550	317300
90	71200	600	333300
100	79199	650	348800
120	94900	700	363700
140	110700	750	378200
160	126500	800	392200
180	142300	850	405900
200	158100	900	419300
225	191300	950	432300
250	203100	1000	445000

Fuente: (Comité Técnico sobre Transporte de Líquidos Inflamables, 1 de Diciembre, 2006)

La capacidad de ventoe mínimo para los venteos accionados por presión deberán ser de 6000 pie3 (170 m3) de aire libre por hora [medido en condiciones estándar de 14.7 psi (101.3 kPa) y 60°F (15.6°C)] en una presión manométrica de 5 psi (35 kPa).

2.6.4 Código de Regulaciones Federales de EEUU (CFR).

La ley federal de transporte de materiales peligrosos, dirigida por la Secretaría de Transporte, establece regulaciones para el transporte seguro de materiales peligrosos en

el comercio. Esta norma se aplica a personas que transportan materiales peligrosos, también a quienes fabrican o mantienen envasados uno o varios componentes que se considera materiales peligrosos.

2.6.4.1 Definiciones:

Líquido Flamable.- Es un líquido que tiene un punto de ignición de no más de 60.5 °C (141 °F), o cualquier material en la fase líquida con un punto de ignición sobre los 38 °C (100 °F), el cual es intencionalmente calentado y ofrecido para transportación o es transportado a su mismo o mayor punto de ignición en un auto-tanque, con las siguientes excepciones:

- Cualquier mezcla que tenga uno o más componentes con un punto de ignición de 60.5 °C (141 °F) o mayor, que cubran el 99% del volumen total de la mezcla.
- Cualquier líquido con un punto de ignición más grande que 35 °C (95 °F), que no mantenga combustión de acuerdo a la norma ASTM 4206.

Punto de ignición.- Es la temperatura mínima a la cual el líquido emite vapor, en los límites de prueba del envase, en suficiente concentración de una mezcla inflamable con aire, cerca de la superficie del líquido

Generalidades:

A los líquidos combustibles como diesel, fueloil y gasolina, se los clasifica dentro de la Clase 3, así como también se tiene una clasificación según el grado de peligro de la sustancia a transportar:

- Grupo I: Alto peligro.
- Grupo II: Medio peligro.
- Grupo III: Bajo peligro.

Los líquidos combustibles y flamables que según la CFR se los puede clasificar de la siguiente manera:

Tabla 2. 8: Clasificación de Combustibles (Según el CFR).

Combustible	Clase	Grupo de Envase (Packing Group)	Requerimientos Especiales
Diesel	3	III	B1
Fueloil	3	III	B1
Gasolina	3	II	B33
Asfalto	3	III	

Fuente: (CONDO & SALAS, 2006)

Requerimientos de la Clase 3.

Diesel y Fueloil.- Para el caso del Diesel y Fueloil, se tiene un mismo grupo de envase (packinggroup), es decir que se los clasifica como producto de bajo peligro, por lo cual las condiciones son iguales para los dos casos.

2.6.5 Especificaciones DOT (Department of Transportation).

El código DOT es una parte del código CFR, es una norma expandida en Estados Unidos, regula el transporte de todo tipo de sustancia, así como también todo tipo de contenedores como tanques, auto tanques, entre otros y sus materiales, también abarca los diferentes tipos de transporte, por riel, por avión, por auto, etc.

2.6.5.1 Definiciones.

Rompe Olas (Baffle) o Espejo (Bulkhead).- partición transversal rígida que regula el movimiento del fluido en el tanque.

Refuerzo (Pad).- Plancha o placa de metal soldada de perfil al tanque, usada para soldar estructuras soportes o accesorios al tanque.

Apoyos (Restraining).- Sujetadores colocados entre los soportes del tanque y que evitan el movimiento relativo entre el tanque y el chasis.

Boca de Carga y de inspección (Manhole).- Abertura circular superior en un tanque que permite la entrada de una persona para la inspección interna del mismo.

Gas Padding (sobrecarga de gas)- exceso de presión debido a la evaporación de los líquidos inflamables, el cual es eliminado mediante válvulas de alivio seteadas a una presión de 3 psi.

Cunas (Cradles).- Soportes para sujetar el chasis del camión y evitar movimientos relativos entre estos.

2.6.5.2 Requerimientos Generales:

Las especificaciones DOT 406, 407 y 412 deben cumplir los requerimientos de esta sección en adición a los contenidos específicos de cada una de estas.

La máxima presión de trabajo permisible (MAWP) para cada auto-tanque debe ser mayor o igual a la mayor de las presiones:

- Presión de vapor del producto más volátil a 46.11 °C (115 °F), más la máxima presión estática ejercida por el producto en la máxima densidad, mas alguna presión ejercida por un gas padding (sobrecarga de gas).
- La máxima presión en el tanque durante la carga y descarga.

Material

Los materiales para la construcción deben cumplir con los siguientes requisitos:

Deben ser materiales aprobados por el código ASME, Sección II, Parte A y B, para la construcción de auto-tanques de combustible:

Tabla 2.9 Materiales ASTM Aprobados para la construcción de auto-tanques

Materiales ASTM aprobados por el código ASME
ASTM A 20
ASTM A 36
ASTM A 131
ASTM A 283 (solamente Grados C y D, con un espesor nominal máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
ASTM A 285 (Solamente Grado C, con un espesor nominal máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgada. ASTM A 516
ASTM A 537 (Solamente Clase 1 y 2)
ASTM A 573
ASTM A 633 (Solamente Grado C y D)
ASTM A 662 (Solamente Grado B y C)
ASTM A 678 (Solamente Grado A y B)
ASTM A 737 (Solamente Grado B)
ASTM A 841 (Solamente Clase 1)
CSA G40.21-M (Solamente Grado 260W, 300W y 350W)
ISO 630 (Solamente Grado E275 y E355, en Calidad C y D)

Fuente: (ASME SECCION II)

Aleaciones de Aluminio: Las aleaciones de aluminio que se deben utilizar para la fabricación de auto-tanques deben poder soldarse por fusión. Las posibles aleaciones de aluminio que son autorizadas, además de las descritas en el código ASME, Sección II, Parte A y B, son las siguientes

Tabla 2.10: Aleaciones de Aluminio ASTM aprobados por el código ASME

Aleaciones de aluminio ASTM aprobados por el código ASME
ASTM B-209 ALEACIÓN 5052
ASTM B-209 ALEACIÓN 5086
ASTM B-209 ALEACIÓN 5154
ASTM B-209 ALEACIÓN 5254
ASTM B-209 ALEACIÓN 5454
ASTM B-209 ALEACIÓN 5652

Fuente: (ASME SECCION II)

Corrosión o Protección Abrasiva.- Para un producto en particular, un auto-tanque o parte de este, sujeto a desgaste por corrosión o abrasión mecánica debe ser protegido con incremento en el espesor del material o con un recubrimiento.

Integridad Estructural.

Excepto para los esfuerzos dados por impactos de accidentes, el máximo esfuerzo calculado en algún punto del auto-tanque no debe exceder el esfuerzo máximo admisible, prescrito en el código ASME o el 25% del esfuerzo de tensión del material usado.

Las propiedades físicas relevantes de los materiales usados en cada tanque pueden ser establecidos tanto por reportes de test certificados o por pruebas en conformidad con un estándar reconocido. En cada caso, la resistencia última de tensión no puede exceder el 20% de la resistencia última a la tensión especificada en ASME.

El esfuerzo máximo de diseño en algún punto del auto-tanque debe ser calculado separadamente para las condiciones de cargas estáticas, dinámicas en condiciones normales y de accidente.

El diseño estático y construcción del auto-tanque debe ser en acorde con la sección VIII del código ASME. El diseño del auto-tanque debe incluir cálculos de esfuerzos generados por presión de diseño, el peso del producto, el peso de la estructura soportada por la pared del tanque y los efectos de gradiente de temperaturas extremas del producto y del ambiente. Cuando materiales diferentes son usados, sus coeficientes térmicos deben ser usados en cálculos de esfuerzos térmicos. Concentraciones de esfuerzos en tensión, flexión y torsión los cuales ocurren en los Refuerzos, Cunas u otros soportes deben ser considerados en concordancia con apéndice G del código ASME.

Esfuerzos de pandeo compresivos longitudinales pueden calcularse de acuerdo con UG-23 (b) de ASME sección VIII división I. si métodos alternativos son utilizados los cálculos deben incluir tanto las cargas estáticas descritas en este párrafo y cargas dinámicas.

El mínimo espesor del metal para las carcasas y las cabezas debe ser 0.187 pulg. (0.475) para el acero y 0.270 pulg. (0.686 cm) para el aluminio.

Bocas de carga y de inspección (Manholes):

Cada auto-tanque con capacidad mayor que 400 gal (1.512 m^3) debe ser accesible a través de un boca de carga o de inspección de al menos 15plg (38.1 cm) de diámetro.

Cada boca de carga o de inspección, debe ser estructuralmente capaz de resistir la presión interna de fluido estático o de al menos 36 psi (248.4kPa) o la presión de prueba cualquiera que sea mayor. La boca de carga o de inspección, debe ser probado con dispositivos de venteo ploqueado. Alguna gotera o deformación que podría afectar la retención del producto es considerada una falla.

La boca de carga o de inspección, debe ser equipada con un dispositivo de seguridad que prevenga la abertura de las tapas cuando se encuentre presente una presión interna.

Cada boca de carga o de inspección debe ser asegurada con sujetadores o seguros que impidan aberturas de las tapas como resultado de vibración o choques dados en carretera.

Soportes y Anclajes:

Un auto-tanque con un chasis que no sea una parte integral del tanque, debe asegurarse mediante acoples de restricción para eliminar algún movimiento entre el tanque y el chasis que pueda dañar el cuerpo del tanque debido a frenadas, o arranques del vehículo. Los dispositivos con acoples de restricción deben ser accesibles para inspección y mantenimiento, excepto que aislamientos sean permitidos para cubrir estos dispositivos.

Un auto-tanque diseñado y construido de tal manera que este constituya en todo o en parte, la estructura soporte en lugar del chasis debe ser reforzado de tal manera que el nivel de esfuerzo resultante no exceda los especificados en la integridad estructural de esta norma.

El cálculo de los elementos de soporte debe incluir los esfuerzos indicados en la integridad estructural de esta norma.

Refuerzos Circunferenciales:

Un auto-tanque con un espesor de pared menor que 3/8 pulg. debe ser circunferencialmente reforzado con espejos, rompe olas, anillos de refuerzo o alguna combinación de ellos, en adición a las cabezas del auto-tanque.

Refuerzos circunferenciales deben ser localizados de tal manera que el espesor y la resistencia a la tensión del material del cuerpo en combinación con el chasis que produzcan una estructura integral igual a lo prescrito anteriormente y de tal manera que la porción de pared del tanque sin protección no exceda 60 pulg. (152.4 cm).

Cuando un rompe olas de unión es usado como un esfuerzo circunferencial debe ser soldado al cuerpo del auto-tanque. La porción soldada no puede ser menos del 50% de la circunferencia total del auto-tanque y la longitud del espacio sin soldar en la junta no puede exceder 40 veces el espesor del cuerpo.

Cuando un anillo de refuerzo es usado como un refuerzo circunferencial, deben ser continuos alrededor de la circunferencia del auto-tanque y el módulo de la sección sobre el eje central de la sección del anillo paralela al cuerpo debe ser al menos igual a aquella derivada de la fórmula especificada anteriormente en la norma NFPA.

Bombas, Tuberías, Mangueras y Conexiones:

Cualquier manguera, tuberías o conexiones deben ser diseñadas para una explosión de presión de más de 100 psi (690 kPa) o 4 veces la MAWP.

Cualquier dispositivo de medida de carga o descarga incluyendo válvulas asociadas deben tener un adecuado cierre para prevenir goteras.

Uso de tuberías no metálicas, válvulas o conexiones que no son tan resistentes como el material del tanque son autorizadas si la unión está localizada fuera del sistema de retención del producto.

Alivio de Presión:

Cada auto-tanque debe ser equipado para aliviar la presión y condiciones de vacío en conformidad con esta sección y especificaciones individuales.

Los sistemas de alivio de presión y vacío deben ser diseñados para operar y tener suficiente capacidad para prevenir roturas debidas a sobre presión o vacío resultado de carga o descarga o de calentamiento y enfriamiento de producto.

Cada auto-tanque debe ser provisto con un sistema primario de alivio de presión que consiste de una o más válvulas de alivio de presión. Un sistema secundario consiste de otras válvulas de alivio de presión en paralelo a las primeras que permitan aumentar la capacidad total de venteo en el auto-tanque.

Los auto-tanques pueden ser equipados con un venteo normal. Cada venteo debe ser seteado para abrir a no menos de 1 psi (6.9kPa) y debe ser diseñado para prevenir perdida de producto a través de dispositivos en caso de volcamiento. Cada sistema de alivio de presión debe ser diseñado para resistir presión dinámica en exceso.

Cada dispositivo de alivio de presión debe ser capaz de resistir presión dinámica de 30 psi sobre la presión de diseño y mantener por al menos 60 milisegundos con un volumen total de líquido que no exceda 1 galón antes que el dispositivo de alivio cierre a condición de goteo.

Ninguna válvula de cierre u otro dispositivo que pueda prevenir venteo a través del sistema de alivio de presión debe ser instalado.

La capacidad de venteo del sistema de alivio de presión debe ser suficiente para limitar la presión interior a no más de la presión de prueba del tanque. La capacidad total de venteo debe ser al menos igual a aquella que se especifica en el Cuadro 1.2.

Bocas de carga y descarga

Las bocas de carga y descarga del tanque son aberturas en la pared del tanque usadas para ingreso o salida del producto. Estas deben estar equipadas con válvulas internas como las válvulas de parada de auto-cierre, y con válvulas extremas de parada

localizadas lo más cercanas a la pared del tanque. Esta combinación de válvulas evitara pérdida de producto en casos de emergencia. En operación normal se cerrarán en forma manual.

2.6.5.3 Requerimientos Especiales DOT 406

Los requisitos generales aplicables a todo tipo de tanques de carga de especificación DOT, están contenidas en las normas 49 CFR 178.320. Los requisitos generales para diseño y construcción aplicables a la serie de tanques DOT 400 se encontrarán en la parte 178.345. Las especificaciones para un tanque de carga DOT-406 se encontrarán en la parte 49 CFR 178.346.

La Máxima Presión admisibles de trabajo (MAWP) de cada auto-tanque no debe ser menor que 2.65 psi (18.29 kPa) y no mayor que 4 psi (27.6 kPa).

Los materiales a transportar son principalmente derivados de petróleo.

Las pruebas de presión deben realizarse usando métodos de prueba hidrostática, donde la presión debe ser la mayor de 5 psi (34.5 kPa) o 1.5 veces la MAWP.

De igual manera, los aceros que se deben utilizar para la fabricación de auto-tanques deben poder soldarse por fusión. Los posibles tipos de acero que son permitidos son:

Tabla 2.11: Aceros aprobados por la norma DOT 406

Aceros ASTM aprobados por la norma DOT
ASTM A 569
ASTM A 570
ASTM A 572
ASTM A 607
ASTM A 656
ASTM A 715

Fuente: (ASME SECCION II)

Los aceros a utilizarse en la construcción de auto-tanques de combustibles deben cumplir con los requerimientos descritos en la siguiente tabla.

Tabla 2.12: Requisitos mínimos de propiedades para aceros Norma MC 306

	Acero al Carbón	Acero de Alta resistencia de Baja Aleación	Acero Inoxidable Austenítico
Punto de Fluencia (psi)	25000	45000	25000
Esfuerzo Último UTS (psi)	45000	60000	70000
Elongación (%) (en probetas de 2 pulgadas)	20	25	30

Fuente: (ASME SECCION II)

El espesor mínimo del material a utilizarse para la construcción del auto-tanque de combustible, no debe ser menor al indicado en las tablas de las especificaciones técnicas MC 306 y DOT 406 referentes al espesor de material a utilizarse para la fabricación del auto-tanque y las para las cabezas, mamparas, rompeolas y refuerzos.

Tabla 2.13: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (MC 306)

Especificación MC 306		
CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm.	MATERIAL	ESPESOR (mm)
38 o menos	Acero al Carbono	1,897
	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	1,709
	Aleación de Aluminio	2,278
De 38 a 53	Acero al Carbono	2,278
	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	1,897
	Aleación de Aluminio	2,769
De 53 a 68	Acero al Carbono	2,657
	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	2,278
	Aleación de Aluminio	3,302
Más de 68	Acero al Carbono	3,038
	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	2,657
	Aleación de Aluminio	3,835

Fuente: (ASME SECCION II)

Tabla 2.14: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (DOT 406)

Especificación DOT 406		
CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm.	MATERIAL	ESPESOR (mm)
53 o menos	Acero al Carbono	2,54
	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	2,54
	Aleación de Aluminio	4,064
De 53 a 87	Acero al Carbono	2,921
	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	2,921
	Aleación de Aluminio	4,3942
Más de 87	Acero al Carbono	3,2766
	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	3,2766
	Aleación de Aluminio	4,7498

Fuente: (ASME SECCION II)

Tabla 2.15: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (MC 306).

	Distancia entre rompeolas mamparas deflectores o anillos de refuerzo.	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm											
		38 O MENOS			DE 38 A 53			DE 53 A 68			MÁS DE 68		
		AC	ARBA / AIA	AL	AC	ARBA / AIA	AL	AC	ARBA / AIA	AL	AC	ARBA / AIA	AL
hasta 1780 mm	hasta 914 mm	1,89	1,519	2,2	1,89	1,519	2,2	1,89	1,709	2,4	2,27	1,897	2,7
	de 914 mm a 1370 mm	1,89	1,519	2,2	1,89	1,709	2,4	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3
	de 1370 mm a 1524 mm	1,89	1,709	2,4	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8
desde 1780 mm a 2290 mm	hasta 914 mm	1,89	1,519	2,2	1,89	1,709	2,4	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3
	de 914 mm a 1370 mm	1,89	1,709	2,4	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8
	de 1370 mm a 1524 mm	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8	3,41	3,038	4,3
desde 2290 mm a 3170 mm	hasta 914 mm	1,89	1,709	2,4	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8
	de 914 mm a 1370 mm	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8	3,41	3,038	4,3
	de 1370 mm a 1524 mm	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8	3,41	3,038	4,3	3,79	3,416	4,9
desde 3170 mm o más	hasta 914 mm	2,27	1,897	2,7	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8	3,41	3,038	4,3
	de 914 mm a 1370 mm	2,65	2,278	3,3	3,03	2,657	3,8	3,41	3,038	4,3	3,79	3,416	4,9
	de 1370 mm a 1524 mm	3,03	2,657	3,8	3,41	3,038	4,3	3,79	3,416	4,9	4,17	3,797	5,4

Fuente: (ASME SECCION II)

Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (ARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL).

Tabla 2.16: Especificación DOT 406

CAPACIDAD DEL TANQUE (LITROS)	MATERIAL		
	Acero al Carbono	Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación/ Acero Inoxidable Austenítico	Aleación de Aluminio
Hasta 17000	2,540	2,540	3,835
de 17000 a 31000	2,921	2,540	4,064
de 31000 a 53000	3,277	3,277	4,394
más de 53000	3,632	3,632	4,750

Fuente: (ASME SECCION II)

2.6.5.4 Requerimientos Especiales DOT 407

Los requisitos generales aplicables a todo tipo de tanques de especificación DOT, están disponibles en las normas 49 CFR 178.320. Los requisitos generales para diseño y fabricación aplicable a los tanques de serie DOT 400 en 178.345. Se encuentra las especificaciones para un tanque de carga DOT-407 en 49 CFR 178.347.

Cada auto-tanque debe ser de sección circular y tener una MAWP de al menos 25 psi. (172.5 kPa) mínimo y 35 psi (241.3 kPa).

Los materiales a transportar pueden ser líquidos inflamables con presión de vapor moderado, Líquidos venenosos, materiales líquidos de múltiples clases de peligros.

Otro tipo de especificaciones de tanques semejantes tenemos: MC-304

Los materiales permitidos y con los que se puede construir las cabezas de un auto-tanque son:

- SS Acero inoxidable
- Al Aluminio.
- MS (acero dúctil) o HSLA (acero de alta resistencia)

Cualquier auto-tanque de esta especificación con un MAWP mayor que 35 psi (241.5 kPa) debe ser construido y certificado en concordancia con el código ASME.

Las pruebas de presión deben ser realizadas usando el método de prueba hidrostática, la presión de prueba debe ser al menos de 40 psi (276) o 1.5 veces la MAWP cualquiera que sea mayor.

2.6.5.5 Requerimientos Especiales DOT 412

Los requisitos generales aplicables a todo tipo de tanques de carga de especificación DOT, están contenidas en las normas 49 CFR 178.320. Los requisitos generales para diseño y construcción aplicables a la serie de tanques DOT 400 se encontrarán en la parte 178.345. Las especificaciones para un tanque de carga DOT-412 se encontraran en la parte 49 CFR 178.346.

- Los materiales a transportar pueden ser líquidos corrosivos, materiales líquidos de múltiples peligros.
- La máxima presión admisible de trabajo de cada tanque debe ser al menos 5 psi (34.5 kPa).
- Cada Auto-tanque tiene un MAWP mayor que 15 psi (103.5 kPa) debe ser de sección circular. Si la MAWP es mayor a 15 psi debe ser construido en concordancia con el Código de ASME.
- Las pruebas de presión deben ser realizadas usando el método de prueba hidrostática, la presión de prueba debe ser al menos 1.5 veces la MAWP.

El material de cuerpo, cabezas, baffles y otras partes están en conformidad con los aceptados por la norma ASME sección II, según (DOT 412). Los siguientes aceros que son los autorizados para la construcción de auto-tanque, según el código (DOT 412).

Tabla 2.17: Aceros autorizados para la construcción del auto-tanque (DOT 412)

DOT 412
ASTM-A-569
ASTM-A-570;
ASTM-A-572
ASTM-A-607
ASTM-A-622;
ASTM-A-656;
ASTM-A-715

Fuente: (ASME SECCION II)

2.6.6 Norma NTE INEN 2341.

2.6.6.1 Definiciones

Petróleo o crudo. Producto natural líquido o semilíquido, compuesto principalmente por hidrocarburos y otros componentes en menor proporción, tales como gas, agua, sedimentos y piedras areniscas, generalmente se encuentra en las formaciones porosas bajo tierra. Se clasifica de varias formas, entre las cuales las más generalizadas son: la naturaleza química, la densidad API, y el contenido de azufre.

La naturaleza química

El crudo por su naturaleza química se clasifica en:

- **Crudo de base aromática.** Aquel que está constituido principalmente por hidrocarburos de estructuras, aromáticas entre otras estructuras químicas.
- **Crudo de base asfáltica.** Aquel que está constituido principalmente por hidrocarburos de estructuras asfálticas entre otras estructuras químicas.
- **Crudo de base nafténica.** Aquel que está constituido principalmente por hidrocarburos de estructuras nafténicas entre otras estructuras químicas.
- **Crudo de base parafínica.** Aquel que está constituido principalmente por hidrocarburos de estructuras parafínicas entre otras estructuras químicas.
- **Por la densidad API**
- **Crudos extralivianos.** Aquellos cuya densidad API es mayor que 40.
- **Crudos livianos.** Aquellos cuya densidad API es mayor a 30 y menor o igual a 40.
- **Crudos medios.** Aquellos cuya densidad API es mayor a 22 y menor o igual a 30.
- **Crudos pesados.** Aquellos cuya densidad API es mayor a 10 y menor o igual a 22.
- **Crudos extrapesados.** Aquellos cuya densidad API es menor o igual a 10.

Por el contenido de azufre.

El crudo por su contenido de azufre se clasifica en:

- **Crudo ácido (agrio).** Aquel que contiene cantidades significativas de compuestos de azufre corrosivos.
- **Crudo dulce (no corrosivo o no ácido).** Aquel que contiene un bajo contenido de compuestos volátiles de azufre, tales como sulfuro de hidrogeno y mercaptanos.

Otras formas de crudo.

- **Crudo sintético.** Hidrocarburos líquidos preprocesados por métodos fisicoquímicos para ser utilizados como carga en las unidades de procesamiento primario.
- **Crudo mezclado.** Aquel constituido por crudos de diferentes características y composición química.
- **Crudo de referencia.** Aquel al que se le considera como tal para fines de comercialización internacional.
- **Crudo reconstituido.** Aquel al se le han añadido una o más fracciones de productos semielaborados (generalmente livianos) provenientes del mismo o de cualquier otro tipo de crudo.
- **Crudo reducido.** Fracción residual resultante de la destilación atmosférica del petróleo, del cual se han separado las fracciones livianas e intermedias.
- **Arena bituminosa.** Producto natural constituido por sólidos granulares impregnados con crudo extrapesado.
- **Exquisito bituminoso.** Producto natural constituido por rocas que contienen petróleo viscoso encapsulado y combinado químicamente.

2.6.7 Análisis de Normativas existentes en la DNH

En la DNH se encuentran registrados los vehículos utilizados para la transportación de combustibles líquidos de acuerdo a la siguiente clasificación:

Tabla 2.18: Tipo de Vehículos para Transporte de Tanques

Tipo de Vehículo	Nombre
1	Mula
2	Sencillo
3	Tráiler
4	Mula mas Remolque
5	Sencillo mas Remolque
6	Tráiler mas Remolque

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH)

De acuerdo a esta clasificación se tiene que a nivel nacional existen dos grupos generales de auto-tanques destinados para el servicio de transportación de combustibles líquidos. Basándose en las normas, al primer grupo corresponden aquellos que tienen el tanque soldado a unido por algún medio al chasis del vehículo. Al segundo grupo corresponden aquellos que su tanque es remolcado.

Del análisis de la información de la DNH, se tiene que la mayor cantidad de auto-tanques destinados al servicio de transportación hidrocarburos líquidos que circulan en el ámbito nacional es de 6000 galones de capacidad con un 33.19% del total de vehículos; siendo el total de 2404 auto-tanques; seguido de aquellos cuya capacidad es de 10000 galones con un 27.37% del total de vehículos.

Tabla 2.19: Temperaturas Máximas de Carga

Region	Combustibe	Temp. Maxima de Carga	
		°F	°C
Sierra	Gasolina 80 Octanos	67	19.44
	Gasolina 90 Octanos	74	23.33
	Diesel 1	70	21.11
	Diesel 2	70	21.11
	Fueloil	180	82.22
	Jet Fuel	71	21.66
	Asfalto	292	144.44
Costa	Gasolina 80 Octanos	90	32.22
	Gasolina 90 Octanos	93	33.88
	Diesel 1	112	44.44
	Diesel 2	112	44.44
	Fuel Oil	194	90.00
	Jet Fuel	81	27.22
	Asfalto	302	150.00
Oriente	Gasolina 80 Octanos	91	32.77
	Gasolina 90 Octanos	94	34.44
	Diesel 1	115	46.11
	Diesel 2	115	46.11
	Fueloil	196	91.11
	Jet Fuel	84	28.88
	Asfalto	308	153.33

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH)

De esta tabla se concluye que ningún hidrocarburo a nivel nacional es cargado a la temperatura de ebullición del producto, sin embargo es importante mantener una estadística de esta temperatura, con una adecuada calibración de los equipos usados para estas mediciones. De acuerdo al análisis anterior se puede determinar la aplicación de las normas.

Según la norma NFPA descrita anteriormente, cualquier hidrocarburo de nuestro país podrá ser transportado en auto-tanques que cumplan los requerimientos concernientes a combustibles cargados a temperaturas inferiores a la temperatura de ebullición.

Según el código 49 CFR especificaciones DOT, se debe determinar la máxima presión permisible y de acuerdo a estos rangos se seleccionará el código específico donde se detallan características de los tanques y ofrecen una tabla de espesores mínimos requeridos basados en análisis de presiones y análisis de cargas dinámicas en los mismos.

Las tablas de los espesores mínimos requeridos serán utilizadas para el análisis ultrasónico y para la determinación de los criterios de aceptación y rechazo.

Para los tanques que transportan asfalto, la norma NFPA es útil para determinar condiciones apropiadas de seguridad.

A nivel nacional el valor máximo de caudal durante la carga de los hidrocarburos de baja presión productos blancos como gasolina, diesel, jet fuel, es de 500 gal/min (1.87 m^3 /min) y el diámetro de la tubería de carga es de 4 plg (10.16 cm) en todos los terminales. Para la determinación de las presiones de carga es necesario acoplar un manómetro correctamente calibrado al final de la tubería de carga.

De acuerdo a lo indicado en la norma NFPA los diferentes productos transportados en nuestro país se los clasifica como hidrocarburos por tener una temperatura de ignición entre 100 °F (38 °C) y 200 °F (93.33 °C). El asfalto es un líquido combustible clase III B, el cual es calentado para que su punto de ignición cumpla con el rango anterior de temperaturas.

De acuerdo con el código CFR los hidrocarburos líquidos de nuestro país pertenecen a la clase 3 y según las temperaturas de ignición pertenecen al grupo de líquidos flamables (temperatura menor a 114 °F o 45.55 °C).

2.6.8 Disposiciones de Seguridad Industrial para Transporte, Carga y Descarga de Combustible en Auto-tanque.

El objeto de esta información es la de establecer las condiciones de seguridad que deben reunir las unidades transportadoras de combustibles y las medidas que deben tomarse durante las operaciones de carga y descarga.

2.6.8.1 Definiciones.

Arrestallamas.- Dispositivo que evita la propagación de la llama o chispa del tubo de escape hacia el exterior.

Auto-tanque.- Unidad automotriz con tanque, puede ser usada para el transporte de hidrocarburos líquidos.

Compartimento.- División interior hermética de un tanque.

Pantalla.- División no hermética de un tanque.

Linterna de seguridad.- instrumento que por las características de construcción impide que un elemento incandescente o chispa producida en su interior, tome contacto con el ambiente externo.

Extintor.- Instrumento portátil cargado con agente ignífugo, destinado a la extinción del fuego.

Agentes extintores.- Aquellos que se emplean para la extinción de incendios, tales como:

- Polvo químico seco (PQS)
- Anhídrido carbónico (CO₂)
- Agua y espuma.

Conexión a tierra.- Sistema destinado a descargar en tierra la estática que puede acumularse en los Auto-tanques y tuberías, por el movimiento brusco del líquido, por descargas atmosféricas, por falta de aislamiento eléctrico, etc.

Válvula de alivio.- dispositivo que permite eliminar el exceso de presión dentro de los tanques o tuberías.

Válvula de exceso de flujo.- Dispositivo que se cierra automáticamente cuando el caudal sobrepasa los límites previstos.

Líquido combustible.- Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación igual o mayor de 37.8 °C (100 °F).

Líquido Flamable.- Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación igual o mayor de 37.8 °C (100 °F), y una presión de vapor absoluta, que exceda de 40 psi (2.8 Kg/cm²).

2.6.8.2 Disposiciones Generales.

1. Toda unidad transportadora de combustibles, que realiza operaciones de carga y descarga en instalaciones del sistema PETROECUADOR, no deberá tener más de 10 años de fabricación.
2. Los Auto tanques deben llevar como identificaciones principales las siguientes:
 - La capacidad total del tanque en m³ o galones si se trata de hidrocarburos líquidos.
 - En la parte posterior y los costados del tanque, ocupando la parte central, se pintará el logotipo de la comercializadora.

Tamaños de Letras y Números.

Para la inscripción de los textos preventivos se utilizara como tamaño mínimo: en las partes laterales el No. 6 y en la posterior el No. 4 especificados en la norma PE-SHI-011.

Color del Tanque y de las Letras

Para auto-tanques que transporten crudo el color del tanque será blanco.

Las letras y números que deben pintarse en el tanque deberán ser de color rojo

Luces y señales Reglamentarias.

Luces de posición.- Todo vehículo debe poseer cuatro luces de posición de color amarillo (denominadas de alcance reducido), dos delanteras y dos posteriores.

Luces para iluminación.- Todo Auto-tanque debe tener en la parte delantera un sistema de faros que le provea de luz de largo y medio alcance (luz alta y baja).

Todo Auto-tanque debe contar con luces que delimiten el ancho del tanque, que comprende dos luces rojas delanteras y dos posteriores colocadas a 10 cm del borde del tanque.

Todo Auto-tanque dispondrá de dos triángulos de seguridad, que se utilizarán de acuerdo a las regulaciones de tránsito.

Se debe disponer de 4 banderas rojas, instaladas sobre cada uno de los extremos del tanque o una altura mínima de 40 cm.

Sistema Eléctrico.

Todas las instalaciones eléctricas deben estar debidamente protegidas y completamente aisladas de tal manera que el sistema sea a prueba de explosión.

Arrestallamas.

El tubo de escape debe terminar en un Arrestallamas que puede ser fijo o desmontable.

Platinas para conexión a tierra.

Las unidades de transporte de hidrocarburos, dispondrán de dos platinas de aleación bronce-zinc, soldadas al tanque, que permitan efectuar la conexión correspondiente.

Placa de Especificaciones.

Para su identificación, el tanque dispondrá de una placa en la que consta, sus principales características.

Medidas de seguridad cuando un auto-tanque se encuentra en marcha.

Se debe cumplir con la ley de tránsito vigente.

El conductor deberá verificar que el vehículo esté en condiciones aptas para ponerlo en circulación, poniendo especial atención en que el tanque, conexiones y accesorios estén libres de fugas.

La circulación de Auto-tanques se efectuara con capacidades permitidas por las autoridades de tránsito, evitando estacionarse en lugares poblados, salvo en caso de fuerza mayor, para lo cual el vehículo permanecerá bajo la vigilancia del conductor o ayudante.

En caso de que el auto-tanque se vea forzado a estacionarse en ruta, se colocaran los avisos de preocupación correspondientes (triángulo, luces de parqueo, etc.).

Se prohíbe transportar cualquier tipo de carga en la parte superior del tanque o la cabina, así como explosivos, proyectiles y otros productos incendiarios.

2.7 Parámetros de control adaptados a la Realidad Nacional.

De acuerdo con el análisis y la síntesis realizados de las normas, de las características y condiciones nacionales de los productos transportados y de los tipos de Auto-tanques que circulan en Ecuador, se determinó los parámetros de control que son necesarios conocer para proceder a la elaboración de los procedimientos.

Grupo del Auto-tanque.

El Auto-tanque debe ser de cualquiera de los dos grupos generales que se encuentran circulando dentro del país, esto es:

Si el tanque se encuentra unido al chasis o,

Si el tanque es remolcado.

Características Físicas del Auto-tanque.

Se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos.

- La capacidad volumétrica del tanque debe estar entre 3000 y 30000 gal.
- El Auto-tanque debe tener entre 1 y 6 compartimentos.
- La capacidad de cada compartimento debe ser la prescrita por el fabricante
- La longitud del compartimento debe cumplir con la especificada por el fabricante.
- Las dimensiones de la sección transversal deben cumplir con la especificada por el fabricante.
- Las válvulas de alivio deben abrir a no menos de 3 psi (20.7 kPa).
- Si un auto-tanque está provisto de venteo, este debe cumplir con:
 - Venteo de Presión - 1psi (6.9 kPa)
 - Venteo de Vacío - 6 oz (168kg)
- Un Auto-tanque con un espesor de pared menor que 3/8 pulg. debe ser circunferencialmente reforzado con anillos de refuerzo, rompe olas, espejos o alguna combinación de ellos, en adición a las cabezas del auto-tanque.
- La distancia entre refuerzos no debe exceder de 60 pulg.
- Tanto anillos de refuerzo como rompe olas y espejos no deben presentar defectos tales como abolladuras o hendiduras y defectos de soldadura, caso contrario, estos tipos de defectos deben cumplir con los criterios de aceptación establecidos por la norma API-1104.
- La soldadura tanto longitudinal como circunferencial no deben presentar defectos, caso contrario, estos defectos deben cumplir con los criterios de aceptación establecidos por las normas establecidas

Temperatura de carga.

Si la temperatura máxima de carga es menor que la temperatura de ignición del hidrocarburo se aplicará una de las especificaciones DOT 406, DOT 407, DOT 412 según corresponda.

Material del Tanque.

Todos los materiales para cuerpo, cabezas, espejos y rompe olas, pueden ser acero dulce (0.20% de Carbono), acero inoxidable o aluminio.

Los tipos de acero que están normados por ASTM para la construcción de auto-tanques por sus propiedades son los siguientes:

- ASTM A 569
- ASTM A 570
- ASTM A 572
- ASTM A 607
- ASTM A 622
- ASTM A 656
- ASTM A 715
- ASTM A 36

Aleaciones de aluminio apropiadas son las siguientes, y se encuentran en las especificaciones ASTM:

- ASTM B-209 Alloy 5052
- ASTM B-209 Alloy 5086
- ASTM B-209 Alloy 5154
- ASTM B-209 Alloy 5254
- ASTM B-209 Alloy 5454
- ASTM B-209 Alloy 5652

Presión de diseño (MAWP):

Tabla 2.20: Cuadro de la Presión Máxima Permisible.

CÓDIGO FEDERAL DE TRANSPORTACIÓN	
CÓDIGO	PRESIÓN DE DISEÑO MAWP
DOT GENERAL 406, 407,V412	Presión de vapor a 115 °F + Presión estática del producto en la máxima densidad + presión debida a gas padding La máxima presión durante la carga y descarga
DOT 406	Si MAWP está entre 2,65 y 4 psig
DOT 407	Si MAWP es de al menos 25 psig en sección circular
DOT 412	Si MAWP es de al menos 5 psig. Si MAWP mayor a 15 psig sección circular

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH)

2.8 Normativa de Pintura y Colores de Etiquetas

En la parte 172.400 del código DOT. Una tabla clasifica los materiales según la clase de peligrosidad y también podemos ver que es un líquido inflamable y en la parte 172.419, que es la específica para el material a transportar.

Se puede colocar algunas etiquetas en el tanque si es necesario con el fin de que sea fácil de identificar estos pueden ser laterales o posteriores. De igual forma si es necesario colocar algunas etiquetas para identificar bien el tanque se debe considerar una distancia mínima entre estas de 150 mm.

La etiqueta debe estar colocada sobre un lugar en donde el color contraste con la misma con el fin de que resulte fácil su identificación. No se debe permitir que la etiqueta sea cubierta por otros elementos que dificulten su visualización.

La durabilidad es muy importante y se debe tener en cuenta que no se cambien los colores de las etiquetas. En cuanto las condiciones del clima a las que va a estar expuesto el tanque, en el caso particular de un Auto-tanque de asfalto, en nuestro país pueden ser: lluvia, humedad, altas y bajas temperaturas, etc.

El diseño de la etiqueta está especificado en la parte 172.411 hasta la 172.448. Por otro lado en cuanto al tamaño del diamante que tiene la forma de la etiqueta es el siguiente:

- 100 mm por lado
- Borde entre 5 hasta 6.3 mm desde el filo

Además de cualquier otra señal requerida, cada tanque debe marcarse durablemente, por lo menos en un lugar accesible, con caracteres de inspección de 4.8 mm. Con el nombre del fabricante, fecha de fabricación, rango de temperaturas y peso máximo del producto o capacidad volumétrica.

2.8.1 Colores de las Etiquetas

El color del símbolo, texto y número de ser rojo, a menos que el fondo sea verde, rojo o azul, estos deben ser de color blanco. El blanco debe ser utilizado en etiquetas para materiales corrosivos .se debe realizar una prueba de color durante 72 horas para comprobar que este no cambie de tono drásticamente.

El color de la etiqueta debe pasar un sencillo examen visual, comparándolo con un patrón de colores.

2.8.1.1 Etiqueta para Líquido Inflamable (DOT 172.419)

La etiqueta para el asfalto, material para el cual está dirigido el diseño es la presentada



Figura 2.12: Etiqueta para Líquidos Inflamables DOT
Fuente: (Wikipedia, 2013)

2.9 Requisitos de Control según Petroecuador

Las siguientes disposiciones de seguridad según la máxima autoridad, con respecto a hidrocarburos en el Ecuador, son las nombradas a continuación, y tener en cuenta en el diseño del Auto-tanque.

- El tanque debe llevar identificaciones principales: Capacidad en barriles para el transporte de crudo en la parte de carga.



Figura 2.13: Capacidad de Llenado del Tanque
Fuente: Propia

- Todo tanque debe llevar la inscripción “PELIGRO INFLAMABLE” en la parte lateral izquierda y derecha. El tamaño mínimo de las letras laterales del tanque debe ser el No. 6 (L=21 cm, A=2 cm, E=3 cm) y para la parte posterior No.4 (L=7 cm, A=1 cm, E=1 cm), según la norma CEPE SI – 011 (Tamaños de Letras y Números).

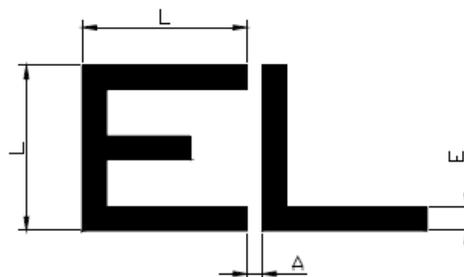


Figura 2.14: Tamaño de Letras
Fuente: (Wikipedia, 2013)

- El color del tanque para transportar crudo es blanco de seguridad, Código No. 18 de acuerdo a la norma CEPE SI – 010 (Colores Patrones para el uso de Petroecuador).

En cuanto al sistema de luces y señales reglamentarias el Auto-tanque debe tener las siguientes:

- Luces de posición: el vehículo debe tener luces delanteras y posteriores de posición de color amarillo (de alcance reducido).
- Debe tener luces delimitadoras del ancho del tanque compuestas por dos luces rojas delanteras y dos posteriores a 10 cm del borde del tanque.
- El tanquero debe poseer triángulos de seguridad.
- El tanque dispondrá de cuatro banderolas rojas, instaladas sobre cada uno de los extremos del tanque.

El sistema eléctrico del tanque, es una parte muy importante del Auto-tanque, este puede causar grandes problemas si fallara, por lo tanto la consideración principal es que las instalaciones eléctricas deben estar debidamente protegidas con tubería rígida y completamente aislados de cualquier contacto.

El Auto-tanque debe estar provisto de dos extintores de polvo químico seco “Tipo ABC” de 5 a 10 kg de capacidad, certificados y debidamente instalados.

El tubo de escape debe terminar en un Arrestallamas que puede ser fijo o desmontable.

El tanque debe contar con una vara de aleación Bronce-Zinc, que permitan efectuar la conexión correspondiente a tierra durante la carga.

2.10 Análisis de Mercado

El estudio de mercado es una técnica que permite recopilar datos, de cualquier aspecto que se desee conocer para, posteriormente, interpretarlos y hacer uso de ellos. (KOTLER P. , 2001).

En este caso se realizó el análisis de mercado destinado a la necesidad de las empresas petroleras para transportar crudo. Como se puede observar en los datos recopilados del sector hidrocarburiífero se observa un alza en la producción de crudo con la cual las empresas como NOROCCIDENTAL tienen que ampliar su flota de tanques para poder cumplir con las necesidades requeridas

Capítulo III

3. Determinación de las Especificaciones del Tanque

3.1 Diseño Concurrente

Una de las actividades más apasionantes, y a menudo más complejas, en el ámbito de la ingeniería es el proceso de creación y desarrollo de un producto o una máquina a partir de unas funciones y de unas prestaciones previamente especificadas.

Constituye una materia pluridisciplinaria que incluye, entre otras, la teoría de máquinas y mecanismos, el cálculo y la simulación, las soluciones constructivas, los accionamientos y su control, la aplicación de materiales, las tecnologías de fabricación, las técnicas de representación, la ergonomía, la seguridad o la reciclabilidad, que se integran en la forma de un proyecto.

En los últimos años se ha ido desarrollando una nueva forma de entender la ingeniería en la que el diseño acumula cada vez mayores responsabilidades. En efecto, esta nueva visión propugna que una correcta definición y concepción global de los sistemas o máquinas debe tener en cuenta tanto los requerimientos de su ciclo de vida como la gama de productos fabricada por la empresa o sector, lo que constituye la mejor garantía para su correcto funcionamiento y su acierto comercial.

Esta nueva perspectiva toma el nombre de ingeniería concurrente y se apoya en nuevos métodos (diseño para la fabricación y el montaje, DFMA; para la calidad, DFQ; para el entorno, DFE), nuevas herramientas basadas en las tecnologías de la información y de la comunicación (herramientas asistidas por ordenador: diseño CAD, ingeniería CAE; fabricación CAM; herramientas integradoras: PDM, redes locales, Internet) y nuevas formas organizativas (equipos pluridisciplinarios, jefe de proyecto, organización matricial, o por líneas de proyecto), muchas de las cuales son objeto de atención en el texto. No se debe olvidar que la concepción de productos y servicios continúa siendo esencialmente una tarea humana y punto de encuentro entre la técnica, la ciencia y las humanidades.

3.2 Definición y Diseño conceptual

3.2.1 Análisis Funcional

3.2.1.1 Definición de Estructura Funcional

Con el propósito de describir y resolver los problemas de diseño, es útil aplicar el concepto de función, que es cualquier transformación (en el sentido de realización de una tarea) entre unos flujos de entrada y de salida, tanto si se trata de funciones estáticas (invariables en el tiempo) como de funciones dinámicas (que cambian con el tiempo). La función es, pues, una formulación abstracta de una tarea, independientemente de la solución particular que la materializa.

La función global representa la tarea global que debe realizar el producto que se va a diseñar y se establece como una caja negra que relaciona los flujos de entrada y los de salida. Sin embargo, esta presentación es muy esquemática y, para obtener una representación más precisa, hay que dividir la función global en subfunciones (correspondientes a subtareas) y a la vez, establecer las relaciones de flujos entre estas subfunciones.

La representación del conjunto de subfunciones con las entradas y salidas así como las interrelaciones de flujos entre ellas se denomina estructura funcional.

Simbología

Para facilitar la representación de las funciones y de los flujos en la estructura funcional de un producto o sistema, es conveniente disponer de símbolos adecuados cuya utilización sea lo suficientemente flexible.

Los símbolos utilizados son los siguientes:

- Función: Rectángulo de línea continúa
- Flujo de material y dirección: Flecha gruesa línea continua
- Flujo de energía y dirección: Flecha de línea continua
- Flujo de señal y dirección: Flecha de línea discontinua
- Sistema, subsistema, módulo: Polígono de línea de punto

3.2.1.2 Desarrollo y Análisis de Diagramas funcionales.



Figura 3.1: Función Global Análisis Funcional
Elaboración: Propia

Se ha realizado el análisis funcional hasta el nivel 2 puesto que, en este caso, es suficiente el nivel 2 para obtener todas las soluciones que se necesitan para el sistema.

El nivel 0 constituye la función primaria del proyecto, que en este caso es transportar crudo, para lo cual se necesitan materiales energía y señales de control generadas por operarios.

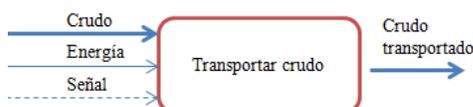


Figura 3.2: Análisis Funcional Nivel 0
Elaboración: Propia

En el nivel 1 se observa las 3 funciones principales que realiza el proyecto, que son: cargar, transportar y descargar el crudo transportado, se las observa en el diagrama de una manera general.

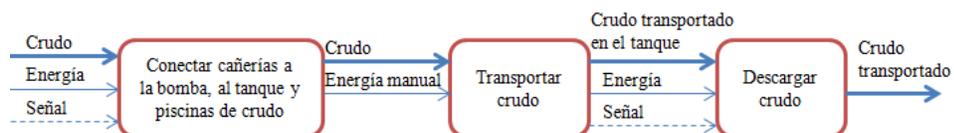


Figura 3.3: Análisis Funcional Nivel 1
Elaboración: Propia

El nivel 2 se realiza el desglose de las funciones que, en el nivel 2 se pusieron generalizadas y que son necesarias para el desarrollo funcional del sistema y se puede observar también en qué momento se utiliza energía manual o eléctrica en el caso de la bomba.

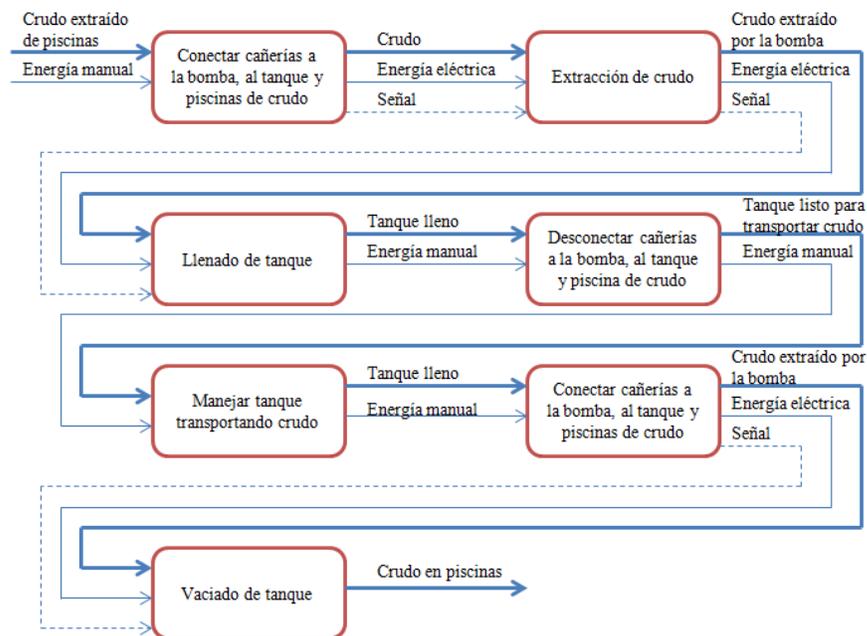


Figura 3.4: Análisis Funcional Nivel 2
Elaboración: Propia

3.2.2 Definición de Módulos.

En la modularidad se divide el producto en varios bloques funcionales o constructivos. El diseño modular en el diseño ayuda en varios aspectos como la reducción de costos, facilidad de mantenimiento, facilidad de producción, entre otras.

Para el proceso de trasportación de crudo se cumplen diversas funciones, por lo cual resulta conveniente realizar una división modular.

Al desarrollar el diagrama de funciones se pueden establecer 3 procesos principales:

- Llenar el tanque.

- Transportar crudo
- Vaciar el tanque

Esta división se la ha realizado por la independencia con la que se realizan las 3 actividades dentro del proceso de transportar el crudo.

3.2.2.1 División Modular.

Como se explicó anteriormente el proyecto se dividió en tres módulos.

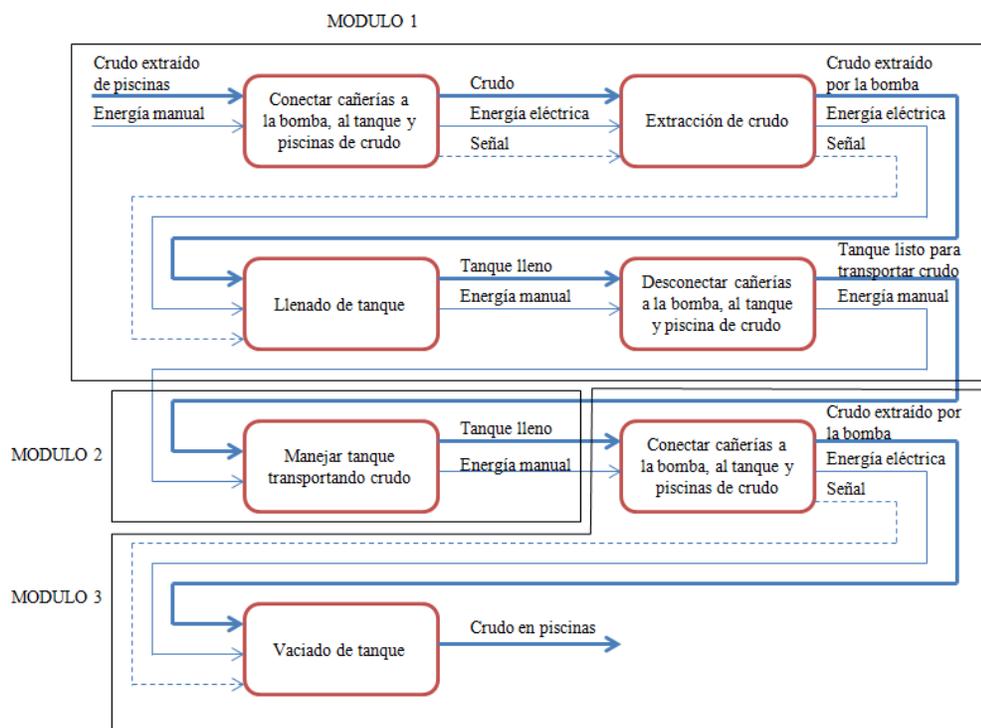


Figura 3.5: División Modular
Elaboración: Propia

3.2.2.2 Soluciones para cada Módulo

3.2.2.2.1 Módulo I

Este módulo comprende las siguientes funciones:

- Conectar mangueras entre la bomba y el tanque.
- Llenar el tanque.

Dado que, la bomba que succiona el crudo para llenar el tanque es externa, y va a ser la misma para todos los tanques de la empresa Noroccidental las mangueras ni los

ductos no representan un problema de diseño ya que se rigen a la normativa de construcción.

3.2.2.2.2 Módulo 2.

Este módulo comprende la función de transportar el crudo en el tanque a continuación se establecen soluciones para la construcción del tanque:

Cuerpo del Tanque

Dado que, el diseño del proyecto es para un tanque de transporte y no de almacenamiento la alternativa de diseñar un tanque vertical es nula, ya que, las fuerzas a las que el tanque se ve afectado en el proceso de transportación disminuirían la seguridad, esto se detalla en la Norma API 650 para tanques de almacenamiento.

Las alternativas de solución para el cuerpo del tanque son las siguientes:

Alternativa A

Tanque esférico

Las esferas se construyen en gajos utilizando chapas de acero. Se sostienen mediante columnas que deben ser calculadas para soportar el peso de la esfera durante la prueba hidráulica (pandeo).

Al igual que en los cigarrros, todas las soldaduras deben ser radiografiadas para descartar fisuras internas que se pudieran haber producido durante el montaje.

Cuentan con una escalera para acceder a la parte superior para el mantenimiento de las válvulas de seguridad, aparatos de telemedición, etc. (UBA)

Ventajas

- Mayor capacidad de transportación.
- Puede transportar varios tipos de fluidos.

Desventajas

- Costo elevado

- Complejidad en el diseño
- Posee más accesorios de seguridad

Alternativa B

Tanque horizontal

Los recipientes horizontales (cigarros) se emplean hasta un determinado volumen de capacidad. Para recipientes mayores, se utilizan las esferas. (UBA)

Ventajas

- Muy buena acogida en el mercado
- El momento de inercia del tanque se ubica más cerca de la superficie del suelo
- Excelente estabilidad.
- Puede transportar varios tipos de fluidos
- Facilidad de diseño

Desventajas

- Se emplean hasta un determinado volumen de capacidad
- Por su diseño tiene más concentración de esfuerzos en las soldaduras del cuerpo del tanque.

Tapas del tanque.

Alternativa 1

Tapas Planas

Se utilizan para recipientes sujetos a presión atmosférica, generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo. Se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones. (LEZAMA, 2013)

Ventajas

- Bajo costo

- Facilidad de diseño y construcción.

Desventajas

- No son muy utilizadas para recipientes a presión
- Poca acogida del mercado
- La capacidad volumétrica es nula.

Alternativa 2

Tapas Toriesféricas.

Son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es que el radio del abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 mts. (11.8 - 236.22 pulgs.). (LEZAMA, 2013)

Ventajas

- El radio del abombado es aproximadamente igual al diámetro.
- Bajo costo
- Soporta presiones bajas
- Genera menor concentración de esfuerzos que otro tipos de tapas
- Diseño bajo Norma ASME VIII

Desventajas

- Capacidad volumétrica baja
- Posibilidad de fabricación únicamente con aceros de baja resistencia a la tensión, menos de 700000 psi

Alternativa 3

Tapas Semiélicas:

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semiélicas soportan mayores presiones que las toriesféricas. El

proceso de fabricación de estas tapas es troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto.

Ventajas

- Soportan mayores presiones
- Se puede trabajar en frío o caliente.

Desventajas

- Costo elevado.
- Dificultad de diseño.

Alternativa 4

Tapas Cónicas:

Se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límites en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana.

Ventajas

- No tiene límites en cuanto a su diseño.

Desventajas

- No es muy aceptado en el mercado.
- Falta de estética.

3.2.2.3 Análisis de Alternativas

El análisis se lo ha realizado en base a los requerimientos del proyecto como ya se conoce es un tanque para transportar crudo de 80 BLS.

Tanque.

Alternativa 1

El costo de fabricación del tanque esférico es elevado en comparación a un tanque de forma cilíndrica.

En cuestión de esfuerzos de los materiales esta alternativa sufre menos esfuerzos en las soldaduras y en todo su cuerpo.

Desde el punto de vista de diseño es innecesario diseñar un tanque de estas condiciones por el volumen que se quiere transportar, derivado de esto se puede concluir que así como el diseño, también la construcción y los accesorios extras de seguridad en este caso se vuelven innecesarios.

Alternativa 2

El costo del tanque cilíndrico es menor en comparación a un tanque esférico, desde el punto de vista de diseño es más fácil su desarrollo y su construcción ya que es mucho más sencilla en comparación a un tanque esférico.

Tapas

Para el análisis de las tapas es importante observar gráficos y cuadros comparativos de los diferentes tipos de tapas que existen en el mercado.

En el siguiente gráfico comparativo se muestran relaciones entre los diferentes perfiles geométricos de tres tipos de tapas, los mismos que proporcionan información acerca de su correspondiente forma y diseño.

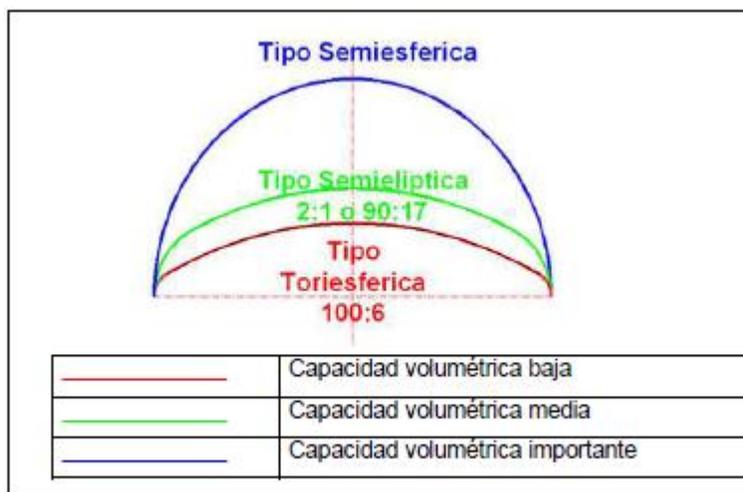


Figura 3.6: Esquema de Comparación de Tipos de Tapas

Fuente: www.trinitymexico.com

La siguiente gráfica muestra un estudio comparativo entre las formas geométricas de las tapas y la correspondiente presión que estas pueden soportar, adicionalmente la relación directa existente con el diámetro de las mismas.

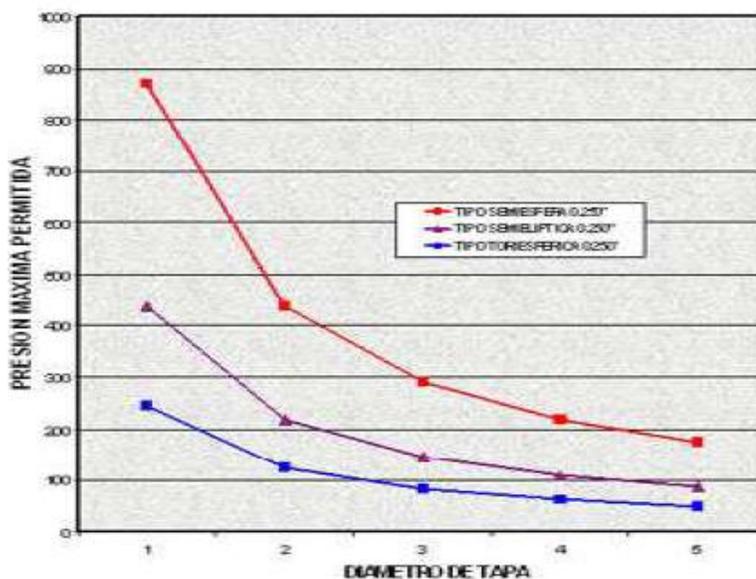


Figura 3.7: Comparación de Presiones Máximas Permitidas por Tipo de Tapa en Diferentes Diámetros.

Fuente: www.trinitymexico.com

Ahora, la última gráfica comparativa, relaciona la forma geométrica que posee cada tapa con la capacidad volumétrica que cada una de estas puede ofrecer.

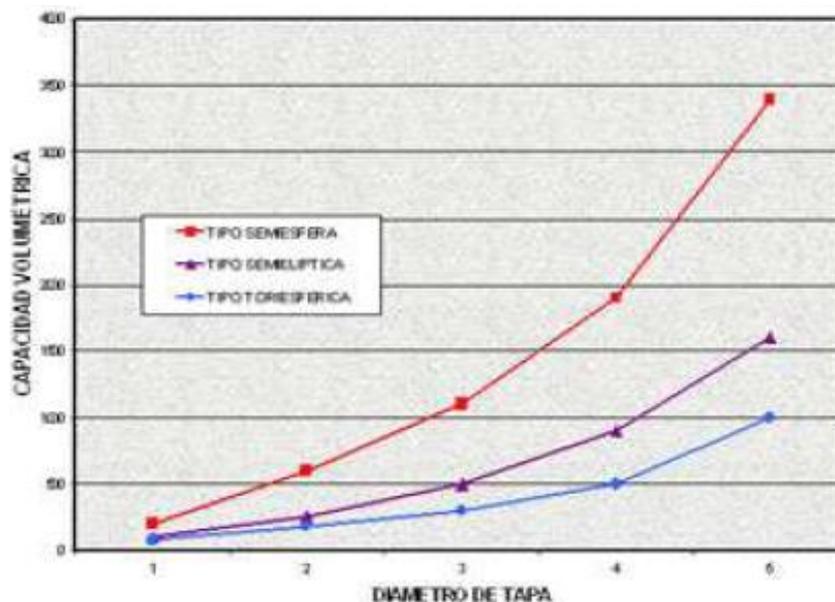


Figura 3.8: Comparación de Capacidad Volumétrica por Tipo de Tapa en Diferentes Diámetros.

Fuente: www.trinitymexico.com

3.2.2.4 Cuadro de Ponderaciones

Para realizar el cuadro de comparaciones se han enlistado las características principales para el diseño como se detalla a continuación.

Finalmente, para determinar el puntaje máximo se ha sumado los valores que corresponden a la primera columna, dando como resultado 54 puntos, siendo este el valor la máxima calificación que puede obtener cualquiera de las alternativas.

- **Costo:** Factor evaluado sobre 10 puntos puesto que se trata del ítem más importante a considerar en el diseño y posterior comercialización del mismo
- **Facilidad de desempeño:** Factor evaluado sobre 9 puntos, puesto que este factor indica la facilidad que ofrece el diseño seleccionado para ser construido en el mercado nacional.
- **Facilidad de montaje:** Factor evaluado sobre 8 puntos, el mismo que evalúa la facilidad de acople de los diferentes elementos del tanque.

- **Mantenimiento:** Factor evaluado sobre 9 puntos, para la facilidad del operador en el momento de brindar el mantenimiento a la unidad.
- **Seguridad:** Factor evaluado sobre 9 puntos, el mismo que es considerado como prioridad ya que de este depende que el almacenamiento y transporte de los hidrocarburos líquidos hacia su destino final, se lo haga de una manera en la que no se ponga en riesgo vidas humanas o que involucren daños ambientales.
- **Fabricación:** Factor evaluado sobre 10 puntos, determina la posibilidad de fabricar el tanque en nuestro medio.

Cuerpo del Tanque

Tabla 3.1: Cuadro de Ponderación Tanque

Características	IMPORTANCIA	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	10	7	9
Facilidad de diseño	9	8	9
Facilidad de montaje	8	6	7
Mantenimiento	9	7	7
Seguridad	9	8	7
Fabricación	9	7	9
TOTAL	54	42	48

Elaboración: Propia

Tapas

Tabla 3.2: Cuadro de Ponderación Tapas

Características	IMPORTANCIA	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
Costo	10	8	6	7	5
Facilidad de diseño	9	8	7	5	6
Facilidad de montaje	8	7	6	4	4
Mantenimiento	9	6	8	8	6
Seguridad	9	5	7	8	8
Fabricación	9	3	8	7	4
TOTAL	54	37	42	39	33

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

3.2.2.5 Selección

Después del análisis realizado, según normas detalladas en capítulos anteriores se puede definir el diseño que se va a realizar para la construcción del tanque.

Dado que el proyecto está definido para un tanque de 80 BLS o 13000 galones, se ha estimado conveniente tomar el diseño de un tanque horizontal en la forma de cigarro con tapas toriesféricas.

3.3 La Casa de la Calidad

El desarrollo de la función de calidad QFD (quality function deployment) es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de un producto o servicio, se han considerado las necesidades y requerimientos de los usuarios (o, la voz del usuario), a la vez que también constituye una herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida. Consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y de la fabricación.

3.3.1 Voz del Usuario.

De acuerdo a los requerimientos del usuario el tanque debe contar con las siguientes características

- Fabricación de acuerdo a Normas
- Pintura de acuerdo a Normas
- Buen acabado superficial
- Bajo costo de mantenimiento
- Fácil llenado y vaciado
- Requerir pocos operarios
- Indicadores de Seguridad
- Rieles y escaleras
- Fácil operación
- Rapidez de operación

3.3.2 Voz del Ingeniero.

Después de conocer los requerimientos de los usuarios, se procede a traducirlos a especificaciones técnicas:

- Corrosión
- Color ASTM D-500
- Norma MTOP, para dimensiones
- Norma DOT 412 para especificaciones de materiales
- Bajo costo de mantenimiento
- Requerir pocos operarios
- Norma API 2554, medición y calibración.
- Inducciones técnicas

3.3.3 Resultados.

La casa de la calidad brindo valiosa información con respecto a los requerimientos del cliente, para culminar el proyecto con un alto índice de satisfacción del usuario, el tanque debe poseer los siguientes requerimientos técnicos:

- Normas de construcción, se seguirán las normas INEN así como las del código ASME.
- Normas de pintura, se regirá a la norma INEN 439 y 440 de colores y etiquetas para tanques bajo presión.
- Bajo costo de mantenimiento, que en este caso la misma empresa es la que proporciona el mantenimiento de los tanques, previamente a la entrega del tanque terminado se le realiza una inspección para verificar la correcta construcción del tanque (soldaduras, espejos, refuerzos, tapas, etc.).
- La rapidez de llenado y vaciado estará dada por la bomba que se utilice para dicho fin.

Capítulo IV

4. Diseño Estructural del Tanque Seleccionado

4.1 Generalidades

Se realizó el análisis en capítulos anteriores sobre las normas y reglamentos que rigen sobre el diseño de Auto-tanques para el traslado de materiales peligrosos, y sobre la base de una alternativa escogida, el presente capítulo ofrece una aplicación práctica y simplificada de las normas para diseñar un Auto-tanque escogido.

El diseño que se presenta a continuación, se realizará para un Auto-tanque cilíndrico circular con tapas toriesféricas para una capacidad de 30000 Litros, y transportará crudo.

4.2 Diseño del Auto-Tanque según Código DOT

El código DOT regula el diseño general de la propuesta seleccionada, así como también los elementos estructurales, el cálculo de fuerzas y la manipulación y transportación de combustibles como el crudo en la alternativa seleccionada.

4.2.1 Material a Transportar (Crudo)

El crudo a transportar puede ser provisto por las empresas nacionales e internacionales que operan en el país. El crudo de los pozos petroleros de Ecuador tiene un nivel alto de densidad, sus características se muestran a continuación.

Tabla 4.1: Especificaciones Generales de un Crudo

PROPIEDADES	U. MEDIDA	VALOR
Gravedad API	°API	30
Gravedad Especifica		0.876
Azufre	Peso	1.01
Nitrógeno	Peso	0.22
Punto de Anilina	°F	164
Viscosidad Cinemática	cSt	11.21
Contenido de Sal	Ib/MBls	9
Densidad	Kg/m³	950

Fuente: (Villareal Ger, 2011, pág. 13)

Tabla 4.2: Características físicas y químicas

Pruebas	Unidades	especificaciones
Destilación 90%	°C	360 máximo
Densidad a 15,0 °C	kg/m ³	-
Gravedad API a 15,6 °C		-
Color ASTM		3 máximo
Temperatura de inflamación	°C	52 mínimo
Temperatura de escurrimiento	°C	5 máximo
Agua y sedimento	% v/v	0,05 máximo
Residuo de carbón Conradson	% m/m	0,35 máximo
Azufre	% m/m máximo	0,5 máximo
Corrosión 3 h, a 50 °C		Stad. 2
Índice de cetano		45 mínimo
Viscosidad a 40 °C	CSt	1,90/5,0
Ceniza	% m/m	0,01 máximo

Fuente: (Ministerio de Economía Industria y Comercio, 1997)

4.3 Requisitos de Material

La norma 49 CFR, indica los medios de transporte permitidos según el material a transportar que para este caso son líquidos inflamables a baja presión de vapor, principalmente productos de petróleo. (Norma 49 CFR)

Los únicos medios de transporte autorizados para trasladar este material (líquidos inflamables), en lo que concierne a Auto-tanques son:

MC 306/DOT

Uso:

Líquidos inflamables/baja presión de vapor- principalmente productos de petróleo (ej. Gasolina, combustible)

Especificaciones de tanques semejantes:

MC-300, MC-301, MC-302, MC-303, MC-305, NFPA385; Auto-tanques DOT 406, 407, 412.

Diseño de Presión

3-5 PSI construcción ASME

Sistema de Ventilación

10 pulgada-resorte espiral ajustado en 5 PSI con tapones fundibles si es necesario.

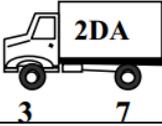
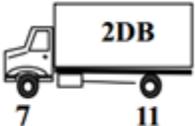
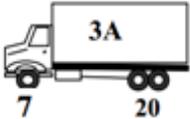
La presión del trabajo en el tanque es atmosférica, por lo tanto el diseño más óptimo se lo realiza mediante el código DOT 412. (SUPERIOR (Steel Products, Inc.))

4.3.1 Requisitos Dimensionales

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, las dimensiones del tanque deben cumplir el Decreto Ejecutivo No. 1137 del 19 de abril del 2012, y al Acuerdo Ministerial No. 036 de fecha 18 de mayo del 2012 (Tabla 4.3)

Mediante el estudio realizado se obtuvo, que, el Auto-tanque a construir es el camión de 3 ejes con tándem posterior, para el cual según las normativas del Ministerio de transporte y Obras Públicas es el de tipo 3-A.

Tabla 4.3: Cuadro Demostrativo de Pesos y Dimensiones Máximas Permitidas

TIPO	Distribución máxima de carga por eje	DESCRIPCION	Peso Máximo Permitido (Toneladas)	LONGITUDES MAXIMAS PERMITIDAS (METROS)		
				Largo	Ancho	Alto
2DA		Camión de 2 ejes medianos	10	7,50	2,60	3,50
2DB		Camión de 2 ejes grandes	18	12,00	2,60	4,10
3-A		Camión de 3 ejes (Tandem Posterior)	27	12,20	2,60	4,10

Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Publicas)

Las dimensiones generales del Auto-tanque son:

- Ancho 2.3 metros
- Altura 3.1 metros
- Longitud del tanque 7.3 metros

El peso del Auto-tanque, está definido por los siguientes pesos: El peso del camión, del tanque vacío y de la carga.

4.3.2 Requisitos Estructurales

El código DOT, en la parte 178.345-3 detalla las especificaciones de fabricación y prueba de contenedores y almacenamientos usados para el transporte de materiales peligrosos, también especifican los requerimientos técnicos para el diseño del Auto-tanque.

El diseño estructural de los demás elementos, se realiza por esfuerzos generados de las cargas estáticas y dinámicas, o sus combinaciones las cuales no están distribuidas

uniformemente a lo largo del Auto-tanque. Las cargas de operación vertical, longitudinal y lateral, actúan de forma simultánea y se combinan. Mientras que las cargas extremas dinámicas ocurren de forma separada y no necesitan combinarse.

4.3.3 Requisitos de Accesorios

El diseño, construcción e instalación de los accesorios, elementos adicionales, etc. deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Los accesorios del tanque que van colocados en la pared del mismo deben ser construidos con materiales de menor espesor, con un máximo del 72 % de espesor del material de pared, para que en el caso de accidentes los accesorios no afecten a la integridad del tanque.

Otros accesorios necesitan refuerzos para ser instalados, los mismos que deben cumplir con:

El espesor de los refuerzos no debe ser menor al del cuerpo o la cabeza, y no mayor a 1.5 veces el espesor de los mismos. Sin embargo un refuerzo con un espesor mínimo de 0.187 pulgadas debe ser usado cuando el espesor de la cabeza o del cuerpo es mayor a 0.187 pulgadas.

Si se utilizan orificios de alivio o drenaje en los refuerzos, este debe ser taladrado o punzonado en el punto más bajo antes de realizar la soldadura. Cada refuerzo debe:

- Extenderse 2 pulgadas por todas las direcciones desde cualquier punto del accesorio.
- Tener las esquinas redondeadas, o cualquier otra forma de reducir las concentraciones de esfuerzos en el cuerpo o las cabezas.
- Ser unido mediante una suelda continua alrededor del esfuerzo excepto por un pequeño hueco para el drenaje en la parte baja.

4.3.4 Protección Contra Accidentes

El auto-tanque debe ser diseñado y construido según los requerimientos de esta sección para reducir el impacto en caso de accidentes

- Debe ser diseñado con el 25% más que todos los elementos diseñados del Auto-tanque.
- Las válvulas, salidas, cierres, tuberías, o cualquier otro elemento que conforme el Auto-tanque, en el caso de un accidente no deben causar la pérdida de la carga.

4.3.4.1 Presión.

Los equipos que utilizan presión deben tener un sistema de auto-cierre, para prevenir el colapso debido a la presión o la ruptura del tanque en condiciones normales de funcionamiento.

El control de vacío no es necesario del material si la presión es de 100 kPa o menos, o si la presión del tanque disminuye más de un 10% de la presión de diseño del tanque.

4.3.4.2 Cierres.

En funcionamiento regular todas las aberturas deben estar cerradas para evitar fugas en un posible accidente por vuelco, exceptuando las aberturas permanentes utilizadas. Se debe diseñar los cierres y se debe construir para resistir, sin exceder el límite elástico del tanque, dos veces la carga estática producidas por el material en cualquier orientación del tanque y a las temperaturas absolutas de operación.

4.4 Cargas.

Las cargas que se van a tomar en cuenta en el diseño del Auto-tanque, considerando que el fluido se transporta a presión atmosférica son las siguientes

- La presión hidrostática, que ejerce el fluido sobre el tanque.
- Cargas por el peso del fluido.
- Cargas por el viento.
- Cargas por aceleración y frenado.
- Cargas contra riesgo de accidentes según DOT.
- Cargas generadas por el movimiento del fluido en el transporte.

Estas cargas serán encontradas mediante cálculos y simuladas con ayuda del software SOLIDWORKS, para validar el diseño.

4.4.1 Cargas por Viento

Las cargas por el viento para el diseño son dos:

- La carga que recibe frontalmente

Esta carga puede ser despreciada por la aerodinámica de la cabina del camión, que va a romper la presión del viento contra el tanque

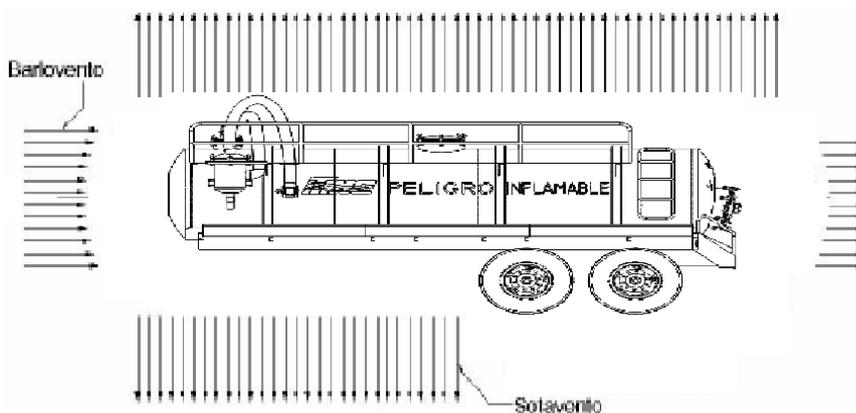


Figura 4.1: Esquema Sotavento y Barlovento Caso 1

Elaboración: Propia

Carga que recibe lateralmente

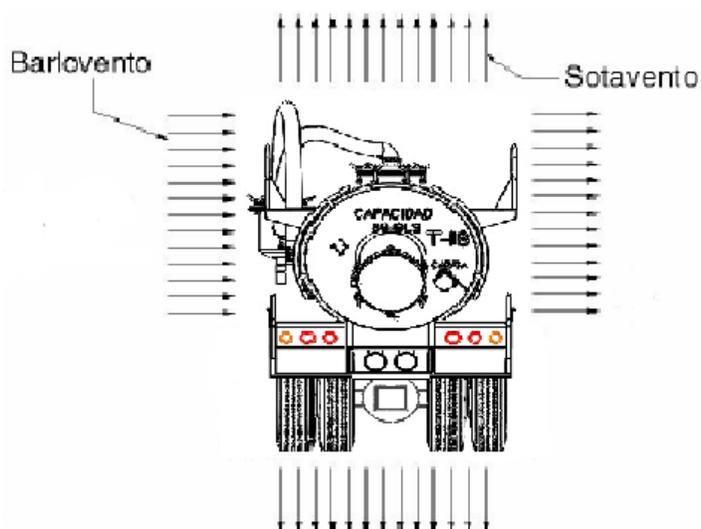


Figura 4.2: Esquema Sotavento y Barlovento Caso 2.

Elaboración: Propia

Para realizar el diseño óptimo, el código (ASCE), recomienda que el valor medio de velocidad de viento para diseño sea 110 MPH.

La presión del aire es generada por la fuerza estática y se la calcula mediante la fórmula:

$$F = q * G * Cf * Af \quad [\text{Ec. 4.1}]$$

Dónde:

q = Velocidad de presión del aire (MPH)

G = Factor de efecto por ráfaga

Cf = Coeficiente de fuerza, factor entre 0,7 y 0,9

Af = Área proyectada expuesta al viento (m^2)

Según el código (ASCE), los factores de cálculo para el diseño del auto-tanque son::

- Para los casos el factor de efecto por ráfaga (G) es 0.85.
- El coeficiente de fuerza (Cf) para cilindros 0.8,.

La velocidad de la presión del viento se calcula mediante la fórmula:

$$q = 0.00256 * kz * kzt * I * Vv^2 \quad [\text{Ec. 4.2}]$$

Dónde:

q = Presión del viento (lb/pie^2)

kz = Coeficiente de exposición por presión dinámica.

kzt = Factor Topográfico

I = Factor de importancia

Vv = Velocidad del viento (MPH)

Para los dos casos no se tiene un requerimiento topográfico por lo tanto $kzt=1$. El de importancia está en la tabla 4.5, mediante la tabla 4.4 se encuentra que la clasificación de diseño a construir es IV, y por lo tanto con la tabla 4.5, el factor de importancia es $I=1.15$.

Tabla 4.4: Clasificación de Edificios y Otras Estructuras para Cargas de Viento

Características de Ocupación	Categoría
Edificios y otras estructuras que representan un bajo peligro para la vida humana en el evento de falla incluyendo, pero sin limitarse a: <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones Agrícolas • Ciertas instalaciones temporales • Instalaciones de almacén menores 	I
Todos los edificios y estructuras no contempladas en las Categorías I, III, IV.	II
Edificios y otras estructuras que representan un peligro considerable para la vida humana en el evento de falla incluyendo, pero sin limitarse a: <ul style="list-style-type: none"> • Edificios y otras estructuras donde se reúnen más de 300 personas en un área • Edificios y otras estructuras con escuelas primarias, secundarias, o guarderías con capacidad para 150 personas o más. • Edificios y otras estructuras para centros de educación superior con capacidad para 500 personas o más. Edificios y otras estructuras que contengan suficientes cantidades de sustancias tóxicas, explosivas o similares para el ser humano en caso de ser expuestas al medio ambiente debido a una falla incluyendo, pero sin limitarse a: <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones petroquímicas • Instalaciones de almacenamiento de combustible • Instalaciones para la manufactura o almacenaje de químicos peligrosos • Instalaciones para la manufactura o almacenaje de explosivos 	III
Edificios y otras estructuras consideradas como instalaciones esenciales incluyendo, pero sin limitarse a: <ul style="list-style-type: none"> • Hospitales o instalaciones quirúrgicas y de urgencia • Estaciones de policía, bomberos y rescate y estacionamientos para vehículos de emergencia • Centros de comunicación y otras instalaciones necesarias para asistir a la comunidad en casos de emergencia • Estructuras necesarias para la operación listadas en la categoría IV (torres de comunicación, tanques de almacenaje de combustible, torres de enfriamiento, subestaciones eléctricas) • Edificios y otras estructuras críticas para la defensa nacional 	IV

Fuente: (ASCE)

Tabla 4.5: Factor de importancia, I

Categoría	Factor de Importancia
I	0.87
II	1.00
III	1.15
IV	1.15

Fuente: (ASCE)

El factor de exposición está en la tabla 6.3 (ASCE), mediante la altura del tanque $H=3.1$ (m), y con la ayuda de la exposición que para nuestro caso es D, que indica la exposición en sitios abiertos, aplicable para los requerimientos de un auto-tanque, el factor $kz=1.03$.

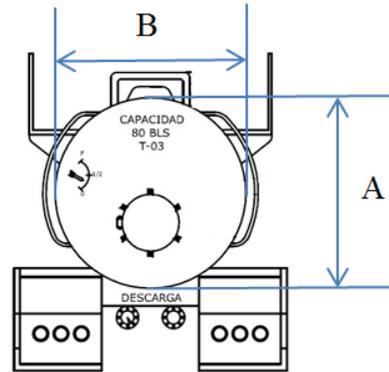


Figura 4.3: Sección del Tanque para el Caso 1.

Elaboración: Propia

Área proyectada en el tanque:

A y B son las medidas del cilindro (alto y ancho) para determinar el área expuesta en el caso 1 (4.4.1 Cargas por Viento), de tener una ráfaga de viento en la parte posterior del auto-tanque.

$$A_f = \pi * \frac{A}{2} * \frac{B}{2} * (2.644)^2 \quad [\text{Ec. 4.3}]$$

$$A_f = \pi * \frac{5.287}{2} * \frac{5.287}{2} * (2.644)^2$$

$$A_f = 43.907(\text{pies})^2$$

Presión de la velocidad del viento:

$$V_v = 110 \text{ (mph)}$$

$$I = 1.15$$

$$K_z = 1.03$$

$$K_{zt} = 1$$

$$q = 0.00256 * K_z * K_{zt} * I * V_v^2 \quad [\text{Ec. 4.4}]$$

$$q = 31.905 \left(\frac{\text{lb}}{\text{pie}^2} \right)$$

Fuerza ejercida por el viento:

$$G = 0.8$$

$$C_f = 0.85$$

$$F = q * G * C_f * A_f$$

$$F = 31.905 * 0.8 * 0.85 * 43.907$$

$$F_{v1} = 952.58 \text{ lb}$$

$$F_{v1} = 432.1 \text{ Kg}$$

$$F_{v1} = 4209,37 \text{ N}$$

Para el caso 2 el cálculo de la presión y fuerza ejercida por el viento es:

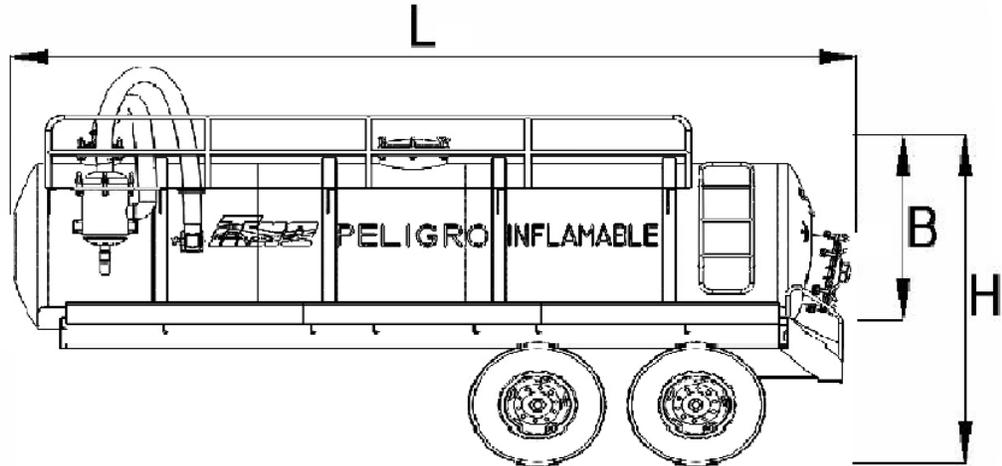


Figura 4.4: Sección del Tanque para el Caso 2.

Elaboración: Propia

El área proyectada en esta sección del tanque es:

$$L = 7.3 \text{ m}$$

$$B = 1.612 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$A_f = L * H * (2.644^2)$$

$$A_f = 153.1 \text{ pie}^2$$

Presión de la velocidad del viento:

$$V_v = 110 \text{ mph}$$

$$I = 1.15$$

$$K_z = 1.03$$

$$K_{zt} = 1$$

$$q = 0.00256 * K_z * K_{zt} * I * V_v^2$$

$$q = 31.905 \frac{lb}{pie^2}$$

La fuerza ejercida por el viento:

$$G = 0.8$$

$$C_f = 0.85$$

$$F = q * G * C_f * A_f$$

$$F = 31.905 * 0.8 * 0.85 * 153.1$$

$$F_{v1} = 3321 \text{ lb}$$

$$F_{v1} = 14678 \text{ N}$$

4.4.2 Cargas Vivas (Dinámicas)

Las cargas vivas a las que se somete el auto-tanque por el peso y el fluido, son aquellas generadas por la aceleración, la desaceleración y cuando el tanque genere un salto por la irregularidad del piso. Se aplican sobre las paredes del tanque, generando cargas longitudinales, laterales y verticales.

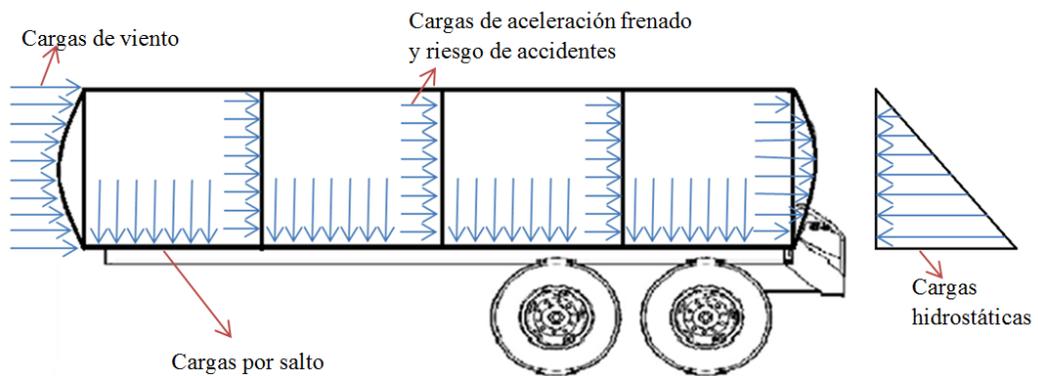


Figura 4.5 Dirección de las Cargas Posibles
Elaboración: Propia

La carga hidrostática se calcula mediante un análisis de la mecánica del fluido dentro del tanque, se obtiene las siguientes ecuaciones, que posteriormente servirán para el análisis computacional.

$$P = -\rho a_x x + \rho g z + c$$

$$P = 0$$

$$x = 0$$

$$z = 2.1 \text{ m}$$

$$0 = -\rho a_x(0) + \rho g z + c$$

$$c = -2.1 \rho g$$

$$P = -\rho a_x + \rho g z - \rho g z$$

$$-\vec{\nabla}P - \rho g \vec{k} = \rho \vec{a}$$

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \rho a_x$$

$$-\frac{\partial P}{\partial y} = \rho a_y$$

$$-\frac{\partial P}{\partial z} = \rho a_z + \rho g = \rho(a + g)$$

$$\int \frac{\partial P}{\partial y} = - \int \rho a_y$$

$$\int \frac{\partial P}{\partial z} = - \int \rho g$$

$$P = -\rho a_y * y + \rho g z + c$$

$$0 = -\rho a_x * 0 + \rho g h + c$$

$$c = pgh$$

$$P = -\rho a_y * y - \rho g z + \rho g h$$

$$P = -\rho a_y * y + \rho g(h - z) \text{ [Ec. 4.5]}$$

$$b = y = 2.75 \text{ m} ; a_y = 0.591 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} ; \rho = 950 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} ; h = 1.612 \text{ m}$$

$$P = 18007.01 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 1.45 \text{E}10^{-4} = 2.52 \text{ Psi}$$

Se debe considerar un 25% de la aceleración de la gravedad para considerarla como carga de prevención de accidentes, se obtiene que es 2.45 m/s^2 , la cual debe ser simulada sobre todos los ejes del auto tanque, para conocer la fuerza generada por riesgo de accidentes que se va a producir sobre cada espejo, y la cabeza del tanque, en aceleración o frenado del auto-tanque.

Para obtener las fuerzas que se generan en condición de salto del Auto-tanque o en condición de aceleración o frenado se simula una carga, pero dado que el factor de seguridad es 5, se desprecia el análisis en dichas condiciones. El factor de seguridad de 5 se da por las características del acero A36 detallado en las propiedades del material que es el que se va a utilizar en la construcción del Auto-tanque ya que exceden en la calidad para el uso que va a ser requerido. Se desprecia el análisis de las condiciones pero no el valor de las fuerzas ya que estas sirven para la simulación del diseño. Las fuerzas están consideradas con la densidad y volumen del fluido en el análisis de simulación dentro del software.

$$F_{ra} = \frac{m}{N+1} * a_{ra} \text{ [Ec. 4.6]}$$

F_{ra} Fuerza ejercida por riesgo de accidentes

$N = 4$ Número de espejos seleccionado por el diseñador.

$m = 12065.76 \text{ Kg}$ Masa del crudo transportado.

$a_{ra} = 0.25 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ Aceleración riesgo de accidentes

$$a_{ra} = 2.45 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{ra} = 5912.22 \text{ N}$$

Otra carga necesaria para el diseño es la carga por salto que se obtiene mediante

$$F_{rs} = m * a_{ra} \quad [\text{Ec. 4.7}]$$

$$F_{rs} = 12065.76 \text{ kg} * 2.45 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{rs} = 29561.11 \text{ N}$$

Con la información recibida por parte de los transportistas se obtiene los datos de aceleración y frenado, los cuales se utilizan para calcular la presión sobre el tanque

La velocidad en 100 m de distancia de un auto-tanque con carga es de 40 KPH (11.1 m/s²), lo que le toma 15 segundos aproximadamente.

Calculando la aceleración se tiene:

$$V_f = 11.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$X_f = 100 \text{ m}$$

$$X_o = 0 \text{ m}$$

$$t_f = 15 \text{ s}$$

$$a_l = 2 * \frac{V_f * t_f - X_f}{t_f^2} = 0.591 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Y la fuerza que ejerce esta aceleración es:

$$F_a = \frac{m}{N+1} * a_l \quad [\text{Ec. 4.8}]$$

$$F_a = 1426.17 \text{ N}$$

Esta fuerza se suma a la carga por riesgo de accidentes, siendo esta la mayor carga que se va a dar en el tanque.

4.5 Esfuerzos Permisibles Máximos

Los esfuerzos máximos permisibles para realizar el diseño del tanque, se encuentran en el código DOT, en las especificaciones generales de diseño de tanques transportados por vehículos y que estén sometidos a presión atmosférica.

Para el diseño se indica que el máximo esfuerzo de diseño calculado, no debe exceder el 25% del esfuerzo de tensión del material usado para el diseño.

Las propiedades físicas relevantes de los materiales utilizados en cada tanque de carga pueden ser establecidas por un informe de prueba certificado del fabricante del material o por pruebas de conformidad con una norma nacional reconocida. En cualquier caso, el esfuerzo último de tensión del material utilizado en el diseño no puede exceder el 120 por ciento de la mínima resistencia final especificada en la norma ASTM a la cual se fabrica el material o el código ASME..

Cualquier proceso de unión o costura se lo debe realizar mediante fusión con materiales aceptados para juntas, el material de aporte debe ser de un espesor uniforme en su totalidad, no debe presentar porosidades cuando se lo aplica.

4.5.1 Cargas Normales de Operación

La tensión efectiva (la tensión máxima principal en cualquier momento) debe ser determinada por la siguiente fórmula:

$$S = 0.5 * (S_Y + S_X) \pm \sqrt{[0.25 * (S_Y + S_X)^2 + \tau c^2]} \quad [\text{Ec. 4.9}]$$

Dónde:

S = Tensión efectiva en un momento dado bajo la combinación de cargas estáticas y normales funcionamiento que pueden ocurrir al mismo tiempo, en psi

S_Y = Tensión circunferencial generada por el MAWP (presión máxima permitida) y presión externa, cuando sea aplicable, además de cabeza estática, en psi.

S_X = Tensión neta longitudinal generada por las siguientes cargas estáticas y dinámicas (psi).

- a. La tensión longitudinal resultante de la MAWP y presión externa, cuando sea aplicable, en combinación con la tensión de flexión generada por el peso estático del tanque de carga completamente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared del tanque.
- b. La tensión de tracción o compresión resultantes de normal funcionamiento longitudinal de aceleración o desaceleración. En cada caso, las fuerzas aplicadas deben ser 0.35 veces la reacción vertical en el montaje de la suspensión, aplicado en la superficie de la carretera y transmitidas a la pared del tanque a través del montaje de la suspensión de un remolque durante la desaceleración; o el eje horizontal el camión tractor convertidor, quinta rueda o la barra de enganche bisagra en la carretilla fija durante la aceleración; o miembros de anclaje y el apoyo de un camión durante la aceleración y desaceleración, según corresponda. La reacción vertical debe calcularse con base en el peso estático del auto-tanque de carga completamente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados a la pared del tanque. Deben incluirse las cargas siguientes:
 - La carga axial generada por la fuerza de desaceleración.
 - La flexión generada por una fuerza de desaceleración. (momento)
 - La carga axial generada por la fuerza de aceleración.
 - La flexión generada por una fuerza de aceleración. (momento)
- c. La tensión de tracción o compresión generada por el momento flector resultantes de la aceleración normal de operación vertical igual a 0.35 veces la reacción vertical en el montaje de la suspensión; o el eje horizontal del acoplador superior (quinta rueda) o tocadiscos; o miembros de anclaje y el apoyo de un camión, según corresponda.

τ_c = Esfuerzo cortante en condiciones normales de operación, generada por las siguientes cargas:

- a. El esfuerzo cortante estático resultante de la reacción vertical en el montaje de la suspensión y el eje horizontal del acoplador superior (quinta rueda) o tocadiscos; o miembros de anclaje y de apoyo, según corresponda. La

reacción vertical debe calcularse con base en el peso estático con el tanque completamente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared del tanque.

- b. El esfuerzo cortante vertical generada por la fuerza de aceleración en condiciones normales de operación igual a 0.35 veces la reacción vertical en el montaje de la suspensión de un remolque; o el eje horizontal del acoplador superior (quinta rueda) o tocadiscos; o miembros de anclaje y el apoyo de un camión, según corresponda. La reacción vertical debe calcularse con base en el peso estático con el tanque completamente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared del tanque.
- c. El esfuerzo cortante lateral generado por la fuerza lateral de aceleración en condiciones normales de operación equivalente a 0,2 veces la reacción vertical en cada conjunto de suspensión de un remolque, aplicado en la superficie de la carretera y transmitida a la pared del tanque a través del montaje de la suspensión de un remolque y el eje horizontal del acoplador superior (quinta rueda) o tocadiscos; o miembros de anclaje y el apoyo de un camión, según corresponda. La reacción vertical debe calcularse con base en el peso estático del tanque completamente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared del tanque
- d. El esfuerzo cortante torsional generado por las mismas fuerzas laterales nombradas anteriormente

4.5.2 Cargas Dinámicas Extremas

El procedimiento siguiente se dirige al estrés de la carga resultante de cargas dinámicas extremas en el cuerpo del tanque. La tensión efectiva (la tensión máxima principal en cualquier momento) debe ser determinada por la siguiente fórmula:

$$S = 0.5 * (S_Y + S_X) \pm \sqrt{[0.25 * (S_Y - S_X)^2 + \tau c^2]} \quad [\text{Ec. 4.10}]$$

S = = tensión efectiva en un momento dado bajo una combinación de cargas estáticas y dinámicas que pueden ocurrir al mismo tiempo, en psi.

S_Y = Tensión circunferencial generada por MAWP y la presión externa, cuando sea aplicable, más la cabeza hidrostática, en psi..

S_X = las siguiente tensiones longitudinales netas generadas por las siguientes condiciones de cargas estáticas y dinámicas, en psi.:

- a. Las tensiones longitudinales resultantes de la MAWP y presión externa, cuando sea aplicable, además de la cabeza hidrostática, en combinación con la tensión de flexión generada por el peso estático del tanque cargado completamente, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared del tanque;
- b. La tensión de resistencia a la tracción o compresión resultante de la aceleración o desaceleración. En cada caso las fuerzas aplicadas deben ser 0.7 veces la reacción vertical en el montaje de la suspensión, aplicado en la superficie de la carretera y transmitidas a la pared del tanque de carga a través del montaje de la suspensión de un remolque durante la desaceleración; o el eje horizontal el camión tractor convertidor, quinta rueda o la barra de enganche bisagra en la carretilla fija durante la aceleración; o los miembros de anclaje y el apoyo de un camión durante la aceleración y desaceleración, según corresponda. La reacción vertical debe calcularse con base en el peso estático del tanque cargado completamente, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados por la pared del depósito de carga. Deben incluirse las cargas siguientes:
 - La carga axial generada por una fuerza de deceleración.
 - La flexión generada por una fuerza de desaceleración. (momento)
 - La carga axial generada por la fuerza de aceleración.
 - La flexión generada por la fuerza de aceleración. (momento)
- c. La resistencia a la tracción o compresión generada por el momento flector resultantes de una extrema fuerza de aceleración vertical igual a 0,7 veces la reacción vertical en el montaje de la suspensión de un remolque y el eje horizontal del sistema de suspensión; o los miembros de anclaje y el apoyo de un camión, según corresponda. La reacción vertical debe calcularse con base

en el peso estático del tanque cargado completamente, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared tanque..

τ_c = El esfuerzo cortante generado por las cargas estáticas y condiciones extremas dinámicas de carga (psi).

- a. El esfuerzo cortante estático resultante de la reacción vertical en el montaje de la suspensión y el eje horizontal del acoplador superior (quinta rueda) o tocadiscos; o miembros de anclaje y de apoyo, según corresponda. La reacción vertical debe calcularse con base en el peso estático con el tanque completamente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared del tanque.
- b. El esfuerzo cortante vertical vertical generado por una extrema fuerza de aceleración vertical igual a 0,7 veces la reacción vertical en la suspensión y el pivote horizontal del acoplador superior (quinta rueda) o tocadiscos; o miembros de anclaje y el apoyo de un camión, según corresponda. La reacción vertical debe calcularse con base en el peso estático con el tanque completamente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios apoyados en la pared del tanque.
- c. El esfuerzo cortante lateral generada por una fuerza lateral igual a 0,4 veces la reacción vertical en el montaje de la suspensión, aplicado en la superficie de la carretera y transmitida a la pared del tanque a través de la suspensión y el eje horizontal del acoplador superior (quinta rueda) o tocadiscos; o miembros de anclaje y el apoyo de un camión, según corresponda. La reacción vertical debe ser calculada basándose en la carga estática por el peso del tanque totalmente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios que la pared del tanque soporte.
- d. El esfuerzo cortante torsional generado por las mismas fuerzas laterales nombradas anteriormente
- e. Para un tanque montado sobre un bastidor o construidos con soportes estructurales integrales de carga, el cálculo de tensiones efectivas para las

condiciones de carga en el apartado (c) de esta sección puede incluir la contribución estructural de la estructura o los soportes estructurales integrales.

4.6 Material

De acuerdo con las necesidades de la empresa el material a utilizar esta en conformidad con los aceptados por la norma ASME, detallados en el capítulo 2, tabla 2.17.

Los materiales que se utilizan en el diseño son fácilmente encontrados en el mercado nacional, el acero ASTM A 36 es un acero de uso común en el país, por lo cual facilita su mantenimiento, reconstrucción y recambio, a continuación se muestra un cuadro de características de los materiales aprobados por la ASTM.

Tabla 4.6: Propiedades de los Materiales (ASTM)

Especificación	Descripción	Composición Química % en peso (máximo)							Esf. Fluencia (Ksi)
		C	Mn	P	S	Si	Cb	V	
ASTM A 570-36	Media, Resistencia, Estructural, Perfil, Tubular	0,25	0,90	0,035	0,04	0,4	-	-	36
ASTM A 572-50	Alta Resistencia, Vigas soldadas, Estructural	0,23	1,35	0,035	0,03	0,4	0,05	-	50
ASTM A 36	Media Resistencia, Estructural, Vigas soldadas	0,27	1,2	0,04	0,05	0,4	-	-	36(2,5x10 ⁸ Mpa)

Fuente: (ASME SECCION II)

Las propiedades del acero ASTM A-36 son:

Tabla 4.7: Propiedades del Acero ASTM A-36

Propiedades	Valor
Módulo de Elasticidad	2×10^5 Mpa
Coefficiente de Poisson	0.26
Modulo Cortante	7.93×10^{10} kg/m ³
Densidad	7850 kg/m ³
Limite de tracción	400000000 N/m ²
Coefficiente de Expansión Térmica	11.7×10^6 /K
Conductividad térmica	44.99 W/(m.K)
Calor Especifico	0.5 KJ/(kg.K)
Resistencia a la Fluencia Tracción	2.5×10^2 Mpa
Resistencia a la Compresión	-

Fuente: (SOLIDWORKS, 2013)

4.7 Factor de Seguridad

El factor de seguridad escogido para el diseño es 4, de conformidad con el código DOT que asume dicho factor de seguridad para el diseño de tanques cilíndricos y a presión.

El material para la construcción es certificado, al igual que los procesos de construcción van a ser evaluados durante el proceso de construcción del tanque

Con la simulación utilizando el programa (SOLIDWORKS, 2013), en una de las estructuras que va a tener que soportar las cargas más fuertes, va ser aplicándolo sobre uno de los espejos en el interior del tanque.

La fuerza que va a soportar cada espejo sobre su área de contacto va ser el peso del crudo transportado moviéndose en una desaceleración, estas son:

- Carga de riesgo de accidentes: **5912.22 N**
- Carga de frenado y aceleración: **1426.17 N**

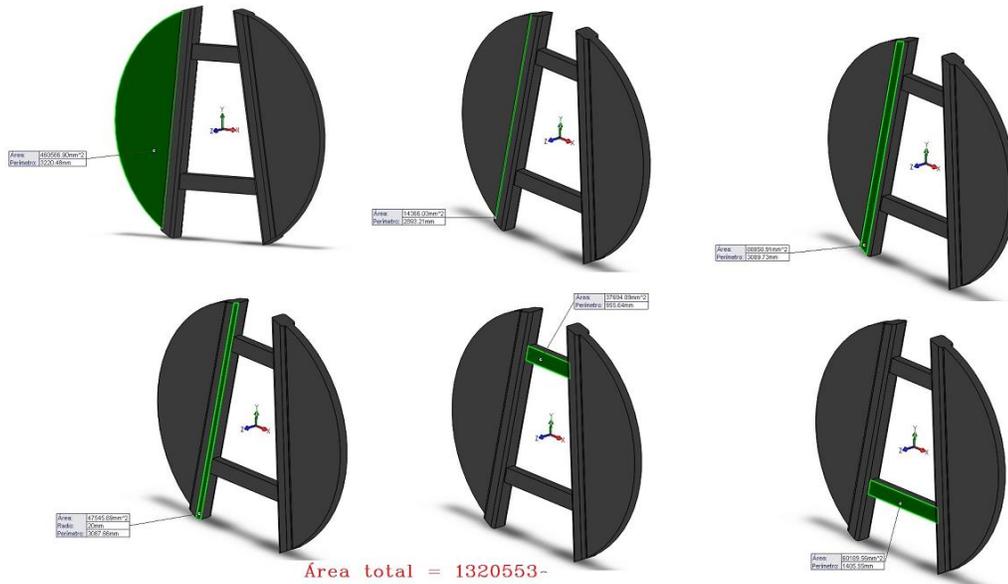


Figura 4.6: Área baffle
Elaboración: Propia

Área total por cada cara de cada espejo es igual a 1320553 mm².

Dividiendo las fuerzas para las 5, es decir, los 4 espejos y una tapa se tiene una fuerza para cada espejo igual a: **1467.67 N**

Esto introducido en el software de diseño se obtiene el siguiente factor de seguridad:

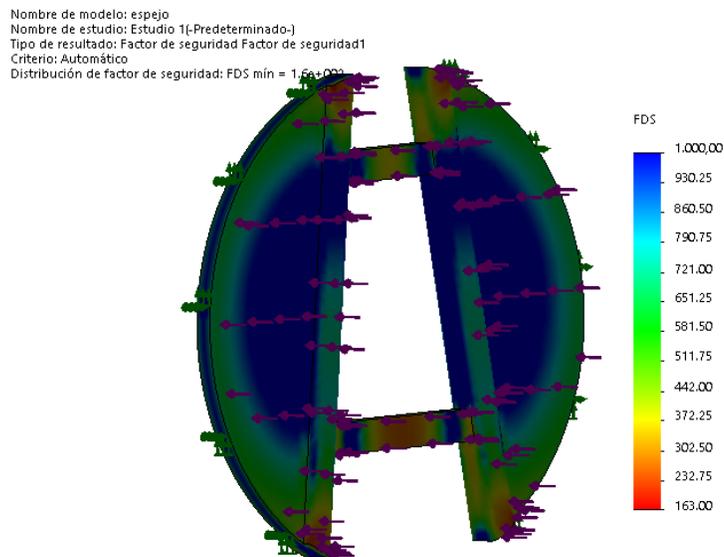


Figura 4.7: Simulación Factor de Seguridad
Elaboración: Propia

El resultado de la simulación es un factor de seguridad mayor a 5 el cual se lo conservara igual o mayor en todas las estructuras a diseñar.

4.8 Espesor del Material

El espesor mínimo del cuerpo y cabezas aceptados, no debe exceder los esfuerzos máximos especificados en la parte de integridad estructural y tensiones extremas. El espesor seleccionado para el diseño es:

- Cuerpo = 0.25 pulgadas = 6.35 mm
- Cabezas, espejos y otros accesorios = 0.25 pulgadas = 6.35 mm

Estos valores son utilizados para iniciar el diseño en el software.

4.9 Deformación Permitida

No hay códigos que detallen la deformación que debe tener el auto-tanque, se realiza un análisis en el diseño en Solidworks para observar su deformación y compararlo con la experiencia que existe en el país.

La deformación aceptable es de máximo 20 milímetros tomando en cuenta la integridad estructural, la geometría del tanque y su integridad visual.

4.10 Acero Equivalente

Según el código DOT con la siguiente formula se obtiene el espesor de un acero inoxidable equivalente para el diseño, se tiene como referencia un acero inoxidable con un esfuerzo mínimo a tensión garantizado de 517 N/mm² (75000 psi) y un alargamiento garantizado del 40% o más.

$$e_1 = (12.74e_0)/(Rm * A_1)^{1/3} \quad [\text{Ec. 4.11}]$$

Dónde:

e_0 = Espesor requerido para acero inoxidable (mm)

e_1 = Espesor equivalente en acero común (mm)

Rm = Mínimo esfuerzo a tensión del acero (dN/mm^2)

A_1 = Valor de la elongación del acero multiplicador por 100

4.11 Corrosión

El material que se va a transportar no es corrosivo y el tanque va a ser pintado en su totalidad, por lo cual no se necesita aumentar el espesor para protegerlo de la corrosión ni utilizar otro método de protección.

4.12 Soportes y Refuerzos

Las partes que van integradas al chasis. Deben tener el cálculo y diseño de los soportes o refuerzos regidos por los esfuerzos máximos permitidos nombrados en la sección 178.345-3 (DOT 412).

4.13 Refuerzo del Tanque

El auto-tanque en su totalidad debe tener refuerzos tales como espejos, anillos de refuerzo, etc., con un espesor no menor a 3/8 de pulgada.

Toda la estructura de protección de accidentes y dispositivos de refuerzo circunferencial externo deben utilizarse como sitios para la fijación de equipamiento y otros accesorios para el tanque de carga

En el diseño, el tanque cuenta con refuerzos internos (espejos) y externos (anillos de refuerzo).

Un accesorio debe ser soldado al tanque en no menos del 50% de la sección total del cuerpo. Los espaciamientos libres de suelda entre cordones, no debe exceder más del 40% del espesor del cuerpo.

4.14 Protección de Uniones

Todas las uniones entre la cáscara del tanque de carga, cabezas, deflectores, deflector anillos de sujeción y mamparos deben soldarse deben ser protegidos, deben ser diseñados para resistir carga estática en cualquier dirección igual a dos veces el peso de los tanques más accesorios. Debido a colisiones que pueden suceder en el auto tanque al

momento del transporte, o en el evento de vuelco del mismo, así como también de ser posible deben ser accesibles para su inspección

4.15 Tapas del Tanque ([Anexo A1](#))

La geometría de las tapas del tanque se lo puede observar en el Anexo A1

Para realizar la simulación en el Software se utilizaron las siguientes cargas:

- Carga hidrostática en el fondo del tanque: **2.52 Psi**
- Carga de riesgo de accidentes: **5912.22 N**
- Carga de frenado y aceleración: **1426.17 N**

Con el diseño de las tapas o cascos utilizando SOLIDWORKS se calcula el volumen de las mismas.

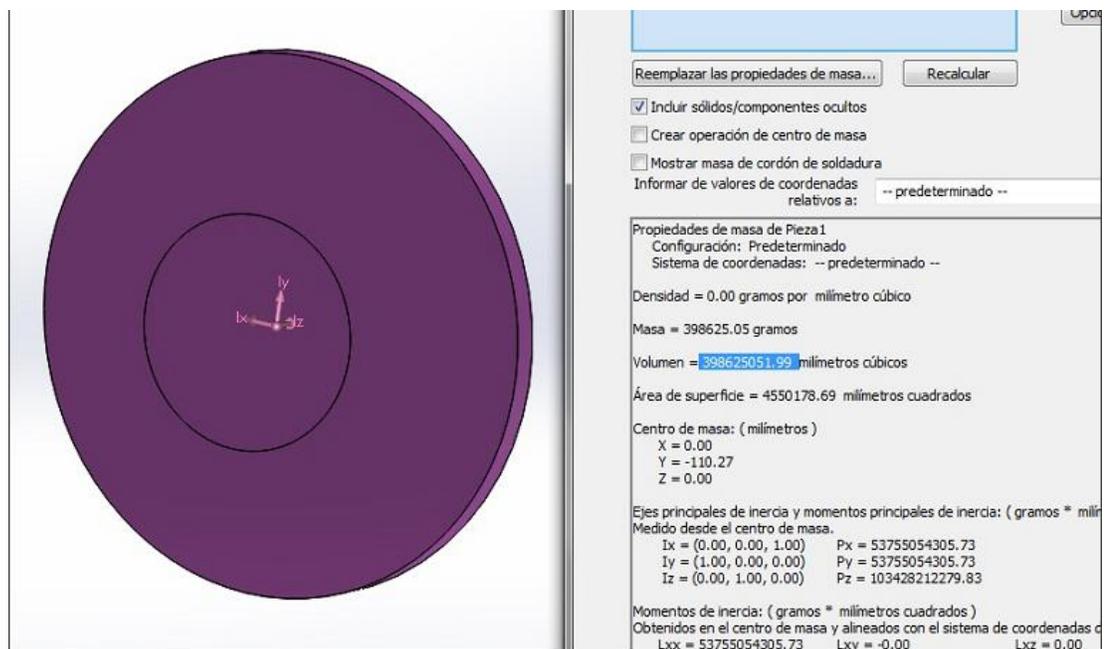


Figura 4.8: Área, Masa y Volumen del Casco

Elaboración: Propia

- Área = 4550178.69 milímetros cuadrados.
- Masa = 398625.05 gramos.
- Volumen = 398625051.99 milímetros cúbicos.

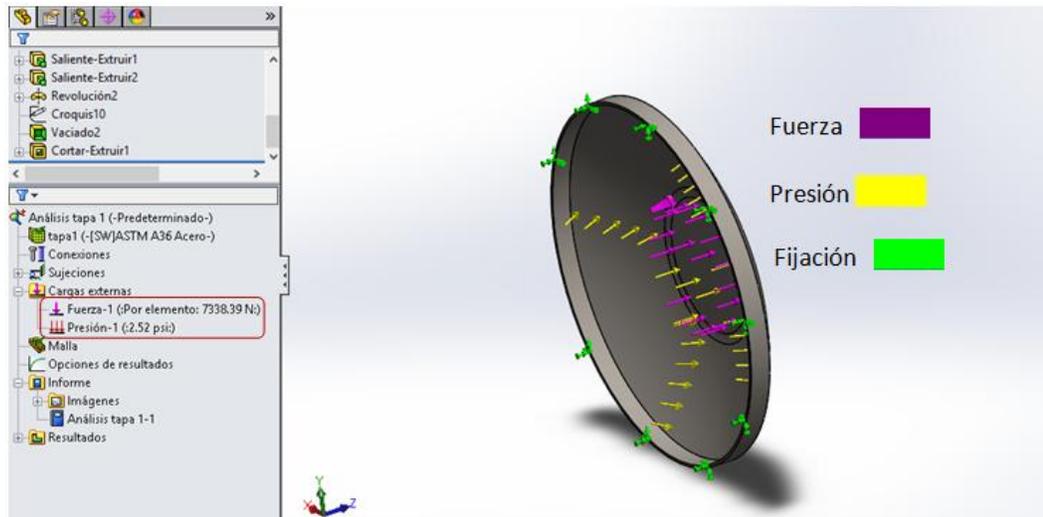


Figura 4.9: Ubicación de Fuerzas en la Tapa 1
Elaboración: Propia

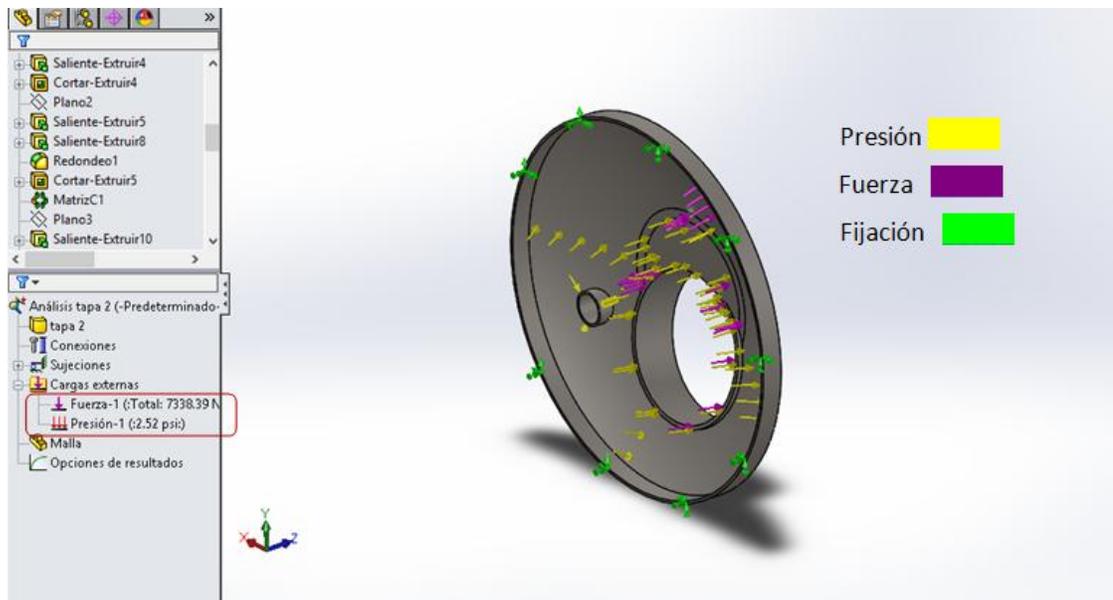


Figura 4.10: Ubicación de Fuerzas en la Tapa 2
Elaboración: Propia

El espesor de las tapas después del estudio es de 6.35 mm (1/4"). El material utilizado es el ACERO ASTM A36.

4.15.1 Análisis de Esfuerzos

El estudio de esfuerzos esta realizado bajo cargas extremas que soporta o soportaría el tanque. La grafica de distribución de esfuerzos entregada por el programa es la siguiente:

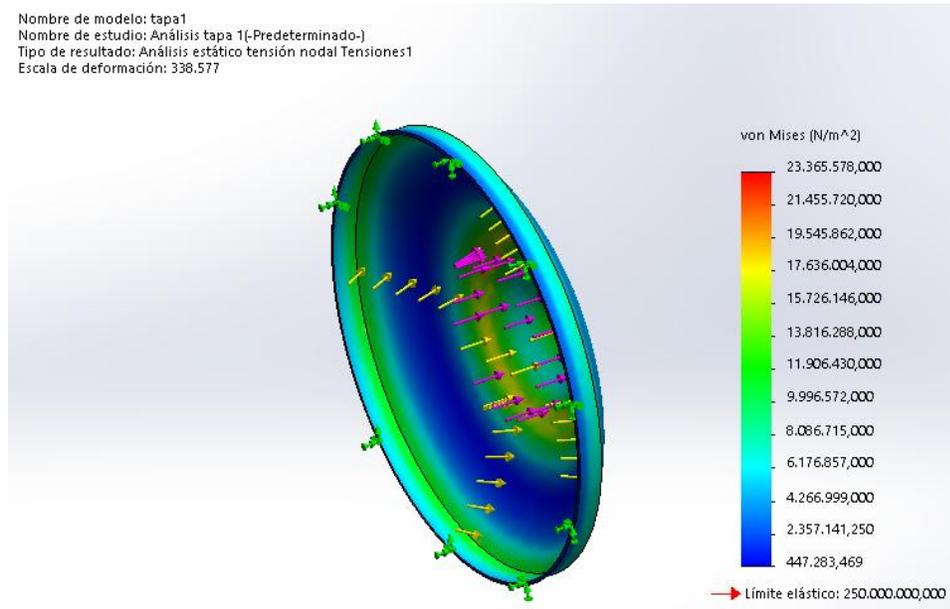


Figura 4.11: Distribución de Esfuerzos en la Tapa 1
Elaboración: Propia

Esfuerzo Máximo: 23 Mpa.

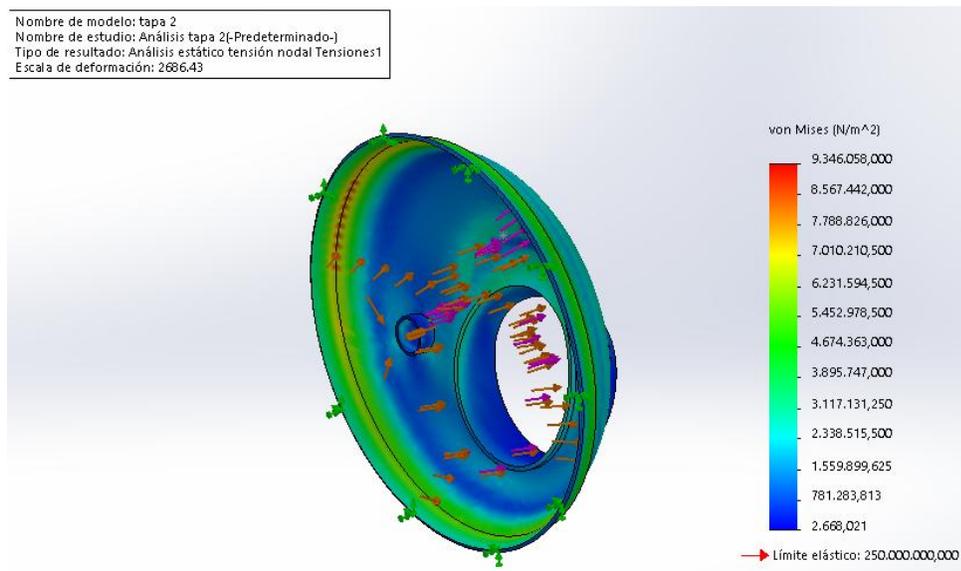


Figura 4.12: Distribución de Esfuerzos en la Tapa 2
Elaboración: Propia

Esfuerzo Máximo: 9.3 Mpa

4.15.2 Deformación

Nombre de modelo: tapa1
 Nombre de estudio: Análisis tapa 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 338.577

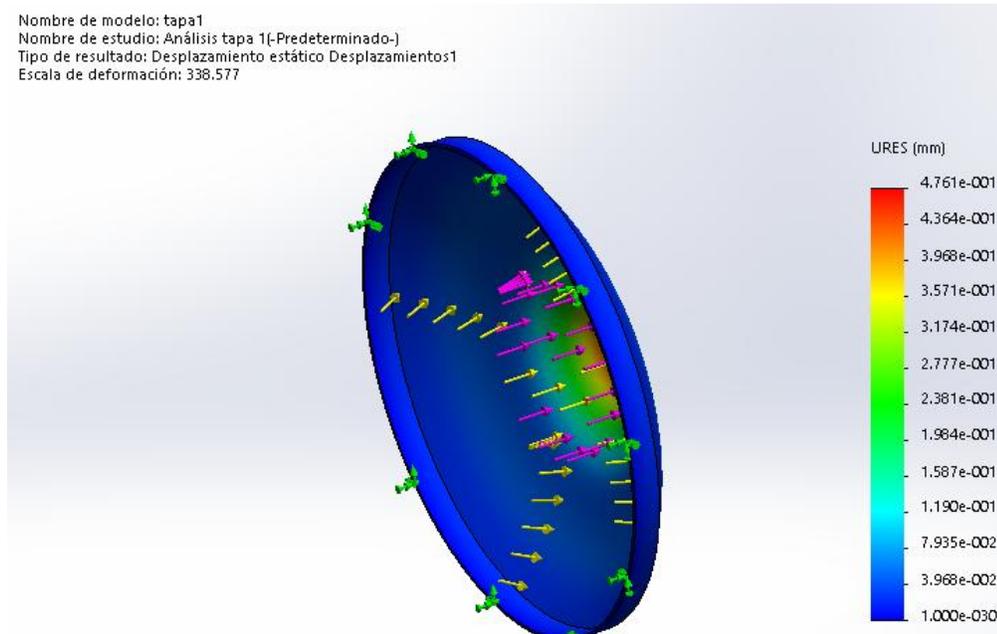


Figura 4.13: Deformación de la Tapa 1
 Elaboración: Propia

Deformación máxima: 0.476 mm

Nombre de modelo: tapa 2
 Nombre de estudio: Análisis tapa 2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 2686.43

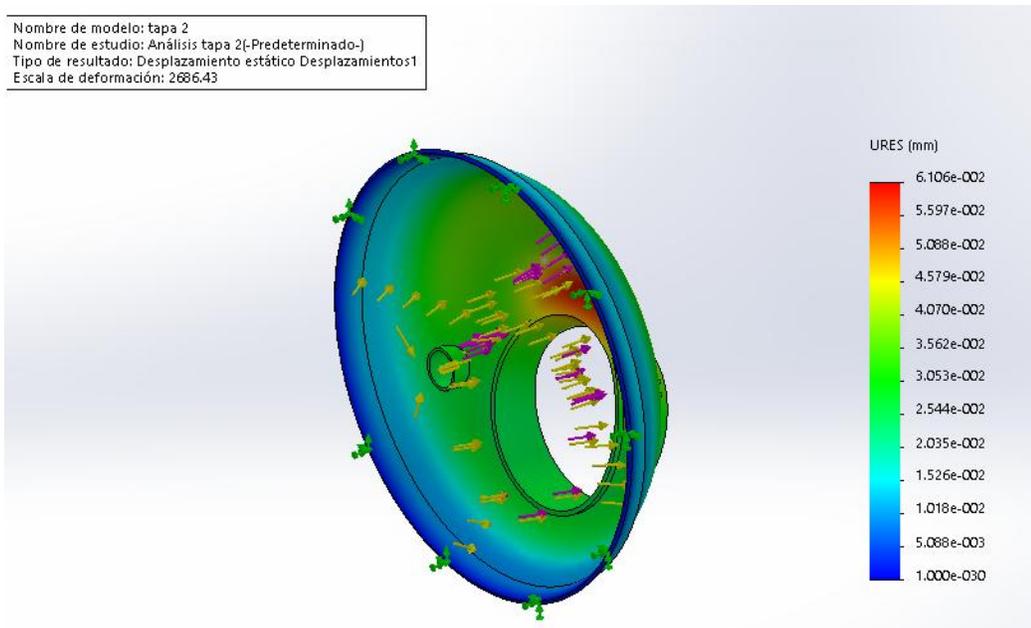


Figura 4.14: Deformación de la Tapa 2
 Elaboración: Propia

Deformación máxima = 0.0610 mm. Se encuentra dentro de los requerimientos.

4.16 Cuerpo del Tanque ([Anexo A2](#), [Anexo A2.1](#))

Para realizar la simulación en el Software se utilizaron las siguientes cargas:

- Carga hidrostática del fluido: **2.52 Psi**
- La carga que genera la aceleración de la masa al momento que el tanque soporte un movimiento como un salto o un hueco mientras esta en movimiento, donde también se considera el peso del fluido: **$F_{rs} = 29561.11 N$**
- El cuerpo del tanque será construido con láminas de ACERO ASTM A36 conocidas como planchas navales. Con 3 láminas de 2000x6000 mm por 6.35 mm (1/4") de grosor y 1 lámina de 2000x3000 mm por 6.35 mm (1/4") de grosor.

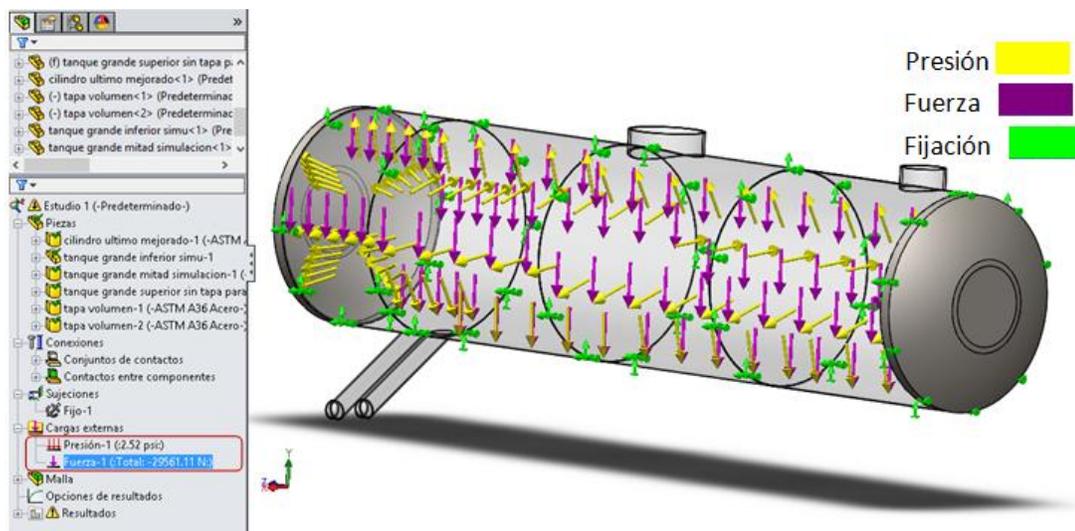


Figura 4.15: Ubicación de Esfuerzos y Restricciones en el Cuerpo
Elaboración: Propia

4.16.1 Análisis de Esfuerzos

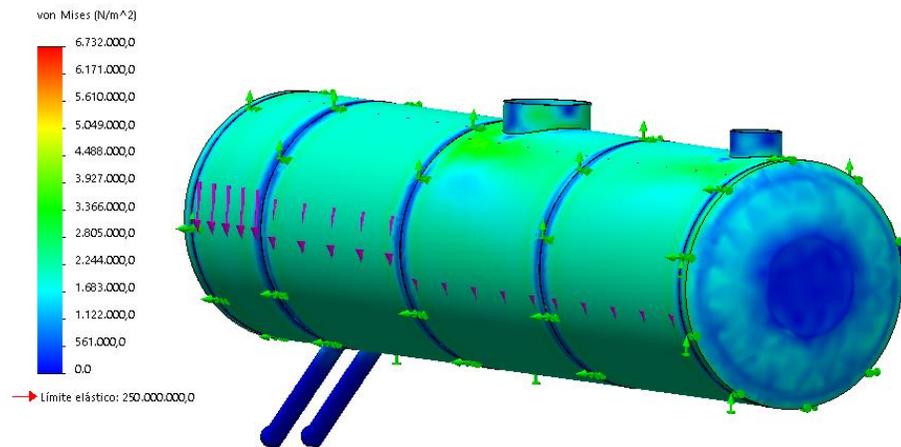


Figura 4.16: Distribución de Esfuerzos

Elaboración: Propia

Esfuerzo máximo: 6 Mpa

4.16.2 Deformación

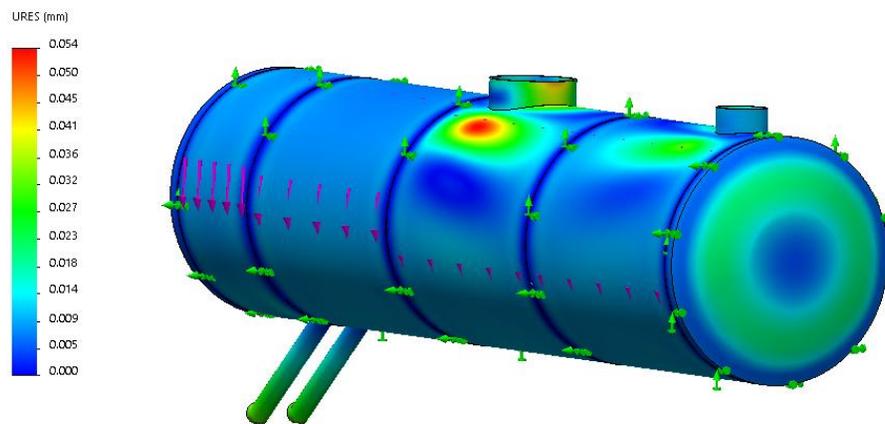


Figura 4.17: Deformación en el Cuerpo

Elaboración: Propia

Deformación máxima: 0.054 mm

4.17 Diseño del Bastidor ([Anexo A3](#))

El bastidor va unido al tanque mediante soldadura, es una estructura realizada con perfil estructural de acero ASTM A36. El estudio del bastidor dependerá de la carga vertical

que va a soportar cuando el tanque sufra por imperfecciones o anomalías de la carretera.

Las fuerzas ejercidas sobre esta estructura son el peso del tanque más el crudo a transportar ya calculados anteriormente:

- La carga por salto, $F_{rs} = 29561.11 \text{ N}$ más;
- El cuerpo del tanque, 78400 N ,
- El peso del fluido, 118244 N

Fuerza total 223235.11 N

Datos que ingresados al sistema ayuda en la simulación.

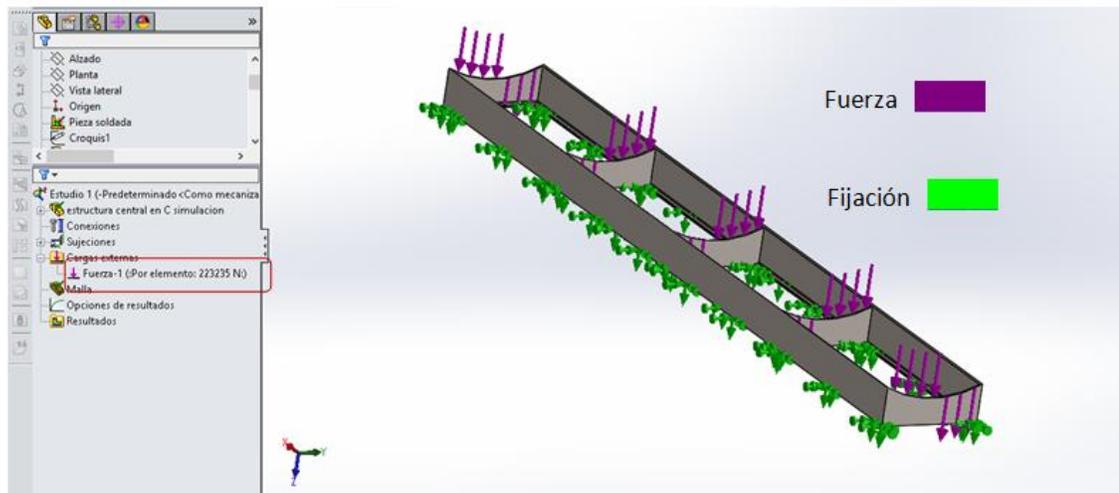


Figura 4.18: Cargas en el Bastidor

Elaboración: Propia

4.17.1 Análisis de Esfuerzos

Nombre de modelo: estructura central en C simulacion
 Nombre de estudio: Estudio 1[-Predeterminado-<Como mecanizada>-]
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1

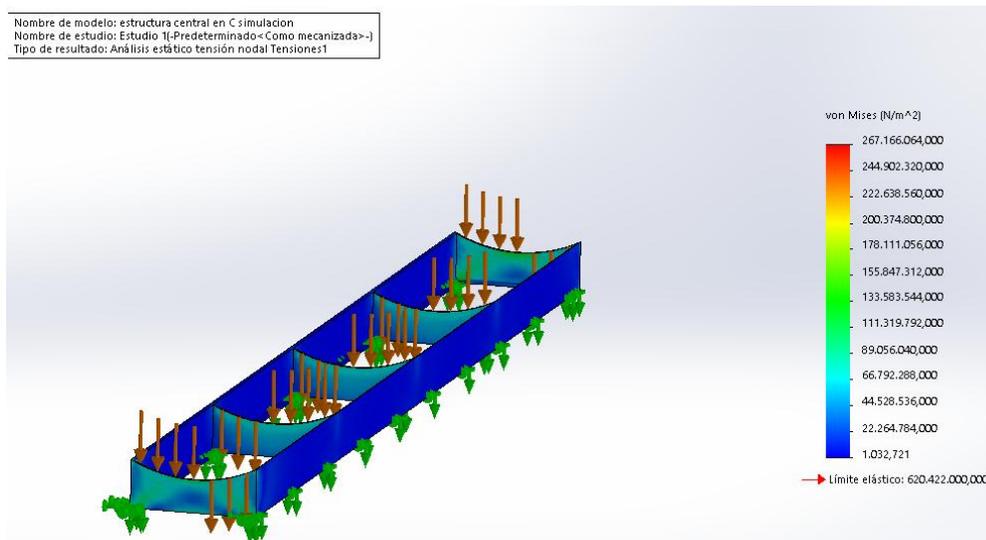


Figura 4.19: Distribución de Esfuerzos del Bastidor

Elaboración: Propia

Esfuerzo máximo = 267 Mpa

4.17.2 Deformación

Nombre de modelo: estructura central en C simulacion
 Nombre de estudio: Estudio 1[-Predeterminado-<Como mecanizada>-]
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

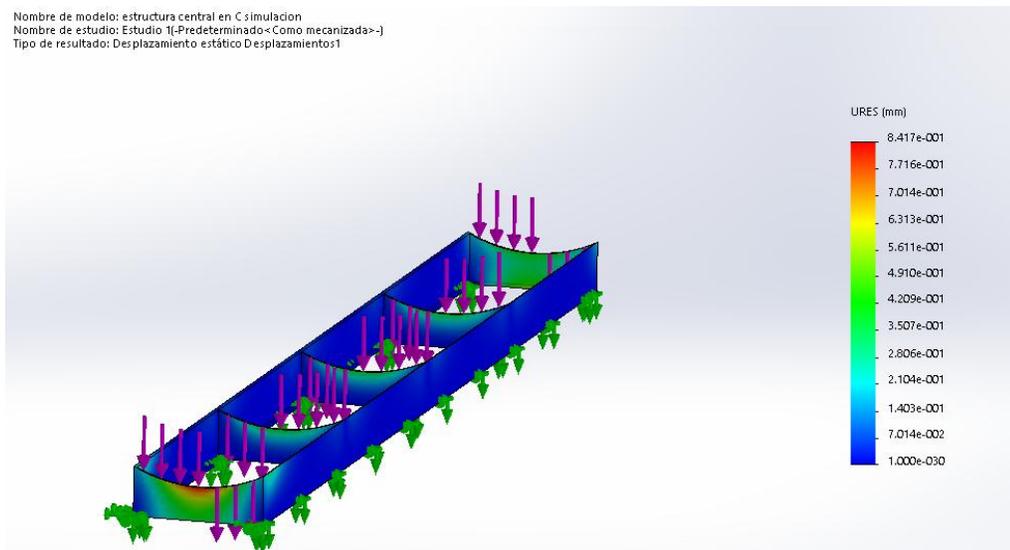


Figura 4.20: Deformación del Bastidor

Elaboración: Propia

Deformación máxima de 0,08 mm.

4.18 Espejos o Baffles ([Anexo A4](#))

El tanque está dividido en cinco partes por medio de espejos con el fin de disminuir las cargas que se pueden producir sobre las tapas del tanque. La forma del espejo es circular y plana con una abertura en el centro con el fin de conectar a todo el tanque.

La presión que recibe cada espejo es: **1467.678 N**

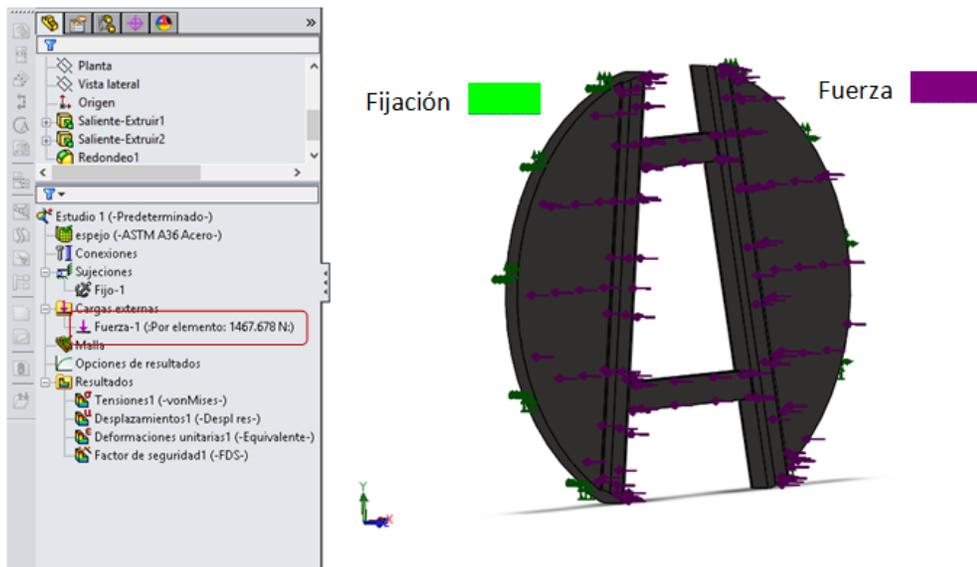


Figura 4.21: Distribución de Cargas en los Espejos.

Elaboración: Propia

Las restricciones tomadas en cuenta para el diseño son aquellas secciones que van estar soldadas al tanque, ya sea con o sin refuerzo.

4.18.1 Análisis de Esfuerzos

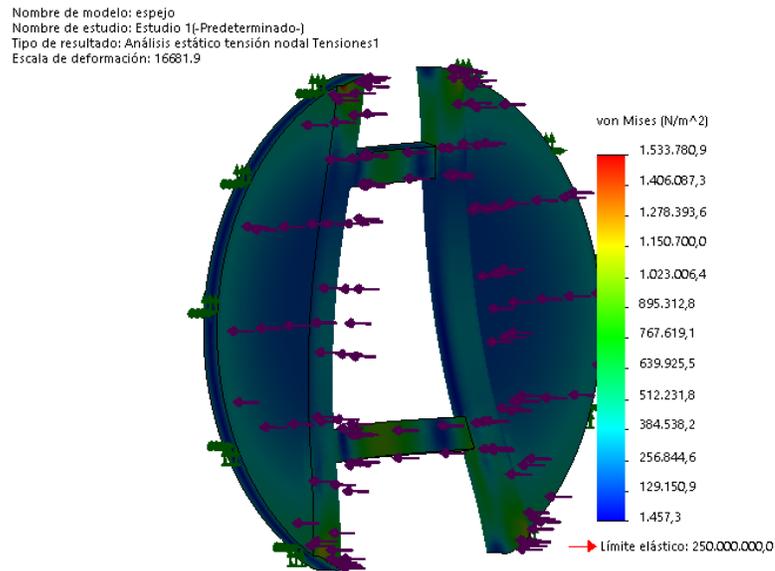


Figura 4.22: Distribución de Esfuerzos en los Espejos

Elaboración: Propia

Esfuerzo Máximo: 1.5 Mpa

4.18.2 DEFORMACIÓN

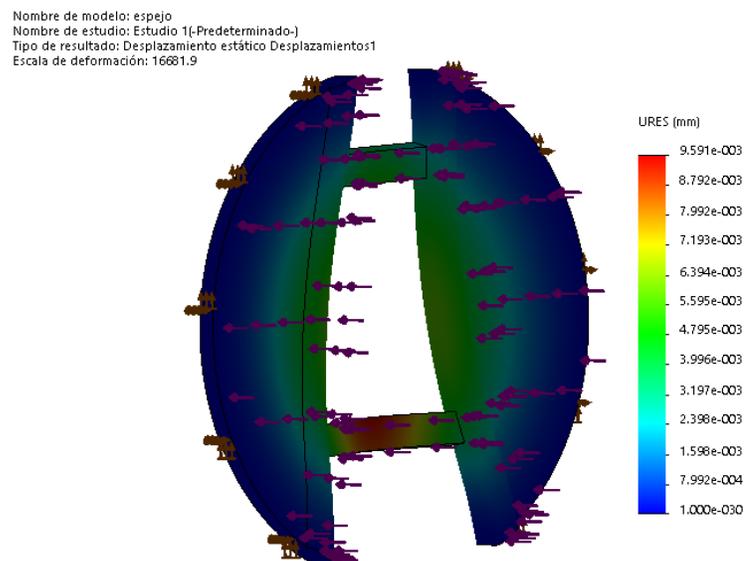


Figura 4.23: Deformación de los Espejos

Elaboración: Propia

Desplazamiento máximo = 0.009591 mm

4.19 Tanque

4.19.1 Selección de Accesorios del Tanque

Según los requerimientos ya redactados en este capítulo, se hace la selección de los accesorios que requiere, este diseño en particular.

- Tres bocas (Manholes) para inspección y carga.
- Dos filtros.
- Una válvula de alivio de presión.

4.19.2 Selección de Válvulas del Auto-tanque

4.19.2.1 Kit de alivio de Presión

El auto-tanque debe tener un dispositivo de alivio de presión en el caso que haya un colapso por sobre presión o por cambios de temperatura, debe cumplir con las siguientes características.

- No debe estar en contacto con el material, solo con los gases que va a producir el crudo.
- La válvula de alivio de presión debe tener una regulación que no se abra desde 1 psi de presión, para evitar pérdidas de material en caso de un accidente
- La capacidad de venteo del elemento debe ser no menor a lo especificado en la siguiente tabla.

Tabla 4.8: Capacidad de Venteo

Área Expuesta en pies cuadrados	[Pies cúbicos de aire libre/hora a 60 °Fy 1 atm.]
20	15.800
30	23.700
40	31.600
50	39.500
60	47.400
70	55.300
80	63.300
90	71.200
100	79.100
120	94.900
140	110.700
160	126.500
180	142.300

Fuente: (Norma 49 CFR)

El área expuesta del tanque reduciendo el 10 % de la altura total del tanque es 90 ft², se obtiene que el caudal requerido para el elemento de alivio sea 71200 ft³/h según la tabla 4.8.

A partir de ese dato se escoge el kit de válvulas de la marca National Vacuum Equipment (NVE). Que cumple con todos los requerimientos del diseño.

El kit de alivio de presión 406-301-4-KIT (NVE), es seleccionado para realizar el venteo antes de transportar crudo. ([Anexo A5](#), [Anexo A5.1](#), [Anexo A5.2](#))



Aluminum Relief Manifold | Parts List

4" Kit

PART NUMBER	DESCRIPTION	WEIGHT
406-301-2-KIT	2" RELIEF MANIFOLD ASSEMBLY	5.4 LBS
406-301-3-KIT	3" RELIEF MANIFOLD ASSEMBLY	7.6 LBS
406-301-4-KIT	4" RELIEF MANIFOLD ASSEMBLY	8.5 LBS

Figura 4.24: Kit de Alivio de Presión (NVE)

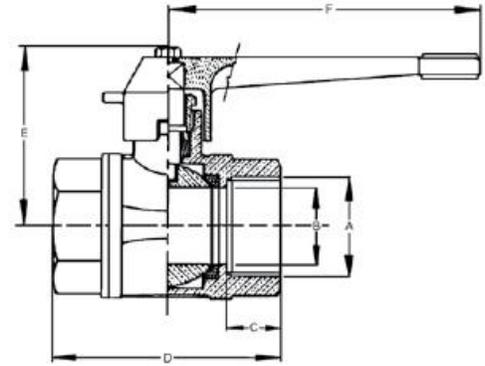
Fuente: (www.natvac.com)

Cada kit contiene:

- Válvula de alivio de presión
- Válvula de alivio de vacío
- Medidor de presión y llenado del líquido
- Toma de drenado de 1"

4.19.2.2 Válvula de Descarga ([Anexo A6](#))

La válvula de descarga debe tener una apertura y cierre de 30 segundos, el diámetro escogido es 4 pulgadas, con ayuda del programa se realiza la animación de carga y descarga para constatar el tiempo de operación.



Ball Valves | Dimensions

PART NUMBER	A	B	C	D	E	F
360-310-2	2	2	.825	4.4	3.8	5.5
360-310-3	3	3	1.1	6.3	5	9.5
360-310-4	4	4	1.2	7.3	6	12

Ball Valves | Parts List

PART NUMBER	DESCRIPTION	WEIGHT
360-310-2	2" BALL VALVE - FNPT THREAD	4 LBS
360-310-3	3" BALL VALVE - FNPT THREAD	11.65 LBS
360-310-4	4" BALL VALVE - FNPT THREAD	18.15 LBS

Figura 4.25: Válvula de Descarga (NVE)
Fuente: (www.natvac.com)

El tiempo de descarga con esta válvula es simulado en el programa escogido.
(SOLIDWORKS, 2013)

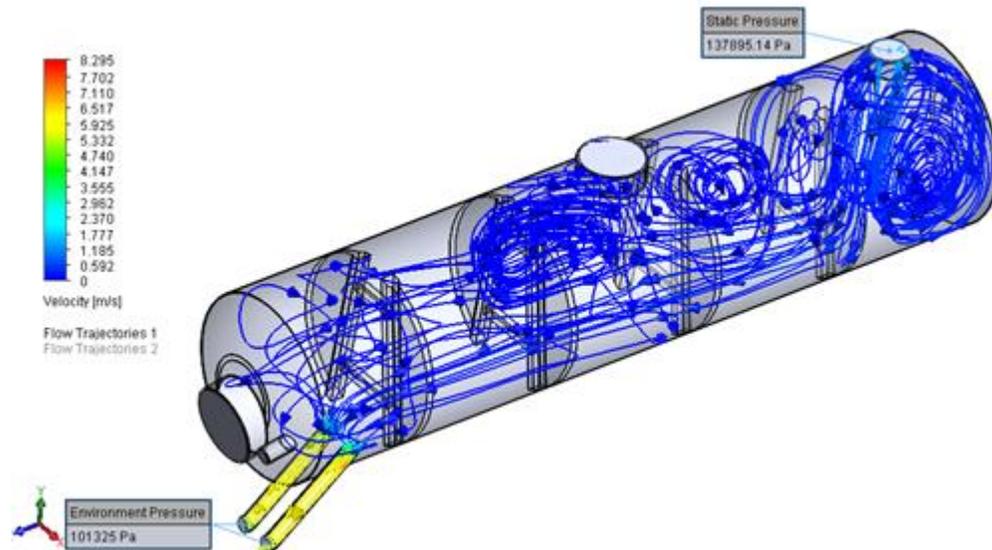


Figura 4.26: Velocidad de Descarga
Elaboración: Propia

4.19.3 Selección de Manhole o Escotillas

Los requerimientos de selección de las escotillas o manhole, fueron nombrados en este capítulo, son también escogidos del catálogo de National Vacuum Equipment (NVE) y presenta características como:

- Material: acero
- Fácil manejo
- Fácil montaje
- Bajo mantenimiento
- Bajo peso

Las escotillas que se escogió son dos en la parte superior y una en la parte trasera.

La primera en la parte superior se trata de una escotilla con corte de emergencia. Esto es en caso de algún accidente o llenado más de su capacidad del tanque, el fluido no se derrame. ([Anexo A7](#))

12" Primary Shutoff

FEATURES:

- 8" Corrosion Resistant Stainless Steel Ball Cage
- 6" Stainless Steel Float Ball
- 3" or 4" NPT Connection
- Wingnut Closure
- 5/8" Square Buna Gasket



12" Primary Shutoff | Parts List

PART NUMBER	LID	NECK	WEIGHT
200-1206-3NPT	12" CARBON STEEL, 3" NPT	CARBON STEEL 6"	49 LBS
200-1206-4NPT	12" CARBON STEEL, 4" NPT	CARBON STEEL 6"	50 LBS
200-1212-3NPT	12" CARBON STEEL, 3" NPT	CARBON STEEL 12"	---
200-1212-4NPT	12" CARBON STEEL, 4" NPT	CARBON STEEL 12"	58 LBS
208-1206-3NPT	12" STAINLESS STEEL, 3" NPT	STAINLESS STEEL 6"	58 LBS

Figura 4.27: Escotilla con Corte de Emergencia (NVE)

Fuente: (www.natvac.com)

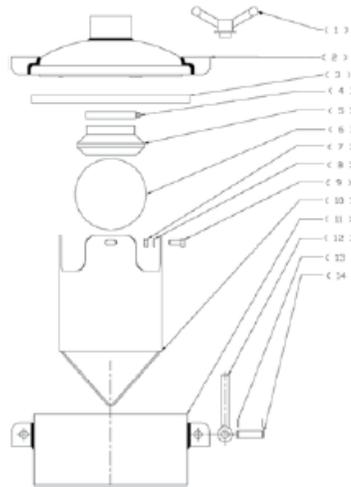


Figura 4.28: Esquema del sistema de corte de emergencia (NVE)

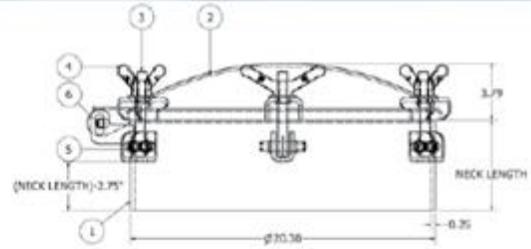
Fuente: (www.natvac.com)

La segunda escotilla en la parte superior del tanque es más grande ya sirve de inspección y para mantenimiento. ([Anexo A8](#))

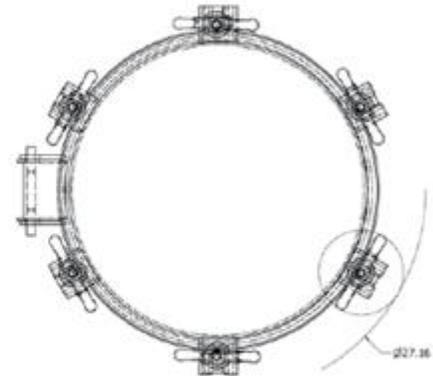
20" Manways | Non-Code

FEATURES:

- Gasket on Lid Design
- Lubenut or Wingnut Closure (4, 5 and 6 Wingnut options)
- 5/8" Square Buna Gasket
- Available in Aluminum, Carbon and Stainless Steel Necks
- Stainless Steel Fasteners on Stainless Steel Manways



Available with lube nuts
See Accessories
Section E - Fasteners



20" Manways - Non-Code | Parts List

PART NUMBER	LID	NECK	WINGNUTS	WEIGHT
206-2006-5A	20" POLISHED STAINLESS	ALUMINUM, 6"	5	49 LBS
206-2006-AS	20" POLISHED STAINLESS	ALUMINUM, 6"	6	51 LBS
206-2009-5A	20" POLISHED STAINLESS	ALUMINUM, 9"	5	51 LBS
206-2009-AS	20" POLISHED STAINLESS	ALUMINUM, 9"	6	53 LBS
206-2012-5A	20" POLISHED STAINLESS	ALUMINUM, 12"	5	55 LBS
206-2012-AS	20" POLISHED STAINLESS	ALUMINUM, 12"	6	60 LBS
202-2006-4C	20" CARBON STEEL	CARBON, 6"	4	62 LBS
202-2006-5C	20" CARBON STEEL	CARBON, 6"	5	69 LBS
202-2006	20" CARBON STEEL	CARBON, 6"	6	75 LBS

Figura 4.29: Escotilla Superior para Mantenimiento (NVE)

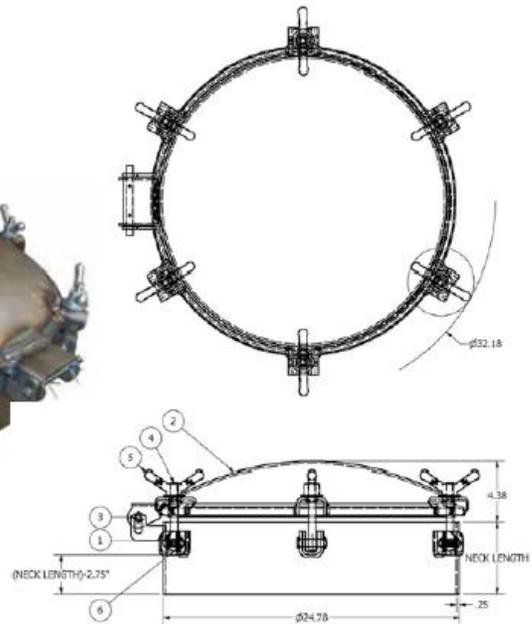
Fuente: (www.natvac.com)

La escotilla en la parte trasera del tanque es la más grande ya que esta se utilizara para que una persona pueda entrar y salir para el mantenimiento correctivo de las estructuras internas del tanque. ([Anexo A9](#))

25" Manways | Non-Code

FEATURES:

- Gasket on Lid (GOL) Design
- Wingnut Closure (6 Wingnut)
- 5/8" Square Buna Gasket



25" Manways - Non-Code | Parts List

PART NUMBER	LID	NECK	WEIGHT
202-2506	25" CARBON STEEL	CARBON STEEL 6"	94 LBS
202-2512	25" CARBON STEEL	CARBON STEEL 12"	115 LBS
206-2506	25" CARBON STEEL	ALUMINUM 6"	## LBS

Figura 4.30: Escotilla Posterior (NVE)
Fuente: (www.natvac.com)

4.20 Soldadura

La soldadura es la unión de superficies metales efectuada mediante la aplicación de calor en el área localizada, llevando a las partes a una temperatura cercana a la fusión del metal y dejándolas enfriar mientras están en contacto, ejerciendo presión o depositando metal fundido entre las partes para formar una pieza. Como procedimiento de construcción de estructuras y piezas de maquina tiene especial importancia dado que permite obtener elementos livianos resistentes, económicos y seguros. Pero ello es solamente posible si los diseños y construcciones son realizados de acuerdo con los procedimientos propios de la soldadura y se aplican criterios técnicos de ingeniería. Para lograr una adecuada calidad de los cordones así como las bases de la concepción de piezas y estructuras soldadas.

El tanque va a ser fabricado en su mayoría con soldadura tipo SMAW (soldadura manual con electrodo revestido) ya que es uno de los métodos más utilizados en nuestro

medio, para facilitar procesos de fabricación, mantenimiento y reparación, y en parte con soldadura tipo MIG (soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible).

La geometría de este diseño, dificulta la aplicabilidad de un código de soldadura. Si bien es cierto el código DOT, al que se ha regido este diseño, nombra el cálculo de la soldadura según ASME SEC. IX; estos no son totalmente aplicables, y serán utilizados en la medida posible, y con la ayuda de la teoría existente en libros. Por otro lado el código permite realizar cálculo por elementos finitos si fuera necesario.



Figura 4.31: Cable Recubierto para Soldar (LICOLN ELECTRIC)

Fuente: Propia

PRIMACORE™ LW-71, es un cable micro aleado de un gas blindado, básico-rutilo, para propósitos generales con núcleo fundente de soldadura diseñado para toda posición de soldadura para acero suave en aplicaciones que requieren niveles moderados de resistencia y de alta tenacidad.

PRIMACORE™ LW-71 se debe utilizar solo con CO₂.

(LICOLN ELECTRIC).

4.20.1 Tipo y Reparación de las Juntas

Las juntas soldadas han ido reemplazando a las remachadas y atornilladas por ser más eficientes y seguras. Sin embargo cada tipo de unión de tiene aplicaciones particulares donde por cuestiones prácticas se les da preferencia. (Jorge Ivan Diaz Aguilar, 1988)

La capacidad de carga de un cordón de soldadura depende de su esfuerzo permisible correspondiente al tipo de esfuerzo que se induce.

El diseño requiere básicamente de dos tipos de soldadura: A tope y de filete.

Todas las juntas requeridas para este diseño serán, realizadas en “V”, de los requerimientos según AWS, según los requerimientos de diseño que son los siguientes:

Según el código AWS, los requerimientos de diseño de soldadura son:

- Penetración completa.
- Tensión generada en las juntas en forma normal al área efectiva de la soldadura.

4.20.2 Soldadura en el Cuerpo

El cuerpo del tanque está compuesto por cilindros, los cuales están soldados a tope.

Para el cuerpo del tanque se realizó el análisis de soldadura en los cordones longitudinales, dado que, para los cordones transversales es el mismo análisis que para las soldaduras en las tapas que se realizara en los siguientes puntos.

Tabla 4.9: Acabado de la Superficie

Acabado de la superficie	Factor a		Exponente b
	Sut´ kpsi	Sut´ MPa	
Suelo	1.34	1.58	-0.085
Mecanizado o frío ahogar	2.70	4.51	-0.265
Laminados en caliente	14.4	57.7	-0.718
Forjado	39.9	272	-0.995

Elaboración: Propia

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$S_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$ka = a * Sy^b$$

$$ka = 1.044$$

$$kb = 1$$

$$kc = 1$$

$$kd = 1.025$$

$$Se' = 0.4 * Sy$$

$$Se' = 100$$

$$Se = ka * kb * kc * kd * Se' \quad [\text{Ec. 4.12}]$$

$$Se = 107.01 \text{ Mpa}$$

Donde

Sy = Resistencia a la Fluencia Tracción

a = factor Acabado de la superficie tabla

b = exponente Acabado de la superficie tabla

ka = Factor de acabado superficial

kb = factor de tamaño

kc = factor de confiabilidad

kd = factor de temperatura

Se' = límite de resistencia a la fatiga sin corregir

Se = límite de resistencia a la fatiga

De la simulación en software se obtiene los valores máximos y mínimos que el cuerpo va a resistir, con los cuales se calcula el factor de seguridad según “Solderberg”:

$$\sigma_{\max} = 6.7 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\min} = 0.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad [\text{Ec. 4.13}]$$

$$\sigma_m = 7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad [\text{Ec. 4.14}]$$

$$\sigma_a = 6.4 \text{ MPa}$$

$$k_f = 1$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_m + \frac{S_y}{S_e} * k_f * \sigma_a} \quad [\text{Ec. 4.15}]$$

$$FS = 11.39$$

Donde:

σ_{\max} = tensión máxima

σ_{\min} = tensión mínima

σ_a = amplitud de la tensión

σ_m = tensión media

k_f = factor de efectos diversos

El factor de seguridad es alto y es aceptado el material para construirlo.

Resistencia del cordón de soldadura

La longitud del cordón es de soldadura es de 2 m.

$$F = 0.62 * l \quad [\text{Ec. 4.16}]$$

$$F = 1240 \text{ Mpa}$$

$$F > \sigma_{max}$$

$$1240 \text{ Mpa} > 6.7 \text{ Mpa} ,$$

Con lo cual se demuestra que el material de aporte es correcto

4.20.3 Soldadura en las tapas

Existen dos secciones, la unión con el tanque y la unión para conformar la tapa, que serían las más críticas, con ayuda del software se obtuvieron el esfuerzo máximo y mínimo.

De la simulación en software se obtiene los valores máximos y mínimos que la tapa va a resistir, con los cuales se calcula el factor de seguridad según “Solderberg”:

$$\sigma_{max} = 23.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = 0.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = 11.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = 11.4 \text{ MPa}$$

$$k_f = 1$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_m + \frac{S_y}{S_e} * k_f * \sigma_a}$$

$$FS = 6.48$$

Donde:

σ_{max} = tensión máxima

σ_{min} = tensión mínima

σ_a = amplitud de la tensión

σ_m = tensión media

k_f = factor de efectos diversos

El factor de seguridad es alto y es aceptado el material para construirlo.

Resistencia del cordón de soldadura

La longitud del cordón es de soldadura es de 6 m.

$$F = 0.62 * l$$

$$F = 3720 \text{ Mpa}$$

$$F > \sigma_{max}$$

$$3720 \text{ Mpa} > 23.3 \text{ Mpa} ,$$

Con lo cual se demuestra que el material de aporte es correcto

4.20.4 Soldadura en los bafles.

Cada baffle será soldado al cuerpo, en las secciones que están en contacto con el mismo. La fuerza que va a soportar cada espejo es **1467.678 N**, generando los siguientes valores, con los cuales se calcula el factor de seguridad según “Solderberg”:

$$\sigma_{max} = 1.53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = 0.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = 0.815$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = 0.805$$

$$k_f = 1$$

$$FS = \frac{Sy}{\sigma_m + \frac{Sy}{Se} * kf * \sigma_a}$$

$$FS = 92$$

Donde:

σ_{max} = tensión máxima

σ_{min} = tensión mínima

σ_a = amplitud de la tensión

σ_m = tensión media

kf = factor de efectos diversos

El factor de seguridad es sumamente alto y es aceptado el material para construirlo.

Resistencia del cordón de soldadura

La longitud del cordón es de soldadura es de 1744 m.

$$F = 0.62 * l$$

$$F = 1081 \text{ Mpa}$$

$$F > \sigma_{max}$$

$$1081 \text{ Mpa} > 1.53 \text{ Mpa} ,$$

Con lo cual se demuestra que el material de aporte es correcto

4.20.5 Soldadura en las sillas.

Para el cálculo del filete de soldadura en las sillas, se tomaron en cuenta los siguientes valores

$$\sigma_{max} = 155 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = 22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_m = 144.5$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_a = 122.5$$

$$k_f = 1$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_m + \frac{S_y}{S_e} * k_f * \sigma_a}$$

$$FS = 2.02$$

Donde:

σ_{\max} = tensión máxima

σ_{\min} = tensión mínima

σ_a = amplitud de la tensión

σ_m = tensión media

k_f = factor de efectos diversos

El factor de seguridad es aceptable.

Resistencia del cordón de soldadura

La longitud del cordón es de soldadura es de 780 mm.

$$F = 0.62 * l$$

$$F = 483 \text{ Mpa}$$

$$F > \sigma_{\max}$$

$483 \text{ Mpa} > 155 \text{ Mpa}$,

Con lo cual se demuestra que el material de aporte es correcto

4.20.6 Otras soldaduras

Las demás soldaduras del tanque no requieren un cálculo ya que son de accesorios, los cuales tienen un dato de filete de soldadura igual y no son relevantes para el diseño del tanque

Capítulo V

5. Tecnología de la Construcción y Costos

5.1 Antecedentes

En este capítulo se detalla por medio de un diagrama de flujo de proceso, la construcción del tanque para crudo de 80 BLS, para tener una idea más clara del trabajo práctico que en este proyecto lo realizan 4 personas; 2 soldadores, 1 ayudante y un pintor.

5.2 Tecnología de la Construcción

La construcción de las partes constituyentes del tanque se las realizó en los talleres de la empresa Noroccidental S.A., en la siguiente tabla se observan las máquinas y equipos utilizados en la construcción del tanque.

Tabla 5.1: Máquinas y Equipos Utilizados en la Construcción del Tanque.

Designación	Maquina y/o Equipo	Características
M1	Roladora Allis-Chalmers	40 hp
M2	Soldadora lincoln CV-305/ F-72	Voltaje, 60Hz 208/230/460 Volts 230/460/575 Volts Salida Nominal 51/48/24 Amps
M3	Soldadura Lincoln	GMAW FCAW Voltaje de entrada $\pm 10\%$: 15-110 VCD Amp de entrada: 4 Salida Nominal a 40°C: Capacidad nominal del 60%:450 Capacidad nominal del 100%:325
M4	Soldadora Lincoln Invertec V350-PRO 60/50 HZ	Voltaje de CA de entrada: 200/208-230/380-400/415-460/575 Salida Nominal 350 A/34V/ 60%
M5	Amoladora Bosch GWS 24-180 (Disco)	Potencia absorbida2.400 Velocidad de giro en vacío8.500 rpm Ø del disco180 mm
M6	Amoladora Bosch GWS 26-180 (cepillo)	Potencia absorbida2.400 Velocidad de giro en vacío8.500 rpm Ø del disco180 mm

Fuente: Propia

Como herramientas y accesorios auxiliares se emplearon los enlistados en la siguiente tabla

Tabla 5.2: Herramientas y Accesorios Auxiliares

Designación	Herramienta y/o Accesorio
H1	Flexómetros
H2	Escuadras
H3	Tiza Industrial
H4	Combos
H5	Nivel
H6	Compas
H7	Entenalla
H8	Cinzel
H9	Guías de platinas
H10	Cadenas
H11	Piola
H12	Bases para soldar

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

5.3 Operaciones Tecnológicas

Las operaciones tecnológicas comprenden la construcción de determinadas partes del tanque que después se acoplan en la construcción del mismo.

Tabla 5.3: Operaciones Tecnológicas

No. de Operación	Descripción
1	Corte del material
2	Medición y trazado
3	Rolado
4	Soldadura por SMAW MIG o AFCA
5	Unión
6	Esmerilado y cepillado
7	Montaje
8	Pintura
9	Doblado

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

5.4 Cursograma sinóptico de la construcción

El cursograma sinóptico presenta las operaciones tecnológicas que se siguen en las etapas de construcción del tanque. Las operaciones de construcción no tienen un orden de seguimiento estricto, se ejecutan conforme la necesidad de avance de la construcción y según los planos. Para mejor comprensión del cursograma se emplea la siguiente nomenclatura:

Tabla 5.4: Nomenclatura Cursograma Sinóptico

Símbolo	Significado
	Operación tecnológica
	Inspección
	Traslado o transporte
	Almacenamiento
	Espera

Fuente: (Riba, Enero 2002)
Elaboración: Propia

5.4.1 Cilindros para el cuerpo del tanque

Plancha de 7633 x 910 x 6 mm

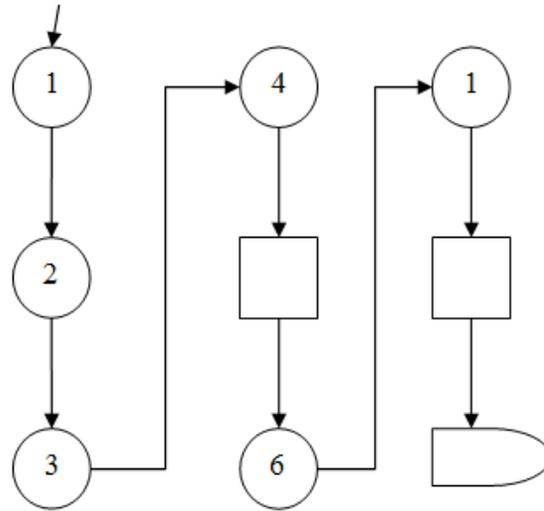


Figura 5.1: Cursograma Cilindros para el Cuerpo del Tanque
Elaboración: Propia

5.4.2 Base del tanque

Platinas 6000x65x9mm

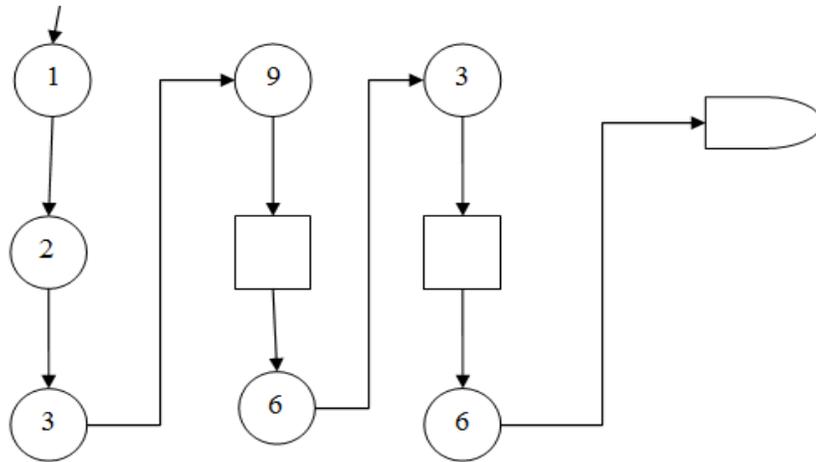


Figura 5.2: Cursograma Base del Tanque
Elaboración: Propia

5.4.3 Construcción Chasis

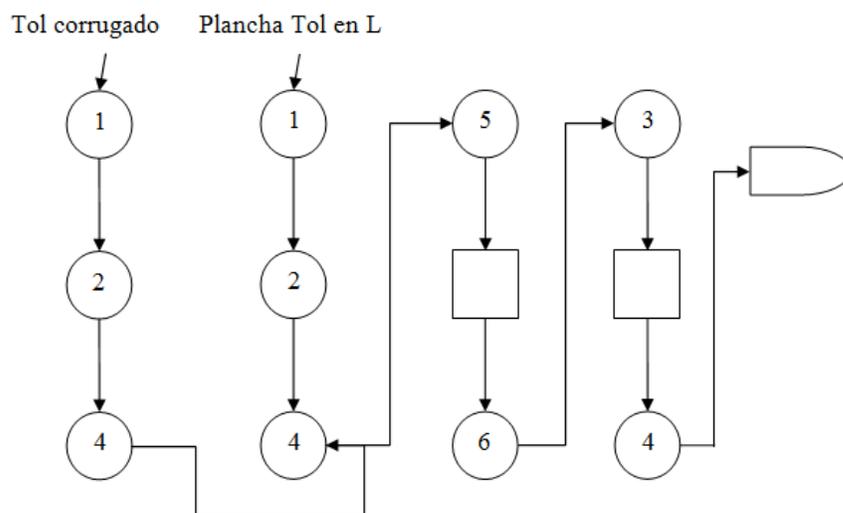


Figura 5.3: Cursograma Construcción Chasis
Elaboración Propia

5.4.4 Pasamanos y corredores

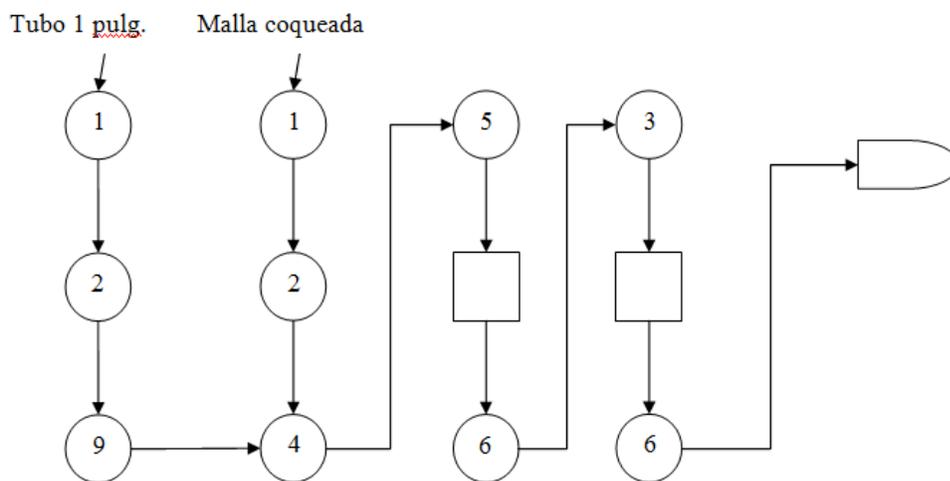


Figura 5.4: Cursograma Pasamanos y Corredores
Elaboración: Propia

5.4.5 Ubicación de Espejos

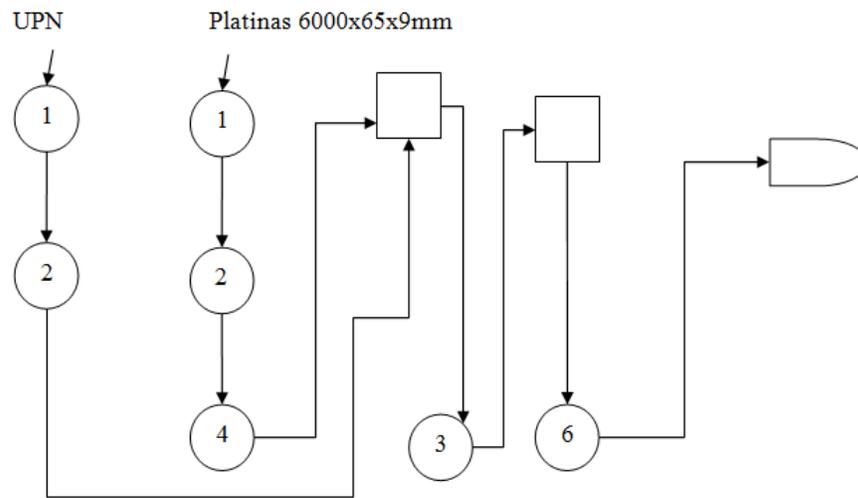


Figura 5.5: Cursograma Ubicación Espejos

Elaboración: Propia

5.4.6 Ubicación de refuerzos

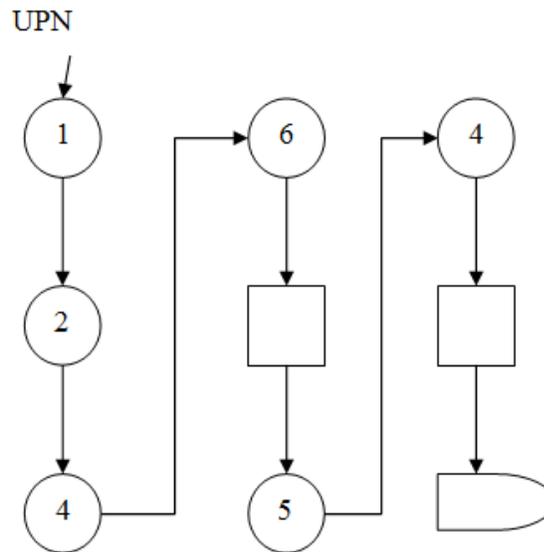


Figura 5.6: Cursograma Ubicación Espejos

Elaboración: Propia

5.4.7 Tubos de carga y descarga.

Tubo 1,70x4pulgx6mm

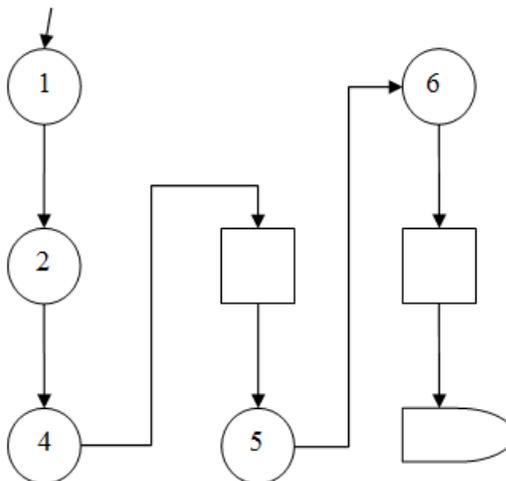


Figura 5.7: Cursograma Tubos de Carga y Descarga
Elaboración: Propia

5.4.8 Accesorios del tanque

Plancha de 7633 x 910 x 6 mm

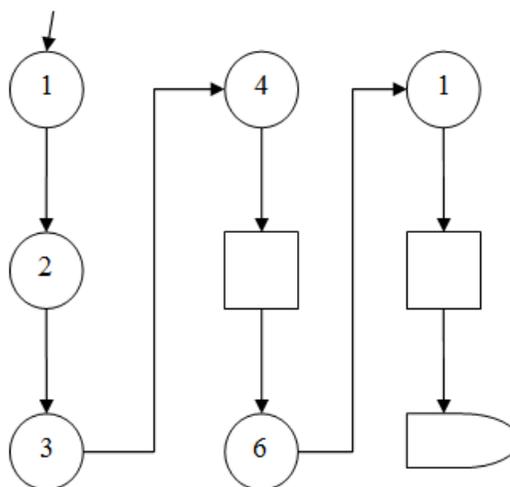


Figura 5.8: Cursograma Accesorios del Tanque
Elaboración: Propia

5.5 Operaciones de Montaje

Las operaciones de montaje de los diferentes componentes del tanque se describen en la siguiente tabla.

Tabla 5.5: Operaciones de Montaje

Operaciones de Montaje	Código
Montaje de Tapas en cilindros	m1
Montaje de espejos internos	m2
Montaje del cuerpo completo del tanque	m3
Montaje de cuerpo a base del tanque	m4
Montaje de chasis a base del tanque	m5
Montaje de refuerzos del tanque	m6
Montaje de corredores y escaleras del tanque	m7
Montaje de accesorios del tanque	m8
Pintura	m9

Elaboración: Propia

5.5.1 Cursograma de montaje

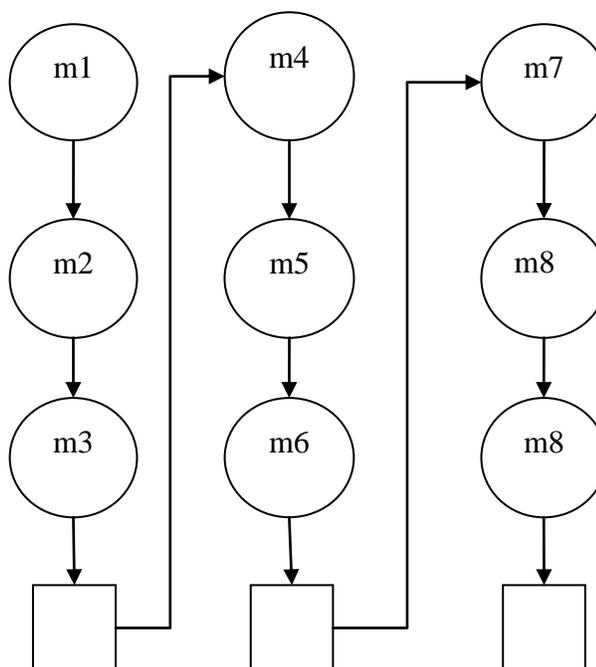


Figura 5.9: Cursograma de Montaje

Elaboración: Propia

5.6 Mapa de Procesos Construcción y Ensamblaje

El mapa de procesos es una representación gráfica que ayuda a visualizar los procesos que existen en la construcción del tanque.

Siguiendo lo establecido en los requisitos generales del apartado 4.1 de la Norma ISO 9001:2000 que establece que la organización debe:

- a. Identificar los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad y su aplicación a través de la organización.
- b. Determinar la secuencia e interacción de estos procesos

5.7 Identificación de Procesos

Los procesos para la construcción del tanque son los siguientes:

- a. Identificar materia prima
- b. Cortar y doblar materiales
- c. Rolado (planchas, refuerzos, UPN, etc.)
- d. Soldadura
- e. Pintura
- f. Revisión

5.7.1 Diagrama de Flujo de Proceso

A continuación se detalla en un algoritmo de construcción el proceso de construcción del proyecto de tanque de 13000 Litros.

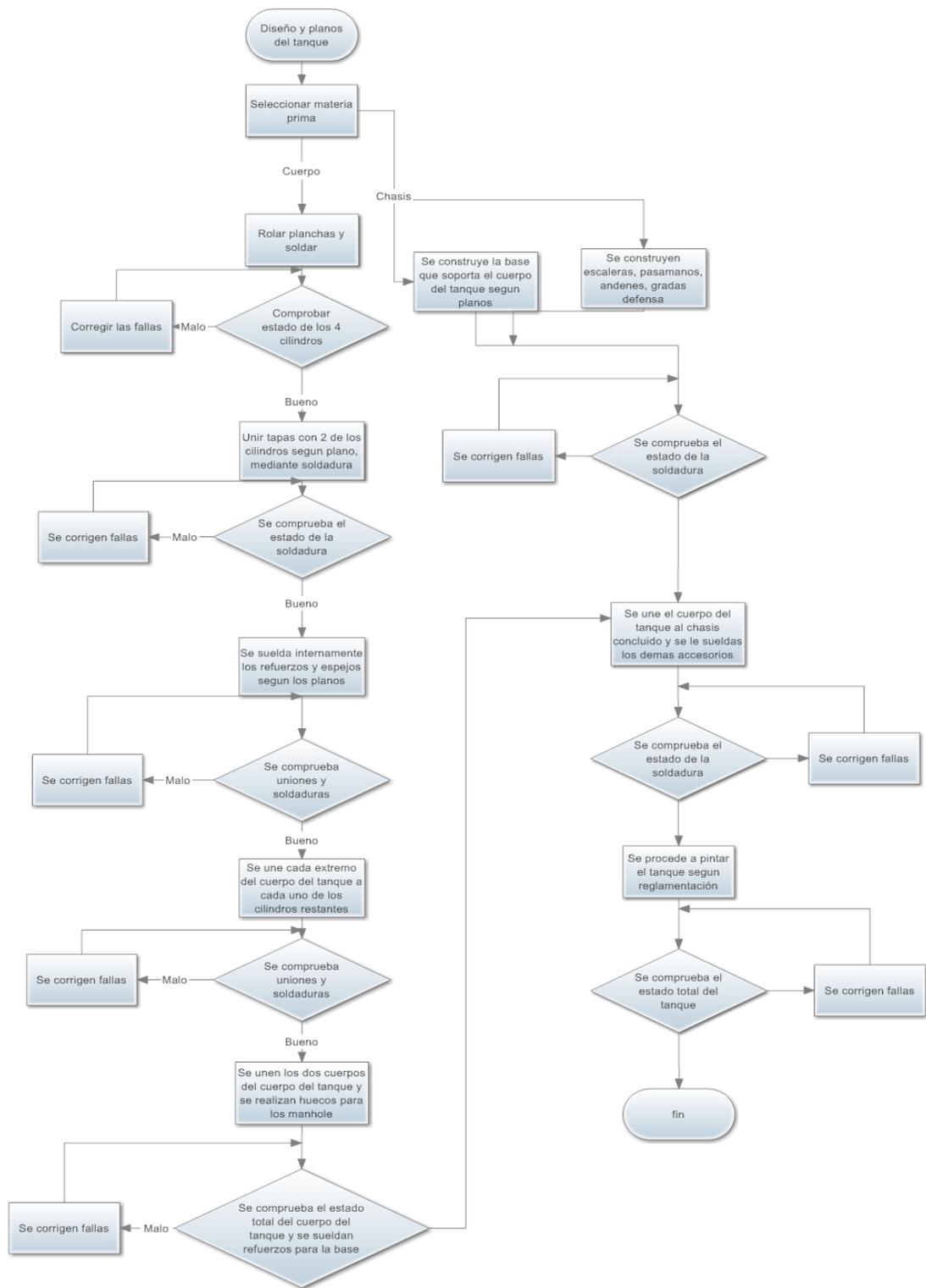


Figura 5.10: Diagrama de Flujo del Proceso

5.8 Costos de la Construcción del Tanque

El costo de los materiales que se emplean para un tanque de 30000 Galones. De capacidad de cuerpo cilíndrico y tapas toriesféricas son tomados de la base de datos de la empresa NOROCCIDENTAL S.A. estos precios son los reales y son menores a los valores del mercado nacional puesto que se los adquiere por medio de importaciones o mayoristas.

5.8.1 Costos de Materiales

Para realizar la construcción del tanque se utilizaron los siguientes materiales detallados por sus medidas o peso, según como se lo haya adquirido.

Tabla 5.6: Costos de Materiales

Material	Costo Unidad	Utilizados	Costo
Plancha naval 1820x6mm	889.6	6 ½	5782.4
Tapas (Planchas)	300	2	600
Tol en L	201.96	3	605.88
Tubo de 1 pulga x 2mm	9.06	8	72.48
Malla coqueada	102	1 ½	153
Tol 2mm	48.82	5	244.10
Tol corrugado de 3mm	90.59	½	45.30
UPN 100x50x6mm	89.32	10	893.2
Caja de electrodos	100.60	6	603.6
Rollo de alambre	35.25	3	105.75
Tanque de gas CO ₂	22.32	1	22.32
Tanque de gas O ₂	18.75	1	18.75
Tanque de gas propano	15	1	15
Tol 1400x300x8mm	201.96	1	201.96
Platinas 6000x65x9mm	32.92	3	98.76
Tubo 1,70x4pulgx6mm	95.76	3	287.28
Acoples Importados	2500	1	2500
Pintura	2000	*	2000
Material Eléctrico	650	*	650
Costo Total de Materiales:			14899

Elaboración: Propia

5.8.2 Costos de Fabricación

En este rubro se considera la mano de obra calificada que realiza la construcción del tanque.

Tabla 5.7: Costos de Fabricación

Descripción	Sueldo Mensual	Tiempo de Trabajo	Número de Trabajadores	Total
Soldador	800	1 mes	2	1600
Pintor	600	1 mes	1	150
Ayudante	400	1 semana	1	400
Total Costos de Fabricación				2150

Elaboración: Propia

5.8.3 Costos de Diseño

El costo del diseño se lo tomo de acuerdo a las horas empleadas en el proceso las cuales ascienden a 150 horas, estableciendo un costo de diseño de 8 USD la hora el resultado da 1200 USD

5.8.4 Costo Total del Tanque

Tabla 5.8: Costo Total del tanque

Descripción	Costo
Costo Total de Materiales:	14899.78 USD
Costos de Fabricación	2150 USD
Costos de Diseño	1200 USD
Costo Total del Tanque	18249.78 USD

Elaboración: Propia

Capítulo VI

6. Presentación y Análisis de Resultados

Este estudio permite obtener mejores resultados en la construcción del auto-tanque ya que al no tener un diseño del producto que se desea obtener, se dan pérdidas en insumos y horas hombre, necesarios para la construcción.

La opción de construcción cilíndrica con tapas toriesféricas es la determinada con el análisis de varias alternativas existentes en el mercado. Ya que asegura el transporte de crudo de la manera más confiable.

Este estudio elabora el diseño del auto-tanque regido por normas nacionales y extranjeras las cuales aportan una importante información al momento de elegir la opción del material que mejor soporte el trabajo al cual va a ser sometido la estructura.

Las normas nacionales y extranjeras son lo principal para la el diseño y la construcción del auto-tanque destinado para el transporte de crudo.

En el capítulo de diseño se obtiene como análisis de normas para el transporte de crudo y tipos de materiales según sus propiedades, que se debe utilizar el acero ASTM A-36, el cual tiene las cualidades ideales para la estructura deseada.

El software de simulación y ayuda para obtención de resultados fue SOLIDWORKS ya que permite definir análisis de estructuras con el material que se desee trabajar. En este caso fue muy importante en este estudio por su alta precisión al momento de entregar resultados.

Capítulo VII

7. Conclusiones y Recomendaciones

Para concluir este proyecto de tesis, este capítulo se dedicara a expresar las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo del proyecto, con el fin que se pueda dar continuidad al proyecto y mostrar los beneficios obtenidos.

7.1 Conclusiones

Después de realizar el proyecto de tesis de diseño y construcción de un tanque para crudo de 13000 litros se obtuvo que la fuerza del viento ejercida en los dos casos de barlovento y sotavento son $F_{v1} = 4209,37 \text{ N}$, para el primer caso y $F_{v1} = 14678 \text{ N}$, para el segundo caso, la presión hidrostática que sirvió para el cálculo computacional es $P = 18007.01 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2.52 \text{ Psi}$. La fuerza ejercida por el riesgo de accidentes es $F_{ra} = 5912.22 \text{ N}$.

La velocidad que un Auto-tanque cargado puede obtener en 100 m de distancia es de 40 KPH, y el tiempo que requiere es de 15 segundos aproximadamente, esto provoca una aceleración de $0.591 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, y la fuerza que ejerce esta aceleración es $F_a = 1426.17 \text{ N}$

El espesor mínimo para el cuerpo, cabezas, espejos y otros accesorios es 0.25 pulgadas o 6.35 mm lo que no excede los esfuerzos máximos especificados en la parte .345-3 (DOT 412).

La alternativa seleccionada para la construcción del tanque cumple satisfactoriamente con los requerimientos del mercado y se ha obtenido un tanque que se rige a las normas y estándares tanto nacionales como internacionales, de construcción, manejo y seguridad, existentes en la actualidad.

Este proyecto se ha elaborado para la empresa Noroccidental y para el uso de la misma, el análisis de costos del proyecto, demuestra que se ha optimizado la utilización de recursos para la realización con un costo total de 18249.78 USD. El tiempo en el que se realizó el proyecto es aproximadamente de 1 mes y medio en el diseño y simulación y 2 meses en la construcción.

Se realizó un esquema ordenado y comprensivo para la construcción de tanques de este tipo, en el cual se detalla un análisis completo de los materiales, herramientas y procesos que se utilizaron en el desarrollo del proyecto, mediante el cual se optimizó el tiempo de construcción del mismo.

Se obtuvieron resultados favorables mediante la simulación en SOLIDWORKS, la cual permitió un análisis completo de los materiales y las fuerzas a las que estos iban a ser sometidos cuando se encuentren en servicio.

7.2. Recomendaciones

Dentro del proyecto, hubo varias demoras dentro del proceso, ya que los constructores del mismo debían atender otras responsabilidades, y, al momento de regresar al proceso de construcción, muchas veces, se confundían ya que el proceso estaba abandonado por mucho tiempo, se recomienda documentar las actividades paso a paso de tal manera que para proyectos futuros se pueda volver al proceso de construcción y en unos minutos de lectura se puede volver a tomar el trabajo sin demoras más extensas.

Implementar más herramientas de precisión ya que en ciertos casos para que las piezas coincidan se lo lograba a base de golpes, con una herramienta de precisión se acortaría tiempo en la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- American Petroleum Institute. (1998). *API Notma 650*. Washington D.C. American Petroleum Institute
- Bernal, B. M. (s.f.). *Condiciones de seguridad en la carga y descarga de camiones cisterna: líquidos inflamables* Madrid. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España.
- Comité Técnico sobre Transporte de Líquidos Inflamables. (2006). *NFPA 385, Estándar para Vehículos Tanque para Líquidos Inflamables y Combustibles*. Comité Técnico sobre Transportes Inflamables
- CONDO, M.. SALAS, F. (2006). *Mecánica, Diseño de un tanque sobre chasis-cama alta acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de combustibles líquidos*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (s.f.). *Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2261:2007*. (s.l). Instituto Ecuatoriano de Normalización
- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. (s.f.). *Norma Inen 440 Colores de identificación de Tuberías*. Quito Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social
- Diaz Aguilar, J. I. (1988). *Resistencia de Materiales*. Mexico D. F. Limusa.
- LEZAMA, F. R. (2013). *GUIA DEL CÓDIGO ASME SECCION VIII*. México: Bubok.
- Ministerio de Economía Industria y Comercio. (1997). *DECRETO N° 26443-MEIC RTCR 249:1997*.(s.l). *La Gaceta*.
- PETROAMAZONAS. (2012). *Informe de Gestion 2012*. Quito. PETROAMAZONAS EP
- PETROECUADOR.. (s.f.). *Códigos y Normas de Diseño a utilizar*. Quito. PETROECUADOR
- Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Universidad Politécnica de Catalunya.

SOLIDWORKS. (2013).

Villareal Ger, M. (2011). *PETROLEO: CLASIFICACION Y CARACTERIZACION..*
QUITO.

NETGRAFÍA

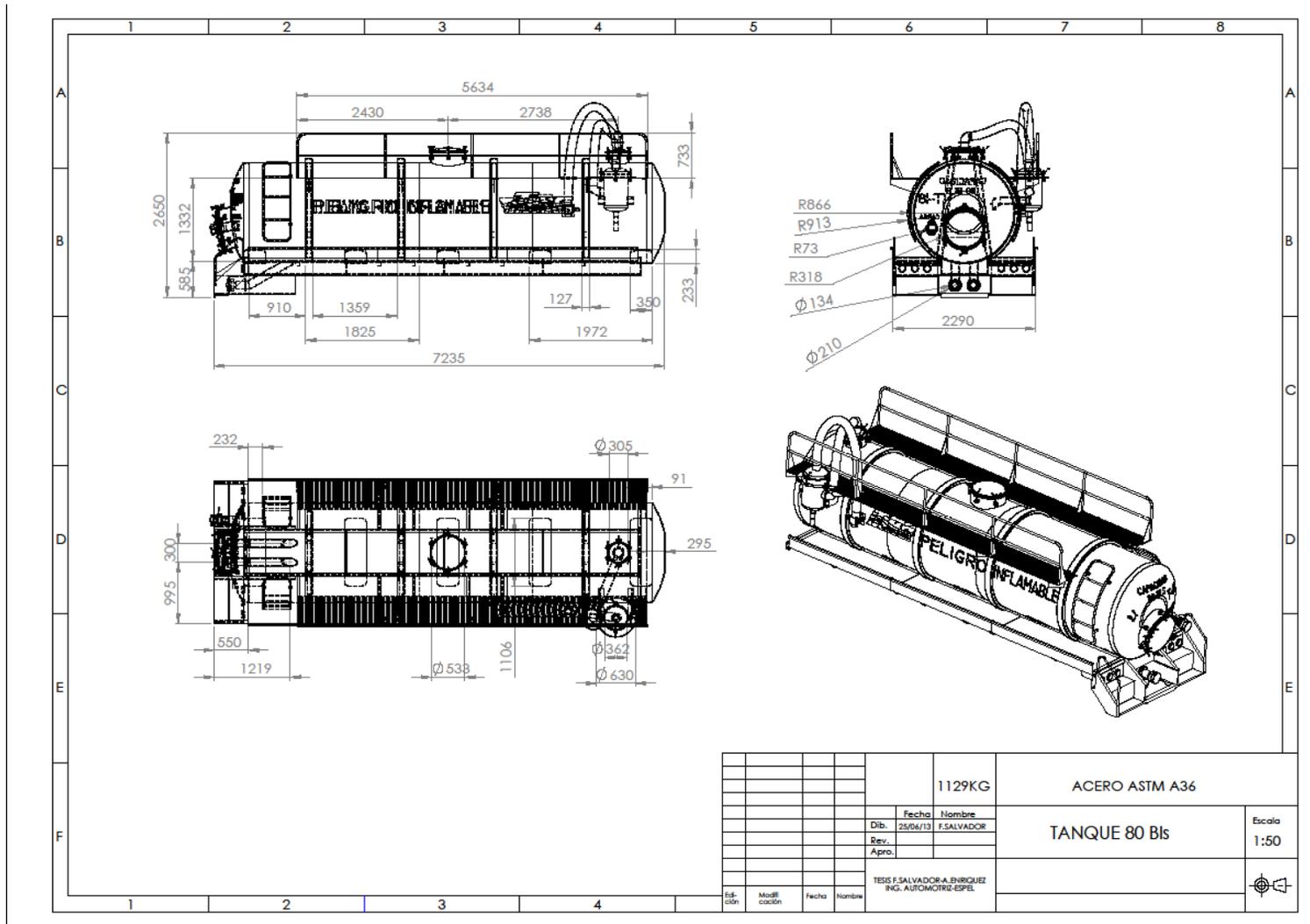
- http://www.structuremag.org/Archives/2006-8/D-UP-Part2The%20ASCE-SEI7-05_Aug.06.pdf [Citado el 7-08-2013]
- <http://www.wes.ir/files/6936303materials%20index.pdf> ASME SECCION II. (s.f.). [Citado el 15-08-2013]
- <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2010-title49-vol2/pdf/CFR-2010-title49-vol2-sec178-345-3.pdf> AUTHENTICATED U.S. GOVERNMENT INFORMATION. (s.f.). [Citado el 06-08-2013]
- <http://www.law.cornell.edu/cfr/text/49/178.345-3> Cornell University Law School. (s.f.). [Citado el 14-08-2013]
- <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2011-title49-vol3/pdf/CFR-2011-title49-vol3-sec178-348.pdf> DOT 412. (s.f.). [Citado el 13-08-2013]
- <http://www.inamhi.gob.ec/> INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. (s.f.). [Citado el 07-08-2013]
- <http://www.lincolnelectric.com.cn/english/products/PrimacoreLW-71.htm> LICOLN ELECTRIC. (s.f.). *LICOLN ELECTRIC*. [Citado el 02-09-2013]
- http://www.atpp.com.ec/ec/docs/pesos_dimensiones.pdf Ministerio de Transporte y Obras Publicas. (s.f.). [Citado el 06-08-2013]
- www.law.cornell.edu/: <http://www.law.cornell.edu/cfr/text/49/178.345-1> Norma 49 CFR. (s.f.). *Requerimientos Generales*. [Citado el 09-07-2013]
- <http://www.natvac.com/pdf/SecD-Valves.pdf> NVE. (s.f.). [Citado el 23-08-2013]
- <http://www.ssproducts.com/code/?code=128> SUPERIOR (Steel Products, Inc.). (s.f.). *SUPERIOR (Steel Products, Inc.)*. [Citado el 06-08-2013]
- Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Cami%C3%B3n_cisterna Wikipedia. (12 de Marzo de 2013). *Wikipedia*. [Citado el 10-04-2013]

ANEXOS

Anexo A1 Plano Tapa Cierre Cilindro	156
Anexo A2 Plano del Cuerpo del Tanque	157
Anexo A2.1 Plano del Cuerpo del Tanque	158
Anexo A3 Plano Diseño del Bastidor	159
Anexo A4 Plano Espejos o Baffles	160
Anexo A5 Plano Conjunto de Alivio.....	161
Anexo A5.1 Plano Válvula de Presión	162
Anexo A5.2 Plano Válvula de Vacío.....	163
Anexo A6 Plano Válvula de Descarga	164
Anexo A7 Plano Compuerta Superior Delantera con Filtro de Seguridad	165
Anexo A8 Plano Compuerta Superior Trasera	166
Anexo A9 Plano Tapa de Revisión.....	167
Anexo B Fotografías que Detallan el Proceso de Construcción del Tanque	169
Anexo C Artículo Científico.....	194

ANEXO A

Anexo A2 Plano del Cuerpo del Tanque



ANEXO B

Fotografías que Detallan el Proceso de Construcción del Tanque



Fotografía 1: Plancha Rolada y Punteada con Soldadura 6010

Fuente: Propia



Fotografía 2: Planchas Roladas y Punteadas

Fuente: Propia



Fotografía 3: Posicionamiento Tapa-Cilindro

Fuente: Propia



Fotografía 4: Guías Ubicadas en Cilindro

Fuente: Propia



Fotografía 5: Soldadura Tapa-Cilindro

Fuente: Propia



Fotografía 6: Soldadora Biselada Unión Tapa-Cilindro

Fuente: Propia



Fotografía 7: Cordones de Soldadura al Interior del Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 8: Posicionamiento Unión Cilindro-Cilindro

Fuente: Propia



Fotografía 9: Soldadura AFCA en Unión de dos Cilindros

Fuente: Propia



Fotografía 10: Soldaduras Terminadas al Interior del Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 11: Rolado de Platina

Fuente: Propia



Fotografía 12: Corte de los Refuerzos de los Espejos

Fuente: Propia



Fotografía 13: Ubicación Espejos

Fuente: Propia



Fotografía 14: Ubicación Refuerzo con Ayuda de Prensa Hidráulica

Fuente: Propia



Fotografía 15: Soldadura de Espejos y Refuerzos de Espejos

Fuente: Propia



Fotografía 16: Hoyo para Manhole

Fuente: Propia



Fotografía 17: Cuerpo del Tanque Completo



Fotografía 18: Rolado de Refuerzo para Base del Cuerpo del Tanque
Fuente: Propia



Fotografía 19: Unión con Cadena Refuerzo Base-Cuerpo del Tanque 19

Fuente: Propia



Fotografía 20: Base del Chasis Terminada para Unir al Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 21: Construcción Pasamanos

Fuente: Propia



Fotografía 22: Construcción Corredores

Fuente: Propia



Fotografía 23: Soldadura en la Construcción de Corredores

Fuente: Propia



Fotografía 24: Tol Coarrugado Doblado para Escaleras

Fuente: Propia



Fotografía 25: Gradas Soldadas al Chasis

Fuente: Propia



Fotografía 26: Bandejas

Fuente: Propia



Fotografía 27: Base de Pintura para las Bandejas

Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fotografía 29: Defensa Lateral Chasis

Fuente: Propia



Fotografía 30: Defensa Chasis

Fuente: Propia



Fotografía 31: Manhole

Fuente: Propia



Fotografía 32: Soldadura Construcción del Chasis

Fuente: Propia



Fotografía 33: Oreja y Base Soldados en el Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 34: Unión Tanque-Base por medio de una Cargadora

Fuente: Propia



Fotografía 35: Colocación de Refuerzos UPN Alrededor del Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 36: Corredor Superior Soldado al Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 37: Bases de Bandejas Soldadas al Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 38: Colocación y Soldadura de las Bandejas al Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 39: Escalera Soldada al Tanque



Fotografía 40: Manhole Soldado al Tanque

Fuente: Propia



Fotografía 41: Tubos de Carga

Fuente: Propia



Fotografía 42: Tubos de Descarga Vista Anterior

Fuente: Propia



Fotografía 43: Medidor de Nivel

Fuente: Propia



Fotografía 44: Boya de Nivel



Fotografía 45: Soporte Manómetro

Fuente: Propia



Fotografía 46: Soporte Filtro

Fuente: Propia



Fotografía 47: Soporte Mangueras

Fuente: Propia



Fotografía 48: Tanque Terminado

Fuente: Propia



Fotografía 49: Colocación de Señales

Fuente: Propia



Fotografía 50: Tanque Pintado y Terminado

Fuente: Propia

ANEXO C

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Andrés Sebastián Enríquez Sánchez y Francisco Javier Salvador Rumazo bajo mi supervisión.

.....
Ing. OSWALDO JACOME

DIRECTOR

.....
Ing. ERNESTO SANTILLÁN

CODIRECTOR

.....
Ing. JUAN CASTRO

DIRECTOR DE LA CARRERA

.....
Dr. FREDDY JARAMILLO CHECA

SECRETARIO ACADÉMICO