

PRESENTACIÓN

Con el fin de poder competir en un mundo que va en dirección a la globalización, la industria ecuatoriana debe someterse a las normas internacionales de construcción, manufactura en la producción y transporte de los bienes que se elaboran o explotan en su territorio. La necesidad industrial de expansión nacional e internacional, compromete a nuestro país a ir en la búsqueda de nuevas formas y mecanismos tendientes a la entrega al consumidor de un producto en las más óptimas condiciones.

El Ecuador es un país petrolero que necesita transportar sus derivados y residuos. La naturaleza de estos bienes obliga a considerarlos dentro del rango del transporte pesado, y por lo especial del tratamiento que deben recibir dichos derivados del petróleo, hemos de concluir que el medio más idóneo para su traslado y buen mantenimiento de características y condiciones químicas y físicas es el transporte terrestre.

El transporte adecuado de gasolina y diesel necesita de algunos parámetros, como por ejemplo el volumen que se va a transportar, cargar y descargar desde el punto de inicio de carga, hasta el punto final de llegada y descarga.

Los rangos de volumen de transporte bajo este tipo de sistema crecerán a medida que se pruebe la eficiencia del mismo y permita un buen nivel de rentabilidad. Sistemas ya existentes en el mercado tienen limitaciones y problemas como el sobre dimensionamiento y empirismo constructivo, por una parte, y por otra el sistema estructural del auto tanques ya existentes, presentan problemas de rotura en los elementos de sujeción entre el tanque y el chasis.

Este documento guía paso a paso el diseño normalizado de una alternativa escogida, además que provee de una memoria de cálculo en la que se pueden obtener los valores de los diferentes tipos de carga así como de sus combinaciones, las mismas que son factor determinante en el diseño de la estructura y de una posterior construcción.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto el diseño de un tanque sobre chasis acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de combustibles líquidos, enfocándose principalmente al diesel y gasolina.

También se muestra una estadística completa de la producción y comercialización de derivados de petróleo, evidenciando la necesidad de traslado de estos, así como también un estudio de mercado que detalla y recoge las necesidades y facilidades que el propietario desea tener en un auto tanque.

Una vez hecha la investigación de mercado, se realiza un estudio profundo de las normas y procedimientos que rigen a nivel nacional e internacional el diseño y la construcción de semiremolques tanque para transporte a granel de sustancias peligrosas como lo son la gasolina y el diesel.

Luego de sustentar teóricamente el tema se procede al estudio y selección de alternativas que pueden satisfacer las exigencias requeridas (tanto en normas como en estudio de mercado) y mediante un análisis en que se evalúan factores técnicos y económicos se procede a determinar la alternativa más adecuada.

El escogitamiento mencionado determinó que la opción más adecuada es el diseño de un *Semiremolque tanque de cuerpo cilíndrico con tapas toriesféricas para una capacidad de 10.000 galones.*

Posteriormente se realiza el diseño y dimensionamiento de la estructura dibujando y simulando los elementos constitutivos de la misma en software de última generación como es el SOLID WORKS 2006, COSMOS WORKS 2006 Y SAP 2000 V10.; adicionalmente a esto se realizó un programa de pre - dimensionamiento en VISUAL BASIC 6.0, el mismo que entrega una serie de datos que son suficientes para poder diseñar un auto tanque, este software o memoria de cálculo también permite escoger semiremolques tanque de distinta

forma geométrica (tanto en cuerpo como en tapas) así como de capacidad de transporte.

También se han contabilizado los costos tanto de ingeniería, materiales, accesorios, maquinaria y mano de obra que se emplean en el diseño y construcción un auto tanque con tal capacidad.

Finalmente se pueden encontrar los planos constructivos que constituyen el diseño de la alternativa seleccionada, así como una completa recopilación de catálogos y normas que sustentan todo el trabajo realizado.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
CAPITULO 1.....	1
1 GENERALIDADES	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS	2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5 ALCANCE	4
CAPITULO 2	5
2 GENERALIDADES	5
2.1 DEFINICIÓN DE TANQUES MÓVILES PARA EL TRANSPORTE DE GASES A BAJA PRESIÓN	5
2.1.1 DEFINICIÓN DE REMOLQUE CISTERNA.....	5
2.1.2 DEFINICIÓN DE SEMIREMOLQUE CISTERNA	5
2.1.3 DEFINICIÓN DE CABEZAL	8
2.1.4 IMPORTANCIA DE UN SEMIREMOLQUE CISTERNA	9
2.1.5 TIPOS DE TANQUEROS Y SEMIREMOLQUE CISTERNA.....	9

2.1.5.1 SEMIREMOLQUE CISTERNA DE UN EJE	11
2.1.5.2 SEMIREMOLQUE CISTERNA DE DOS EJES	12
2.1.5.3 SEMIREMOLQUE CISTERNA DE TRES EJES	13
2.2 ESTUDIO ESTADÍSTICO DEL SECTOR HIDROCARBURÍFERO.....	14
2.2.1 LA INDUSTRIA Y COMERCIO HIDROCARBURÍFERO EN EL ECUADOR	15
2.2.2 SECTOR HIDROCARBURÍFERO ECUATORIANO	15
2.2.3 ESTUDIO SEGÚN EL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS Y LA DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS	19
2.2.4 ESTUDIO DE SEMIREMOLQUES Y REMOLQUES CISTERNA SEGÚN LA DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS	24
2.3 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE MERCADO	28
2.3.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS	28
2.3.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO	29
CAPITULO 3	30
3 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE NORMAS TÉCNICAS DE DISEÑO, INSPECCIÓN TÉCNICA Y DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, NACIONALES E INTERNACIONALES.....	30
GENERALIDADES	30
3.1.1 NORMA NTE INEN 2261	32
3.1.2 NORMA NFPA 385	32
3.1.3 CÓDIGO DE REGULACIONES FEDERALES DE EEUU. (CFR)	42
3.1.4 ESPECIFICACIONES DOT (DEPARMENT OF TRANSPORT).....	46
3.1.5 NORMAS NTE INEN 489:99 ; 983 ; 935:99 ; 069:96	58
3.2 ANÁLISIS DE NORMATIVAS EXISTENTES EN LA DNH	59
3.2.1 TEMPERATURAS Y CAUDALES DE COMBUSTIBLES POR REGIONES	60
3.2.2 DISPOSICIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA TRANS - PORTE, CARGA Y DESCARGA DE COMBUSTIBLES EN AUTO –	

TANQUES	63
3.3 PARÁMETROS DE CONTROL ADAPTADOS A LA REALIDAD NACIONAL	69
3.4 REQUISITOS DE ETIQUETADO Y PINTURA	74
3.4.1 COLORES DE LAS ETIQUETAS	75
3.4.1.1 ETIQUETA PARA LÍQUIDO INFLAMABLE (DOT 172.419).....	75
3.5 REQUISITOS DE SEGURIDAD SEGÚN “PETROECUADOR”	76
CAPITULO 4	80
4 ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	80
4.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS	80
4.1.1 ALTERNATIVA 1 : SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO ELÍPTICO CON TAPAS ELÍPTICO – CÓNCAVAS	80
4.1.2 ALTERNATIVA 2 : SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO ELÍPTICO Y TAPAS PLANAS	82
4.1.3 ALTERNATIVA 3 : SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO CIRCULAR CON TAPAS TORIESFÉRICAS	84
4.1.4 ALTERNATIVA 4 : SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO CIRCULAR CON TAPAS PLANAS.....	86
4.2 ANÁLISIS	87
4.3 CUADRO DE PONDERACIONES	92
4.4 SELECCIÓN	94
4.5 PROTOCOLO DE PRUEBAS	94
CAPITULO 5	96
5 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA .	96
5.1 GENERALIDADES	96
5.2 DISEÑO DEL SEMIREMOLQUE TANQUE SEGÚN CÓDIGO DOT....	96
5.2.1 MATERIAL A TRANSPORTAR (DIESEL)	97
5.3 REQUISITOS DE DISEÑO	99
5.3.1 REQUISITOS DIMENSIONALES	99
5.3.2 REQUISITOS ESTRUCTURALES	101

5.3.3	REQUISITOS DE ACCESORIOS	101
5.3.4	REQUISITOS CONTRA ACCIDENTES	102
5.3.4.1	PRESIÓN	103
5.3.4.2	CIERRES (CLOSURES)	103
5.4	CARGAS	104
5.4.1	CARGAS POR VIENTO	104
5.4.2	CARGAS VIVAS (DINÁMICAS)	110
5.4.3	COMBINACIÓN DE CARGAS	114
5.5	ESFUERZOS PERMISIBLES MÁXIMOS	114
5.5.1	ESFUERZOS NORMALES DE OPERACIÓN	115
5.5.2	ESFUERZOS DINÁMICOS EXTREMOS	118
5.6	MATERIAL	121
5.7	FACTOR DE SEGURIDAD	123
5.8	ESPESOR DEL MATERIAL	124
5.9	DEFORMACIÓN PERMITIDA	124
5.10	ACERO EQUIVALENTE	125
5.11	CORROSIÓN	125
5.12	SOPORTES Y REFUERZOS ,.....	126
5.13	REFUERZOS DEL TANQUE	126
5.14	PROTECCIÓN DE UNIONES	127
5.15	TAPAS DEL TANQUE	127
5.15.1	ANÁLISIS DE ESFUERZOS	128
5.15.2	DEFORMACIÓN	130
5.16	CUERPO DEL TANQUE	131
5.16.1	ANÁLISIS DE ESFUERZOS	132
5.16.2	DEFORMACIÓN	133
5.17	SILLAS	134

5.17.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS	135
5.17.2 DEFORMACIÓN	137
5.18 BAFLES (ESPEJOS).....	137
5.18.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS	139
5.18.2 DEFORMACIÓN	140
5.19 TANQUE	141
5.19.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS	142
5.19.2 DEFORMACIÓN	144
5.20 SELECCIÓN DE ACCESORIOS DEL TANQUE (FITTINGS)	144
5.20.1 SELECCIÓN DE VÁLVULA DE ALIVIO	145
5.20.2 SELECCIÓN DE VÁLVULA DE DESCARGA	147
5.20.3 SELECCIÓN DEL MANHOLE (CARGA)	149
5.21 DISEÑO DEL CHASIS	150
5.21.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS	152
5.21.2 DEFORMACIÓN	153
5.22 SELECCIÓN DE LA SUSPENSIÓN (TANDEM)	155
5.23 SELECCIÓN DE LOS EJES	157
5.24 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS	158
5.25 SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	159
5.26 SELECCIÓN DE LA QUINTA RUEDA (KING PIN)	161
5.27 SELECCIÓN DEL BARRAS TELESCÓPICAS (LANDING GEAR).....	162
5.28 SOLDADURA	162
5.28.1 MATERIAL DE APORTE PARA LA SOLDADURA	163
5.28.2 TIPO Y PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS	164
5.28.3 SOLDADURA EN EL CUERPO	166

5.28.4 SOLDADURA EN LAS TAPAS	169
5.28.5 SOLDADURA EN LOS BAFLES	171
5.28.6 SOLDADURA EN LAS SILLAS	172
5.28.7 SOLDADURA EN EL CHASIS	173
5.28.8 OTRAS SOLDADURAS	175
CAPITULO 6	176
6 SOFTWARE DE DISEÑO Y COSTOS DEL SEMIREMOLQUE TANQUE.....	176
6.1 SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y AFORO DE SEMIREMOLQUES TANQUE PARA EL TRASLADO DE COMBUSTIBLES	176
6.2 REALIZACIÓN DEL PROGRAMA	176
6.2.1 EJEMPLO PRÁCTICO DEL SOFTWARE DE DISEÑO APLICADO A LA ALTERNATIVA ESCOGIDA	177
6.3 MODELO MATEMÁTICO. ECUACIONES Y EJEMPLO DE AFORO DE AUTO TANQUES	184
6.3.1 MÉTODO DE MEDIDA Y CALIBRACIÓN DE UN AUTO TANQUE.....	184
6.3.2 AFORO EN LAS TAPAS (CABEZAS)	186
6.3.3 AFORO EN EL CUERPO DEL TANQUE	189
6.4 COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL AUTO TANQUE	192
6.5 COSTOS DE MATERIALES	192
6.6 COSTOS DE FABRICACIÓN	192
6.7 COSTOS DE ELEMENTOS DE ADQUISICIÓN	193
6.8 COSTO DE DISEÑO	193
6.9 COSTO TOTAL DE LA ESTRUCTURA	193

6.10	FUNCIÓN PARA DETERMINAR COSTOS DE FABRICACIÓN DE AUTO TANQUES	193
CAPITULO 7	196
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	196
7.1	CONCLUSIONES	196
7.2	RECOMENDACIONES	197
BIBLIOGRAFÍA	198
ANEXOS	200

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. ESQUEMA DE UN REMOLQUE CISTERNA.....	5
FIGURA 2.2. ESQUEMA DE UN SEMIREMOLQUE CISTERNA.....	6
FIGURA 2.3. SEMIREMOLQUE CISTERNA ACOPLADO A TRACTOCAMIÓN (FUERZA MOTRIZ.....	6
FIGURA 2.4. ESQUEMA DEL KING PIN	7
FIGURA 2.5. QUINTA RUEDA	7
FIGURA 2.6. CABEZAL CON TROMPA	8
FIGURA 2.7. CABEZAL CHATO	8
FIGURA 2.8. SISTEMA AUTOTANQUE DE DOS EJES, MONTADO SOBRE UN TRACTOCAMIÓN	10
FIGURA 2.9. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE DOS EJES ACOPLADO A TRACTOCAMIÓN	10
FIGURA 2.10. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE UN EJE	11
FIGURA 2.11. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE DOS EJES CON TANQUE DE FORMA ELÍPTICA CON CAPACIDAD DE 10.000 GALONES	12
FIGURA 2.12. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE DOS EJES CON TANQUE DE FORMA ELÍPTICA CON CAPACIDAD DE 8.000 GALONES.....	12
FIGURA 2.13. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE DOS EJES CON TANQUE DE FORMA CIRCULAR CON CAPACIDAD DE 10.000 GALONES	13
FIGURA 2.14. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE DOS EJES CON TANQUE DE FORMA ELÍPTICA CON CAPACIDAD DE 11.000 GALONES	14
FIGURA 2.15. REFINERÍAS Y TERMINALES DEL ECUADOR	18
FIGURA 3.1. GRÁFICO ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN	36
FIGURA 3.2. ANILLOS DE REFUERZO	39
FIGURA 3.3. SECCIÓN ACREDITADA DE LA CORAZA	40
FIGURA 3.4. ETIQUETA PARA LÍQUIDOS INFLAMABLES	76

FIGURA 3.5. ETIQUETA DE TEXTO PREVENTIVO	76
FIGURA 3.6. TAMAÑO DE LETRAS	77
FIGURA 3.7. CONEXIÓN A TIERRA DURANTE LA CARGA	78
FIGURA 4.1. SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO ELÍPTICO CON TAPAS CILÍNDRICO CÓNCAVA.....	81
FIGURA 4.2. SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO ELÍPTICO CON TAPAS PLANAS	83
FIGURA 4.3. SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO CIRCULAR CON TAPAS TORIESFÉRICAS	84
FIGURA 4.4. SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO CIRCULAR CON TAPAS PLANAS	86
FIGURA 5.1. DIMENSIONES Y PESOS ADMITIDOS (MOP)	100
FIGURA 5.2. ESQUEMA DE BARLOVENTO Y SOTAVENTO CASO 1	103
FIGURA 5.3. ESQUEMA DE BARLOVENTO Y SOTAVENTO CASO 2	104
FIGURA 5.4. SECCIÓN DEL TANQUE	107
FIGURA 5.5. LONGITUD Y ALTURA GENERALES DEL TANQUE	109
FIGURA 5.6. COMBINACIÓN DE CARGAS	114
FIGURA 5.7. UBICACIÓN DE FUERZAS Y RESTRICCIONES EN LAS TAPAS.....	128
FIGURA 5.8. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA TAPA	129
FIGURA 5.9. FACTOR DE SEGURIDAD EN LA TAPA	130
FIGURA 5.10. DEFORMACIÓN EN TAPA	130
FIGURA 5.11. UBICACIÓN Y RESTRICCIONES EN EL CUERPO	131
FIGURA 5.12. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS A (CUERPO)	132
FIGURA 5.13. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS B (CUERPO)	132
FIGURA 5.14. DEFORMACIÓN CUERPO	133
FIGURA 5.15. ESQUEMA SILLA	134
FIGURA 5.16. PROPIEDADES DE MASA DE CUERPO	135
FIGURA 5.17. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS SILLA	135
FIGURA 5.18. FACTOR DE SEGURIDAD SILLA	136
FIGURA 5.19. DEFORMACIÓN SILLA	137
FIGURA 5.20. ESQUEMA BAFLE	138
FIGURA 5.21. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS BAFLE.....	139

FIGURA 5.22. FACTOR DE SEGURIDAD BAFLE	140
FIGURA 5.23. DEFORMACIÓN BAFLE	140
FIGURA 5.24. ESQUEMA TANQUE	142
FIGURA 5.25. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS (COMBO 1)	143
FIGURA 5.26. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS (COMBO 2)	143
FIGURA 5.27. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS (COMBO 3)	143
FIGURA 5.28. DISTRIBUCIÓN TANQUE (COMBO 1)	144
FIGURA 5.29. VÁLVULA DE ALIVIO.....	147
FIGURA 5.30. VÁLVULA DE DESCARGA	148
FIGURA 5.31. BOCA DE INSPECCIÓN.....	149
FIGURA 5.32. RESTRICCIONES DEL CHASIS	150
FIGURA 5.33. CARGAS DEL CHASIS	151
FIGURA 5.34. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS CHASIS	152
FIGURA 5.35. FACTOR DE SEGURIDAD CHASIS	153
FIGURA 5.36. DEFORMACIÓN (A) CHASIS	154
FIGURA 5.37. DEFORMACIÓN (B) CHASIS	154
FIGURA 5.38. ESQUEMA DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	155
FIGURA 5.39. RESULTANTE EN LAS RESTRICCIONES DEL CHASIS.....	157
FIGURA 5.40. ESQUEMA DEL EJE	158
FIGURA 5.41. ESQUEMA SISTEMA DE FRENOS	159
FIGURA 5.42. POSICIÓN DE LOS ACCESORIOS ELÉCTRICOS	160
FIGURA 5.43. DIAGRAMA DEL CONECTOR DE ACCESORIOS	161
FIGURA 5.44. KING PIN	161
FIGURA 5.45. JUNTA A TOPE	164
FIGURA 5.46. JUNTA DE FILETE	165
FIGURA 5.47. CATEGORÍA DE JUNTAS SOLDADAS EN EL CUERPO	166
FIGURA 5.48. ESFUERZO EN LA SOLDADURA TIPO 1	166
FIGURA 5.49. ESFUERZO EN LA SOLDADURA TIPO 2	168
FIGURA 5.50. ESFUERZO EN LA SOLDADURA TAPAS	170
FIGURA 5.51. FUERZAS DE REACCIÓN EN LA SOLDADURA BAFLES ...	171
FIGURA 5.52. CÁLCULO DE FILETE DE SOLDADURA BAFLE	171
FIGURA 5.53. FUERZAS Y MOMENTOS EN LAS SILLAS	172
FIGURA 5.54. CÁLCULO DE FILETE DE SOLDADURA SILLAS	172

FIGURA 5.55. CARGA EN LAS VIGAS DE SILLAS	173
FIGURA 5.56. FILETE DE SOLDADURA EN LAS VIGAS DEL CHASIS	174
FIGURA 6.1 PANTALLA DE INICIACIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO.....	178
FIGURA 6.2. PANTALLA PARA LA INTRODUCCIÓN DE DATOS	179
FIGURA 6.3. PANTALLA DE RESULTADOS DEL PREDIMENSIONAMIENTO.....	180
FIGURA 6.4. PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS DE AFORO DEL AUTO TANQUE	181
FIGURA 6.5. PANTALLA DE RESULTADO DE DIAGRAMAS Y VALORES DE CARGA DE VIENTO	182
FIGURA 6.6. PANTALLA DE RESULTADOS DE DIAGRAMAS Y VALORES DE CARGAS VIVAS	183
FIGURA 6.7. PANTALLA DE RESULTADOS CON VALORES DE CARGAS MUERTAS	184
FIGURA 6.8. SEGMENTO CIRCULAR DE UNA TAPA ELÍPTICO – CÓNCAVA	187
FIGURA 6.9. AFORO DEL TANQUE	189

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1. ESQUEMA DE COMPARACIÓN DE TIPOS DE TAPAS.....	88
GRÁFICO 4.2. COMPARACIÓN DE PRESIONES MÁXIMAS PERMITIDAS POR TIPO DE TAPA EN DIFERENTES DIÁMETROS	88
GRÁFICO 4.3. COMPARACIÓN DE CAPACIDAD VOLUMÉTRICA POR TIPO DE TAPA EN DIFERENTES DIÁMETROS.....	89
GRÁFICO 6.1. COSTOS DE FEBRICACIÓN DE AUTOTANQUES POR Kg. DE ACERO EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD	194
GRÁFICO 6.2. COSTOS TOTAL DE FABRICACIÓN DE AUTOTANQUES, EN FUNCIÓN DE SU CAPACIDAD	195

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. RECEPCIÓN DE CRUDO POR REFINERÍA	17
TABLA 2.2. PRODUCCIÓN NACIONAL DE DERIVADOS	18
TABLA 2.14. VOLÚMENES FACTURADOS POR PETROCOMERCIAL “ABASTECEDORA” A EMPRESAS COMERCIALIZADORAS	22
TABLA 2.15. VOLÚMENES FACTURADOS POR PETROCOMERCIAL “ABASTECEDORA” A EMPRESAS COMERCIALIZADORAS	23
TABLA 2.16. SEMIREMOLQUES Y REMOLQUES CISTERNA REGISTRADOS POR LA DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS	26
TABLA 2.17. SEMIREMOLQUE CISTERNA REGISTRADOS POR LA DNH DESDE EL AÑO 2000	27
TABLA 2.18. FORMATO PARA ENCUESTA	29
TABLA 3.1. CÓDIGOS Y NORMAS DE DISEÑO A UTILIZAR	31
TABLA 3.2. CLASIFICACIÓN DE LÍQUIDO COMBUSTIBLE	34
TABLA 3.3. CLASIFICACIÓN DE LÍQUIDO FLAMABLE	34
TABLA 3.4. SECCIÓN ACREDITADA DE LA CORAZA	39
TABLA 3.5. CAPACIDAD TOTAL DE VENTEO DE EMERGENCIA	42
TABLA 3.6. CLASIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES (SEGÚN EL CFR)	44
TABLA 3.7. LÍMITES DE PRESIÓN REID PARA LA GASOLINA	45
TABLA 3.8. TIPO DE VEHÍCULOS PARA TRANSPORTE DE TANQUES	60
TABLA 3.9. TEMPERATURAS MÁXIMA DE CARGA EN LAS ISLAS DE ABASTECIMIENTO.....	61
TABLA 3.10. CUADRO DE LA PRESIÓN MÁXIMA PERMISIBLE	73
TABLA 4.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE TAPAS ELÍPTICAS CÓNCAVAS	82

TABLA 4.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE TAPAS TORIESFÉRICAS	85
TABLA 4.3. CUADRO DE PONDERACIONES DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS	93
TABLA 5.1. CÓDIGOS Y NORMAS DE DISEÑO A UTILIZAR	97
TABLA 5.2. TABLA DE MATERIALES PELIGROSOS Y REQUERIMIENTOS ESPECIALES	98
TABLA 5.3. RELACIÓN DE PROPIEDADES DE MATERIALES	122
TABLA 5.4. PROPIEDADES ACERO ASTM A-36	123
TABLA 5.5. PROPIEDADES TAPAS	128
TABLA 5.6. PROPIEDADES CUERPO	132
TABLA 5.7. PROPIEDADES SILLAS	135
TABLA 5.8. PROPIEDADES BAFLES	138
TABLA 5.9. PROPIEDADES TANQUE	141
TABLA 5.10. CAPACIDAD DE VENTEO	146
TABLA 5.11. PROPIEDADES CHASIS	152
TABLA 5.12. REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS	160
TABLA 5.13. ELECTRODO REVESTIDO E6010	164
TABLA 5.14. LIMITACIONES PARA LA JUNTA “V” A TOPE	165
TABLA 5.15. LIMITACIONES PARA JUNTA DE FILETE	165
TABLA 6.1. REDUCCIONES VOLUMÉTRICAS POR ACCESORIOS	185
TABLA 6.2. AFORO EN LAS TAPAS DEL TANQUE	189

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a variables determinantes en la economía del país, como son el aumento significativo de la explotación y precio del petróleo, así como el creciente parque automotor del país, hace que el transporte de combustibles líquidos como gasolina y diesel sea una actividad indispensable para el Ecuador y sobre todo que se lo realice diariamente.

Por tanto, se ha tomado en cuenta el planteamiento de diseñar un semiremolque cisterna que sea acoplable a cabezales de transporte pesado, ya que en el ámbito nacional de la construcción metalmecánica pesada no existen normas establecidas para que los diseños de tanques cumplan satisfactoriamente con los requerimientos de transporte a granel de materiales peligrosos, como lo son los combustibles líquidos y en su defecto como lo es la gasolina y el diesel.

En consecuencia, para este propósito se hace lógico que este tipo de construcciones deben proceder a ejecutarse bajo Normas establecidas, partiendo de modelos ya existentes para luego lograr el objetivo principal que es optimizar carga, volumen y costos del sistema, adecuando para los requerimientos y necesidades de la transportación de combustibles líquidos como la gasolina y el diesel sobre las diversas vías, caminos y carreteras existentes en el país.

1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

Por la necesidad de transportar combustibles como gasolina y diesel a granel entre ciudades y países, por el reducido número de empresas que diseñen

tanques remolque que sean acoplables a cabezales de transporte pesado y por el empirismo que con el cual algunas de estas trabajan, es de vital importancia que la Escuela Politécnica Nacional incursione en este ámbito, tomando en cuenta que los tanques remolques que se fabrican en el país carecen en su mayoría de elemental criterio ingenieril y tecnológico, utilizando criterios empiristas basados en experiencias anteriores, siendo estas las razones por las cuales los diseños son sobredimensionados en todos sus aspectos, afectando muy posiblemente la seguridad para transportar los combustibles así como en los costos de fabricación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Con el presente proyecto se pretende dar una pauta para facilitar y estandarizar el diseño de tanques remolque acoplables a cabezales de transporte pesado para el traslado de gasolina y diesel; por ende a su posterior construcción, ya que en el país no existen normalización alguna en este ámbito, además que los diseños que se realizan en la industria carecen de criterios ingenieriles y elementales Normas de construcción y seguridad.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un tanque remolque acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de gasolina y diesel, optimizando la geometría, volumen, carga; consecuentemente los costos de éste, mediante análisis matemáticos o computacionales, enmarcados estrictamente en normas nacionales e internacionales.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Mecánica.
- Estudiar, emplear y conjugar Normas de pesos y medidas para el transporte pesado en el Ecuador, Normas INEN, DOT, ASME, AISC, AWS, API, con los conocimientos adquiridos en la formación como ingeniero mecánico.
- Desarrollar memorias de cálculo en Visual Basic y análisis por medio de elementos finitos para obtener resultados y parámetros de prediseño de los distintos parámetros del tanque remolque, como aforo, dimensiones generales, así como los campos de presiones que se presentan dentro del tanque tanto estática como dinámicamente.
- Realizar un análisis y estudio de mercado, que permita obtener los parámetros funcionales y de diseño de la alternativa seleccionada.
- Investigar lo necesario para que el prototipo a diseñarse, cumpla con los requerimientos normalizados de capacidad de carga y de volumen, de igual forma que cumpla con la solicitud de movilidad requerida por los productos en las diversas vías y caminos.
- Efectuar una simulación mecánica virtual del sistema en un software de última generación.
- Promover el desarrollo ingenieril, óptimo e innovador de este tipo de sistemas para el sector de transportación en el Ecuador.
- Establecer una pauta para la producción de este tipo de equipos con la participación de la Escuela Politécnica Nacional.

1.5 ALCANCE

La realización de este proyecto tiene como alcance principal, diseñar un tanque remolque para transporte de gasolina y diesel, optimizando varios parámetros del mismo, como su geometría, volumen, carga y en consecuencia los

costos de construcción. Para dicho objetivo se realizarán memorias de cálculo y análisis matemáticos que permitirán obtener valores de prediseño que a partir de los mismos generarán soluciones óptimas.

Entre las principales herramientas y procedimientos que se emplearán para el diseño y optimización del tanque remolque, se tienen:

- Desarrollar una memoria de cálculo en Visual Basic, en donde se disponga de todas las geometrías y alternativas normalizadas de un tanque remolque, donde el usuario pueda seleccionar múltiplemente las características que éste desearía en un tanque remolque, para posteriormente dar como resultado un prediseño del mismo, en el cual se encuentran dimensiones generales del tanque remolque, número de ejes, forma de aforo, etc.
- Realizar el diseño mecánico de la estructura, tanto para alternativas de tanques remolque sobre chasis o sin este elemento, empleando normas y conjugándolos con análisis de elementos finitos, que permitan obtener resultados de las dos alternativas para cualquier volumen de aforo.
- Efectuar el diseño y simulación de una alternativa de tanque remolque seleccionada, empleando Solid Works para la simulación virtual.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES

2.1. DEFINICIÓN DE TANQUES MÓVILES PARA EL TRANSPORTE DE GASES A BAJA PRESIÓN

2.1.1. DEFINICIÓN DE REMOLQUE CISTERNA

Vehículo provisto de un tanque montado permanentemente, cuyo peso total descansa sobre ruedas propias, sin que tenga medios propulsores autónomos.¹

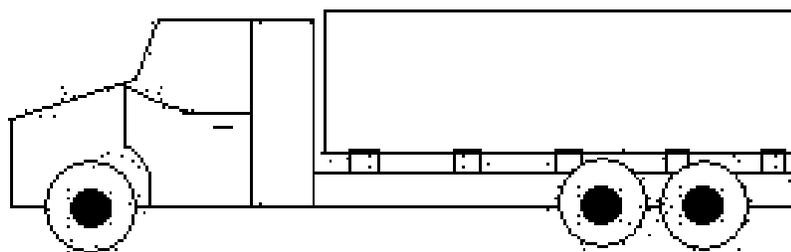
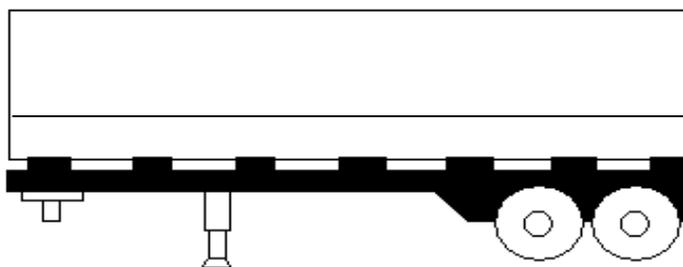


Figura 2.1. Esquema de un remolque cisterna

Además, a este tipo de remolque también se lo puede identificar como: vehículo cisterna, tanquero, autotanque, etc.

2.1.2. DEFINICIÓN DE SEMIREMOLQUE CISTERNA

Vehículo provisto de un tanque montado permanentemente, cuyo peso descansa parcialmente, sobre sus propias ruedas y parcialmente sobre el vehículo tractor.²



¹ NTE INEN 226, Vehículos para gases a baja presión. Requisitos e inspección; Quito-Ecuador; 1era. Edición; 2001; p.2

² NTE INEN 2262, Tanques para gases a baja presión. Requisitos e inspección; Quito-Ecuador; 1era. Edición; 2001; p.2



Figura 2.2. Esquema de un semiremolque cisterna

Entre los sinónimos que describen el sistema semiremolque cisterna, se tienen: acople cisterna, semirremolque tanque, tanque trailer, tanque, transportador de líquidos, carro tanque.³

Un semirremolque tanque puede definirse como un vehículo que está diseñado para transportar sustancias líquidas peligrosas a granel que carece de fuerza motriz propia y que para su movilización necesita de un vehículo con potencia suficiente para transportarlo, y que debe cumplir con características adecuadas para realizarlo. (Ver Figura 2.3.)



Figura 2.3. Semiremolque cisterna acoplado a tractocamión (fuerza motriz)

Un semirremolque tanque, además de soportar su peso propio debe soportar el peso de las sustancias que va a transportar, pudiendo éste ser enganchado a un tracto-camión, siendo el objetivo principal del semirremolque tanque el transporte carretero de sustancias líquidas de lugares de abastecimiento a los de distribución.

³ CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Department of transport; E.E.U.U.; revisión a Octubre 1 de 1998; p.901

El King-pin, es un elemento diseñado para enganchar todo tipo de semirremolques a la quinta rueda de un tracto-camión, y que es capaz de soportar cargas bruscas de funcionamiento. (Ver Figura 2.4.)



Figura 2.4. King - Pin

La Quinta rueda es un elemento constitutivo del tracto-camión, encargada de conjugar el enganche con el King-pin y que permite transmitir movimiento al semirremolque. (Ver Figura 2.5.)



Figura 2.5 Quinta rueda

2.1.3. DEFINICIÓN DE CABEZAL

Un cabezal puede identificarse también con los siguientes sinónimos: tracto-camión, tractor, camión de tracción, etc. El cual es el encargado de otorgar fuerza motriz al conjunto camión – semirremolque tanque y su consecuente movimiento.

Existen dos tipos de tracto-camión: el cabezal chato y cabezal con trompa (Ver Figura 2.6. y Figura 2.7.) respectivamente; radicando la diferencia entre estos dos tipos en que la longitud total del cabezal chato disminuye.



Figura 2.6. Cabezal con trompa



Figura 2.7. Cabezal chato

2.1.4. IMPORTANCIA DE UN SEMIREMOLQUE CISTERNA

El sector hidrocarburífero en el país, se constituye en una de las principales fuentes de ingresos y financiamiento de el estado, siendo eminente el progresivo aumento de la demanda de hidrocarburos y derivados de petróleo, ya que su impacto en la economía nacional es determinante para sectores industriales, de transporte, de generación eléctrica, agrícolas, etc.

Para lo cual, el país cuenta con refinerías de crudo, las mismas que en ciertas ocasiones no satisfacen la demanda del consumo interno nacional, teniendo que importar ciertos derivados, cuya distribución se hace a través de poliductos y de el Sistema de Oleoducto Trans Ecuatoriano (SOTE), los mismos que solo permiten transportar estos derivados hasta los grandes centros de acopio y de distribución.

Por lo tanto, es imperiosa la necesidad de transportar combustibles a distribuidores y consumidor final a través de todo el país, recorriendo largas distancias, caminos y carreteras de distinto tipo de geografía, para lo cual el sistema de transporte carretero de autotankes es el más adecuado para manipular y transportar sustancias líquidas peligrosas a granel, cuyo objetivo principal es transportarlos con seguridad y minimizar los riesgos, los cuales estén orientados a la prevención de la pérdida de vidas y daño a la propiedad o al ambiente, derivados de accidentes o incidentes.

2.1.5. TIPOS DE TANQUEROS Y SEMIREMOLQUE CISTERNA

En general los tanqueros (Ver figura 2.8.), están estructurados como tanques con característica de tanque sobre chasis - cama alta, denominando al conjunto como “semirremolque tanque para transporte pesado”; pero que en la actualidad también existen modelos en los que necesariamente no debe estar montado en su totalidad el tanque sobre un chasis, siendo este trabajo compensado por otro tipo de soporte o a su vez siendo autosoportante, sistemas y opciones que se estudiarán más adelante.



Figura 2.8. Sistema Autotanque de dos ejes, montado sobre un tractocamión

La unidad tractora o “cabecal” se ensambla por medio de la quinta rueda al “King – Pin” del semirremolque para que el conjunto en este caso tenga movimiento. (Ver Figura 2.9).



Figura 2.9. Semiremolque cisterna de dos ejes acoplado a tractocamión

Una clasificación de semirremolques tanques se halla determinada por el número de ejes, los mismos que varían de acuerdo a la carga a transportar.

De acuerdo a las condiciones de transporte y necesidades del usuario, el tanque sobre chasis se lo puede construir de cualquier capacidad, tamaño y forma, sin embargo para compensar el mayor número de necesidades en el país,

a los semirremolques tanques de transporte pesado se los puede clasificar de acuerdo al peso y volumen que éstos puedan transportar, la clasificación fundamental se la hace de acuerdo al número de ejes que tenga el semirremolque tanque.

2.1.5.1. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE UN EJE

Llamado también tanque vagón, se lo utiliza para transportar poca capacidad en volumen de carga, pudiendo ser seleccionado hasta una capacidad de 12 Toneladas y cuyas especificaciones se puede observar en el Anexo 1.

El número de ruedas, la suspensión y la forma del semiremolque, están determinadas por el peso que se desea transportar, las dimensiones máximas permitidas son 9 m de largo, 2.6 m de ancho y 4.10 m de alto. Este tipo de semiremolque generalmente posee una capacidad de 4000 galones y se puede observar en la Figura 2.10.



Figura 2.10. Semiremolque cisterna de un eje

2.1.5.2. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE DOS EJES

Se lo utiliza para capacidades de transporte mayores a 12.000 Kg. e inferiores a 20.000 Kg. de la misma forma el número de ruedas, suspensión y geometría del tanque, están determinadas por el peso y volumen que se desea transportar. Además este tipo de semiremolque tanque transporta entre un rango de 8.000 a 10.000 galones, siendo generalmente la forma geométrica del tanque, circular o elíptica (Ver figura 2.11 y figura 2.12)



Figura 2.11. Semiremolque cisterna de dos ejes con tanque de forma elíptica con capacidad de 10.000 galones



Figura 2.12. Semiremolque cisterna de dos ejes con tanque de forma elíptica con capacidad de 8.000 galones

Las dimensiones estandarizadas aceptadas como máximo son 12.5 m. de largo, 2.6 m. de ancho y 4.10 m. de alto. (Ver Anexo 1).

2.1.5.3. SEMIREMOLQUE CISTERNA DE TRES EJES

Se lo utiliza para transportar grandes cantidades de carga, según el MOP (Ministerio de Obras Públicas) y las Normas del Pacto Andino se tiene que la máxima carga a transportar es 24.000 Kg. De acuerdo a los requerimientos del usuario y el trabajo específico que éste va a realizar, los ejes a utilizar van aumentando. Este tipo de semiremolque tanque es empleado generalmente para transportar entre un rango de 10.000 a 12.000 galones, siendo generalmente la forma geométrica del tanque, circular o elíptica (Ver figura 2.13 y figura 2.14)



Figura 2.13. Semiremolque cisterna de dos ejes con tanque de forma circular con capacidad de 10.000 galones



Figura 2.14. Semiremolque cisterna de dos ejes con tanque de forma elíptica con capacidad de 11.000 galones

2.2. ESTUDIO ESTADÍSTICO DEL SECTOR HIDROCARBURÍFERO.

Es de notable importancia realizar el estudio estadístico del sector hidrocarburífero del país, ya que permite tener una idea clara de la cantidad de derivados de petróleo que se deben trasladar anualmente tanto para el consumo interno del país como para la exportación, evidenciando un panorama donde los sistemas de transporte de combustibles como los semiremolque cisterna son de relevante importancia para cumplir estos propósitos, ya que estos derivados no pueden ser transportados hasta el consumidor final por los sistemas de transporte masivos, como el SOTE, OCP, OTA, etc.

Además, se debe tomar en cuenta, que el progresivo desarrollo de la industria, el parque automotor y de otros sectores, han obligado al aumento sustancial de la producción e importación de derivados, así como indudablemente influye la bonanza económica de la que actualmente goza el país debido a los altos precios del petróleo.

2.2.1. LA INDUSTRIA Y COMERCIO HIDROCARBURÍFERO EN EL ECUADOR

En la actualidad el sector en mención se encuentra conformado por empresas multinacionales así como la empresa estatal del petróleo PETROECUADOR, siendo esta la encargada en parte de la producción, distribución y regulación del sector en el país a través de sus filiales PETROPRODUCCIÓN, PETROINDUSTRIAL, PETROCOMERCIAL y la reguladora estatal la Dirección Nacional de Hidrocarburos DNH, las mismas que están bajo la dirección del Ministerio de Energía y Minas.

Además, para la comercialización y venta de los productos y derivados de petróleo es importante mencionar el papel que cumplen las comercializadoras de combustibles en el país, ya que estas son las encargadas de distribuir y vender al consumidor final.

2.2.2. SECTOR HIDROCARBURÍFERO ECUATORIANO

El estudio estadístico de combustibles se realiza basándose principalmente en los datos que publica el Ministerio de Energía y Minas, Petroecuador y la Dirección Nacional de Hidrocarburos, en donde se detallan los diferentes tipos de derivados de petróleo que demanda y produce el país, para lo cual se hace una breve descripción de los combustibles que más demanda tienen, permitiendo familiarizarse con su significado y terminología.

- **Crudo.-** Mezcla de hidrocarburos que se encuentra en forma líquida en reservorios naturales debajo de la superficie de la tierra.
- **SOTE.-** Sistema de Oleoducto Transecuatoriano.
- **OTA.-** Oleoducto Trans Amazónico.
- **OCP.-** Oleoducto de Crudos Pesados.

- **Destilados Medios.-** Productos que ocupan la parte media de una columna de destilación, y que se caracteriza por un alto punto de inflamación, muy bajo punto de congelación, fluidez y viscosidad adecuada que permite una variedad de múltiples usos. Básicamente estos productos son: jet fuel, diesel 1 o kerosén y el gasoil, conocido también diesel 2.
- **Diesel 1 o Kerosene.-** Destilado medio, que se usa principalmente como combustible en determinadas industrias, así como también en los mercados de calefacción e iluminación en el Sur Este Asiático, así como en el Japón.
- **Diesel 2.-** Destilado medio, empleado para el transporte pesado, industria y generación eléctrica
- **Fuel oil # 4.-** Mezcla de residuos y destilados, que se utiliza para el transporte marítimo y sector eléctrico.
- **Fuel oil # 6.-** Mezcla de residuos con el diesel # 1 y 2, producto que se utiliza en la generación eléctrica, para la calefacción en el hemisferio norte y como fuente de energía en las industrias del cemento, del azúcar y del vidrio entre otros usos industriales. Se utiliza también como combustible marítimo, conocido como bunker.
- **Gas Natural Asociado.-** Se dice de todos los hidrocarburos en estado gaseoso, que están en el subsuelo en solución con petróleo crudo o que se encuentra en contacto con petróleo crudo y que de ser explotados producen gas natural y líquido, en relación menor al 100.000 pies cúbicos normales por barril normal, según mediciones hechas en la superficie en condiciones atmosféricas.
- **Gas Natural.-** Mezcla de hidrocarburos de fácil expansión y de gravedad específica definida, que se encuentra en estado gaseoso, la proporción de los gases en dicha mezcla por lo general es: metano 80%, isobutano 1,5%, etano 7%, butano 2,5%, propano 6% y pentano 3%.
- **Gasolina.-** Combustible que utilizan vehículos y aviones con motores a combustión interna, cuya principal característica es el número de octanos lo que determina su calidad.

- **Precio FOB.-** Precio que se fija para la compra-venta de hidrocarburos, en el que el comprador es el responsable de contratar el transporte, pagar el seguro y el flete.
- **Precio C&F.-** Precio que se fija para la compra-venta de hidrocarburos, en el que el vendedor es el responsable del transporte. La contratación del seguro a la carga es responsabilidad del comprador.
- **Residuo.-** Derivado del petróleo que ocupa la parte inferior de una columna de destilación en los procesos de refinación. Su alta viscosidad, bajo punto de escurrimiento, contenido de azufre en peso y metales, determinan que para ser utilizado, deba ser mezclado con un diluyente apropiado como el diesel.

Tabla 2.1. Recepción de crudo por refinería

Cargas de Crudo a Refinerías	
Refinerías	Bls
Esmeraldas	34.909,504
La Libertad	14.627,064
Amazonas	5.879,616

Fuente: PETROECUADOR

Elaboración: PETROECUADOR

Tabla 2.2. Producción Nacional de Derivados

Producción de Derivados	
Producto	Bls
Gasolinas	12.887,179

Absorver	1.875
Diesel 1	536,434
Diesel 2	12.438,675
Fuel Oil 4	11.353,762
Residuo	10.741,979
Jet Fuel	1.797,436
Gp	2.060,012
Spray Oil	73,179
Asfaltos	1.086,603
Solventes	60,998
Nafta 90	209,186
Pesca Artesanal	279,655

Fuente: PETROECUADOR

Elaboración: PETROECUADOR

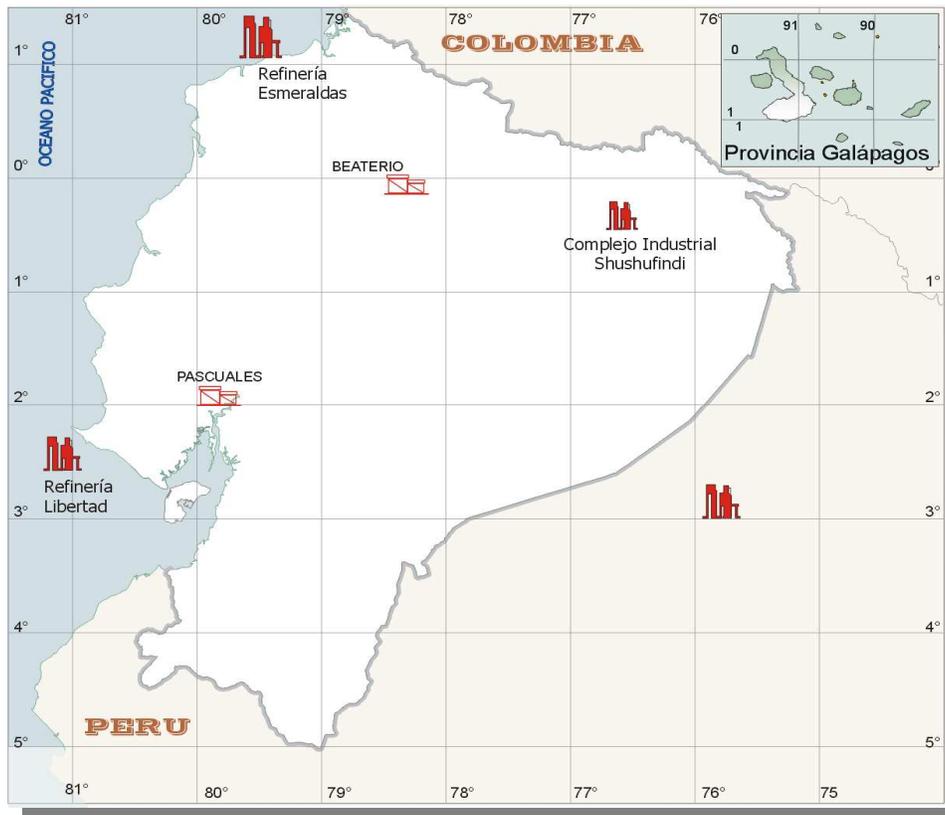


Figura 2.15. Refinerías y Terminales del Ecuador

2.2.3. ESTUDIO SEGÚN EL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS Y LA DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS

• PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO CRUDO

La producción de petróleo crudo fue de 94.622.686 barriles, mayor en 39.68% a la registrada en el primer semestre del año 2004, 67.744.084 barriles. La producción promedio por día calendario se ubicó en 519.905 barriles.

El mayor aporte a la producción de petróleo crudo corresponde a los campos Shushufindi, Sacha, Villano, Eden Yuturi, Dorine, Ginta, Complejo Indillana, Yuralpa, Palo Azul y Fanny 18-B, que juntos representan el 62.57%. Los demás campos participan con el 37.43% del total.⁴ (Ver Anexo 2).

• TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO

El volumen neto total de petróleo crudo transportado por oleoductos se situó en los 88.586.682 barriles. De esta magnitud, al SOTE corresponden 56.083.844 barriles (63.31%), al OCP 32.502.838 barriles (36.69 %). No se utilizó el oleoducto colombiano OTA.⁵ (Ver Anexo 3).

Nota: La diferencia entre volumen bruto y volumen neto se explica por los consumos en estaciones y por la relación agua-crudo (BSW)

• COMERCIALIZACION DE PETRÓLEO CRUDO

El crudo fiscalizado durante el primer semestre del 2004 sumó 90.913.066 barriles, superior en el 41.31% al registrado en el primer semestre del 2003, 64.333.804 barriles. De este volumen se destinaron para el Mercado Interno 28.925.662 barriles, mayor en 14.41% al asignado en igual periodo del año 2003.

⁴ HIDROACTIVIDAD 2005, www.menergia.gov.ec

⁵ HIDROACTIVIDAD 2005, www.menergia.gov.ec

El petróleo crudo entregado para mercado interno presenta la siguiente distribución: Refinería Esmeraldas, 18.724.814 barriles, equivalentes al 64.74%; Refinería Libertad, 7.107.946 barriles, 24.57%; Refinería Amazonas, 2.922.250 barriles, 10.10%; y, Refinería Lago Agrio, 170.652 barriles, 0.59%.

Las exportaciones de petróleo crudo efectuadas durante el primer semestre del año 2004 presentan un incremento del 64.21% con respecto a las del primer semestre del 2003, porque pasaron de 38.485.207 barriles a 63.195.712.⁶ (Ver Anexo 4).

• **INDUSTRIALIZACIÓN DE PETROLEO CRUDO**

Durante el primer semestre del año 2005 se procesaron 28.925.019 barriles, obteniéndose como PRODUCCIÓN BRUTA DE DERIVADOS 27.540.804 barriles.

Las refinerías y plantas aportaron a la producción según las tablas del Anexo 5.

• **COMERCIALIZACION DE DERIVADOS**

La oferta de derivados fue de 35.127.608 barriles, de los cuales, 27.540.804 (78.40%) corresponden a la producción de refinerías y plantas, y la diferencia, 7.586.804 (21.60%) a los productos importados.

En el MERCADO INTERNO se consumieron 22.902.624 barriles de derivados, facturados por Petrocomercial Abastecedora, exceptuando el GLP cuyas ventas reales reportan las compañías comercializadoras: Gasolinas, 6.454.917 (28.18%); Diesel Oil No. 2, 8.628.984 (37.68%); Fuel Oil No 4, 5.732.221 (25.03%); y, otros derivados 9.11%.

En el MERCADO EXTERNO se vendieron 6.422.168 barriles de derivados del petróleo, registrándose un incremento de 17.68% respecto al primer semestre del año 2004, cuyo volumen fue de 5.457.433 barriles.

⁶ HIDROACTIVIDAD 2005, www.menergia.gov.ec

(Ver Anexo 6).

Tabla 2.14. Volúmenes facturados por PETROCOMERCIAL a empresas comercializadoras (En Barriles)

COMERCIALIZADORAS	SUPER	EXTRA	PESCA ARTESANAL	MINERAL		RUBBER		SOLVENTE		NAFTA BASE		TOTAL
				No.1	PREMIUM	No.2	No.4	JET FUEL	AVGAS			
ANDIVEL S.A.	-	47	-	165	-	48.579	10.143	-	-	-	-	58.934
CLYAN SERVICES WORLD S.A.	976	3.689	-	4.190	-	42.762	2.325	-	-	-	-	53.942
COMB.IND.OIL TRADER S.A.	714	2.619	-	29.821	-	209.033	445.758	-	-	-	-	687.945
COMDECSA COMB.DEL ECUADOR	28.984	118.770	-	118	4.191	96.043	-	-	-	-	-	248.106
COMERC. COMB.ECUADOR C.C. E.	8.038	68.794	-	989	-	148.914	-	-	-	-	-	226.735
CORPETROLSA S.A.	-	-	-	1.546	-	18.891	33.934	283	-	-	-	54.654
DISPETROL S.A	10.476	45.431	-	-	1.560	39.496	-	-	-	-	-	96.963
DISTRISSEL DISTRB.DE DIESEL S.A	-	-	-	16.140	-	54.133	18.948	-	-	-	-	89.221
EXXONMOBIL ECUADOR CIA.LTDA.	192.413	582.212	-	3.182	23.269	689.003	236.740	178.895	-	-	-	1.905.714
GUELFY S.A.	-	-	-	2.755	-	70.792	-	-	-	-	-	73.547
ICARO S.A.	-	-	-	-	-	-	-	48.899	128	-	-	49.027
LUBRICANTES Y TAMBORES DEL ECUADOR	165.880	553.591	-	1.481	8.845	726.054	47.042	131.513	468	-	-	1.634.874
MARZAM	-	-	-	529	-	72.461	2.322	-	-	-	-	75.312
MASGAS S.A.	60.551	395.322	-	8.308	5.072	454.311	-	-	-	-	-	923.564
NAVIPAC S.A.	-	-	-	24.822	-	56.621	723.989	-	-	-	-	805.432
OCEANBAT S.A.	-	-	-	16.284	-	6.522	702.092	-	-	-	-	724.898
OCEAN OIL S.A.	-	-	-	-	-	95.353	-	-	-	-	-	95.353
PARCESHI S.A.	-	-	-	730	-	111.242	16.357	-	-	-	-	128.329
PETROCEANO S.A.	-	-	-	-	-	8.934	-	-	-	-	-	8.934
PETROCOMERCIAL	224.412	539.085	157.432	33.187	3.524	2.294.827	2.896.002	237.849	1.040	-	-	6.387.358
PETROLEOS Y SERVICIOS PYS C.A.	196.522	1.195.778	-	12.131	70.619	1.440.640	4.817	-	-	-	-	2.920.507
PETROL RIOS	32.494	176.490	-	1.554	-	282.214	-	-	-	-	-	492.752
PETROWORLD S.A.	7.500	39.833	-	-	-	91.690	-	-	-	-	-	139.023
REPSOL-YPF COMERC.ECUADOR S	146.153	624.731	-	1.996	24.759	700.088	-	349.293	19	-	-	1.847.039
SERCASA	-	-	-	-	-	-	-	82.094	7.935	-	-	90.029
SERCOMPETROL S.A.	-	-	-	-	-	61.918	2.595	-	-	-	-	64.513
SHELL ECUADOR S.A.	205.951	557.223	-	1.020	28.000	287.959	-	12.066	-	-	-	1.092.219
TRANSMABO	-	-	-	-	-	73.099	196.162	-	-	-	-	269.261
TRIPETROL-GAS	15.037	97.769	-	518	238	121.879	10.219	-	-	-	-	245.660
VEPAMIL S.A.	-	-	-	13.784	-	325.526	382.776	-	-	-	-	722.086
TOTAL	1.296.101	5.001.384	157.432	175.250	170.077	8.628.984	5.732.221	1.040.892	9.590	22.211.931		

Fuente: PETROECUADOR

Elaboración: Dirección Nacional de Hidrocarburos

COMERCIALIZADORAS	ASFALTOS	SPRAY OIL	ABSORVER	TURPENTINE	SOLVENT	No.1		TOTAL
ANDIVEL S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
CLYAN SERVICES WORLD S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
COMB.IND.OIL TRADER S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
COMDECSA COMB.DEL ECUADOR	-	-	-	-	-	-	-	-
COMERC. COMB.ECUADOR C.C. E.	-	-	-	-	-	-	-	-
CORPETROLSA S.A.	158.735	8.714	-	1.524	3.286	-	-	172.259
DIASFALTO CI. LTDA.	66.673	-	-	-	-	-	-	66.673
DISPETROL S.A	-	-	-	-	-	-	-	-
DISTRISSEL DISTRB.DE DIESEL S.A	-	-	-	-	-	-	-	-
EXPODELTA S.A.	126.228	-	-	-	-	-	-	126.228
EXXONMOBIL ECUADOR CIA.LTDA.	-	-	-	-	-	-	-	-
GUELFY S.A.	-	24.333	-	-	-	-	-	24.333
ICARO S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
LUBRICANTES Y TAMBORES DEL ECUADOR	833	-	-	143	-	-	-	976
MARZAM	-	-	-	-	-	-	-	-
MASGAS S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
NAVIPAC S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
OCEANBAT S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
OCEAN OIL S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
OIL TRADER S.A.	-	2.857	-	-	-	-	-	2.857
PARCESHI S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
PETROCEANO S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
PETROCOMERCIAL	172.637	9.024	1.095	5.618	5.064	-	51.958	245.396
PETROLEOS Y SERVICIOS PYS C.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
PETROL RIOS	-	-	-	-	-	-	-	-
PETROWORLD S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
REPSOL-YPF COMERC.ECUADOR	-	-	-	-	-	-	-	-
SERCASA	-	-	-	-	-	-	-	-
SERCOMPETROL S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
SHELL ECUADOR S.A.	36.616	-	-	-	-	-	-	36.616
TRANSMABO	-	4.762	-	-	-	-	-	4.762
TRANSPORTE Y SERVICIOS ASOC	10.593	-	-	-	-	-	-	10.593
TRIPETROL-GAS	-	-	-	-	-	-	-	-
VEPAMIL S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	572.315	49.690	1.095	7.285	8.350	-	51.958	690.693

Tabla 2.15. Volúmenes facturados por PETROCOMERCIAL a empresas comercializadoras (En Barriles)

Fuente: PETROECUADOR

Elaboración: Dirección Nacional de Hidrocarburos

Cabe mencionar que los resultados anteriores mostrados en tablas, son realizados y comparados durante el primer semestre de los años 2004 y 2005 respectivamente, además, dichos datos son los que actualmente dispone tanto Petroecuador como la Dirección Nacional de Hidrocarburos.

Además, se puede evidenciar en los cuadros estadísticos anexados, que es muy clara la tendencia al crecimiento en todo aspecto del sector hidrocarburífero del país, como por ejemplo en la tabla Tabla 2.3. (Ver Anexo 2), la producción de petróleo crudo por empresa aumenta en un 40% , al igual que los aportes del petróleo crudo para consumo interno (Tabla 2.5) que aumenta en un 15%; ratificando igual tendencia, se encuentran las tablas 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 y 2.11 (Ver Anexo 5), donde se muestra el aumento en la producción de las diferentes refinerías del país.

La importación de derivados de petróleo para el país (Tabla 2.12, Anexo 6) disminuye en un 15%, siendo este un indicador positivo para la actividad económica de este sector en el Ecuador.

También, las tablas 2.14, 2.15, y 2.16, muestran que los combustibles más susceptibles al consumo interno son: DIESEL OIL No. 2 con 8.628.984 barriles, GASOLINA EXTRA con 5.001.384 barriles, FUEL OIL No. 4 con 5.732.221 barriles, GASOLINA SUPER con 1.296.101barriles y JET FUEL 1.040.892 barriles, ratificando la factibilidad e importancia que tienen los semirremolques cisterna en el traslado a granel de combustibles, en especial los de estado líquido como son las gasolinas y el diesel.

2.2.4. ESTUDIO DE SEMIREMOLQUES Y REMOLQUES CISTERNA SEGÚN LA DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS

De acuerdo con la DNH (Dirección Nacional Hidrocarburos), es una de sus atribuciones la de ser el ente regulador del sector de la transportación de combustibles en el país, para lo cual cuenta con un archivo en el que se registra todos los semiremolques y remolques cisterna existentes en el país, detallándolos por año de

fabricación y volumen de transporte, los mismos que están autorizados para realizar actividades de comercialización, transportación y distribución de combustibles a lo largo y ancho de la república.

En el registro de la DNH existe un total de 1989 semiremolques y remolques, cuyos años de fabricación varían desde 1.970 hasta el 2.005, y sus volúmenes de transporte desde los 1.500 galones hasta los 11.000 galones de capacidad. (Ver Anexo 7).

El actual estudio y subsiguiente tabulación de datos, se efectúa con semiremolques y remolques cisterna registrados hasta el día 20 de enero del 2005, y tomando en cuenta únicamente los 6 últimos años de dicho registro (2.000 - 2.005) ya que esta etapa es representativa para la actividad económica nacional.

Tabla 2.16. Semiremolques y Remolques cisterna registrados por la Dirección Nacional de Hidrocarburos.

Año 2000																		
Volumen en galones	9.800			10.000			10.200			10.650			TOTAL					
Nro. de unidades de transporte	2			5			1			1			9					
Año 2001																		
Volumen en galones	1.500	4.000	2.000	5.000	6.000	8.000	9.000	9.300	10.000	10.100	10.500	TOTAL						
Nro. de unidades de transporte	1	3	1	1	6	1	2	1	36	1	1	54						
Año 2002																		
Volumen en galones	1.500	2.000	2.700	3.000	4.000	6.000	8.000	8.500	9.000	9.500	9.700	9.900	9.950	10.000	10.200	10.500	TOTAL	
Nro. de unidades de transporte	2	4	1	6	16	15	2	1	5	2	1	1	1	102	2	2	163	
Año 2003																		
Volumen en galones	2.000	3.000	4.000	4.200	6.000	8.000	8.500	8.700	9.000	10.000	TOTAL							
Nro. de unidades de transporte	4	2	9	2	14	1	3	1	2	37	80							
Año 2004																		
Volumen en galones	2.000	3.000	4.000	5.000	5.500	6.000	8.000	9.200	9.300	10.000	11.000	TOTAL						
Nro. de unidades de transporte	6	1	12	1	1	3	4	2	1	26	2	59						
Año 2005																		
Volumen en galones	2.000			4.000			6.000			9.500			10.000			TOTAL		
Nro. de unidades de transporte	1			5			3			2			4			15		
TOTAL																	380	

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos

Elaboración: Propia

En la Tabla 2.16. se detalla el número remolques y semiremolques cisterna existentes en el país con sus respectivos volúmenes, de donde, para efecto de este estudio sólo se consideran los volúmenes superiores e iguales a 8.000 galones, ya que en general estos corresponden a semirremolques cisterna acoplables a tractocamiones.

Tabla 2.17. Semiremolques cisterna registrados por la DNH desde el año 2.000

Volúmenes de transporte (en galones)	Número de semiremolques
De 8.000 a 8.700	13
De 9.000 a 9.950	22
De 10.000	210
De más de 10.000 a 10.650	8
De 11.000	2
TOTAL	255

De la Tablas 2.16. y 2.17. se puede observar que no existe una secuencia exacta en los volúmenes de transporte de los semiremolques cisterna, existiendo rangos entre 8.000 y 10.000 galones, donde se presentan numerosas variaciones y alternativas de capacidad de transporte, evidenciando que existen diseños de semiremolques cisterna con total imprecisión en el diseño del volumen del tanque, ratificando la existencia de la poca calidad y criterio de construcción de este tipo de sistemas en el país.

De la misma manera, resalta como el modelo más empleado en el transporte de combustibles, el semirremolque cisterna de 10.000 galones de capacidad, siendo este el modelo de mayor tendencia a ser ocupado por empresas y personas naturales que se dedican a la actividad del transporte a granel de combustibles líquidos.

2.3. ANÁLISIS Y ESTUDIO DE MERCADO

Considerando que la investigación de mercados es la identificación, recopilación, análisis y difusión de la información de manera sistemática y objetiva, con el propósito de mejorar la toma de decisiones relacionadas con la identificación y solución de problemas y oportunidades de mercado, se ha realizado el presente estudio.

Los resultados que a continuación se presentan son producto de una encuesta realizada a diferentes empresas que se dedican al alquiler y construcción de semiremolques y remolques cisterna para el transporte de combustibles, así como personas naturales que brindan el mismo servicio, para lo cual se preparó una hoja de encuesta (Ver Anexo 8), donde se consideran las necesidades, las preferencias y requerimientos del encuestado, todo esto realizado bajo la estricta consideración de normas y estudios previos.

2.3.1. TABULACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se detalla la tabulación de los resultados obtenidos después de haber realizado la investigación de mercado.

Para poder observar gráficamente con más detalle los resultados. (Ver anexo 9).

Tabla 2.18. Tabulación de resultados de la encuesta.

PREGUNTAS	RESPUESTAS			
	1. ¿Para transportar combustibles, le agrada hacer por medio de un remolque o un semiremolque cisterna?	REMOLQUE 10		SEMIREMOLQUE 29
2. ¿De acuerdo a su necesidad, el traslado de combustibles lo realiza a nivel local o interprovincial?	LOCAL 39		INTERPROVINCIAL 0	
3. ¿Qué tipo de combustibles transporta con más frecuencia?	EXTRA 26	SUPER 22	FUEL OIL 2	BUNKER 0
	DIESEL 1 10	DIESEL 2 12	ASFALTO 6	OTRO 0
4. ¿Transporta varios combustibles a la vez? (Marque las alternativas que simultáneamente transporta en un flete)	EXTRA 24	SUPER 20	FUEL OIL 0	BUNKER 0
	DIESEL 1 12	DIESEL 2 20	ASFALTO 0	OTRO 6
5. De acuerdo a su necesidad, ¿que volumen le gustaría tener en un tanque para transportar combustibles? (en galones).	8.000 4	9.000 2	11.000 0	12.000 0
	10.000 33			
6. ¿Cuál de las siguientes formas geométricas le gustaría que tenga un tanque semiremolque?	 36	 0	 3	
7. ¿Cuál de las siguientes opciones le gustaría que posean las tapas de un tanque semiremolque?	Tapa con forma de casquete esférico 16	Tapa con forma hemisferoide 10	Tapa con forma plana 13	
8. ¿Cuántos ejes le agrada que tenga un semiremolque tanque?	2 ejes 23		3 ejes 16	
9. ¿Le agrada que en un nuevo modelo de semiremolque cisterna se suprima el chasis, o es importante para usted que lo tenga?	Con chasis 35		Sin chasis 4	
10. ¿Qué tonelaje posee el modelo de su tractocamión?	1ra. Alternativa 6	2da. Alternativa 12	3ra. Alternativa 20	

2.3.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO

De los resultados anteriores, es claro, que si bien es cierto las encuestas demuestran que la estética y las necesidades del propietario de un semiremolque cisterna son importantes, este no toma en cuenta que se puede suprimir peso y optimizar la carga al evidenciarse las respuestas en la pregunta 9.

También, en la pregunta 3 a pesar de que la mayoría de los encuestados posee tanques cisterna de tres ejes, estos favorecen notablemente la idea de semiremolques cisterna con dos ejes.

Los propietarios prefieren tanques cisterna en los cuales se pueda transportar varios tipos de combustibles simultáneamente (generalmente dos) y no los modelos que transportan un solo tipo de combustible por medio de vasos comunicantes al interior del tanque.

Es importante tomar en cuenta la coincidencia de criterios que existe entre la pregunta 5 del estudio y los resultados que arroja la Dirección Nacional de Hidrocarburos al ratificar la preferencia por transportar volúmenes de 10.000 galones.

Cabe recalcar que las preguntas y respuestas obtenidas, se enmarcan dentro de especificaciones técnicas y normas establecidas, dándonos la pauta de que los resultados son confiables y que sin duda serán tomados en cuenta posteriormente para el diseño de semiremolques cisterna, cumpliendo así con los objetivos planteados en este proyecto.

CAPITULO 3

ESTUDIO Y ANÁLISIS DE NORMAS TÉCNICAS DE DISEÑO, INSPECCIÓN TÉCNICA Y DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, NACIONALES E INTERNACIONALES.

3.1. GENERALIDADES

Dentro de este capítulo se analizarán y estudiarán códigos y estándares nacionales e internacionales con el objetivo de determinar los factores que influyen en el diseño, inspección y seguridad de auto-tanques destinados a la transportación de combustibles líquidos.

Cabe mencionar que mediante estos códigos y Normas, ya sean en el ámbito internacional o nacional, el diseño del auto tanque tiene sus limitaciones y requerimientos mínimos. El empleo de un Código o Norma, facilita el desarrollo de un diseño, donde se puede obtener datos generales y específicos, como por ejemplo: cargas a ser consideradas, dimensiones generales, espesor de material, materiales, accesorios elementales, etiquetado del auto tanque, revestimientos, bocas, ensayos destructivos, etc.

A continuación se enlista en una tabla, los códigos y Normas aplicables en el diseño de un autotanque acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de combustibles líquidos.

Tabla 3.1 Códigos y Normas de diseño a utilizar

Código	Sección	Descripción / Sub. Título
INEN 2261, “Tanques para gases a baja presión. Requisitos e Inspección”	-	▪ Disposiciones específicas.
		▪ Requisitos.
		▪ Inspección.
		▪ Ensayos.
Titulo 49, CODIGO DOT “Transportation”	Parte 172	▪ Selección del Material a transportar (Asfalto).
		▪ Marcas para el Tanque.
		▪ Etiquetado del Tanque.
	Parte 173	▪ Requerimientos Generales para embarques en tanques.
Parte 178	▪ Requerimientos específicos de diseño.	
Parte 179	▪ Requerimientos para tanques Atmosféricos.	
ASCE Standard, “Diseño Mínimo de Cargas”.	Titulo 6	▪ Cargas por Viento.
AISC LRFD, “ Load and Resistence Factor Design”	Parte 2	▪ Cargas.
		▪ Combinaciones de Carga.
API Standard 2554, “Método de Medida y Calibración de Auto Tanques”	2554	▪ Calibración y Medición volumen real del Tanque.
Norma PETROECUADOR SI-013, “Disposiciones de Seguridad Industrial para		▪ Etiquetado del Tanque.
		▪ Señalización.
		▪ Normas de Seguridad.

Transporte, Carga y Descarga de Combustibles en Tanqueros”.	-	▪ Requerimientos de Diseño para Seguridad.
Ministerio de Obras Publicas	-	▪ Pesos Brutos Máximos Permitidos.
		▪ Dimensiones Permitidas.
Norma NFPA 385		▪ Manipulación de Combustibles.

Adicionalmente cabe mencionar que el chasis del Auto Tanque debe ser diseñado bajo código “AISC LRFD”. Donde, para la soldadura en general del elemento a diseñarse, se va a utilizar: AWS D 1.1 “Diseño de Soldadura de Estructuras de Acero”.

Otros códigos o normas que se puedan utilizar serán nombrados en la sección que sean utilizados.

3.1.1. Norma NTE INEN 2261

Esta norma establece los requisitos para el cálculo, diseño, fabricación, ensayo e inspección de tanques de acero soldados, estacionarios o móviles, para el almacenamiento o transporte de gases a baja presión.

Establece también, los requisitos mínimos de los accesorios que deben tener para control y seguridad, además la misma norma en su mayoría es estructurada por procedimientos basados en regulaciones internacionales. (Ver Anexo 10).

3.1.2. Norma NFPA 385

La norma de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios NFPA 385 (National Fire Protection Association), elaborada en los Estados Unidos de Norte América, es un estándar de procedimientos de transportación de combustibles líquidos y flamables por medio de auto-tanques.

a) Alcance:

Las disposiciones establecidas en esta norma son aplicables para autotanques que transportan:

- Asfaltos.
- Líquidos flamables estables.
- Líquidos combustibles con punto de ignición por debajo de 94 °C (200°F)

b) Definiciones:

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

Auto-Tanque.- Unidad automotriz con tanque, la cual puede ser utilizada para el transporte de 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.- Es un líquido con punto de ignición en o sobre 100°F (37.8 °C). A continuación se muestra una tabla de su clasificación.

Tabla 3.2 Clasificación de Líquido Combustible.

Clase II	Punto de ignición en o sobre 100 °F (37.8 °C).
-----------------	--

Clase IIIA	Punto de ignición en o sobre 140°F (60 °C) y bajo 200 °F (93.33 °C).
Clase IIIB	Punto de ignición en o sobre 200°F (93.33 °C).

Fuente: Norma NFPA 385

Elaboración: Propia

La Clase III B no entra en los requerimientos de la norma.

Líquido Flamable.- **Líquido con punto de ignición bajo 37.8 °C (100 °F) y con una presión de vapor que no exceda 40 psi (275.86 kPa) en 37.8 °C (100 °F), estos son clasificados como líquidos de la Clase I. Estos a su vez se dividen en:**

Tabla 3.3 Clasificación de Líquido Flamable.

Clase IA	Punto de ignición bajo 73°F (22.78 °C) y punto de ebullición bajo 100 °F (37.8 °C).
Clase IB	Punto de ignición bajo 73°F (22.78 °C) y punto de ebullición en o sobre 100°F (37.8 °C).
Clase IC	Punto de ignición en o sobre 73°F (22.78 °C) y bajo 100°F (37.8 °C).

Fuente: Norma NFPA 385

Elaboración: Propia

c) Generalidades:

El diseño de los auto-tanques debe considerar la relación estructural entre el tanque, el equipo de propulsión, y los miembros de soporte. En general el diseño del tanque y del chasis del vehículo debe ser realizado para obtener la

mejor combinación de características estructurales y de desempeño del vehículo. El diseño de la suspensión debe incorporar características para ayudar a asegurar la estabilidad lateral y la inclinación.

El material del tanque usado debe ser compatible con las características químicas del líquido a ser transportado.

Los tanques, tuberías y conexiones diseñadas para transportar líquidos inflamables y combustibles en temperaturas en o sobre sus puntos de ebullición deberían ser construidos de acuerdo con la especificación MC 331 de la Parte 178 Título 49, del Código de Regulación Federal de Estados Unidos de Norteamérica (CFR) o con la norma National Fire Protection Association (NFPA 58) estándar para almacenaje de gases.

Los tanques, tuberías y conexiones diseñadas para transportar líquidos inflamables y combustibles a temperaturas bajo sus puntos de ebullición deben ser construidos de acuerdo con los requerimientos dados en la integridad estructural de esta norma.

d) Integridad Estructural:

Cargas.- Los auto-tanques deben estar provistos con elementos estructurales adicionales, necesarios para prevenir resultantes de tensiones en exceso de los valores de esfuerzo máximo permitidos.

Se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones a fuerzas impuestas individualmente por cada una de las siguientes cargas y, donde sea aplicable, un vector suma de cualquiera de las combinaciones siguientes:

- Carga dinámica bajo configuraciones de todo producto de carga.
- Presión interna.
- Cargas sobrepuestas como equipo de operación, aislamiento, encofrado, tubos manguera, gabinetes, tubería.

- Reacciones de lengüetas de soporte y cojinetes u otros soportes.
- Efectos de gradientes de temperatura resultante de temperaturas extremas del producto y del ambiente.

Valores de Tensión Máximos.- El valor de tensión máximo calculado no debe exceder el 20% del mínimo valor de la resistencia última del material. (Ver Figura 3.1)

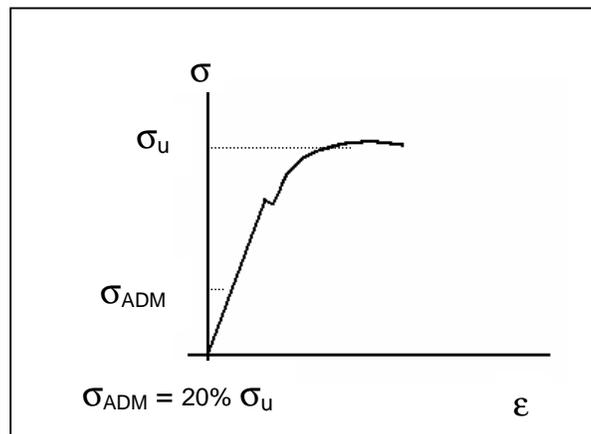


Figura 3.1. Gráfico Esfuerzo vs. Deformación

e) Juntas:

Método de Ensamblado.- Todas las juntas entre la coraza, cabezas, baffles y bulkheads de los tanques deben ser soldados de acuerdo con los requerimientos que se detallan a continuación.

Resistencia de Junta (Aleación de Aluminio). - Toda junta soldada de aleación de aluminio debe ser realizada por medio de una buena práctica reconocida, y la eficiencia de una junta no debe ser menor que el 85 % de las propiedades del material adyacente. Las aleaciones de aluminio deben ser unidas por un gas inerte, en procesos de soldadura utilizando el tipo de metal de llenado aluminio-magnesio, que son consistentes con las recomendaciones del material de aporte.

Resistencia de las Juntas.- (Acero suave, Acero de baja aleación, Acero inoxidable austenítico). Las juntas deben ser soldadas de acuerdo a una buena

práctica reconocida, y la eficiencia de la junta no debe ser menor que 85 % de las propiedades mecánicas del metal adyacente en el tanque.

f) Soportes y Anclaje:

Auto-tanques con estructura, que no sea una parte integral junto con el tanque mediante soldadura, deben ser provistos con dispositivos de fijación para eliminar cualquier movimiento relativo entre el tanque y la estructura que podría resultar al momento de parar, arrancar o girar el vehículo. Tales dispositivos de fijación deben ser fácilmente accesibles para inspección y mantenimiento, excepto que aislamiento y revestimiento sean permitidos para cubrir los dispositivos de fijación.

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.

En los cálculos de diseño de los elementos de soporte se deben incluir cargas impuestas por detención, arranque y giros del auto tanque, usando el 20 % de la mínima resistencia última del material de soporte.

g) Refuerzos Circunferenciales:

Tanques con espesor de coraza menor que 3/8 de pulgada (0.93 cm) deben, en adición a los refuerzos provistos por las cabezas del tanque, ser reforzados circunferencialmente con cada uno de los bulkheads, baffles o anillos de refuerzo.

Es permisible usar cualquier combinación de los refuerzos antes mencionados en un auto-tanque.

Tales refuerzos deben estar localizados de tal manera que la máxima porción no reforzada de la coraza en ningún caso debe ser mayor a 60 pulgadas (150 cm).

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.

Doble Bulkheads (Doble Espejo). - Si doble bulkheads son provistos, éstos deben estar separados por un espacio de aire. Este espacio de aire debe ser venteado y ser equipado con facilidades de drenaje que debe ser operativo todo el tiempo.

Anillos de Refuerzo.- Los anillos de refuerzo deben ser continuos alrededor de la circunferencia de la coraza del tanque y debe tener un módulo de sección, alrededor del eje neutro de la sección del anillo paralela a la coraza, al menos igual a la determinada por la siguiente fórmula:

Para Acero (MS, HSLA y SS):

$$\frac{I}{C}(\text{Min}) = 0.00027 \cdot D \cdot L \quad (1.1)$$

Para Aleación de Aluminio (AL):

$$\frac{I}{C}(\text{Min}) = 0.000467 \cdot D \cdot L \quad (1.2)$$

donde:

$$\frac{I}{C} = \text{Módulo de Sección (pulg}^3 \text{)}.$$

D = Diámetro del tanque (pulg).

L = La distancia desde el punto medio de la coraza no soportada a un lado del anillo de refuerzo hasta el punto medio de la coraza no soportada al lado opuesto del anillo de refuerzo.

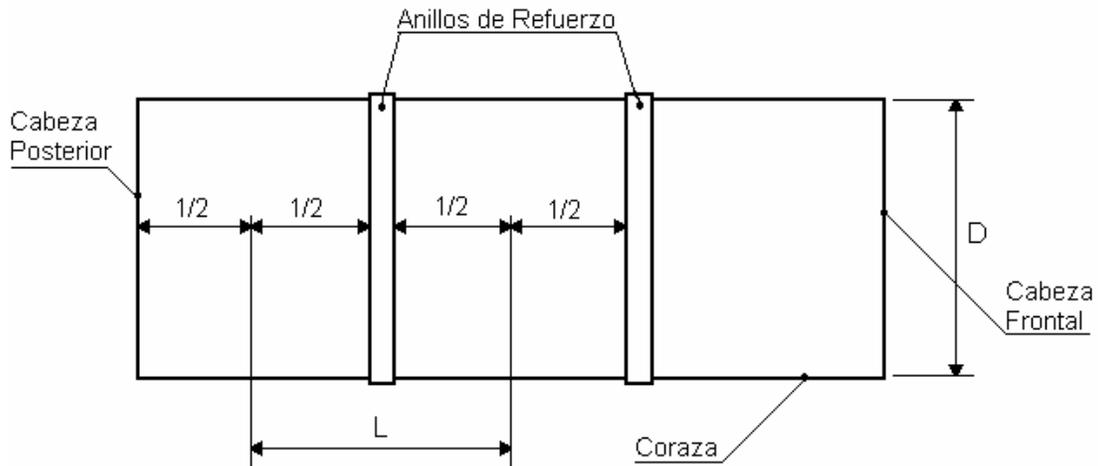


Figura 3.2. Anillos de Refuerzo

Si un anillo de refuerzo es soldado a la coraza del tanque (cada suelda circunferencial no 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), una porción de la coraza podría ser considerada como parte de la sección del anillo para propósitos de cálculo del módulo de sección del anillo.

La máxima sección de la coraza a ser usada en este cálculo se determina de la siguiente forma:

Tabla 3.4. Sección Acreditada de la Coraza

Número de Anillos de Refuerzo	Distancia entre Anillos de Refuerzo	Sección Acreditada de la Coraza
1	-	20t
2	Menos de 20t	20t + W
2	20t o más	40t

donde:

t = espesor de la coraza.

W = distancia entre la suelda paralela circunferencial del anillo de refuerzo a la coraza.

Si la configuración interna y externa de un anillo de refuerzo incluye un espacio de aire, este espacio de aire debe constar de venteo y tener facilidades de drenaje que deben mantenerse operativos todo el tiempo.

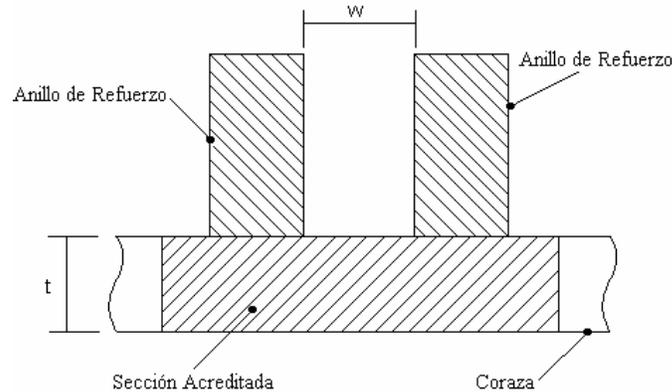


Figura 3.3. Sección Acreditada de la Coraza

h) Cubiertas para Aberturas de Llenado y Manholes:

Cada compartimiento con capacidad mayor a 2500 galones (9500 lts) debe ser accesible a través de un manhole de al menos 11 plg x 15 plg (27.5 cm x 37.5 cm). Las cubiertas de manholes o de aberturas de llenado deben estar diseñadas para proveer seguridad de cierre de las aberturas. Estas cubiertas deben tener una capacidad estructural para soportar una presión interna del fluido de 9 psig (62 kPa) sin deformación permanente.

i) Venteo para Auto-Tanques:

Cada compartimiento de auto tanques debe estar provisto de dispositivos de seguridad de alivio, los que se comunicarán con el espacio de vapor. Válvulas de cierre no deben estar instaladas entre la abertura del tanque y cualquier dispositivo de seguridad. Estos dispositivos deben evitar pérdidas de líquido en caso de un volcamiento del auto tanque.

Venteo Normal.- Cada compartimento de auto-tanques debe estar provistos con venteo de presión y vacío teniendo un área mínima transversal de 0.44 plg^2 (2.86 cm^2). Todo venteo debe estar seteado para abrir a no más de:

Venteco de Presión	-	1 psig (6.9 kPa)
Venteco de Vacío	-	6 oz (168 kg)

Para medir el venteo de vacío se emplean unidades de peso (onzas o kilogramos) debido a que estas válvulas se abren o cierran al actuar el peso del mecanismo para abrir o cerrar.

Venteco de Protección en Carga y Descarga.- Si el tanque esta diseñado para carga y descarga con la cubierta del domo cerrada, el venteo debe limitar la presión del tanque a 3 psig (20.7 kPa) basado en el máximo rango del producto transferido.

En caso de sobre llenado accidental, para prevenir la presión que exceda 3 psig (20.7kPa), el venteo de presión debe tener también suficiente capacidad de líquido.

Venteco de Emergencia para Exposición de Fuego.- La capacidad de venteo de emergencia total [$\text{ft}^3/\text{hr}(\text{m/s})$] para cada compartimento de auto-tanques no debe ser menor que la establecida por la siguiente tabla:

Tabla 3.5. Capacidad Total de Venteo 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	79100	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: Norma NFPA 385

Elaboración: Propia

Venteo de Presión Actuada.- Cada compartimento de un auto-tanque debe estar equipado con venteo de presión actuada seteada para abrir a no menos de 3 psig (20.7 kPa) y cerrar cuando la presión baje a o menos que 3 psig (20.7 kPa). La mínima capacidad de venteo debe ser 6000 pie³ (170 m³) de aire libre por hora [14.7 psia (101.3 kPa) y 60 °F (15.63 °C)] desde una presión del tanque de 5 psig (34.5 kPa).

3.1.3. Código de Regulaciones Federales de EEUU (CFR).

Este código se refiere a reglas aplicadas a procedimientos de transportación de substancias sólidas, líquidas y gases por medio de auto-tanques, aviones de carga, embarcaciones o ferrocarril en los Estados Unidos de Norte América.

a) 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.

Líquido Combustible.- Es cualquier líquido que tiene un punto de ignición sobre los 60.5 °C (141 °F) y bajo los 93 °C (199.4 °F) de temperatura.

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.

b) Generalidades:

En este código a los líquidos combustibles o flamables como diesel, fuel oil y gasolina entre otros, se los clasifica dentro de la Clase 3. Además se tiene una clasificación adicional de acuerdo al grupo de envase (packing group), el cual se refiere al grado de peligro que tiene la sustancia a ser transportada, de la siguiente manera:

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

De acuerdo a este tipo de clasificación se determinan las condiciones, reglas y procedimientos para la transportación de cualquier sustancia.

Los líquidos combustibles y flamables que se comercializan en nuestro país, se los puede ubicar dentro del CFR de la siguiente manera:

Tabla 3.6. Clasificación de Combustibles (Según el CFR).

Combustible	Clase	Packing Group	Requerimientos Especiales
Diesel	3	III	B1
Fuel Oil	3	III	B1
Gasolina	3	II	B33
Asfalto	3	III	

Fuente: Norma NFPA 385

Elaboración: Propia

c) **Requerimientos de la Clase 3.**

Diesel y Fuel Oil.- Para el caso del diesel y fuel oil, se tiene un mismo packing group, es decir, que se los clasifica como producto de bajo peligro; por lo que las provisiones especiales son las mismas para ambos combustibles, de tal manera que se debe aplicar la siguiente especificación:

Requerimiento B1.- Los auto-tanques, deben cumplir cualquiera de las especificaciones siguientes:

MC 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 311, 312, 330, 331

DOT 406, 407, 412

Gasolina.- La gasolina es clasificada como un producto de medio peligro, las especificaciones a aplicarse son las siguientes:

Requerimiento B33.- Conjuntamente a esta especificación, se debe tomar en cuenta las siguientes:

MC 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306

DOT 406.

Los auto-tanques que transportan gasolina y que están equipados con 1 psi de venteo normal deben cumplir con la siguiente tabla, en la cual se presenta la temperatura máxima ambiente y la presión de vapor Reid máxima de carga permitidas durante el llenado de gasolina.

Consideraciones realizadas de acuerdo a la clase de volatilidad y la presión de vapor Reid (RVP) de la gasolina, determinada por la norma ASTM D439.

Tabla 3.7. Límites de Presión Reid para la Gasolina.

ASTM D439 clase de volatilidad	Máxima Temperatura de carga y Ambiente.
A (RVP <= 9.0 psi)	131 °F 55.00 °C
B (RVP <= 10.0 psi)	124 °F 51.11 °C
C (RVP <= 11.5 psi)	116 °F 46.67 °C
D (RVP <= 13.5 psi)	107 °F 41.67 °C
E (RVP <= 15.0 psi)	100 °F 41.00 °C

Fuente: Norma NFPA 385

Elaboración: Propia

Límites de Merma y Relleno.- Los líquidos cargados de acuerdo a lo descrito por el código, deben al menos ser mermados con un 5% para materiales venenosos por inhalación, o al menos con el 1% para otro tipo de material de la capacidad total del auto-tanque, a las siguientes temperaturas de referencia:

- 46 °C (115 °F) para un tanque no aislado.
- 41 °C (105 °F) para un tanque aislado.

La presión de aire en exceso de la presión atmosférica ambiente no podría ser usada para cargar o descargar cualquier combustible el cual podría crear una mezcla de aire enriquecida en los límites del rango de flamabilidad del combustible en el espacio de vapor del tanque.

3.1.4. Especificaciones DOT (Department of Transport)

El fin que tiene el código DOT, título 49 “TRANSPORTE” (Transportation), es regular en el ámbito internacional el transporte de todo tipo de sustancia, ya sea líquidos, sólidos, gases etc. De igual forma en todo tipo de contenedores como por ejemplo tanques cilíndricos, contenedores, auto tanques, cilindros desechables, etc. En diferentes materiales.

El Código DOT, abarca todo tipo de transporte: por riel, por avión, con auto tanques, y otros. Al igual que nombra la administración de los mismos, sus regulaciones y requerimientos, para todo elemento que este relacionado con el transporte (inspectores, fabricantes, choferes, etc.).

Son una parte del código CFR que se encarga de la regulación en el transporte de sustancias peligrosas. Las siglas DOT significan Departamento de Transportación, norma expedida en Estados Unidos de Norte América.

a) Definiciones.

Rompe Olas (Baffle). - Significa una partición transversal rígida, chequea o regula movimiento de fluido en el tanque.

Espejo (Bulkhead). - Es una tapa rígida transversal que da lugar a los compartimentos.

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

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.- Exceso de presión debido a la evaporación de los combustibles, el cual es eliminado mediante válvulas de alivio seteado a una presión de 3 psi.

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

b) 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 siguientes 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, más alguna presión ejercida por un gas padding.
- La máxima presión en el tanque durante la carga y descarga.

c) Materiales y Espesores.

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

Las propiedades de los materiales se indican en la sección II parte A Y B del código ASME, excepto para los siguientes:

- Los siguientes aceros también son autorizados en un auto-tanque, y las propiedades se encuentran en las normas ASTM:

ASTM A 569

ASTM A 570

ASTM A 572

ASTM A 607

ASTM A 622

ASTM A 656

ASTM A 715

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

ASTM B 209 Alloy 5086

ASTM B 209 Alloy 5154

ASTM B 209 Alloy 5254

ASTM B 209 Alloy 5652

Los espesores mínimos para las cabezas y cuerpo deben ser tal que el nivel de esfuerzo máximo especificado en la integridad estructural de esta sección no sea excedido. En ningún caso el espesor del cuerpo o las cabezas debe ser menor a lo especificado en las especificaciones aplicables mas adelante descritas.

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.

Material añadido por corrosión permisible no necesita ser de espesores uniformes si diferentes ratas de ataque puedan ser razonablemente esperadas para varias áreas del auto-tanque.

d) 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 deber ser en acorde con sección VIII del Código ASME. El diseño del cargo 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 temperatura resultados de las temperaturas extremas del producto y del ambiente. Cuando materiales diferentes son usados, sus coeficientes térmicos deben ser usados en cálculo de esfuerzos térmicos. Concentraciones de esfuerzos en tensión, flexión y torsión los cuales ocurren en pads, cradles 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 (0.475cm) para el acero y 0.270 pulg (0.686 cm) para el aluminio.

En los lugares donde el soporte del auto-tanque se une a alguna parte de la pared de este, el esfuerzo impuesto en la pared del tanque debe reunir los requerimientos de la parte inicial de esta sección.

El diseño, construcción y la instalación de dispositivos al auto-tanque, debe ser tal, que en el caso de daños o fallas, el contenido no sea afectado.

Dispositivos extremadamente livianos, como clips de tuberías, placa de propiedad, deben ser construidas de un material con menor resistencia que el material de la pared del tanque y no puede ser mayor al 72 % del espesor del material al cual esta unido. La unión puede ser directamente al tanque si el dispositivo está diseñado e instalado de tal manera que al dañarse no afecte la integridad del producto. Las uniones livianas deben ser aseguradas a la pared del tanque mediante soldadura continua de tal manera que no se formen hoyos, los cuales pueden llegar a ser puntos de corrosión. Excepto como se prescribe anteriormente, la soldadura de algún dispositivo en la pared del tanque debe ser hecha mediante pads de montaje. El espesor de este pad no puede ser menor que el espesor de la cabeza o el cuerpo del tanque al cual esta unido y no puede ser mayor 1.5 veces este mismo espesor.

e) Bocas de Carga y de Inspección (Manholes):

Cada auto-tanque con capacidad mayor que 400 gal (1.512 m³) debe ser accesible a través de un manhole de al menos 15 plg (38.1 cm) de diámetro.

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

El manhole, debe ser equipado con un dispositivo de seguridad que prevenga abertura de las tapas cuando presión interna está presente.

Cada manhole debe ser asegurado con sujetadores o seguros que prevendrá aberturas de las tapas como resultado de vibración bajo condiciones normales de transportación o choques dados en carretera.

Cada tapa del manhole debe ser marcada con nombre del fabricante, y la presión de prueba.

Todos los accesorios y dispositivos montados en un manhole, que vienen en contacto con el producto deben resistir la misma presión interna.

f) Soportes y Anclajes:

Un auto-tanque con un chasis que no sea una parte integral del tanque, debe asegurarse mediante restraining 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 restraining 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 constituye 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.

g) Refuerzos Circunferenciales:

Un auto-tanque con un espesor de pared menor que 3/8 pulg debe ser circunferencialmente reforzado con bulkheads, baffles, 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 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 plg (152.4 cm).

Cuando un baffle de unión es usado como un refuerzo circunferencial debe ser soldado al cuerpo del auto-tanque. La porción soldada no puede ser menos que el 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.

h) Bombas, Tuberías, Mangueras y Conexiones:

Cualquier manguera, tuberías o conexiones deben ser diseñadas para una explosión de presión de mas de 100 psig (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 esta localizada fuera del sistema de retención del producto.

i) 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 proveído con un sistema primario de alivio de presión que consiste en de una o más válvulas de recierre 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 que 1 psig (6.9 kPa) y debe ser diseñado para prevenir pérdida de producto a través de dispositivos en caso de volcamientos. 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 psig 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 en el sistema de alivio.

La capacidad de venteo del sistema de alivio de presión debe ser suficiente para limitar la presión interior a no más que 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.

j) Salidas del Tanque:

Las salidas 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 externas de parada localizadas lo más cercanas a la pared del tanque. Esta

combinación de válvulas evitará pérdida de producto en casos de emergencia. En operación normal se cerrarán en forma manual.

k) 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. (Ver Anexo 11)

La Máxima Presión admisible 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 pueden ser líquidos inflamables a baja presión de vapor, principalmente productos de petróleo (Ej.: Gasolina, combustibles).

Entre otros tipos de especificaciones de tanques semejantes se tiene:
MC-300, MC-301, MC-302, MC-303, MC-305, NFPA 385, CSFMDA

Los materiales permitidos y con los que se puede construir las cabezas del semirremolque tanque son:

- A Aluminio (típico)
- HSLA Alta Fuerza
- Low Alloy (Baja Aleación)
- MS Mild Steel (Acero dúctil)
- SS Acero Inoxidable

El sistema de ventilación debe poseer un resorte espiral de 10 pulgadas ajustado en 5 PSI con tapones fundibles si es necesario.

El espesor del material para auto-tanque DOT 406 en ningún caso debe ser menor que lo indicado en las tablas 11.A y 11.B del anexo 11. (Ver Anexo 11).

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

I) 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 del serie DOT 400 en 178.345. Se encuentra las especificaciones para un tanque de carga DOT-407 en 49 CFR 178.347. (Ver Anexo 12).

Cada auto-tanque debe ser de sección circular y tener una MAWP de al menos 25 PSI. (172.5 KPa). Mínimo y 35 PSI (típico) (Máximo).

Los materiales a transportar pueden ser líquidos inflamables con presión de vapor moderado, líquidos venenosos, materiales líquidos de múltiples clases de peligros (Ej.: Inflamable, corrosivo, y venenoso).

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

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

- SS Acero Inoxidable (típico).
- Al Aluminio.
- También se la puede hacer de MS (mediana resistencia) o HSLA (de alta resistencia).

El sistema de ventilación debe poseer un resorte espiral de 10 pulgadas ajustado en un 130 % de la presión de diseño, con dos (cada uno) discos fundibles de 3 pulgadas (típico)

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

Cada auto-tanque de esta especificación con MAWP de 35 psi o menos debe ser construido en concordancia con el código ASME excepto para las modificaciones:

UG 11, UG 12, UG22g, UG32e, UG34, UG34, UG44, UG76, UG77, UG80, UG81, UG96, UG97, UW13b, UW13.1f y los requerimientos encontrados en figura UW 13 1.

El espesor del material para auto-tanque DOT 407 en ningún caso debe ser menor que lo indicado en las tablas 12.A y 12.B del anexo 12. (Ver Anexo 12).

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

m) 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 encontrarán en la parte 49 CFR 178.346. (Ver Anexo 13).

Los materiales a transportar pueden ser líquidos Corrosivos, materiales líquidos de múltiples peligros (Ej.: Flamable, corrosivo y venenoso).

Especificaciones de Tanques Semejantes: MC-310, MC-311

La Máxima Presión admisible de trabajo (MAWP) de cada tanque debe ser al menos 5 psig (34.5 kPa).

Para construir las cabezas del casco se pueden utilizar los siguientes materiales:

- MS Acero dúctil (típico)
- SS Acero Inoxidable
- También puede ser hecho de Al y HSLA (Acero de alta resistencia y baja aleación).

El sistema de ventilación debe tener un resorte espiral de 13 pulgadas ajustado en 130% de la presión de diseño con discos de ruptura en 150% de presión de diseño.

Muchas veces los tanques tienen forros - goma , teflon, vidrio, etc.

Cada auto-tanque que tiene un MAWP mayor que 15 psig (103.5 kPa) debe ser de sección circular. Si la MAWP es mayor a 15 psig debe ser construido en concordancia con el código ASME. Si la MAWP es menor o igual a 15 psig debe ser construido en concordancia con el código ASME, excepto con las modificaciones siguientes:

El espesor del material para auto-tanque DOT en ningún caso debe ser menor que lo indicado en las Tablas 13.A y 13.B del anexo 13. (Ver Anexo 13)

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.

3.1.5. Normas NTE INEN 489:99 ; 983 ; 935:99 ; 069:96.

a) Propiedades de los combustibles:

Los productos derivados de petróleo que se comercializan en el país, se encuentran clasificados en varios tipos, de acuerdo a las normas:

- NTE INEN 1 489:99 (Diesel).
- NTE INEN 1 983 (Fuel Oil).
- NTE INEN 1 935:99 (Gasolina).
- NTE INEN 2 069:96 (Jet fuel).

El objeto de las normas anteriormente citadas es el de establecer los requisitos que deben cumplir los tipos de combustibles que se comercializan en el país.

b) Definiciones:

Diesel.- Es el combustible constituido por fracciones intermedias de petróleo; este a su vez se clasifica en:

- **Diesel No. 1:** Se lo emplea en máquinas que requieren cambios frecuentes de velocidad y carga; también sirve para uso domestico.
- **Diesel No. 2:** Se lo emplea para uso industrial y para motores de combustión interna de autoignición.

- **Diesel No. 2 de Bajo Contenido de Azufre:** Es un combustible empleado en automotores de diesel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta volatilidad.
- **Fuel Oil.-** Es un combustible que resulta de la mezcla de diversas fracciones pesadas de petróleo. Este a su vez se clasifica en:
 - Fuel Oil Liviano.
 - Fuel Oil Pesado.

Ambos tipos de Fuel Oil deberán ser aceites homogéneos, libres de ácidos inorgánicos y de cantidades excesivas de materiales extraños sólidos o fibrosos.

- **Gasolina.-** La gasolina que se comercializa en el país es de tres clases:
 - Gasolina de 80 octanos sin tetraetilo de plomo (TEL).
 - Gasolina de 85 octanos sin tetraetilo de plomo (TEL).
 - Gasolina de 89 octanos sin tetraetilo de plomo (TEL).

En la Tabla del Anexo 14 se indica las características que tienen todos estos combustibles. (Ver Anexo 14).

3.2. 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 3.8. Tipo de Vehículos para Transporte de Tanques.

TIPO DE VEHICULO	NOMBRE
1	MULA
2	SENCILLO
3	TRAILER
4	MULA MAS REMOLQUE
5	SENCILLO MAS REMOLQUE

6	TRAILER MAS REMOLQUE
---	----------------------

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos

Elaboración: Propia

De acuerdo a esta clasificación se tiene que ha 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 o unido por algún medio al chasis del vehículo. Al segundo grupo corresponden aquellos que su tanque es remolcado. El listado de los diferentes tipos de auto-tanques por provincias se detalla en el Anexo 7. (Ver Anexo 7).

Del análisis de la información obtenida del anexo 7, se tiene que la mayor cantidad de auto-tanques destinados al servicio de transportación de combustibles 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.

3.2.1. Temperaturas y Caudales de Combustibles por Regiones:

En esta sección se indican las temperaturas y caudales máximos de los diferentes tipos de combustible líquido durante la carga en los terminales que existen en el país.

Las temperaturas han sido clasificadas por regiones debido a que no existe una gran diferencia entre terminales dentro de las mismas. Para obtener los valores de temperatura se emplean dispositivos electrónicos, por medio de los cuales se lleva una estadística de estas temperaturas.

Tabla 3.9: Temperaturas Máximas de Carga en las Islas de Abastecimiento

REGION	COMBUSTIBLE	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
	Fuel Oil	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	150.0
Oriente	Gasolina 80 Octanos	91	32.77
	Gasolina 90 Octanos	94	34.44
	Diesel 1	115	46.11
	Diesel 2	115	46.11
	Fuel Oil	196	91.11
	Jet Fuel	84	28.88
	Asfalto	308	153.33

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos

Elaboración: Propia

De la Tabla 3.8 se concluye que ningún combustible 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 combustible 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, dentro de los cuales se indica que los espesores mínimos requeridos serán los indicados en las tablas A y B del anexo 9.

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 combustibles de baja viscosidad o productos blancos como gasolina, diesel, jet fuel, es de 500 gal/min. (1.89 m³/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.

Para determinar las presiones debidas a la columna de líquido se debe usar los valores de peso específico indicadas en las tablas A y B del anexo 11.

De acuerdo a los datos de la tabla I del anexo 14 se puede concluir que la gasolina que se produce en el país cumple con la condición dada anteriormente en la especificación DOT provisión B33 sobre la presión Reid. La cual debe ser menor a 9 psi (62.1 kPa) a 131°F (55 °C).

De acuerdo a lo indicado en la norma NFPA los diferentes productos transportados en nuestro país se los clasifica como líquidos combustibles 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 combustibles de nuestro país pertenecen a la clase 3 y según las temperaturas de ignición pertenecen al grupo de líquidos inflamables (temperatura menor a 114°F o 45.55 °C).

3.2.2. Disposiciones de Seguridad Industrial para Transporte, Carga y Descarga de Combustibles en Auto-Tanques:

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.

a) Definiciones:

Arrestallamas.- Dispositivo que evita la propagación de la llama o chispa del tubo de escape hacia el exterior como se muestra en el anexo 15.A. (Ver Anexo 15)

Auto-Tanque.- Unidad automotriz con tanque, puede ser utilizada para el transporte de combustibles.

Compartimento.- División interior hermética de un tanque.

Pantalla.- División interior 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 la Tierra.- Sistema destinado a descargar en tierra la electricidad estática que puede acumularse en los auto-tanques y tuberías, por el movimiento brusco de los combustibles, por descargas atmosféricas, por falta de aislamiento eléctrico, etc. (Ver Anexo 15.B)

Válvula de alivio.- Dispositivo que permite eliminar el exceso de presión dentro de los tanques o tuberías; llevándole a límites permisibles.

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 tiene un punto de inflamación menor de 37.8 °C (100 °F), y una presión de vapor absoluta, que exceda de 40 psi (2.8 Kg/cm²).

Isla de Carga o Descarga.- Conjunto de instalaciones relacionadas a la carga o descarga de combustibles de auto-tanques comprendiendo bocas de carga y descarga, estructuras metálicas, conjunto de mangueras, válvulas, etc.

b) 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 líquidos combustibles.

En la parte lateral superior, coincidiendo verticalmente con la boca de llenado, correspondiente, se indicará la capacidad de cada compartimento.

En la parte posterior y los costados del tanque, ocupando la parte central, se pintará el logotipo de identificación de la comercializadora; además, la longitud total del auto-tanque en m.

c) 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.

d) Color del Tanque y de Las letras:

Para auto-tanques que transporten líquidos combustibles del color del tanque será amarillo de seguridad, Código No. 18 de la norma PE-SHI-010.

Las letras y números que deben pintarse en el tanque deberán ser de color negro código No. 1 de la norma PE- SHI - 010

e) 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 cuatro banderas rojas (no metálicas) de 25 x 40 cm, instaladas en astas sobre cada uno de los extremos del tanque o una altura mínima de 40 cm.

f) Sistema Eléctrico:

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

g) Arrestallamas:

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

h) Platinas para Conexión a Tierra:

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

i) Placa de Especificaciones:

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

j) Cadena de Arrastre:

Los auto-tanques dispondrían de una cadena de longitud suficiente para que se arrastre por el suelo, colocada en la parte posterior del chasis, para descargar a la tierra a la electricidad estática que se genera con el movimiento en los viajes. El extremo que toca el suelo tendrá aditamentos o eslabones de bronce.

k) Medidas de Seguridad a Seguir Durante la Carga y Descarga de Combustibles Líquidos:

El conductor descenderá del vehículo dejando la llave en el interruptor de arranque y se abstendrá de fumar o realizar cualquier acción que pueda producir chispa o llama.

Obligatoriamente se conectara a tierra el auto-tanque antes del inicio de la operación.

El personal autorizado procederá a la apertura de válvulas y pondrá en funcionamiento los equipos que sean necesarios para la operación.

El conductor del vehículo o su ayudante introducirá el pitón de carga verticalmente en la boca del tanque procurando que este toque el fondo del mismo para reducir el movimiento del líquido, las salpicaduras, la pulverización, y cualquier agitación producida por la caída del líquido.

La velocidad de llenado se incrementara gradualmente, hasta que el líquido sobrepase el extremo del pitón de carga.

Para gasolina o productos livianos, cuando se efectúa la carga entre 15 y 25 °C de temperatura ambiente, debe dejarse un espacio libre en el tanque del 2 al 3% de su capacidad. Cuando la temperatura de carga sea menor a 15 °C, se debe dejar un espacio libre del 4%.

Los operadores de las islas de carga y el conductor del auto-tanque, supervisarán todas las maniobras hasta su final.

Concluido el llenado se retira el pitón de carga del producto evitando derrames, se cerraran los compartimentos del auto-tanque con la debida precaución y se desconectará la pinza a tierra.

l) Casos en los que no se debe Efectuar Carga o Descarga de Auto-Tanques:

- Durante tormentas eléctricas.
- En caso de derrame de productos.
- Cuando no está presente la persona responsable de la operación.
- Por falta de iluminación adecuada.
- Por cualquier circunstancia que implique una situación de peligro.

m) Prohibiciones durante la Carga o Descarga:

- La presencia de personas ajenas a la operación.
- Efectuar en la zona de operaciones o en el auto-tanque cualquier tipo de trabajo de reparación.
- Usar artefactos eléctricos que no sean antiexplosión.
- Poner en marcha el motor del vehículo.

n) 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 este 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 precaución 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.

3.3. 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 el país, se determinó los parámetros de control que son necesarios conocer para proceder a la elaboración de los procedimientos.

a) 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:

1. Si el tanque se encuentra unido al chasis o
2. Si el tanque es remolcado.

Este parámetro influye en el tipo de sujeción a controlar.

b) Características Físicas del Auto-Tanque:

Se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La capacidad volumétrica del tanque debe estar entre 6000 y 15000 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 esta provisto de venteo, éste debe cumplir con:

Venteo de Presión: 1 psig (6.9 kPa)

Venteo de Vacío: 6 oz (168 kg)

- 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 plg.
- 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 que se presenta en el anexo 16. (Ver Anexo 16).
- La soldadura tanto longitudinal como circunferencial no deben presentar defectos, caso contrario, estos defectos deben cumplir con los criterios de aceptación establecidos por la norma API-1104 que se presenta en el anexo 16.

c) Tipo de Combustibles de Despacho:

El tipo de combustible a ser transportado debe ser cualquiera de los siguientes:

- Gasolina Extra (80 octanos)
- Gasolina Super (90 octanos)
- Diesel 1 y 2
- Jet Fuel
- Fuel Oil
- Asfalto.

Estos combustibles deben cumplir con las exigencias de las normas INEN, cuyas propiedades se indican en el anexo 14. En el caso del asfalto existen puntos de inspección adicionales que deben tomarse en cuenta, los cuales se indican en la norma NFPA 358.

a) Temperatura de Carga:

De acuerdo con la investigación de campo los procedimientos se basarán principalmente en las normas DOT para realizar un análisis más detallado para la determinación de los espesores mínimos requeridos. En caso de no poder aplicarse esta norma se podrá recurrir a las especificaciones de la NFPA 358. Como el caso de los asfaltos.

Si la temperatura máxima de carga es menor que la Temperatura de Ebullición del combustible se aplicará una de las especificaciones DOT 406, DOT 407, DOT 412 según corresponda. Si se presenta algún caso en que la temperatura máxima de carga es mayor que la Temperatura de Ebullición del combustible se aplicará la norma NFPA 58 o MC331 del código 49 CFR, que se encuentran en la DNH.

b) Material de Tanque:

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

Las propiedades de los materiales se indican en la sección II parte A Y B del código ASME, excepto para los siguientes:

- Los siguientes aceros también son autorizados en un auto-tanque, y las propiedades se encuentran en las normas ASTM:

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 Aloy 5254
 ASTM B 209 Aloy 5652
 ASTM B 209 Aloy 5086
 ASTM B 209 Aloy 5154

c) Presión de diseño (MAWP):

Tabla 3.10. Cuadro de la Presión Máxima Permisible.

CODIGO FEDERAL DE TRANSPOTACIÓN	
CODIGO	PRESIO DE DISEÑO MAWP
DOT GENERAL 406,407,412	1. Presión de vapor a 115°F + Pres estática del producto en la máxima densidad + presión debida a gas padding. 2. La máxima Presión durante la carga y descarga.
DOT 406	Si MAWP esta 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 de 5 psig. Si MAWP mayor a 15 psig sección circular.

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos

Elaboración: Propia

Este parámetro se encuentra indicado únicamente en las normas DOT y se considera muy importante.

d) Espesor Mínimo.

Los espesores mínimos requeridos de acuerdo a la norma correspondiente se indican en los anexos 11, 12 y 13.

3.4. REQUISITOS DE ETIQUETADO Y PINTURA

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.

El lugar para colocar o pintar las etiquetas del tanque pueden ser impresas en cualquier superficie que no sea en el fondo del tanque. Pueden ser localizadas en la misma superficie cerca de la marca del nombre de envío. Si las dimensiones del tanque son adecuadas.

Una excepción para el etiquetado es colocar etiquetas en lugares donde estén seguros y a la vista.

Se puede colocar algunas etiquetas en el tanque si es necesario con el fin de que sea fácil de identificar estos pueden ser a dos lados o en la parte frontal y

posterior del tanque si es necesario. De igual forma si necesario colocar algunas etiquetas para identificar bien el tanque se debe considerar una distancia mínima entre estas de 150mm.

La etiqueta debe estar colocada sobre un lugar en donde el color contraste con la misma con el fin de que sea fácil de visualizar. De igual forma la etiqueta debe estar colocada en un lugar donde la visibilidad sea total y no lo cubran otros elementos.

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 estar expuesto el tanque en el caso particular de un auto tanque de asfalto en nuestro país pueden ser: lluvia, calor, frío, humedad, sol, altas temperaturas, entre otras.

El diseño de la etiqueta esta 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 5.0 hasta 6.3mm 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 4.8mm. Con el nombre del fabricante, fecha de fabricación, rango de temperaturas y peso máximo del producto o capacidad volumétrica.

3.4.1 COLORES DE LAS ETIQUETAS

El color del símbolo, texto y numero debe ser negro, 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 (ASTM G 23-69 o ASTM G 26-70).

El color de la etiqueta debe pasar un sencillo examen visual, comparándolo con un patrón de colores. El color de la etiqueta esta especificado en el apéndice A, en este apéndice se especifica la mezcla de colores básicos para lograr el color exacto requerido.

3.4.1.1 Etiqueta para Liquido Inflamable (DOT 172.419)

La etiqueta para el asfalto material para el cual esta dirigido el diseño es la presentada a continuación. Esta etiqueta debe tener el fondo de color rojo y las letras negras.



Figura 3.4 Etiqueta para Líquidos Inflamables

3.5 REQUISITOS DE SEGURIDAD 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 para transporte de asfalto.

- El tanquero debe llevar identificaciones principales: Capacidad en m³ (metros cúbicos) y/o galones, para líquidos combustibles inflamables; lateralmente y en la parte superior coincidiendo verticalmente con la boca de llenado correspondiente, la capacidad de cada compartimiento.

Texto Preventivo, Capacidad para Tanques de Combustibles Líquidos



Figura 3.5 Etiqueta de Texto Preventivo

- Todo Tanquero debe llevar la inscripción “PELIGRO INFLAMABLE” en la parte posterior en las laterales. El tamaño mínimo de las letras para los laterales del tanque debe ser el N° 6 (L = 21cm, A = 2 cm, E = 3cm) y para la parte posterior el tamaño mínimo debe ser N° 4 (L = 7cm, A = 1 cm, E = 1cm), según la norma CEPE SI – 011, “Tamaño de Letras y Números”.

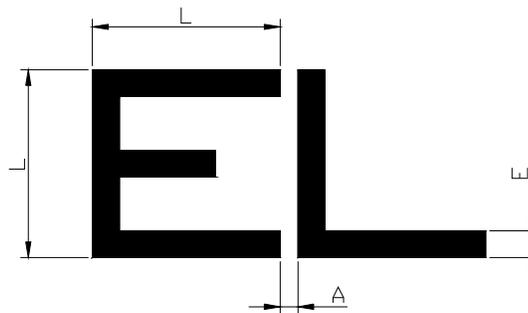


Figura 3.6 Tamaño de Letras

- El color del tanque para combustibles inflamables es Amarillo de Seguridad, código N° 18, según 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 de tela roja de 20 x 40 cm, instaladas en asta sobre cada uno de los extremos del tanque, a una altura mínima de 40cm.

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:

- 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 arresta llamas que puede ser fijo o desmontable, de acuerdo al Anexo 10.

El tanque debe contar con dos platinas de aleación bronce – zinc soldadas, que permitan efectuar la conexión correspondiente.

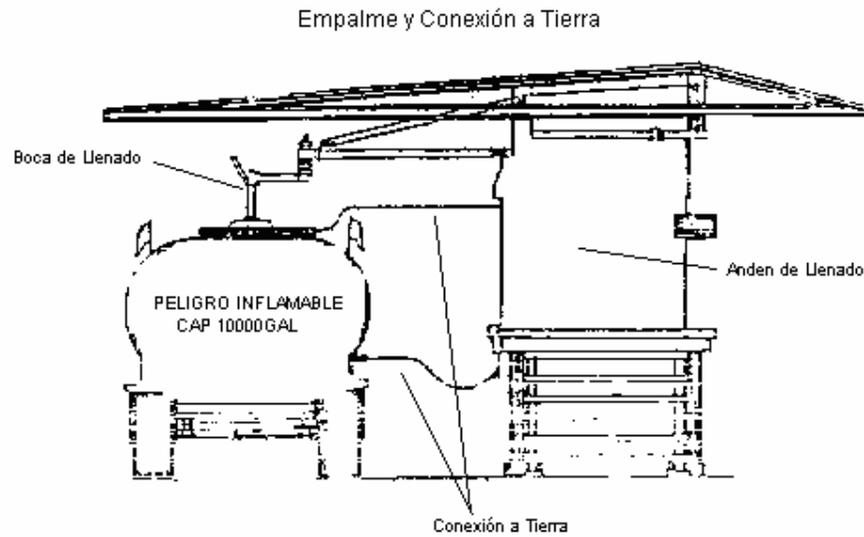


Figura 3.7 Conexión a Tierra Durante la Carga

La placa de identificación que debe tener el tanque donde conste de sus principales características.

El tanque dispondrá, en la parte posterior del chasis de una cadena de arrastre de suficiente longitud para llegar al suelo, con el objeto de descargar a tierra la electricidad estática que pueda generarse. El extremo de la cadena debe tener aditamentos o eslabones de bronce.

CAPITULO 4

ESTUDIO Y SELECCION DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se recopilan las alternativas más destacables, y que se han tomado en cuenta para poder desarrollar a partir de estas el respectivo diseño del prototipo seleccionado.

Después de realizar un estudio y análisis de mercado, se han seleccionado las mejores alternativas, cuyos requerimientos están principalmente determinados en función del diseño, funcionamiento simple, facilidades constructivas, la facilidad de diseño, costos, obtención de materiales, y sobre todo adaptados a la realidad nacional.

4.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

4.1.1 ALTERNATIVA 1: SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO ELÍPTICO CON TAPAS ELÍPTICO-CÓNCAVAS.

Es un sistema de transportación para todo tipo de combustible, que permite almacenar desde tres hasta cinco diferentes tipos de estos, que tiene alta estabilidad y adherencia de los neumáticos. Su diseño es vistoso y apto para todo tipo de carreteras. (Ver figura 4.1).



Figura 4.1. Semiremolque tanque de cilindro elíptico con tapas elíptico-cóncavas.

Ventajas del sistema:

- Muy buena acogida en el mercado.
- Los materiales se los puede encontrar con facilidad en el medio.
- La geometría elíptica del tanque presenta un momento de inercia que se ubica más cerca a la superficie del suelo.
- Excelente estabilidad para la transportación de combustibles, sobre todo en carreteras en mal estado y en curvas.
- Cumple con las normas 49 CFR.

Respecto a las tapas del semiremolque tanque:

- Posibilidad de fabricación únicamente con aceros hasta 75000 PSI de resistencia a la tensión.
- Se puede trabajar en frío o caliente.

Tabla 4.1 Características constructivas de tapas elípticas cóncavas.

DIÁMETRO		ESPESOR	
MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
8"	130"	1/8"	1 1/2"

Fuente: www.trinitymexico.com

Elaboración: Propia

Desventajas del sistema:

- Complejidad para el diseño de las tapas, no existe codificación o normativa alguna para este tipo de geometría.
- Complejidad para el aforo de las mismas, no posee codificación para este propósito.
- Estas tapas presentan una capacidad volumétrica media.
- Soportan presiones medias.
- Dificultosa construcción para este tipo de tapas.
- Alto costo para su fabricación, sobre todo por su diseño.

4.1.2 ALTERNATIVA 2: SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO ELÍPTICO Y TAPAS PLANAS.

Este sistema de transportación puede trasladar todo tipo de combustible, que permite almacenar desde tres hasta cinco diferentes tipos de estos, que posee buena estabilidad y adherencia de los neumáticos. Su diseño es poco vistoso y sencillo, pero es apto para todo tipo de carreteras. (Ver figura 4.2).



Figura 4.2. Semiremolque tanque de cilindro elíptico con tapas planas.

Ventajas del sistema:

- Los materiales se los puede encontrar con facilidad en el mercado.
- La geometría elíptica del tanque presenta un momento de inercia que se ubica más cerca a la superficie del suelo.
- Excelente estabilidad para la transportación de combustibles, sobre todo en carreteras en mal estado y en curvas.
- Cumple con las normas 49 CFR.
- Facilidad de diseño y construcción de las tapas.
- La geometría de las tapas facilita el aforo del tanque.
- Bajo costo para su fabricación, sobre todo por su diseño.

Desventajas del sistema:

- Poca acogida en el mercado.

- La geometría de las tapas genera concentración de esfuerzos en las soldaduras con el cuerpo del tanque.
- La capacidad volumétrica de las tapas es nula.
- Estéticamente no muy atractivo y no es comercial.

4.1.3 ALTERNATIVA 3: SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILÍNDRICO CIRCULAR CON TAPAS TORIESFÉRICAS.

Esta opción de transporte a granel permite trasladar todo tipo de combustible, además de almacenar desde tres hasta cinco diferentes tipos de estos, posee buena estabilidad y adherencia de los neumáticos. Su diseño es estéticamente muy vistoso y relativamente nuevo para el mercado nacional, además es apto para todo tipo de carreteras. (Ver figura 4.3).



Figura 4.3. Semiremolque tanque de cilindro circular con tapas toriesféricas.

Ventajas del sistema:

- Muy buena aceptación dentro del medio.
- Los materiales se los puede encontrar con facilidad en el mercado.
- Buena estabilidad para la transportación de combustibles, sobre todo en carreteras en mal estado y en curvas.
- Estéticamente muy atractivo y comercial.
- Cumple con las normas 49 CFR.

Respecto a las tapas del semiremolque tanque:

- Posibilidad de fabricación únicamente con aceros de baja resistencia a la tensión, menos de 70000 psi.
- Soportan presiones bajas.
- La geometría de este tipo de tapas, genera la menor concentración de esfuerzos que otras clases de formas geométricas.
- Facilidad en el diseño de este tipo de tapas bajo norma ASME 8 Div. 1. Cabezas F&D No-Estándar UG – 32 (j). (Ver Anexo 17).
- Facilidad de aforo tanto en las tapas como en el cilindro bajo Norma API 2551. (Ver Anexo 18).

Tabla 4.2 Características constructivas de tapas toriesféricas.

DIAMETRO		ESPESOR	
MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
19"	236"	1/8"	1
19"	165"	1/8"	1 1/2"

Fuente: www.trinitymexico.com

Elaboración: Propia

Desventajas del sistema:

- La geometría circular del tanque presenta un momento de inercia que se ubica ligeramente más alejado de la superficie del suelo que el de otro tipo de forma.
- Estas tapas presentan una capacidad volumétrica baja.
- Fabricación más costosa de las tapas.

4.1.4 ALTERNATIVA 4: SEMIREMOLQUE TANQUE DE CILINDRO CIRCULAR CON TAPAS PLANAS.

Al igual que las alternativas anteriores este sistema de transportación puede trasladar todo tipo de combustible, y permite almacenar desde tres hasta cinco diferentes tipos de estos, posee buena estabilidad, es poco vistoso y sencillo. (Ver figura 4.4).



Figura 4.4. Semiremolque tanque de cilindro circular con tapas planas.

Ventajas del sistema:

- Los materiales se los puede encontrar con facilidad en el mercado.
- Cumple con las normas 49 CFR.
- Facilidad de diseño y construcción de las tapas.
- La geometría de las tapas facilita el aforo del tanque.
- Bajo costo para su fabricación, sobre todo por su diseño.

Desventajas del sistema:

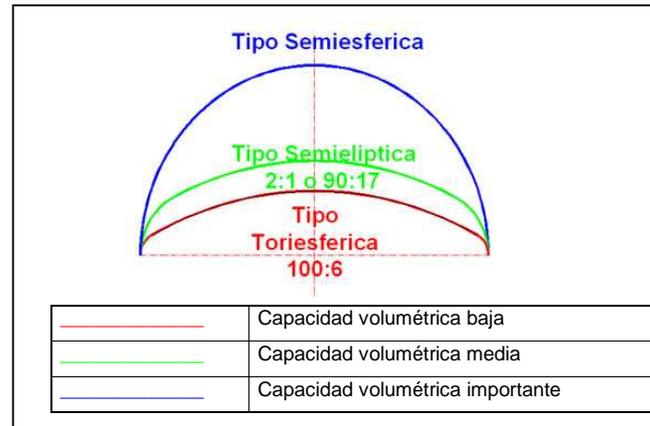
- Poca acogida en el mercado.
- La geometría circular del tanque presenta un momento de inercia que se ubica ligeramente más alejado de la superficie del suelo que el de otro tipo de forma.
- La geometría de las tapas genera concentración de esfuerzos en las soldaduras con el tanque.
- La capacidad volumétrica de las tapas es nula.
- Estéticamente no muy atractivo y no es comercial.

4.2 ANÁLISIS:

Antes de realizar el análisis de las alternativas, es importante observar gráficos y cuadros comparativos de los diferentes tipos de tapas, los mismos que ofrecen información muy determinante para una posterior y óptima selección.

En el siguiente gráfico comparativo (Gráfico 4.1) 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.

Gráfico 4.1. Esquema de comparación de tipos de tapas

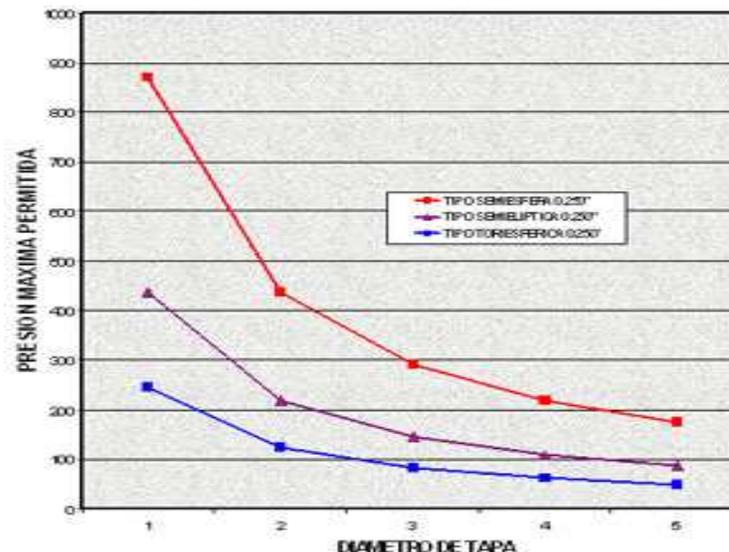


Fuente: www.trinitymexico.com

Elaboración: 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.

Gráfico 4.2. Comparación de presiones máximas permitidas por tipo de tapa en diferentes diámetros.

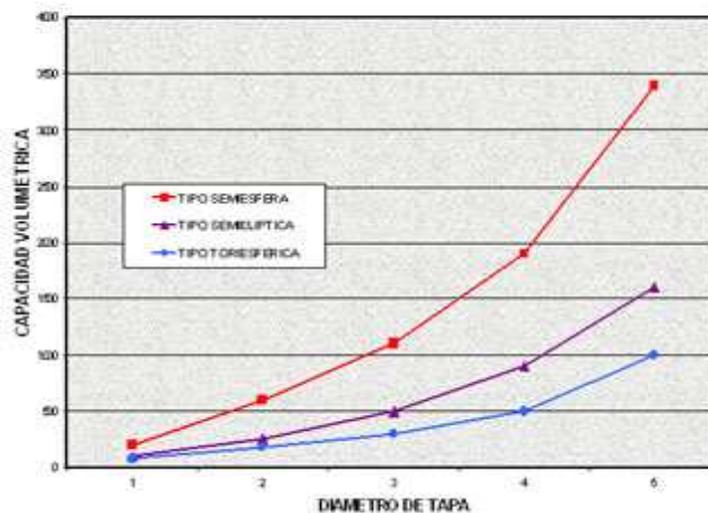


Fuente: www.trinitymexico.com

Elaboración: 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. (Ver Gráfico 4.3)

Gráfico 4.3. Comparación de capacidad volumétrica por tipo de tapa en diferentes diámetros.



Fuente: www.trinitymexico.com

Elaboración: www.trinitymexico.com

ALTERNATIVA 1:

El costo de este sistema de traslado de combustibles líquidos está dentro del promedio en el mercado nacional, ya que se trata del diseño que con más frecuencia se puede observar transitando por las diferentes calles y carreteras del país, además que de acuerdo al estudio de mercado realizado previo a la elaboración de este trabajo es la alternativa más escogida.

En lo referente a su estructura en general, se puede decir que es sencilla y que por la geometría que presenta el cilindro del tanque, el sistema en sí posee un

momento de inercia más cerca de la superficie del suelo, por lo que ofrece al conjunto semiremolque-cabezal muy buena estabilidad y adherencia.

Las tapas que forman parte de éste modelo son elípticas-cóncavas, las mismas que presentan dificultad tanto para su diseño como para su construcción, ya que esta geometría hace que el cuerpo del cilindro tenga que acoplarse a la forma de la tapa, siendo muy frecuente el empleo de retazos y acoples por parte de los constructores nacionales para que esta operación sea completada, irrumpiendo sobre toda normativa de diseño y construcción, razón por la cual este tipo de construcción se hace más frecuente.

Cabe señalar que las tapas poseen una capacidad media de almacenamiento y que por su forma geométrica éstas pueden soportar presiones medias, las mismas que sobrepasan a la presión de diseño que está basado en el transporte gases a baja presión, constituyéndose este modelo de tapas en una opción que no optimiza procedimientos y costos.

Además, el aforo de las tapas del tanque no posee ninguna normalización, por lo que tuvo que recurrirse a la elaboración de un modelo matemático por medio de integración numérica para poder obtener la capacidad volumétrica de estas. (Ver ejemplo de aforo y modelos matemáticos más adelante)

ALTERNATIVA 2:

El costo de este semiremolque tanque es relativamente menor al de la alternativa anterior, ya que geométrica y estructuralmente son parecidos pero el diseño de las tapas es plano, por lo que hace de ésta una opción sencilla y poco vistosa, no atractiva de acuerdo al estudio de mercado realizado.

En adición, las tapas planas generan esfuerzos en los cordones de las soldaduras con la estructura, además de que poseen capacidad volumétrica nula y facilitan el aforo por su simpleza.

ALTERNATIVA 3:

Es un diseño relativamente nuevo para el mercado nacional, ya que posee una excelente acogida en el medio, como se puede observar en los resultados del estudio de mercado que se realizó previamente, puesto que se trata de un modelo estéticamente vistoso y comercial.

Con lo referente al costo del semiremolque tanque, se puede considerar a la opción dentro del promedio de precios en el mercado, siendo ligeramente más costosa la construcción de las tapas de este sistema.

De las tablas anteriores, podemos observar que las tapas toriesféricas poseen una capacidad volumétrica baja, así como una presión admisibles baja, siendo ésta la optima y que está acorde a las especificaciones requeridas para el transporte de gases a baja presión, otorgando a este diseño un estricto apego a las normas nacionales e internacionales, y que le brindan al sistema factores de diseño óptimos y confiables.

Cabe recalcar, que las tapas de forma toriesférica ofrecen una excelente distribución de esfuerzos; el aforo de las mismas se puede realizar con total facilidad ya que está normalizado al igual que todos los parámetros constructivos y de diseño de los demás elementos del semiremolque tanque.

Es un modelo, que si bien es cierto posee un momento de inercia ligeramente más alejado de la superficie del suelo que el de el forma elíptica, brinda al sistema una buena adherencia y estabilidad para el traslado de los combustibles por las diferentes carreteras y caminos del país.

ALTERNATIVA 4:

El costo de este semiremolque no es elevado, y los materiales para su construcción existen en el medio, lo que facilita su construcción.

Posee características similares al de la alternativa anterior, con la diferencia de la forma plana de las tapas, generando los problemas comunes de concentración de esfuerzos y capacidad volumétrica nula.

Respecto a la forma de las tapas hace de esta opción poco atractiva y poco comercial, así lo reflejan los resultados de los estudios de mercado.

4.3 CUADRO DE PONDERACIONES:

Para realizar la calificación de las diferentes alternativas, se a empleado un sistema de ponderación que otorga un valor de importancia sobre diez puntos a cada uno de los factores que van a ser considerados en los diseños para su posterior evaluación como se puede observar en la tabla 4.3. Los factores tendrán su respectiva calificación basada en las alternativas descritas anteriormente, para lo cual se considera como los factores más determinantes de evaluación a: costo, facilidad de diseño, facilidad de montaje, facilidad de operación, mantenimiento, fabricación y seguridad

Finalmente, para determinar el puntaje máximo se suman todos los valores que corresponden a la primera columna, dando como resultado 60 puntos, siendo este el valor la máxima calificación que puede obtener cualquiera de las alternativas.

Los factores de comparación se detallan de la siguiente manera:

- **Costo:** factor evaluado sobre 9 puntos puesto que se trata del ítem más importante a considerar en el diseño, ya que de este depende la construcción del semiremolque tanque y su directa incidencia sobre una posterior comercialización del mismo.
- **Facilidad de diseño:** ítem que es evaluado sobre 8 puntos, puesto que este factor indica la facilidad que ofrece el diseño seleccionado para ser construido en el mercado nacional.

- **Facilidad de montaje:** este factor es evaluado sobre 8 puntos, el mismo que evalúa la facilidad de acople de los diferentes elementos de los diseños estudiados anteriormente.
- **Facilidad de operación:** es evaluado sobre 8 puntos, puesto que permite establecer la maniobrabilidad que ofrece al conductor cada semiremolque tanque en la carretera.
- **Mantenimiento:** ítem evaluado sobre 8 puntos, este factor evalúa la facilidad con la que el operador pueda realizar el mantenimiento.
- **Seguridad:** factor evaluado sobre 9 puntos, el mismo que es considerado como primordial ya que de este depende que el almacenamiento y traslado de los combustibles 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 sobre 10 puntos, evalúa la posibilidad de fabricar el prototipo en nuestro medio.

Tabla 4.3 Cuadro de ponderaciones de las alternativas propuestas

CARACTERISTICAS	IMPORTANCIA SOBRE 10	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 4
Costo	8	7	8	6	8
Facilidad de diseño	9	5	8	7	8
Facilidad de Montaje	8	4	7	6	7
Facilidad de operación	8	8	6	8	6
Mantenimiento	8	8	8	8	8
Seguridad	10	8	3	7	3
Fabricación	9	7	5	8	5
TOTAL	60	47	45	50	45

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

4.4 SELECCIÓN

Luego de haber efectuado las evaluaciones correspondientes a cada una de las alternativas descritas anteriormente, se ha determinado que el sistema que cumple o que se acerca más a las expectativas óptimas de diseño, tanto en características apegadas a normas constructivas como en lo económico, es la alternativa No. 3, "*Semiremolque tanque de cilíndrico circular con tapas toriesféricas*", además del respaldo que ofrece la información adicional proporcionada por el estudio de mercado realizado previamente.

4.5 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Para poder verificar el correcto ensamble y funcionamiento de los elementos que forman parte del semiremolque tanque, se deberán seguir los procedimientos que establece la norma NTE INEN 2261 en sus partes 8 y 9 (Ver Anexo 10), donde se especifican los siguientes puntos de control:

- Inspección de materia prima:
 - Especificaciones del material: Material utilizado, cuerpo cilíndrico, casquetes.
 - Características del material: Composición química, propiedades mecánicas.
 - Certificación de proveedores.

- Inspección de Diseño:
 - Datos técnicos de diseño: Presión de diseño, temperatura de diseño, capacidad volumétrica, margen de corrosión.

- Datos dimensionales y de forma: *Cuerpo cilíndrico* (Diámetro interior, longitud, espesor); *Casquetes* (forma, radio interior, espesor); *Longitud total*.
- Resultado de cálculo.

- Inspección de Proceso:
 - Requisitos básicos.
 - Control de juntas.
 - Control de soldaduras.
 - Control de prensado de los casquetes.

- Inspección y pruebas finales:
 - Inspección del tanque: visual, radiográfica.
 - Control de aberturas (manholes).
 - Prueba hidrostática.
 - Pintura.
 - Prueba de funcionamiento de válvulas.
 - Prueba de rodaje.

- Inspección radiográfica:
 - Especificaciones.
 - Soldaduras longitudinales.
 - Soldaduras circunferenciales.
 - Soldaduras de los casquetes.
 - Radiografías rechazadas.

CAPITULO 5

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

5.1 GENERALIDADES

Después de un completo estudio realizado en capítulos anteriores sobre las normas y reglamentos que rigen sobre el diseño de semiremolques tanque 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 autotanque escogido que es producto de una evaluación y estudio de mercado.

Cabe mencionar que el diseño que se presenta a continuación, se realizará para un semiremolque tanque de cilindro circular con tapas toriesféricas para una capacidad de 10.000 galones, y considerando que este autotanque transportará diesel.

La práctica y la aplicación estricta de las normas estudiadas en el capítulo 3, hace de la alternativa seleccionada un diseño óptimo y seguro para el traslado de combustibles líquidos.

5.2 DISEÑO DEL SEMIREMOLQUE TANQUE SEGÚN CÓDIGO DOT

Este código regula el diseño en general de la alternativa propuesta, tanto en la selección de elementos estructurales como de control, cálculo de fuerzas, presiones, cargas, etc., así como de los requerimientos necesarios para manipulación y transporte de los combustibles que trasladará el autotanque.

5.2.1 Material a Transportar (Diesel)

El combustible a transportar puede ser proveído tanto por Petroecuador como por las diferentes comercializadoras transnacionales que operan en el país, y que posee las siguientes características. El diseño debe ser realizado para diesel que posea el mayor valor de densidad, en este caso se trata de diesel con bajo contenido de azufre y cuyas características se muestran a continuación:

Tabla 5.1 Códigos y Normas de diseño a utilizar

Pruebas	Unidad	Especificaciones Nacionales	Estadísticas Nacionales			Método ASTM
			Prom.	Mín.	Máx.	
Destilación (%recuperado vs.°C)	°C	-				
10 % 50% 90% Punto Final		360 máximo	220 274 331 361	201 241 310 243	252 291 345 378	D-86
Color ASTM		3 máximo	15	0,5	2,0	D-1500
Temperatura de inflamación	°C	52 mínimo	75	57	95	D-93
Viscosidad a 40°C	cSt	1,9 / 5,5	3,04	2,27	4,26	D-445
Temperatura de escurrimiento	°C	5 máximo	-15	-26	-2	D-97
Azufre*	% m/m	0,45 máximo	0,30	0,10	0,48	D-2622 D-1266
Densidad a 15 °C +	Kg/m 3	reportar valor	851,3	838,8	863,9	D-1298
Índice de cetano		45 mínimo	48,1	42,2	51,5	D-976
Corrosión al cobre 3h a 50°C		Std.2	1a	1a	1a	D-130
Agua y sedimentos	% v/v	0,05 máximo	0,002	0,000	0,250	D-2709
Ceniza	% m/m	0,01 máximo	-			D-482
Residuo Carbón Conradson	% m/m	0,35 máximo	0,02	0,00	0,08	D-189

Fuente: Unidad de Programación de Abastecimiento de Combustibles.

Elaboración: Unidad de Programación de Abastecimiento de Combustibles.

En la norma DOT, la parte 172 clasifica a los materiales de acuerdo a una tabla, donde se especifica Materiales Peligrosos, Previsiones Especiales, Comunicaciones, Información de Emergencia, y Requisitos de Entrenamiento, (Hazardous Materials, Special Provisions, Hazardous Materials Communications, Emergency Response Information, and Training Requirements). (Ver Anexo 19).

El propósito de la tabla es designar a cada material la clase de peligrosidad y otros factores. Si un material no está en esta tabla quiere decir que no está permitido para ser transportado. En el caso del diesel se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 5.2 Tabla de materiales peligrosos y requerimientos especiales.

Símbolo	Descripción del Material	División de Peligrosidad	Número de Identificación	PG	Código de Etiqueta	Prohibiciones Especiales	Almacenaje			Limitaciones de Cantidad	Presentación de Tanque		
							Excepción	No Grueso	Grueso		Limitación Pasajero avión / Carga Aérea	Localización	Otro
D	Diesel Fuel	3	NA1993	3	None		150	203	242	60L	220L	A	-

Fuente: 49 CFR, Norma DOT.

Elaboración: 49 CFR, Norma DOT.

5.3 REQUISITOS DE DISEÑO

En la parte 178.345 (Ver Anexo 20), se indican los medios de transporte permitidos según el material a transportar que para nuestro caso son líquidos inflamables a baja presión de vapor, principalmente productos de petróleo (Ej.: Gasolina, combustibles).

- Los únicos medios de transporte autorizados para trasladar este material en lo que concierne a Carros tanques para transportar gasolinas y diesel son: Los que están dentro de los ítem: Especificación MC-300, MC-301, MC-302, MC-303, MC-305, NFPA 385, CSFMDA; Auto Tanques a motor DOT 406, 407, 412. Y el diseño estructural con aceros al carbón para almacenamiento de materiales tenemos la parte 178 del código.

Las características que tiene el diseño es que la presión del trabajo del tanque es atmosférica, por lo tanto el diseño más óptimo se lo realiza mediante la CODIGO DOT 412.

5.3.1 REQUISITOS DIMENSIONALES

El primer requerimiento para el diseño del Auto Tanque, son las dimensiones generales que este va a tener, ya que el vehículo va a ser utilizado a lo largo de la red vial del Ecuador, el Ministerio de Obras Publicas, reglamenta pesos y dimensiones de los vehículos de transporte según el tipo. (Ver Anexo 1).

Mediante el estudio de mercado se obtuvo, que el usuario prefiere un Auto Tanque, con semirremolque de “Tres Ejes”, para el cual las normativas que el MOP, rige son.

TRANSPORTE TIPO 3S3:

- Peso = 52 Toneladas (8 T en el eje delantero, 20 T en los ejes intermedios, 24 T en los ejes posteriores).
- Longitud Total Máxima; L = 18.5 metros
- Altura Máxima; H = 4.10 metros
- Ancho Máximo = 2.6 metros
- Semirremolque = 13.0 metros

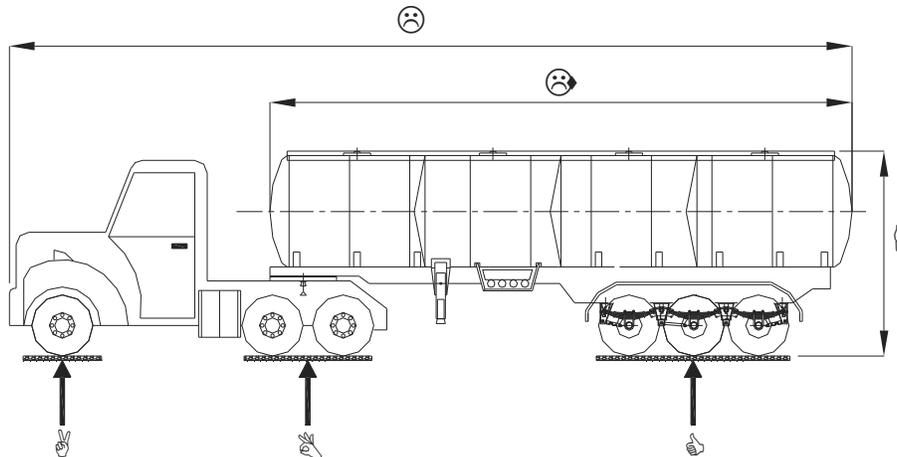


Figura 5.1 Dimensiones y Pesos Admitidos (MOP)

Distribución de Carga:

A = 8 Toneladas

B = 20 Toneladas

C = 24 Toneladas

Las dimensiones generales del auto tanque a diseñarse son:

- Ancho = 2.6 metros
- Altura; H = 4.1 metros
- Longitud del Semirremolque; Ls = 11,0 metros

El peso del auto tanque, esta definido por los siguientes pesos: del cabezal, del tanque vacío, de la carga (Agua, condición extrema de carga).

5.3.2 REQUISITOS ESTRUCTURALES

La parte 178 del Código DOT, prescribe las especificaciones de fabricación y prueba de contenedores y almacenamientos usados para el transporte de materiales peligrosos. Es aplicable para la fabricación de contenedores bajo Código "DOT" y "UN".

En esta parte del código donde se especifican los requerimientos técnicos para el diseño del auto tanque a continuación explican los diferentes requerimientos. La integridad estructural de un auto tanque esta descrita en la parte 178.345-3. (Ver Anexo 20).

El diseño del cuerpo, cabezas y otros elementos, viene dado por esfuerzos generados de las cargas estáticas y dinámicas, o combinaciones de estas, y están distribuidas no uniformemente a lo largo del auto tanque. Las cargas de operación verticales, longitudinales y laterales, actúan de forma simultanea y se combinan. Mientras que las cargas extremas dinámicas ocurren de forma separada y no necesitan combinarse.

5.3.3 REQUISITOS DE ACCESORIOS

Accesorios como chasis de la suspensión, guarda choques, anillos externos, y otros deben ser colocados en el auto tanque si es necesario.

Un accesorio colocado a la pared del tanque de carga, como por ejemplo: grapas de canalización, sujetadores, faldones de estructura, lámparas de montaje, o placa de identificación, deben ser contruidos de forma que se tenga la fuerza menor que el material de la pared del tanque y no pueden ser más del 72% del espesor del material al que se une. Los accesorios deben brindar seguridad al auto tanque por lo que en caso de accidente estos no deben afectar

la retención de la carga del tanque. También debe asegurar el cuerpo y las cabezas con una suelda continua y no generar formaciones para generar posible sitios de corrosión.

Con excepción de lo mencionado en el párrafo anterior, la soldadura de cualquier accesorio a la pared del tanque con refuerzos, esto no afectara la retención de la carga del tanque en caso de accidente. 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 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 mas 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 refuerzo excepto por un pequeño hueco para el drenaje en la parte baja

5.3.4 REQUISITOS CONTRA ACCIDENTES

Para el transporte por la carretera, deben protegerse carga externa y válvulas de descarga y cierres. Que pueden causar daño por el impacto, resultado de colisión o vuelco.

Los elementos de Prevención contra accidentes como por ejemplo: Guarda Choques, requieren de lo siguiente para estar acorde con el código de diseño.

- Debe ser diseñado con el 25% más que todos los elementos diseñados del Auto Tanque.

- Las salidas, válvulas, 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.

5.3.4.1 Presión

Cuando el equipo de presión es requerido, tales equipos deben tener un sistema de auto cierre, con el fin de prevenir la ruptura del tanque o colapso debido a la presión, al igual que proteger la carga de un vuelco significativo debido a salpicones durante condiciones de normales de transporte.

El control de vacío no es necesario del material si la presión externa es de 100 kpa o menos, o si la presión dentro del tanque disminuye mas de un 10% de la presión de diseño del tanque.

- Para el transporte de Diesel un sistema de alivio incorporado por un disco frágil o una abertura permanente que tenga un área efectiva de 48 cm² para el transporte sobre carretera.

5.3.4.2 Cierres (Closures)

Deben cerrarse firmemente durante el transporte todas las bocas y deben diseñarse para prevenir la apertura y expulsión de la carga en un accidente tipo vuelco.

Deben cerrarse todas las aperturas, excepto las aperturas permanentes autorizadas, firmemente durante las condiciones del transporte. Los almacenajes deben estar substancialmente libres de goteos, y salpicones para no permitir el flujo continuo en un vuelco. Deben diseñarse los cierres y deben construirse 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.

5.4 CARGAS

En un Auto Tanque para transporte de asfalto, se tienen distintas cargas tomando en cuenta que este tipo de fluido se transporta normalmente a presión atmosférica, las cargas a considerar en el diseño son:

- La presión Hidrostática, que ejerce el fluido sobre el tanque.
- Cargas por el peso del fluido (Diesel).
- Cargas por Viento.
- Carga por aceleración u frenado.
- Cargas contra riesgo de accidentes según DOT (Impacto).
- Cargas generadas por el movimiento del fluido en el transporte
- Esfuerzos localizados: Peso del tanque, accesorios, sistemas de calentamiento, aislamiento, etc.

Estas cargas serán encontradas mediante cálculos y simuladas en un programa de estudios estructural mediante elementos finitos (FEA), para validar el diseño.

5.4.1 CARGAS POR VIENTO

Las cargas por viento para el diseño del tanque son dos: La carga por viento que recibe el tanque por la parte frontal. Esta carga podría ser despreciada por la aerodinámica del camión remolcador, que va a romper la presión de viento contra el tanque remolcado.

- Caso 1: Las que se generan en la parte delantera del tanque.

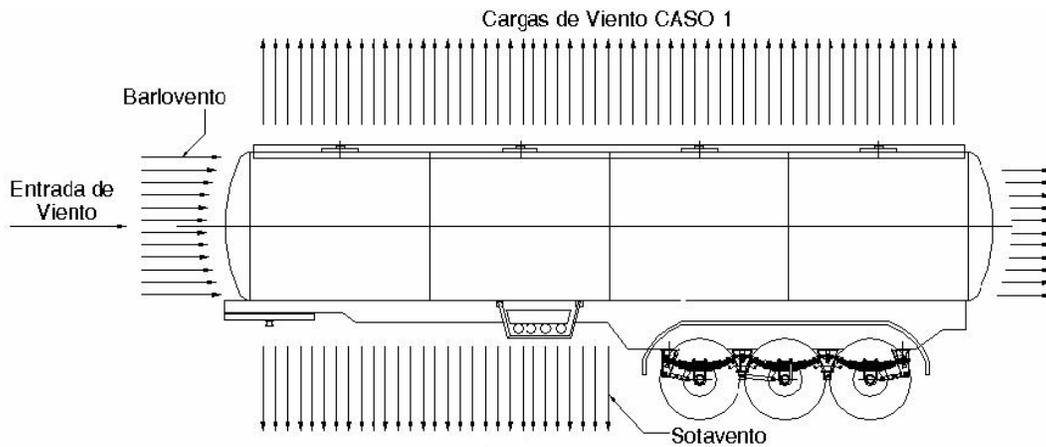


Figura 5.2 Esquema de Barlovento y Sotavento Caso 1

- Caso 2: Los que se ejercen en la parte lateral del tanque.

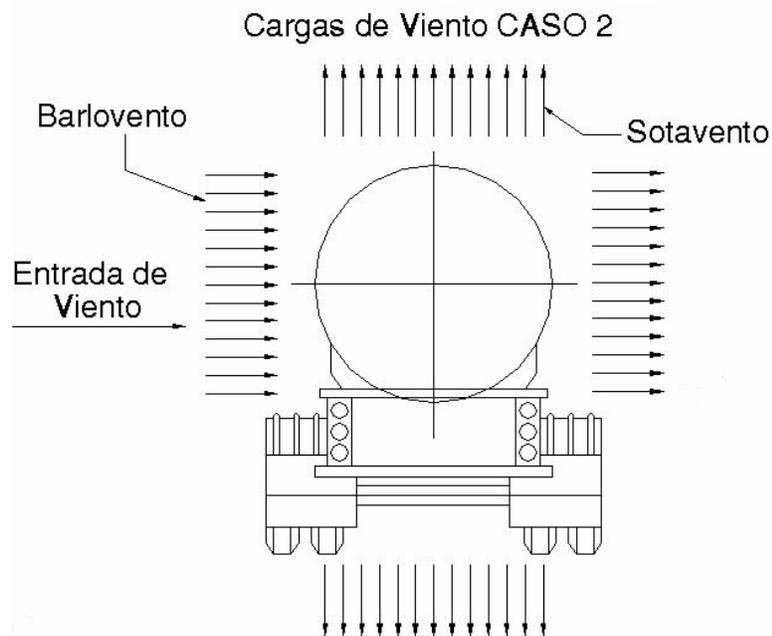


Figura 5.3 Esquema de Barlovento y Sotavento Caso 2

Con la velocidad del viento se evalúa la carga que este ejerce sobre el tanque. El requerimiento del elemento a diseñarse es la necesidad de transportar asfalto a lo largo de todo el país. La velocidad de viento mayor, medida a lo largo de un año en todo el país según el “Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología”, se tiene una velocidad de 45 MPH.

Con el fin de lograr un diseño óptimo, el código ASCE (Minimum Design Loads for Buildings and other Structures), nos recomienda que un valor medio de velocidad de viento para diseño es 110 MPH.

La fuerza estática que genera la presión del aire es calculada mediante la fórmula:

$$F := q \cdot G \cdot C_f \cdot A_f \quad (5.1)$$

Donde:

q = Velocidad de presión del viento (MPH)

G = Factor de Ráfaga

C_f = Coeficiente de fuerza

A_f = Área proyectada expuesta a la dirección del viento (m^2)

Según el código ASCE, se encuentra los factores de cálculo con las condiciones para este diseño:

- Para los dos casos el factor de ráfaga G por exposición D es 0.85
- El coeficiente de fuerza para los dos casos es de $C_f = 0.8$, para cilindros

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

$$q := 0.00256 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot I \cdot V_v^2 \quad (4.2)$$

Donde:

k_z = Factor de exposición de presión a una altura dada

k_{zt} = Factor Topográfico

I = Factor de importancia de la construcción

V_v = Velocidad del viento (MPH)

Para los dos casos no tenemos un requerimiento topográfico por lo tanto $k_{zt}=1$. El factor de importancia esta en la tabla 6.2 del código ASCE, mediante la

tabla 1.1 del mismo donde encontramos la clasificación diseño a construir que es II, y por lo tanto mediante la tabla 6.2, y el factor de importancia es $I = 1.0$.

El factor de exposición esta en la tabla 6.3, mediante la altura del tanque $H = 4.6$ (m), y con la ayuda de la exposición que para nuestro caso es D, nos indica la exposición en sitios abiertos, aplicable para los requerimientos de un auto tanque, el factor $k_z = 1.03$.

Para el **caso 1**: La presión y fuerza ejercida por el viento:

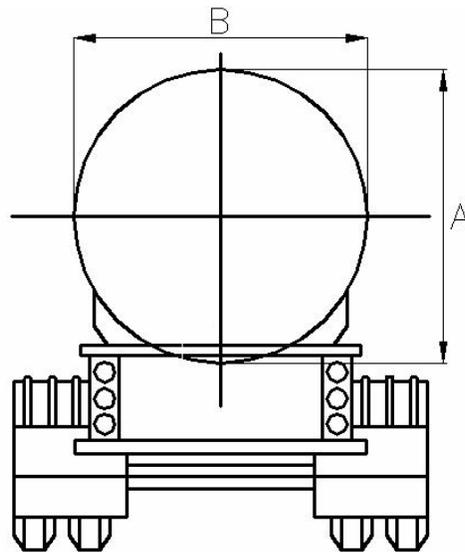


Figura 5.4 sección del Tanque

Área proyectada en el tanque:

$$A_f = \pi \times \frac{A}{2} \times \frac{B}{2} \times (3.281)^2$$

$$A_f = \pi \times \frac{2.1}{2} \times \frac{2.1}{2} \times (3.281)^2$$

$$A_f = \pi (105)^2 (3.281)^2$$

$$A_f = 37.2856 (\text{pies})^2$$

Presión de la velocidad del viento

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

$$I = 1$$

$$K_z = 1.03$$

$$K_{zt} = 1$$

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

$$q_1 = 0.00256 \times (1.03) \times 1 \times 1 \times (110)^2$$

$$q = 31.905 \left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}^2} \right]$$

La fuerza ejercida por el viento:

$$G = 0.8$$

$$C_f = 0.85$$

$$F = q \times G \times C_f \times A_f$$

$$F = (31.905) \times (0.8) \times (0.85) \times (37.2856)$$

$$F = 808.9262 [\text{lb}]$$

$$F_{v_1} = F \frac{1}{2.20422} = 808.9262 \frac{1}{2.20422}$$

$$F_{v_1} = 366.9897 [\text{Kg}]$$

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

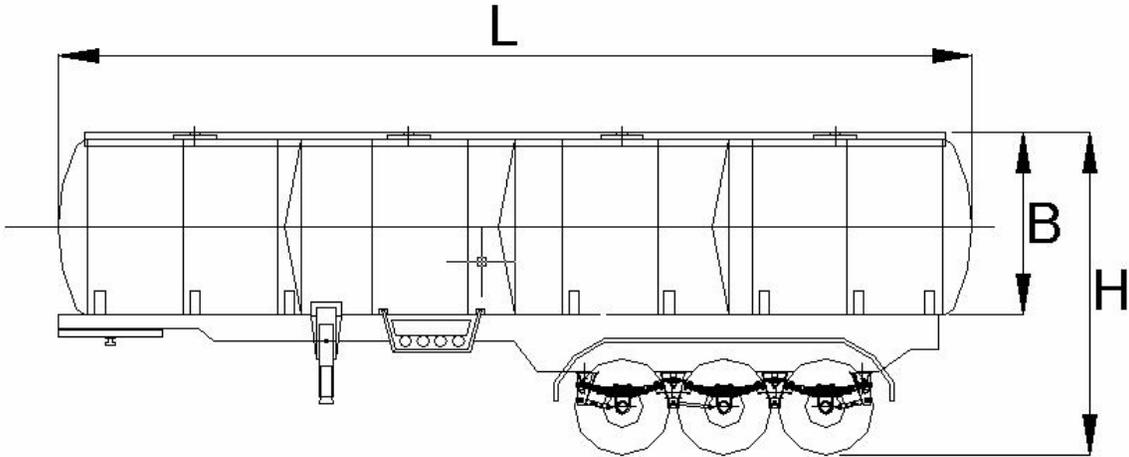


Figura 5.5 Longitud y Alturas Generales del Tanque

El área proyectada de este lado del tanque:

$$L = 11.502m$$

$$B = 2.1m$$

$$H = 3.633m$$

$$A_f = LxHx(3.281)^2$$

$$A_f = 11.502x3.633x3.281^2$$

$$A_f = 449.8329 [pie]^2$$

La presión de la velocidad del viento:

$$V_v = 110 [mph]$$

$$I = 1$$

$$K_z = 1.03$$

$$K_{zt} = 1$$

$$q = 0.00256xK_zxK_{zt}xI x V_v^2$$

$$q = 0.00256x(1.03)(1)(1)(110)^2$$

$$q = 31.905 \left(\frac{lb}{pie^2} \right) \approx 32 \left(\frac{lb}{pie^2} \right)$$

La fuerza ejercida por el viento:

$$G = 0.8$$

$$C_F = 0.85$$

$$F = q \times G \times C_F \times A_f$$

$$F = 31.905(0.8)(0.85)(449.8329)$$

$$F = 9759.3047(lb)$$

$$F_{v_1} = F \frac{1}{2.20422} = 9759.3047 \frac{1}{2.20422}$$

$$F_{v_1} = 4427.5547[Kg]$$

5.4.2 CARGAS VIVAS (DINÁMICAS)

Las cargas vivas son aquellas generadas por la aceleración, la desaceleración, y cuando el tanque genere un salto por la irregularidad del piso. Y se aplican sobre las paredes del tanque, generando cargas longitudinales, laterales, y verticales.

La presión hidrostática es una carga muy importante para el cálculo de la resistencia del tanque y se calcula mediante un análisis de la mecánica del fluido dentro del tanque, obteniéndose las siguientes ecuaciones, las mismas que servirán para el cálculo tanto en la simulación computacional como en la memoria de cálculo desarrollada mas adelante:

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

$$P = 0$$

$$x = 0$$

$$z = 2.1m$$

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

$$c = \rho g z$$

$$c = -\rho g 2.1$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$c = \rho g h$$

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

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

$$b = y = 2.75m \quad ; \quad a_y = 0.591 \frac{m}{s^2} \quad ; \quad \rho = 860 \frac{Kg}{m^3} \quad ; \quad h = 2.1m$$

$$P = 860 \frac{Kg}{m^3} * 0.25 * g * 2.75m + 860 \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * (2.1 - 0)$$

$$P = 860 \frac{Kg}{m^3} * 0.591 \frac{m}{s^2} * 2.75m + 860 \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * (2.1)$$

$$P = 5794,25 \frac{N}{m^2} + 17698,8 \frac{N}{m^2} = 23493,05 \frac{N}{m^2} = 2.3636 Psi$$

$$P = 23493,05 \frac{N}{m^2} * 1,45 \times 10^{-4} = 3,406 Psi.$$

Con la aceleración de la gravedad, se debe encontrar las cargas por riesgo de accidentes. Para esto el código DOT 412 entrega los valores para considerar cargas diferentes generadas por el movimiento del fluido.

La consideración de una carga de prevención de accidentes, es un cuarto (0.25) de la aceleración de la gravedad, calculando tenemos que es 2.45 m/s^2 , y debe ser simulada sobre todos los ejes en el tanque.

Con este dato se calcula la fuerza generada por riesgo de accidentes que se va a producir sobre cada baffle, y una cabeza del tanque ya que se va a generar en la aceleración o el frenado.

Otra consideración importante en el diseño es simular una carga, que se va a generar cuando exista un salto del tanque por defectos del piso por donde se trasladara el Auto Tanque.

Fuerza ejercida por riesgo de accidentes:

Numero de Baffles:

$N := 3$ Seleccionado por el diseñador

Aceleración por riesgo de accidentes y fuerza ejercida sobre los baffles y la tapa.

$$a_{ra} = 0.25g$$

$$a_{ra} = 0.25x(9.8) = 2.45\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{ra} = \frac{m}{N+1}xa_{ra}$$

$$m_{diesel} = 32551Kg.$$

$$F_{ra} = \frac{32551(Kg)}{3+1}x2.45\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{ra} = 19937.4875[N] \cong 2x10^4[N]$$

Esta fuerza debe ser simulada sobre todos los baffles y una tapa, ya que al momento de un frenado o una aceleración la fuerza se genera sobre estos elementos en cualquiera de los dos casos.

Otra carga para el diseño del tanque es la generada verticalmente al momento que hay un salto, lo que generaría roturas o fisuras en las sillas y en los baffles por el pandeo excesivo del cuerpo del tanque. Mediante la aceleración por riesgo de accidentes que el código indica, se obtiene la fuerza generada por el peso del asfalto.

$$F_{rs} = m * a_{ra}$$

$$F_{rs} = 32551Kg x 2.45 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{rs} = 79749.95[N] \cong 8x10^4[N]$$

Con la experiencia recogida de los transportistas se obtiene valores promedio de los datos requeridos para encontrar la aceleración y el frenado requeridos para calcular la presión sobre el tanque.

La velocidad que un auto tanque cargado puede obtener en 100 m de distancia, es de 40 kph (11.1 m/s²), y el tiempo que se demora en recorrer 100 m, es de 15 segundos aproximadamente.

Con estos datos calculamos, la aceleración:

$$V_f = 11.1 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$X_f = 100[m]$$

$$X_o = 0[m]$$

$$t_f = 15[s]$$

$$a_1 = 2x \frac{v_f x t_f - X_f}{t_f^2} = 0.591 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

donde:

Vf = velocidad final del auto tanque

Xf = distancia recorrida del auto tanque

tf = tiempo que se demora en recorrer Xf

La fuerza generada en las paredes cuando se arranca o frena el sistema (3 baffles y tres tapas del tanque):

$$F_a = \frac{m}{N+1} x a_1$$

$$F_a = \frac{32551(Kg)}{3+1} x 0.591 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$F_a = 4809.4103[N]$$

Esta fuerza ejercida sobre los baffles y una tapa del tanque al inicio del movimiento del tanquero, se suma a la carga por riesgo de accidentes, siendo esta la mayor carga que se va a dar en el tanque, como indica DOT.

5.4.3 COMBINACIÓN DE CARGAS

Con las cargas vivas, muertas, y de viento simuladas con la ayuda de un programa de diseño estructural. Validamos la geometría previamente definida, con accesorios y elementos estructurales que son parte el Auto Tanque.

El siguiente esquema muestra el diagrama de cargas del auto tanque, que se deben validar.

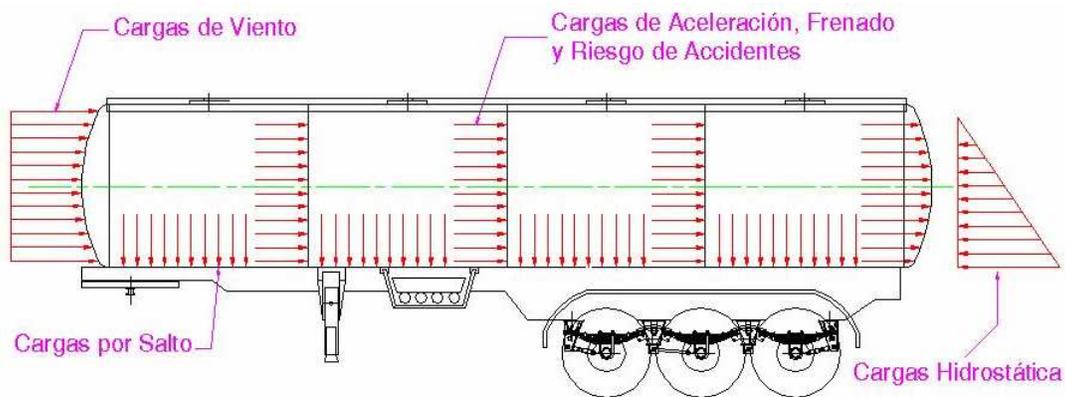


Figura 5.6 Combinación de Cargas

El programa de diseño estructural (CosmosWorks 2006), es capaz de facilitar al diseñador la simulación de cargas que va a tener un elemento.

5.5 ESFUERZOS PERMISIBLES MÁXIMOS

Los esfuerzos máximos permisibles para el diseño del tanque, se especifican en el Código DOT, y mediante las características de diseño propias para un auto tanque para transportar asfalto. Por lo tanto en la sección 178, parte "J" "Especificaciones para Tanques Transportados por Vehículos". Como la presión a la que trabaja este tipo de tanques es la atmosférica el diseño se rige a la parte 178.348 "DOT 412", "Especificaciones para Auto Tanques".

Los requerimientos generales para el máximo esfuerzo de diseño calculado, no debe exceder el 25% del esfuerzo de tensión del material usado para el diseño.

Las propiedades físicas irrelevantes de los materiales a ser usados deben ser establecidas y certificadas por el fabricante o probadas mediante un estándar nacional reconocido. En este caso el esfuerzo ultimo a tensión del material no debe exceder el 120% del esfuerzo mínimo ultimo especificado el código ASME o ASTM.

El máximo esfuerzo de diseño en cualquier punto del tanque debe ser calculado separadamente por las condiciones de carga del mismo según algunas combinaciones que nos da el código. La corrosión permitida en el material no esta incluida para satisfacer cualquiera de las requeridas para el diseño.

5.5.1 ESFUERZOS NORMALES DE OPERACIÓN

Las cargas normales de operación se pueden fusionar en un esfuerzo sobre el cuerpo del tanque y se lo llama esfuerzo efectivo y es el máximo esfuerzo principal en cualquier punto y esta determinado por la siguiente formula (Ver Anexo 20):

$$\sigma = 0,5 \cdot (\sigma_y + \sigma_x) \pm \left[0,25 \cdot (\sigma_y - \sigma_x)^2 + \tau^2 \right]^{0,5} \quad (4.3)$$

σ = Esfuerzo efectivo en cualquier punto dado bajo la combinación de la carga estática y la operación normal que pueden ocurrir al mismo tiempo (psi).

σ_y = Esfuerzo circunferencial generado por el MAWP (presión máxima permitida) y la presión externa si existe, mas la cabeza hidrostática (psi).

⁷ Código DOT, 178.345-3 pagina 317

σ_x = El esfuerzo neto longitudinal generado por las siguientes cargas estáticas y dinámicas (psi).

- a) El esfuerzo longitudinal resultado de MAWP y la presión externa si existe, mas la cabeza hidrostática, en combinación con el esfuerzo a flexión generado por el peso estático del tanque totalmente cargado, todos los elementos estructurales, equipos y accesorios que soporta la pared del tanque.

- b) El esfuerzo de tensión o compresión resultado de la operación normal longitudinal resultado de la aceleración o deceleración. En este caso, las fuerzas aplicadas deben ser 0.35 veces la reacción vertical de la superficie de la carretera, y es transmitida a la pared del tanque mediante el sistema de suspensión durante la deceleración (frenado), o desde la quinta rueda (dolly fifth wheel) durante la aceleración, o los anclajes y miembros de soporte del tanque durante la aceleración y deceleración, si existen. Las reacciones verticales deben ser calculadas, basándose en el peso del tanque totalmente cargado, todos los elementos estructurales del tanque, equipo y accesorios que soporte la pared del tanque. Las siguientes consideraciones de carga deben ser incluidas:
 - La carga axial generada por la fuerza de deceleración.
 - El momento de flexión generado por la fuerza de deceleración
 - La carga axial generada por la fuerza de aceleración
 - El momento de flexión generado por la fuerza de aceleración.

- c) El esfuerzo de tensión o compresión generado por el momento de flexión resultado de la fuerza de aceleración normal de operación vertical igual a 0.35 veces la reacción vertical del sistema de suspensión, o el pivote horizontal de la quinta rueda, o anclajes y soportes estructurales del tanque si existen. La reacción vertical debe ser calculada basándose en el peso del tanque totalmente cargado,

todos los elementos estructurales, equipos y accesorios soportados por la pared del tanque.

τ = Esfuerzo cortante generado por las cargas estáticas y condiciones normales de operación (psi).

- a) El esfuerzo cortante estático resultado de la reacción vertical del sistema de suspensión, y el pivote horizontal de la quinta rueda, o los anclajes y miembros de soporte si existen. La reacción vertical debe ser calculada basándose en la carga estática generada por el peso del tanque totalmente cargado, los elementos estructurales, equipo y accesorios soportados por la pared del tanque.
- b) El esfuerzo cortante vertical generado por la fuerza de aceleración en condiciones normales de operación que es igual a 0.35 veces la reacción vertical del sistema de suspensión, o el pivote horizontal de la quinta rueda, o los anclajes y los miembros de soporte del tanque, si existen. 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.
- c) El esfuerzo cortante lateral generado por la fuerza lateral de aceleración en condiciones normales de operación que es igual a 0.2 veces la reacción vertical del sistema de suspensión aplicado a la superficie de la carretera y transmitida al tanque, y el pivote horizontal de la quinta rueda, o los anclajes y los miembros de soporte del tanque, si existen. 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 en el párrafo anterior.

5.5.2 ESFUERZOS DINÁMICOS EXTREMOS

Mediante la siguiente fórmula podemos calcular el esfuerzo causado por las cargas dinámicas extremas en el cuerpo del tanque. El esfuerzo efectivo, ósea el máximo esfuerzo principal en cualquier punto es:

$$\sigma = 0,5 \cdot (\sigma_Y + \sigma_X) \pm \left[0,25 \cdot (\sigma_Y - \sigma_X)^2 + \tau^2 \right]^{0,5} \quad (4.4)$$

σ = Esfuerzo efectivo en cualquier punto dado bajo una combinación de las cargas estática y dinámica que pueden ocurrir al mismo tiempo (psi).

σ_Y = Esfuerzo circunferencial generado por MAWP, y la presión externa, si existe, más la cabeza hidrostática (psi).

σ_X = Los siguientes esfuerzos netos longitudinales generados por las siguientes condiciones estáticas y dinámicas (psi).

- a) El esfuerzo longitudinal resultado de MAWP y la presión externa, si existe, más la cabeza hidrostática, en combinación con el esfuerzo a flexión generado el peso del tanque totalmente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios que soporta la pared del tanque.
- b) El esfuerzo a tensión o compresión resultado de la aceleración o deceleración extrema longitudinal, en este caso las fuerzas aplicadas son 0.7 veces la reacción vertical del sistema de suspensión, aplicado a la superficie del camino, y es transmitido a la pared del tanque durante la deceleración, al sistema de suspensión o al pivote horizontal de la quinta rueda durante la aceleración, o los anclajes y miembros de soporte durante la aceleración y deceleración, si es aplicable. La

¹ código DOT, 178.345-3 página 318

reacción vertical debe ser calculada basándose el peso del tanque totalmente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios que soporte la pared del tanque. Las siguientes cargas deben ser incluidas:

- La carga axial generada por la fuerza de deceleración.
 - El momento de flexión generado por la fuerza de deceleración.
 - La carga axial generada por la fuerza de aceleración.
 - El momento de flexión generado por la fuerza de aceleración
- c) El esfuerzo de tensión o compresión generado por el momento de flexión resultado de la carga extrema vertical de aceleración igual a 0.7 veces la reacción vertical del sistema de suspensión, y el pivote horizontal de la quinta rueda; o los anclajes y elementos de soporte, si es aplicable. La reacción vertical debe ser calculada basándose el peso del tanque totalmente cargado, todos los elementos estructurales, equipo y accesorios que soporte la pared del tanque.

τ = Esfuerzo cortante generado por las cargas estáticas y condiciones extremas dinámicas de carga (psi).

- a) El esfuerzo cortante estático resultado de la reacción vertical del sistema de suspensión, y el pivote horizontal de la quinta rueda, o los anclajes y miembros de soporte si existen. La reacción vertical debe ser calculada basándose en la carga estática generada por el peso del tanque totalmente cargado, los elementos estructurales, equipo y accesorios soportados por la pared del tanque.

- b) El esfuerzo cortante vertical generado por la fuerza de aceleración extrema que es igual a 0.7 veces la reacción vertical del sistema de suspensión, y el pivote horizontal de la quinta rueda, o los anclajes y los miembros de soporte del tanque, si existen. 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.

- c) El esfuerzo cortante lateral generado por la fuerza lateral de aceleración extrema que es igual a 0.7 veces la reacción vertical del sistema de suspensión aplicado a la superficie de la carretera y transmitida a la pared del tanque, y el pivote horizontal de la quinta rueda, o los anclajes y los miembros de soporte del tanque, si existen. 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 en el párrafo anterior.

Para un auto tanque que tenga el chasis o construcción con soportes integrales, el cálculo del esfuerzo efectivo para las condiciones de carga del ítem C se debe incluir la contribución del chasis o los soportes integrales.

Estas combinaciones de carga según DOT, no son totalmente aplicables para este diseño en particular, ya que están creadas para tanques con forma cilíndrica, pero podrían funcionar para este diseño, para comparar o tener un dato referencial para la aceptación del diseño.

5.6 MATERIAL

El material y propiedades físicas requeridas para la construcción y diseño del tanque, deben ser certificadas por el fabricante del material, en caso de no estarlo debe ser probado en conformidad con una norma reconocida. Mediante la consideración que el código DOT nos indica, el método para aceptar un material es comparando el esfuerzo último a tensión del material a utilizar, no puede exceder el 120 % del mínimo esfuerzo último a tensión del material especificado en el código ASME o ASTM.

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 tanques, según el código DOT 412.

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

Los materiales que se pueden utilizar en el diseño, son limitados por cuanto en el mercado nacional se tiene un stock limitado de aceros. Pero se podrían importar, acción que estaría aceptada si la construcción del diseño se la va a realizar en cantidades de producción.

Por otro lado, utilizar un material de uso común, facilitara las labores de mantenimiento, reconstrucción, y recambio, de partes del auto tanque ya sea por tiempo de utilización o accidente.

Para este proyecto se ha buscado un proveedor internacional que facilita las propiedades de sus productos , y se ha seleccionado el Acero ASTM A36, que es un material fácil de encontrar en el mercado local, y comparándolo con los

materiales del Código DOT, tenemos una similitud en cuanto a características y propiedades mostradas a continuación, con el fin de hacer una comparación de materiales.

Tabla 5.3 Relación de Propiedades de Materiales

Especificación	Descripción	Composición Química % en peso (máximo)							Esf. Fluencia (Ksi)	Esf. Ultimo (Ksi)	% de Elongación
		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	53	22
ASTM A 572-50	Alta Resistencia, Vigas soldadas, Estructural	0.23	1.35	0.035	0.035	0.4	0.05	-	50	65	18
ASTM A 36	Media Resistencia, Estructural, Vigas soldadas	0.27	1.2	0.04	0.05	0.4	-	-	36 (2.5x 10 ⁸ Mpa)	58-80 (4x 10 ⁸ Mpa)	20

Fuente: Catalogo de Materiales ASME

Elaboración: Propia

Por lo tanto el acero escogido es aceptable para utilizarlo en este diseño. Las propiedades del acero para realizar la simulación estructural, son un extracto del catalogo de material y se muestra a continuación.

Tabla 5.4 Propiedades Acero ASTM A-36

Propiedades	Valor
Modulo de Elasticidad	2×10^5 Mpa
Factor Poisson	0.26
Modulo de Rigidez	7.93×10^4 Mpa
Coeficiente de Expansión Térmica	11.7×10^{-6} /K
Peso Especifico	7850 kg/m ³
Conductividad	44.99 W/(m.K)
Calor Especifico	0.5 KJ/(kg.K)
Resistencia a la Fluencia Tracción	2.5×10^2 Mpa
Resistencia Final a la Tracción	4×10^2 Mpa
Resistencia a la Compresión	-

Fuente: Base de Datos COSMOSWORKS 2006

Elaboración: Base de Datos COSMOSWORKS 2006

5.7 FACTOR DE SEGURIDAD

El código DOT asume un factor de seguridad de **4** para diseño, para tanques cilíndricos y a presión, utilizando material certificado. Para este diseño el material a utilizar encontrado en el mercado local podría ser no certificado. De igual forma los procesos de manufactura para construcción no en todos los casos va a ser calificado (reparaciones, fabricación, etc.), por lo tanto el diseño va a ser conservador.

El factor de seguridad elegido para este diseño, tomando en cuenta que es un tanque que va a trabajar a presión atmosférica y queremos ser conservadores, va a fluctuar entre el valor que nos da el código. Valor que podría ser reducido por cuanto el tanque no va a trabajar a altas presiones, pero la otra consideración es la calidad del material y el proceso de fabricación que se podría utilizar.

5.8 ESPESOR DEL MATERIAL

El espesor mínimo del cuerpo y cabezas aceptados, no debe exceder los esfuerzos máximos especificados en la parte 178.345-3 (Anexo 20). DOT 412, en la parte 178-348-2, indica los mínimos espesores de material mediante la Tabla I (Anexo 20) para cabezas, bafles, y otros elementos. En la Tabla II (Anexo 20) para el cuerpo. Con la longitud total y la capacidad del tanque (11.0 metros y 13000 galones, respectivamente, el espesor mínimo encontrado en las tablas son:

- Cuerpo = 0.18 pulgadas = 4.57 mm
- Cabezas, Bafles y Otros Accesorios = 0.18 pulgadas = 4.57 mm

Estos valores son utilizados para iniciar la validación mediante el programa de diseño estructural, hasta llegar a una geometría aceptada.

5.9 DEFORMACIÓN PERMITIDA

El código DOT, no tiene especificadas las deformaciones permitidas para el Auto Tanque. Por lo tanto con la experiencia que existe en el país, en el campo de la manufactura de tanqueros, podríamos realizar una consideración para aceptar el diseño.

Las consideraciones tomadas en cuenta para validar el diseño son las siguientes.

- Buena integridad estructural
- Evitar altas deformaciones con el fin evitar fisuras en las soldaduras
- Evitar altas deformaciones para no perder la geometría del tanque
- No perder la integridad visual de la geometría del tanque

Para este diseño en particular la deformación máxima permitida en los elementos y conjunto armado, es de máximo 20 milímetros, aceptando los puntos puestos a consideración.

5.10 ACERO EQUIVALENTE

Mediante la siguiente formula podemos encontrar partiendo del acero a utilizar podemos encontrar el espesor de un acero inoxidable equivalente para el diseño o viceversa, según DOT.

La referencia para el espesor mínimo de un acero en lugar de un acero inoxidable con un esfuerzo mínimo a tensión garantizado de 517 N/mm² (75000 psi) y un alargamiento garantizado del 40% o más. El mínimo espesor para el acero debe ser obtenido por una de las siguientes fórmulas.

$$e_1 = (12.74e_o)/(Rm.A_1)^{1/3} \quad (4.5)$$

para unidades métricas donde:

e_o = espesor requerido para acero inoxidable

e_1 = espesor equivalente en acero común

Rm_1 = mínimo esfuerzo a tensión del acero (dN/mm²)

A_1 = valor de la elongación del acero multiplicado por 100

5.11 CORROSIÓN

Según DOT un auto tanque o una parte de este, tiende a deteriorarse por corrosión o abrasión mecánica, por lo cual es importante aumentar el espesor del material o utilizar otro método de protección (lining).

En caso de que el diseño requiera de espesor de corrosión, El material agregado para la corrosión permitida no necesita de un espesor uniforme a lo

largo del tanque, se pueden esperar proporciones diferentes de espesor para atacar de forma razonable en varias áreas del auto tanque.

En este proyecto la corrosión por el material a transportar tenemos que la gasolina o diesel no son materiales corrosivos, además el tanque va a ser pintado en su totalidad por lo que este diseño no requiere de un espesor extra por corrosión.

5.12 SOPORTES Y REFUERZOS

Las partes que van integradas al chasis. Debe tener el cálculo y diseño de los soportes o refuerzos regidos por los esfuerzos máximos permitidos, nombrados en la sección 178.345-3 (a)(b)(c). Y en la parte de “Esfuerzos Máximos Permisibles de este Capítulo”.

5.13 REFUERZOS DEL TANQUE

El código indica que todo tanque, que vaya a prestar el servicio de Auto Tanque, debe tener los refuerzos (Baffles, Anillos Rigidizadores, Domos), incluyendo las cabezas del tanque. Un espesor no menor a 3/8 de pulgada.

En el diseño particular, los elementos que refuerzan al tanque, son 3 baffles distribuidos a lo largo de todo el tanque. Por lo tanto el código nos indica. “Si un baffle va a ser parte de la rigidización del tanque, debe ser convalidada mediante los esfuerzos mínimos permitidos para el diseño expuestos anteriormente.

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 mas del 40% del espesor del cuerpo.

5.14 PROTECCIÓN DE UNIONES

Todas las válvulas, uniones, válvulas de alivio, y otros accesorios deben ser protegidos. Debido a colisiones que pueden suceder en el auto tanque al momento del transporte, o en el evento de vuelco del mismo.

El elemento de protección o elemento de alojamiento, debe ser diseñado para resistir la carga estática en cualquier dirección igual a dos veces el peso de los tanques más accesorios. El factor de seguridad no debe ser menor a cuatro veces, basándose en el esfuerzo último del material a ser usado. Normalmente se utiliza para este tipo de elementos material de espesor 3/16 pulgadas de espesor.

5.15 TAPAS DEL TANQUE

Las tapas del tanque, tienen una geometría explicada en la parte de aforo del tanque y calibración.

Las cargas para la simulación estructural son las siguientes y están mostradas con flechas de color rojo en el gráfico esquemático.

- La carga hidrostática del Asfalto **3.406 Psi.** (en el fondo del tanque).
- La carga por riesgo de accidentes **19937,5 N.**
- La carga por frenado y aceleración **4809,4 N.**

Las restricciones tomadas en cuenta para el diseño es la sección que se une al cuerpo del tanque y están representadas con las flechas de color verde en el gráfico.

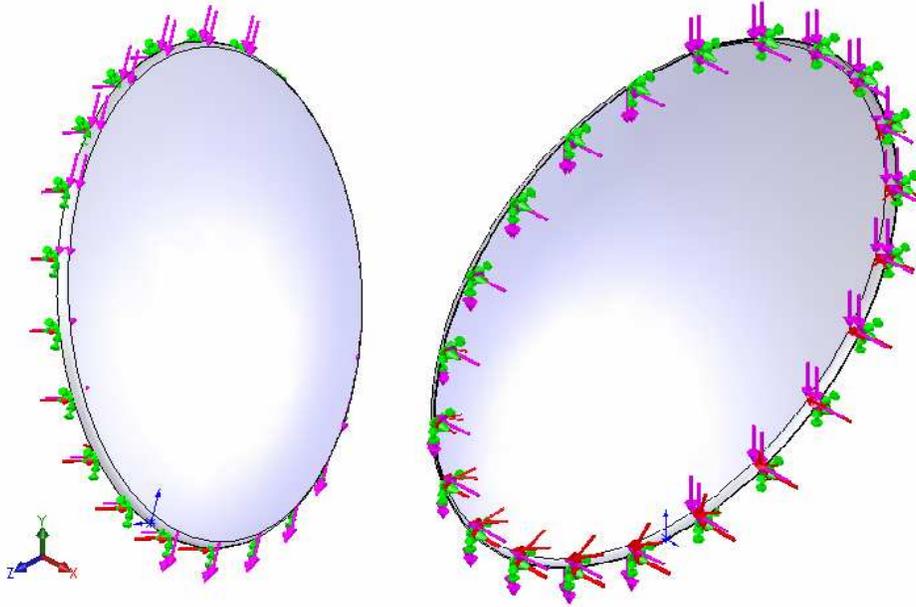


Figura 5.7 Ubicación de fuerzas y restricciones en las tapas

El espesor de las tapas después del estudio es 4.75mm (3/16"). El material utilizado es.

Tabla 5.5 Propiedades Tapas

No.	Parte	Material	Masa	Volumen
1	tapa	ASTM A36	243.067 kg	0.030964 m ³

Fuente: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

Elaboración: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

5.15.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

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

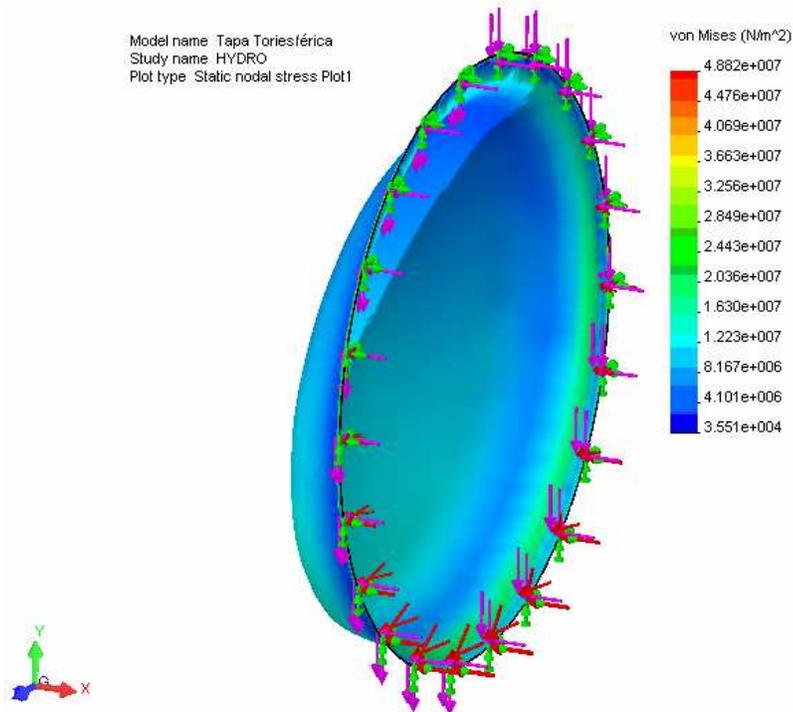


Figura 5.8 Distribución de esfuerzos en la tapa

Esfuerzo Máximo: 48.82 Mpa

Factor de Seguridad

El factor de seguridad calculado con el máximo esfuerzo entregado por el programa.

$$S_y := 250 \quad [\text{Mpa}]$$

$$\sigma_{\text{apli}} := 48.82 \quad [\text{Mpa}]$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{\text{apli}}}$$

$$FS = 5.121$$

Este factor de seguridad esta aceptado por cuanto el espesor es el mínimo aceptado por el código DOT.

La comprobación del factor de seguridad, según el programa estructural es:

Model name: tapa
 Study name: 2
 Plot type: Design Check-Plot1
 Criterion : Max von Mises Stress
 Red < FOS = 2 < Blue

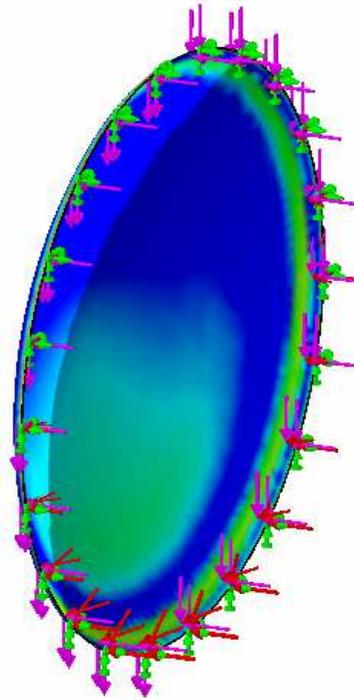


Figura 5.9 Factor de seguridad en la tapa

5.15.2 DEFORMACIÓN

Model name: Tapa Torisférica
 Study name: HYDRO
 Plot type: Static displacement Plot1
 Deformation Scale: 40

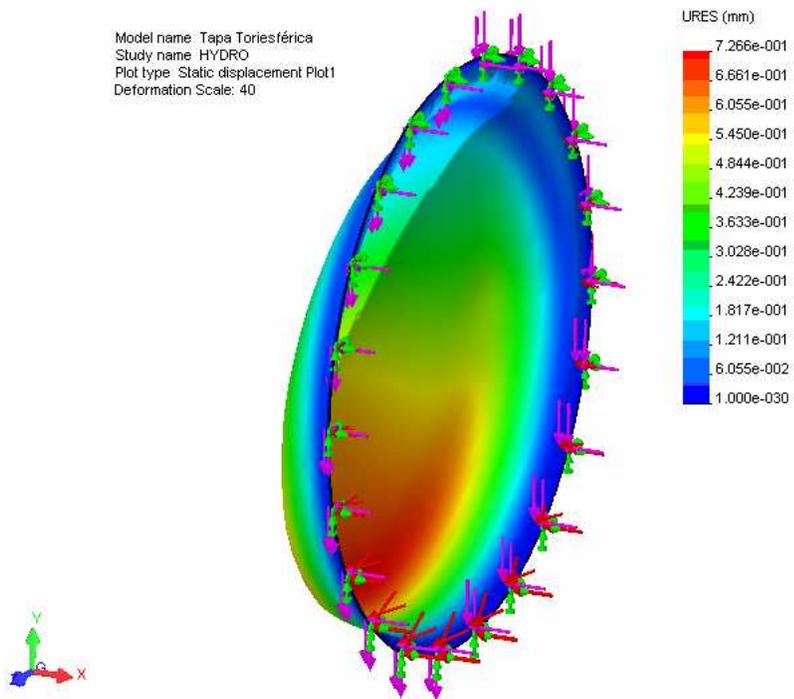


Figura 5.10 Deformación en tapa

Deformación Máxima: 1 mm, y esta dentro de los requerimientos.

5.16 CUERPO DEL TANQUE

El cuerpo del tanque será construido con láminas de material de 2400mm x 1200mm, como se encuentra en el mercado local, para formar anillos hasta lograr las dimensiones deseadas para el tanque. Las cargas aplicadas para la simulación son.

- La carga hidrostática del fluido **3,406 Psi**
- La carga que genera la aceleración de la masa al momento que el auto tanque pase por un hueco o tenga saltos sobre la carretera **79.750 N**, donde ya estaría considerado el peso del fluido.

Las restricciones son las posiciones donde van los refuerzos de las sillas.

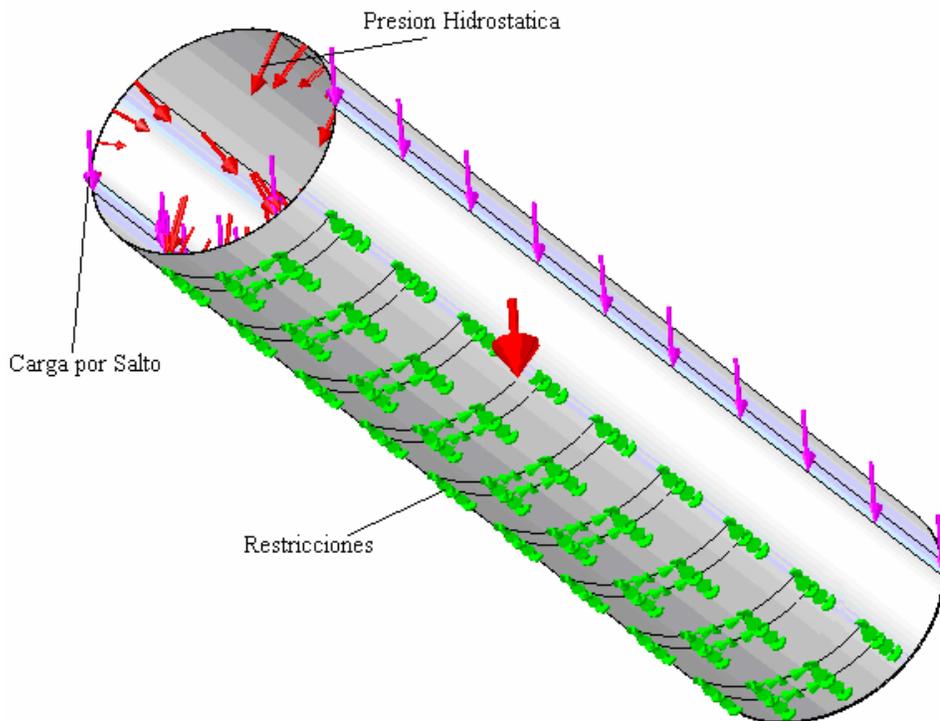


Figura 5.11 Ubicación y restricciones en el cuerpo

El espesor del cuerpo es 3/16". El material utilizado es.

Tabla 5.6 Propiedades Cuerpo

No.	Parte	Material	Espesor
1	Cuerpo	ASTM A36	4.75mm

Fuente: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

Elaboración: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

5.16.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Nombre de modelo: cuerpo
 Nombre de estudio: 1
 Tipo de trazado : Static Esfuerzo nodal (Membrane)-Plot1

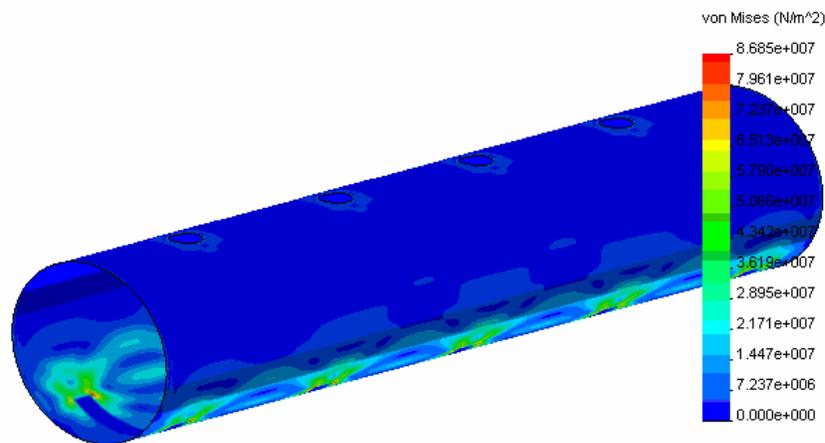


Figura 5.12 Distribución de Esfuerzos (A) Cuerpo

Nombre de modelo: cuerpo
 Nombre de estudio: 1
 Tipo de trazado : Static Esfuerzo nodal (Membrane)-Plot1

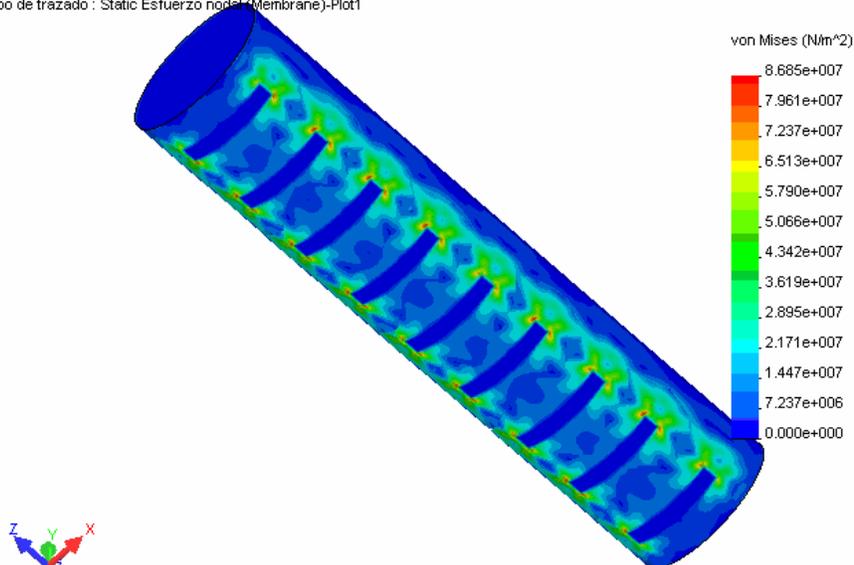


Figura 5.13 Distribución de Esfuerzos (B) Cuerpo

Esfuerzo Máximo: 86.85 Mpa

Factor de seguridad

$S_y := 250$ [Mpa]

$\sigma_{apli} := 86.85$ [Mpa]

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{apli}}$$

FS = 2.879

Este factor de seguridad es aceptado, posteriormente se realizara un estudio del tanque con elementos que le va a rigidizar como: tapas y bafles.

5.16.2 DEFORMACIÓN

La deformación en este caso, es estudiada sin la rigidización que van a generar los bafles y las tapas que van a conformar el tanque. Por eso existe una deformación excesiva que va a ser esclarecida mas adelante.

Nombre de modelo: cuerpo
Nombre de estudio: 1
Tipo de trazado : Desplazamiento estático-Plot1

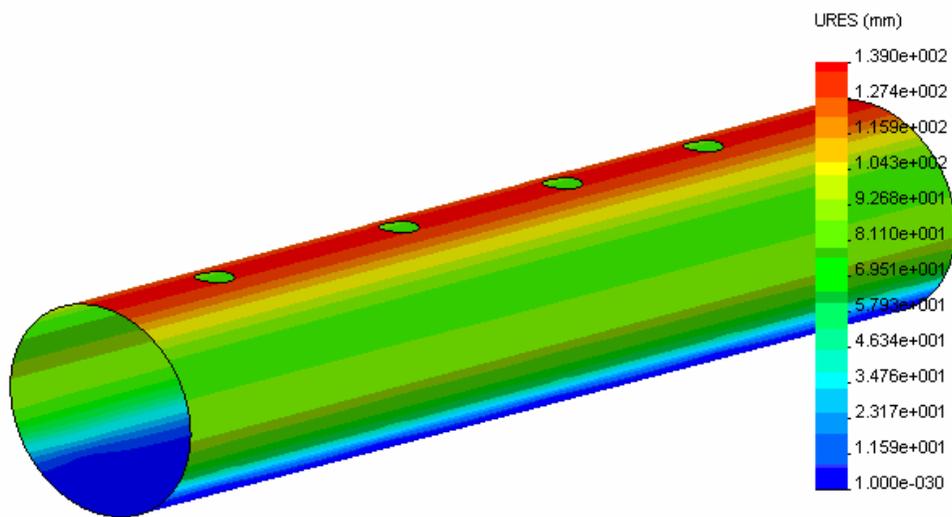


Figura 5.14 Deformación Cuerpo

La deformación máxima es 139mm, este valor es excesivamente alto y se deberá rigidizar el tanque.

5.17 SILLAS

El tanque tendrá nueve sillas que soportan el tanque, van unidas al chasis principal del remolque, por estar soldadas pasan a ser estructura de la silla. Por otra parte las sillas estarán unidas al tanque, mediante refuerzos, que va a hacer mas resistente la unión entre sillas y tanque, así se evita posibles roturas en estas secciones del tanque.

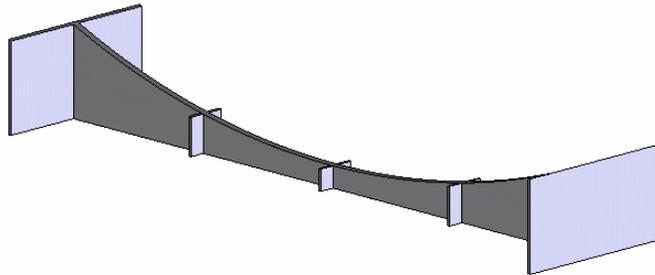


Figura 5.15 Esquema Silla

Las cargas que va a soportar la silla son las siguientes.

- El peso del material ha transportar es **32551 Kg.**
- El peso del tanque, entregado SolidWorks, y dividido para el numero de sillas del tanque (9). **3617 Kg.**

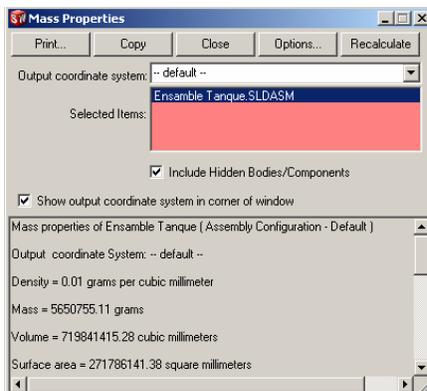


Figura 5.16 Propiedades de Masa Cuerpo

- La carga por riesgo de accidentes generada en un salto: **8861.1 N**.

El análisis estructural de las sillas se lo realizo tomando en cuenta el conjunto que conforman con las vigas del chasis donde se asientan, por cuanto este seria todo el elemento que va a resistir el peso del tanque.

La estructura principal de la silla esta diseñada con lámina de 1/2", y su geometría esta especificada en los planos.

Tabla 5.7 Propiedades Sillas

No.	Parte	Material	Masa	Volumen
1	Sillas análisis	ASTM A36	231.358 kg	0.0294723 m ³

Fuente: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

Elaboración: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

5.17.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Model name: chasis cortado con sillas
Study name: 1
Plot type: Static Nodal stress-Plot1

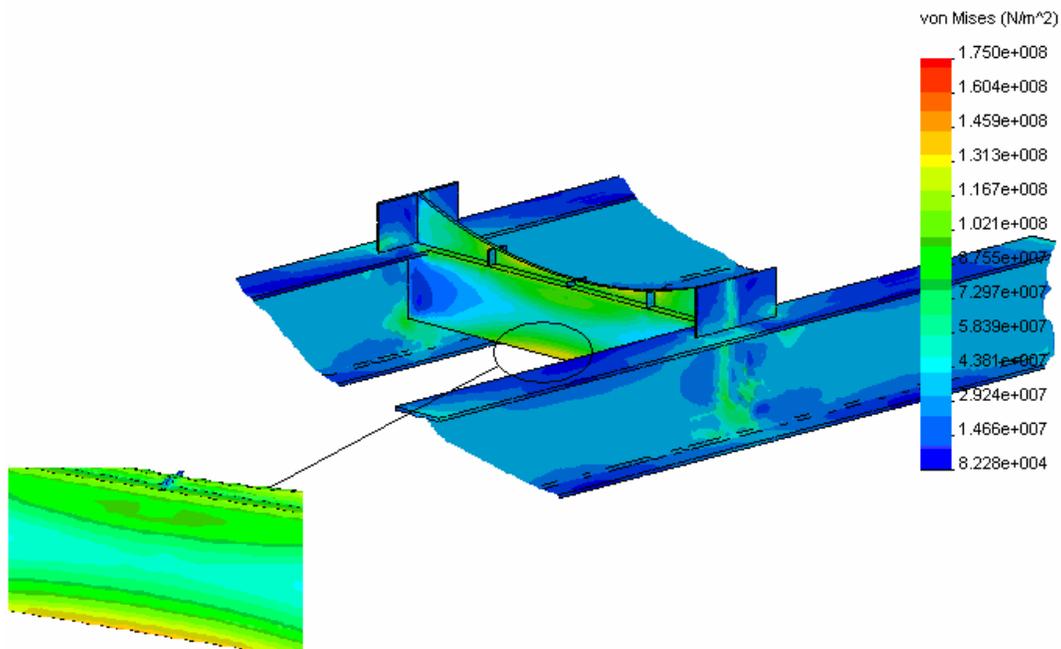


Figura 5.17 Distribución de Esfuerzos Silla

Esfuerzo Máximo: 175 Mpa

Factor de Seguridad

$$S_y := 250 \quad [\text{Mpa}]$$

$$\sigma_{\text{apli}} := 176.01 \quad [\text{Mpa}]$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{\text{apli}}}$$

$$FS = 1.42$$

Este factor de seguridad es aceptado, y va a aumentar si tomamos en cuenta que va a estar soldado al refuerzo del tanque y esto va a ayudar a rigidizar la integridad estructural de la silla.

Model name: chasis cortado con sillas
Study name: 1
Plot type: Design Check-Plot1
Criterion : Max von Mises Stress
Red < FOS = 1 < Blue

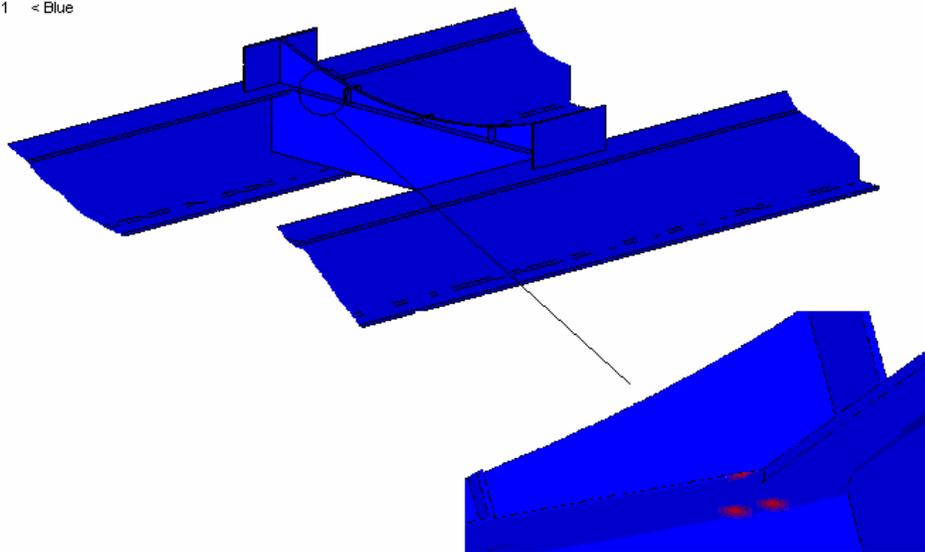


Figura 5.18 Factor de Seguridad Silla

5.17.2 DEFORMACIÓN

Model name: chasis cortado con sillas
 Study name: 1
 Plot type: Static displacement-Plot1
 Deformation Scale: 20

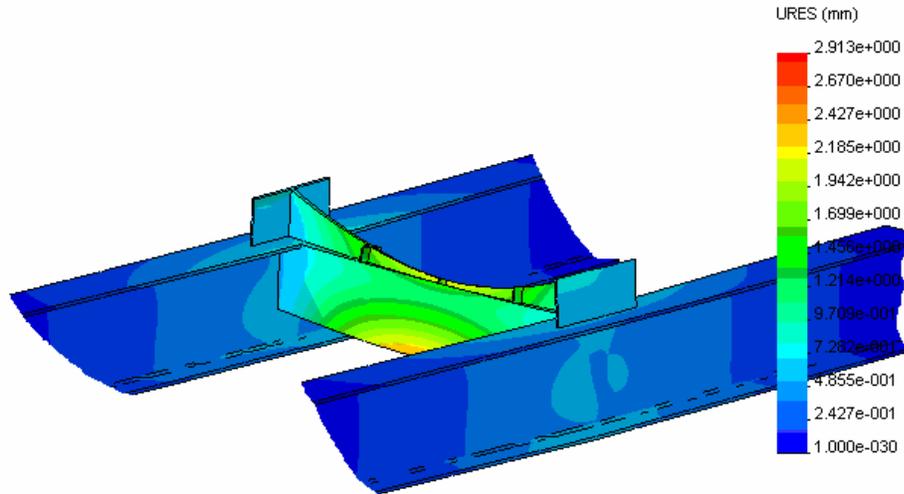


Figura 5.19 Deformación Silla

La deformación máxima es 2.91mm, y esta aceptada por los requerimientos establecidos.

5.18 ROMPEOLAS O BAFLES

El tanque esta dividido en tres partes por medio de baffles con el fin de disminuir las cargas que se pueden producir sobre las tapas del tanque. El baffle tiene forma de sección del tanque (elíptica), cortado por un rectángulo, con el fin de conectar a todo del tanque por las partes laterales, superior e inferior del tanque.

La carga utilizada para hacer el estudio estructural es.

- La carga por riesgo de accidentes **19938 N**.

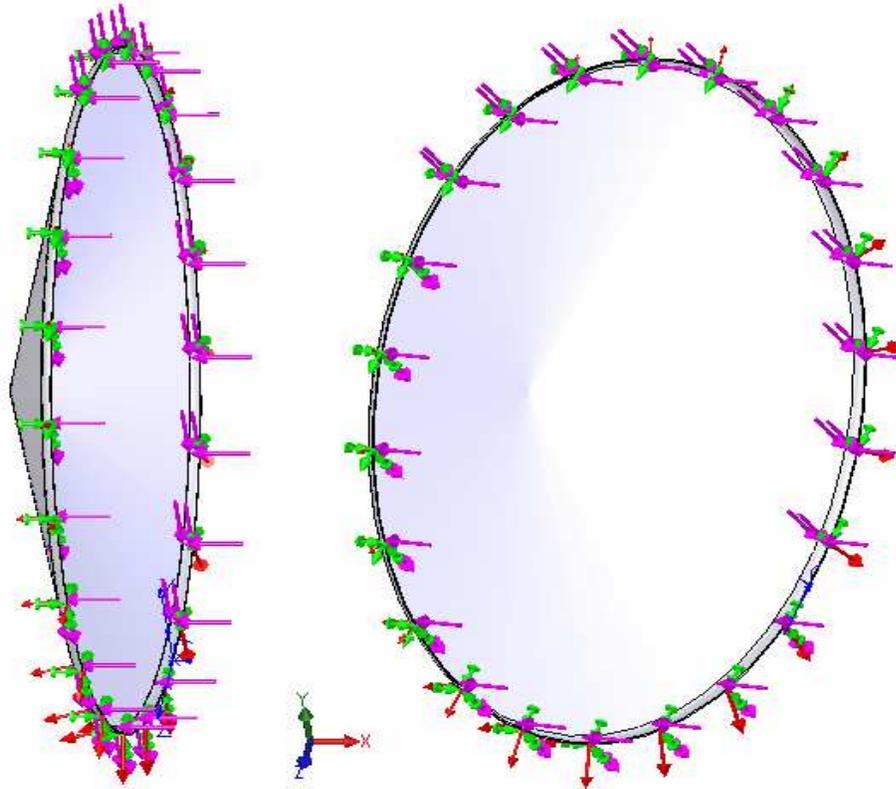


Figura 5.20 Esquema Bafle

El espesor del bafle es 1/2" y cuya geometría se encuentra en planos.

Tabla 5.8 Propiedades Baffles

No.	Parte	Material	Masa	Volumen
1	bafle	ASTM A36	492.973 kg	0.0627991 m ³

Fuente: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

Elaboración: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

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

5.18.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

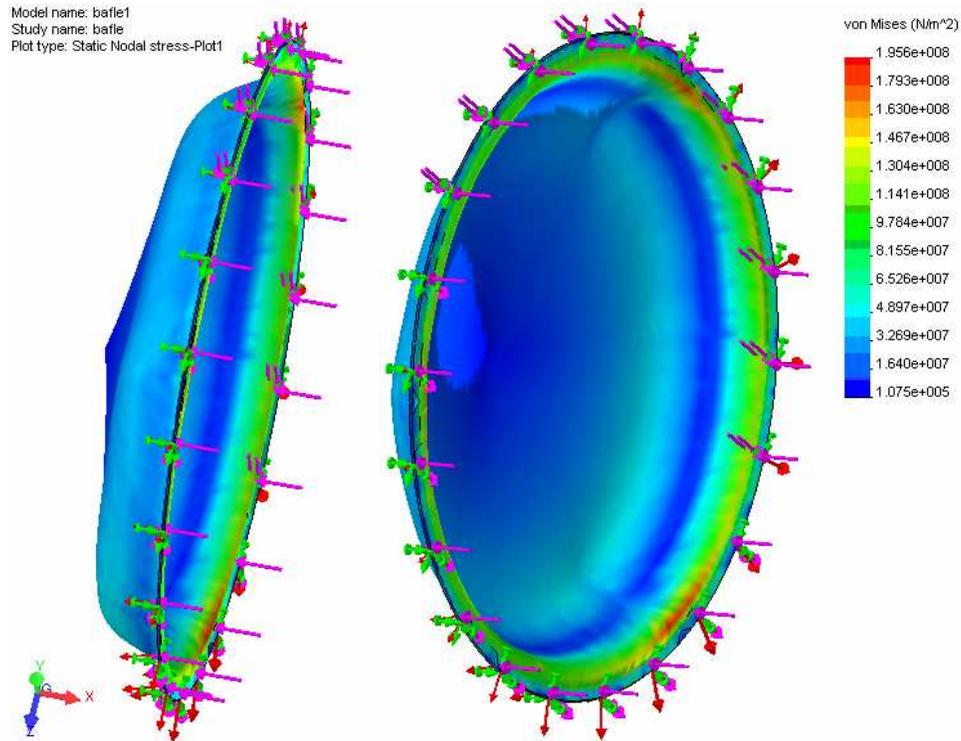


Figura 5.21 Distribución de Esfuerzos Baffle

Esfuerzo Máximo: 195 Mpa

Factor de Seguridad

$$S_y := 250 \quad [\text{Mpa}]$$

$$\sigma_{\text{apli}} := 195.57 \quad [\text{Mpa}]$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{\text{apli}}}$$

$$FS = 1.278$$

Las secciones donde los esfuerzos son máximos es en una pequeña porción como se muestra en la figura por lo tanto, el factor de seguridad calculado

es aceptado ya que en otras secciones importantes del bafle el esfuerzo es considerablemente menor.

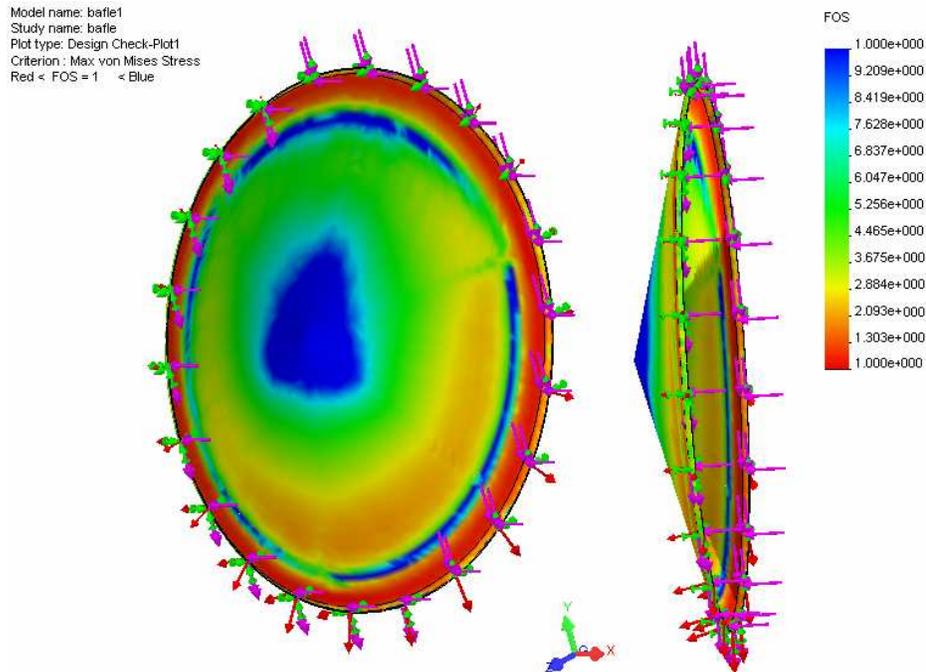


Figura 5.22 Factor de Seguridad Bafle

5.18.2 DEFORMACIÓN

El desplazamiento máximo que tiene el bafle, cuando la carga sobre esta es máxima, se muestra a continuación.

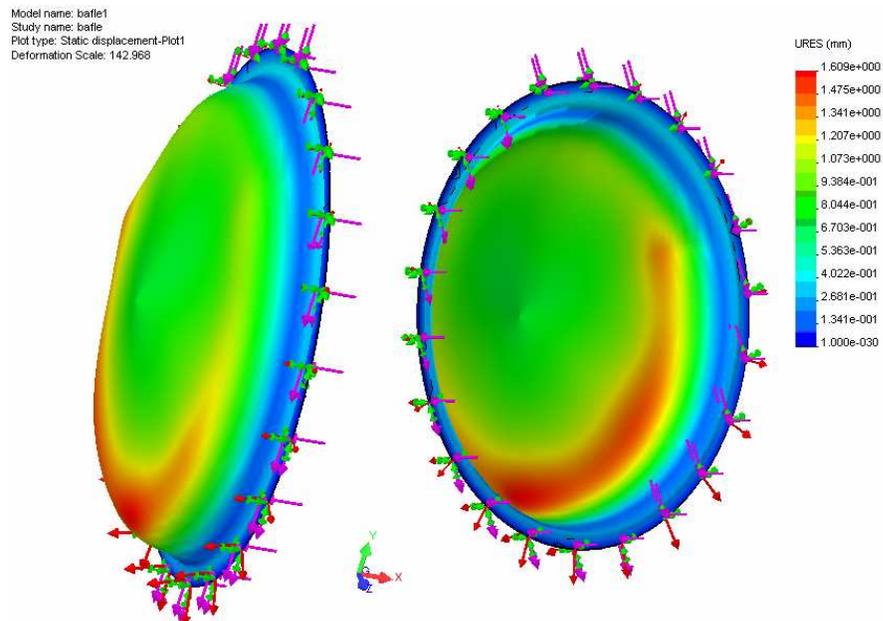


Figura 5.23 Deformación Bafle

5.19 TANQUE

Después de realizar un análisis estructural de cada elemento del tanque, tenemos que realizar un estudio del tanque ensamblado con el fin de validar el ensamble total del tanque, como va a funcionar en la realidad, pero por facilidad operativa se decidió realizarlo en SAP 2000 V9, ya que el mallado estructural de dicho ensamble es más versátil y rápido que en COSMOS WORKS 2006.

Las cargas que el tanque va a tener son una recopilación de las todas las aplicadas en los elementos que conforman el tanque y que ya fueron estudiados individualmente.

Las cargas son las siguientes:

- Carga por riesgo de accidentes que son aplicadas sobre las Tapas y los Bafles: **19937,5 N.**
- Carga Hidrostática en fondo del: **3,4 Psi.**
- Carga por salto en el fondo del Tanque: **79750 N.**
- Carga por Frenado y Aceleración en las Tapas y los Bafles: **4810 N.**

Los espesores del tanque son: Cuerpo 3/16", Tapas 3/16", Bafles 3/16". El material es:

Tabla 5.9 Propiedades Tanque

No.	Parte	Material	Espesor
1	Cuerpo, Tapas	ASTM A36	4.75 mm
2	Bafles	ASTM A36	12.7 mm

Fuente: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

Elaboración: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

Las restricciones son los refuerzos donde van las sillas.

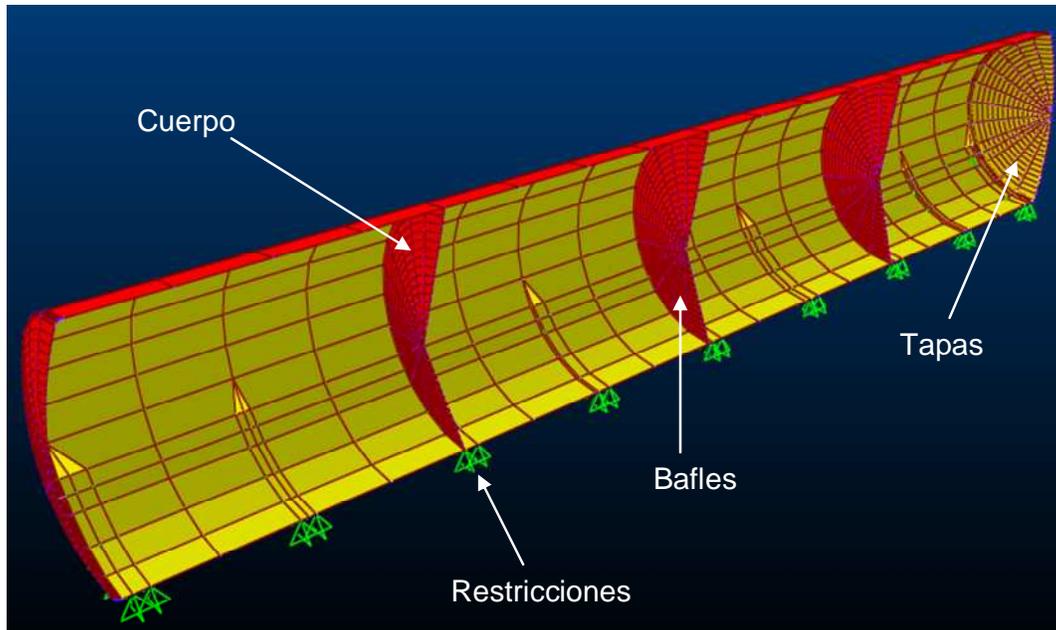


Figura 5.24 Esquema Tanque

5.19.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Este análisis de esfuerzos contempla, el tanque armado como sucederá en la realidad, tomando en cuenta que los bafles no están rigidizados a causa de limitaciones técnicas del hardware y software utilizados.

El análisis del ensamble (tanque, tapas y bafles), se realizó con tres tipos de combinaciones de cargas, para las diferentes circunstancias de operación del autotanque y que se detallan a continuación:

- COMBO 1: Operación Normal, bache en camino (Carga muerta + Carga por salto + Carga por viento).
- COMBO 2: Operación Normal, arranque (Carga muerta + Carga líquido + Carga por aceleración + Carga por viento).

- COMBO 3: Choque, (Carga muerta + Carga líquido + Carga por riesgo de accidentes + Cargas por viento).

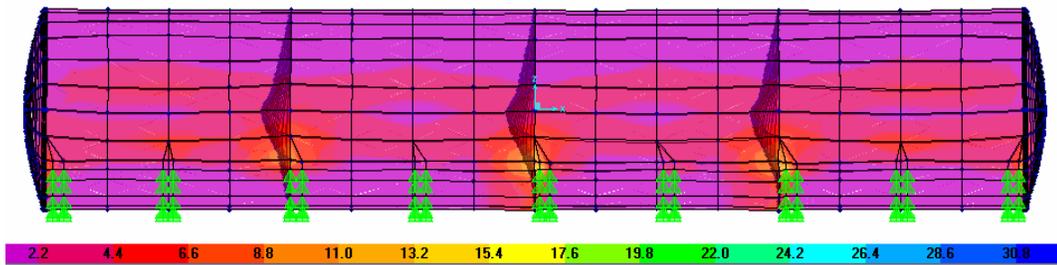


Figura 5.25 Distribución de esfuerzos (COMBO 1)

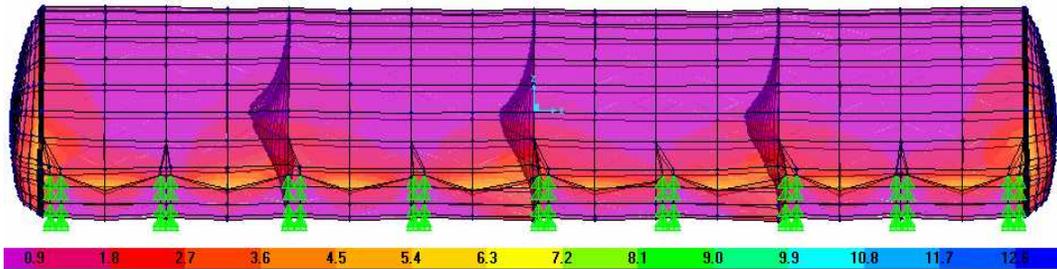


Figura 5.26 Distribución de esfuerzos (COMBO 2)

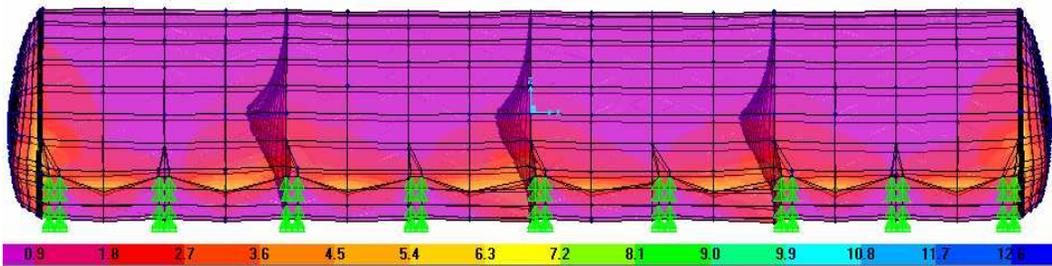


Figura 5.27 Distribución de esfuerzos (COMBO 3)

Esfuerzo Máximo: 155 Mpa

Factor de Seguridad

$$S_y := 250 \quad [\text{Mpa}]$$

$$\sigma_{\text{apli}} := 150.015 \quad [\text{Mpa}]$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{\text{apli}}}$$

$$FS = 1.667$$

Este factor de seguridad es aceptable y aumentaría si los bafles se deformarían la cantidad mostrada en la parte donde fueron diseñados.

5.19.2 DEFORMACIÓN

El desplazamiento máximo que se tiene en el tanque es en los bafles razón ya justificada anteriormente.

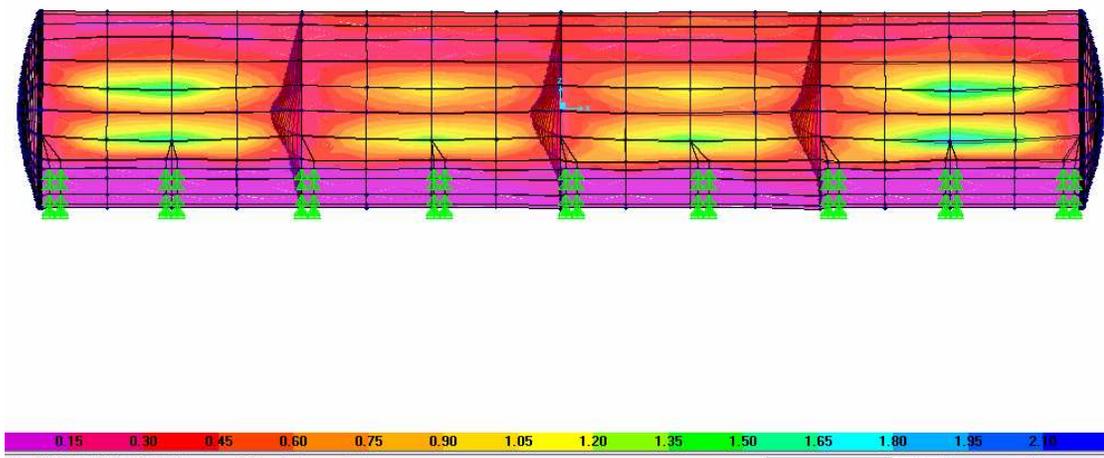


Figura 5.28 Distribución tanque (COMBO 1)

Deformación Máxima: 19.5mm (Más Análisis Ver Anexo 21)

5.20 SELECCIÓN DE ACCESORIOS DEL TANQUE (FITTINGS)

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

- Cuatro bocas (Manholes) para inspección y carga.
- Cuatro válvulas de descarga.
- Cuatro válvulas de alivio de presión.

5.20.1 SELECCIÓN DE VÁLVULA DE ALIVIO

Un Tanquero debe tener un elemento de alivio de presión para evitar un colapso por sobre presión, que puede suceder cuando se carga o descarga el tanque, y cuando hay cambios térmicos en el tanque.

La selección del elemento para alivio de presión, tiene que ser seleccionado según lo indicado en el DOT. Con las siguientes consideraciones las cuales son las más aplicables para este diseño:

- La válvula de alivio de presión debe ser regulada para que no se abra desde el 1 psig de presión, para evitar perdidas de material en caso de un accidente.
- Debe estar colocada en una posición donde no vaya a tener contacto con el material a transportar solo debe estar en contacto con los gases que este va a producir.
- Para la selección del elemento este debe entrar en funcionamiento desde no menos el 120% y no más del 132% de la presión máxima permitida. De igual forma esta se debe cerrar desde el 108%.
- La capacidad de venteo del elemento debe ser no menor a lo especificado en la siguiente tabla.

Tabla 5.10 Capacidad de Venteo	
Área Expuesta en pies cuadrados	[Pies cúbicos de aire libre/hora a 60 °F y 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
200.....	158,100
225.....	191,300
250.....	203,100
275.....	214,300
300.....	225,100
350.....	245,700
400.....	265,000
450.....	283,200
500.....	300,600
550.....	317,300
600.....	333,300
650.....	348,800
700.....	363,700
750.....	378,200
800.....	392,200
850.....	405,900
900.....	419,300
950.....	432,300
1,000.....	445,000

Fuente: 49 CFR DOT "Transporte"

Elaboración: 49 CFR DOT "Transporte"

El área expuesta del tanque reduciendo el 10% de la altura total del tanque (1980mm) es 181.0 pies², de la tabla sacamos el caudal requerido para el elemento de alivio: 142 500 pies³/h.

Según este requerimiento, es escogida la válvula de la marca fabricante "Betts". Que provee de accesorios para tanqueros según requerimientos y bajo código DOT.

La válvula: **3/4" Surge Supresión Pressure Relief Valve.** (Anexo 22), es seleccionada para realizar el venteo antes de descargar el combustible.



Figura 5.29 Válvula de Alivio

5.20.2 SELECCIÓN DE VÁLVULA DE DESCARGA.

La selección de este elemento, según el código debe tener requerimiento de una velocidad de apertura y cierre de 30 segundos. También se debe calcular la cantidad de tiempo que se va a demorar en descargar el tanque, con la ayuda del diámetro elegido de la válvula de descarga = 4 pulgadas.

El calculo del tiempo de descarga del tanque es el siguiente con una válvula de 4 pulgadas de diámetro.

$$D_{desc} := 150 \quad [\text{mm}]$$

$$A_{desc} := 0.007854 \quad [\text{m}^2]$$

$$h := 1.980 \quad [\text{m}^2]$$

$$g := 9.81 \quad [\text{m}^2]$$

$$V := 49.9 \quad [\text{m}^3]$$

Este tiempo se tardaría en descargar el tanque si, el fluido contenido esta en estado liquido. Ya que el fluido no esta en la mayoría de los casos totalmente liquido, en el diseño térmico se calculará el tiempo de calentamiento del tanque.

$$V_{desc} := \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$$

$$V_{desc} = 6.233 \text{ [m/s]}$$

$$Q_{desc} := V_{desc} \cdot A_{desc}$$

$$Q_{desc} = 0.049 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$t_{desc} := \frac{V}{Q_{desc} \cdot 60}$$

$$t_{desc} = 16.989 \text{ [min]}$$

El elemento escogido es “Betts”; **4” Rear Head Valve**, por las siguientes características.

- Elemento para ser colocado y soldado en la parte baja del tanque. En la tapa posterior del tanque.
- Diseño para auto tanques bajo DOT.
- Diseñado para flujo completo de materiales viscosos y calientes.
- Temperatura de trabajo 500°F máximo.
- Material: Acero

Este elemento será soldado en la tapa posterior del tanque (Anexo 22).

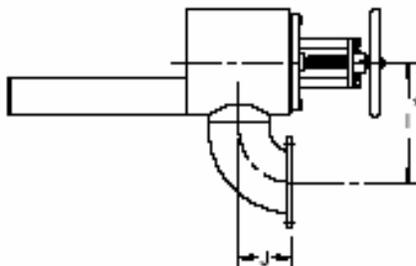


Figura 5.30 Válvula de Descarga

5.20.3 SELECCIÓN DEL MANHOLE (CARGA)

Los requerimientos de selección del manhole, fueron nombrados en la parte de requerimientos de este capítulo. De igual forma la marca de este elemento es “Betts”, **20” Round Inspection Manhole** (Anexo 22), con las siguientes características.

- Para ser soldado en el cuerpo del tanque
- Bajo Mantenimiento
- Bajo Peso
- Diseño para evitar el derrame
- Material: Acero
- Fácil Utilización

El cierre para evitar el derrame en caso de un accidente, tiene un empaque de “Teflón”, escogido por la temperatura máxima que este debe soportar: 250°F (121°C).

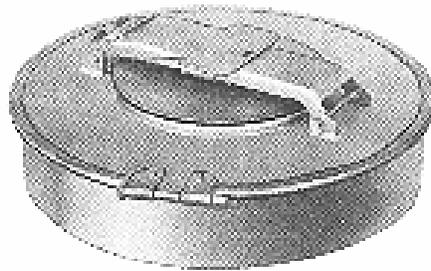


Figura 5.31 Boca de Inspección

La abertura para el manhole, también va a ser utilizada para realizar la “Carga del Tanque”, tomando en cuenta que las bocas de carga del proveedor es de 4 pulgadas de diámetro. Por eso también se ha considerado la fácil manipulación, para abrir y cerrar este elemento.

5.21 DISEÑO DEL CHASIS

El chasis al que va unido el tanque mediante soldadura, es una estructura realizada con perfil estructural de acero ASTM 36. El estudio del chasis dependerá de la carga vertical que va a soportar, que son transmitidas por las sillas. El Sistema de Rodamiento (Tandem), va a soportar las cargas por aceleración y frenado como indica su catálogo. Por lo que se puede despreciar este tipo de cargas para este diseño. Por otro lado el chasis va a soportar una carga súbita cuando el auto tanque pase por huecos o carretera en mal estado.

Las reacciones que va a tener el chasis son como se muestra en el grafico mediante las flechas de color verde y son las siguientes:

- El apoyo de los elementos de sujeción del Tandem. (rear hanger, equalizer, front hanger).
- El apoyo de la quinta rueda que tiene un diámetro de 800 milímetros.



Figura 5.32 Restricciones del Chasis

Las cargas aplicadas al chasis como se muestra en el siguiente grafico, son las siguientes.

- La fuerza (carga) por riesgo de accidentes (salto) **79750 N**
- La carga total (Cuerpo del tanque + baffles + tapas + accesorios + contenido) es igual a **42960 Kg**, en esta carga se considera como líquido a transportar el agua, siendo esta la condición más extrema de carga.

Estas deben ser divididas para el número de sillas del tanque.

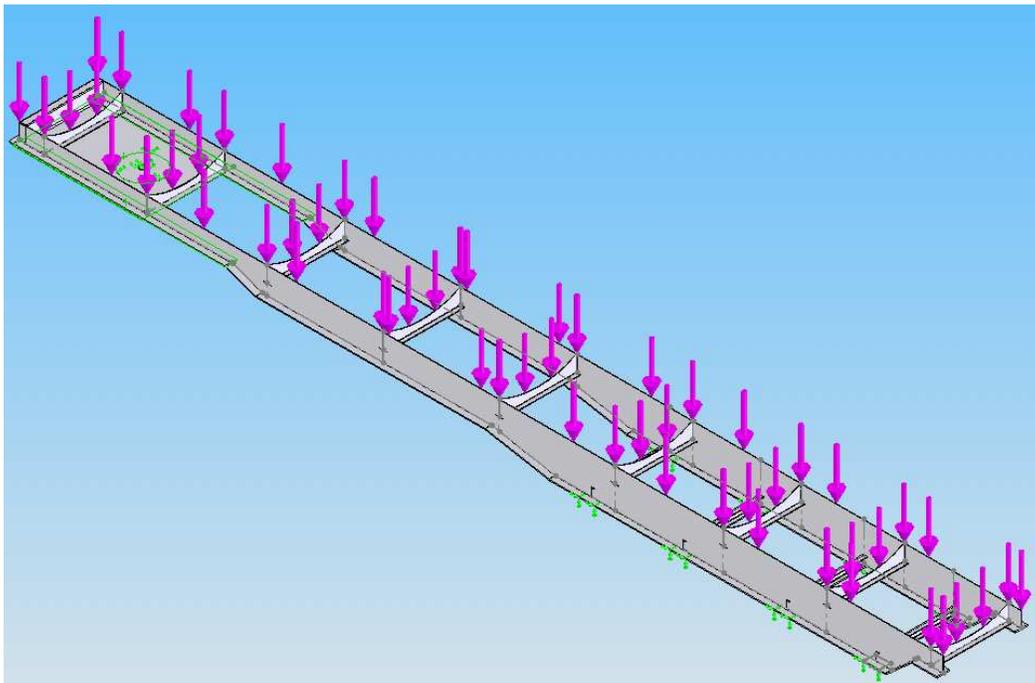


Figura 5.33 Cargas del Chasis

La perfilería que va tener este chasis es

- UPN 200, para estructura de chasis y del King Pin.
- UPN 100, para estructura de chasis.
- UPN 80, para estructura del King Pin.

El material del chasis es acero estructural.

Tabla 5.11 Propiedades Chasis

No.	Parte	Material	Masa	Volumen
1	Chasis	ASTM A36	1610.54 kg	0.205165 m ³

Fuente: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

Elaboración: Corrida Estructural COSMOSWORKS 2006

5.21.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

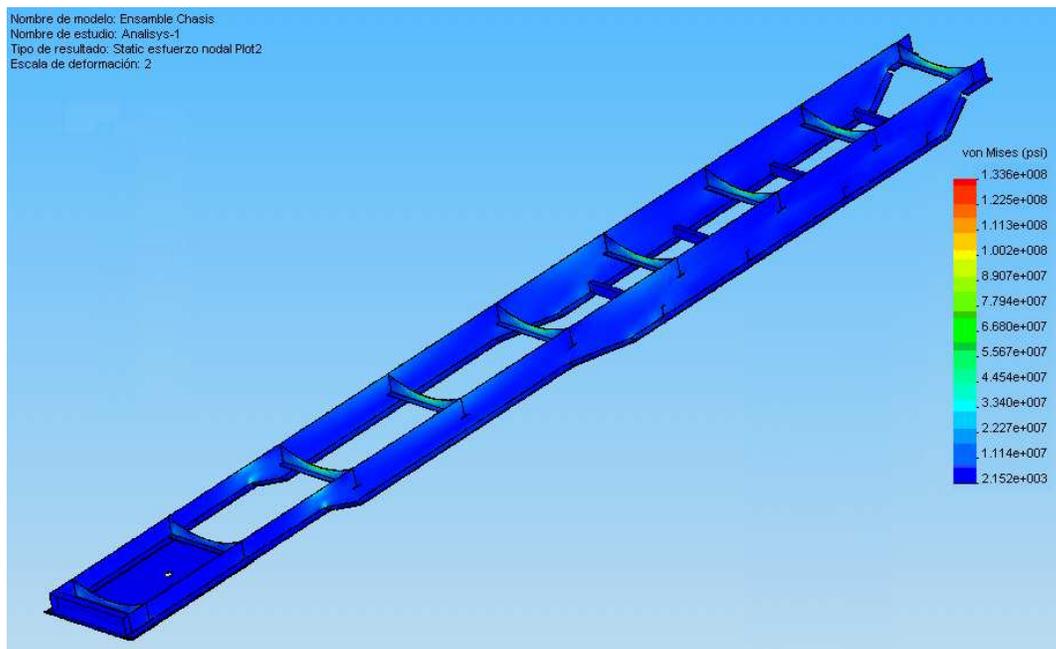


Figura 5.34 Distribución de Esfuerzos Chasis

Esfuerzo Máximo: 139.6 Mpa

Los máximos esfuerzos se presentan en la sección donde va a flejar mas el chasis, como se muestra en la figura, y es donde se terminan las restricciones de la suspensión.

Otros puntos críticos son donde van colocadas las sillas las cuales va a rigidizarse un poco con el refuerzo del tanque y la estructura general del tanque. Por lo que estos puntos van a mejorar en su distribución de esfuerzos.

El factor de seguridad entregado por el programa de diseño

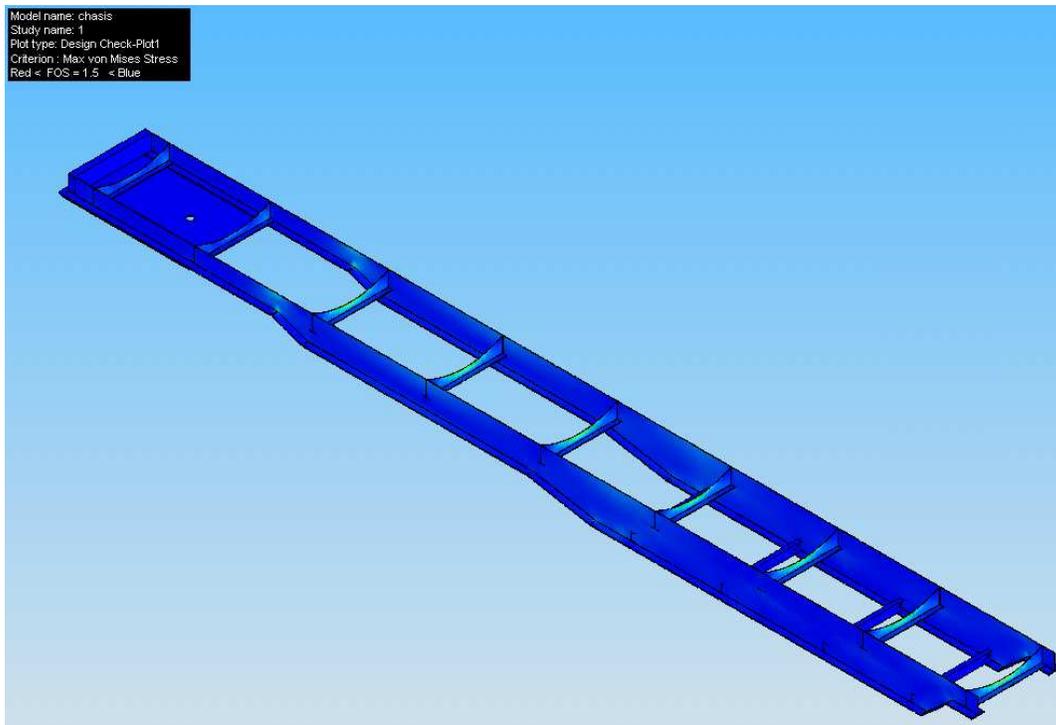


Figura 5.35 Factor de Seguridad Chasis

$$S_y := 250 \quad [\text{Mpa}]$$

$$\sigma_{\text{apli}} := 133.6 \quad [\text{Mpa}]$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{\text{apli}}}$$

$$FS = 1.871$$

5.21.2 DEFORMACIÓN

El pandeo que va a tener el chasis es el mostrado a continuación.

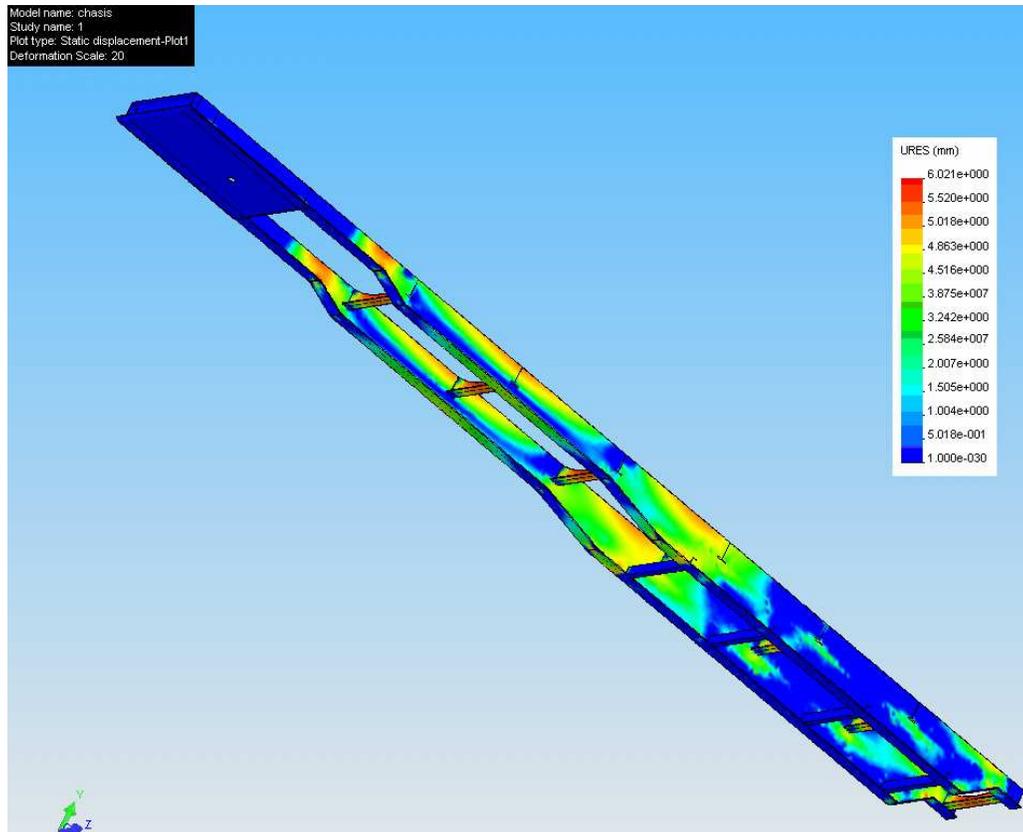


Figura 5.36 Deformación (A) chasis

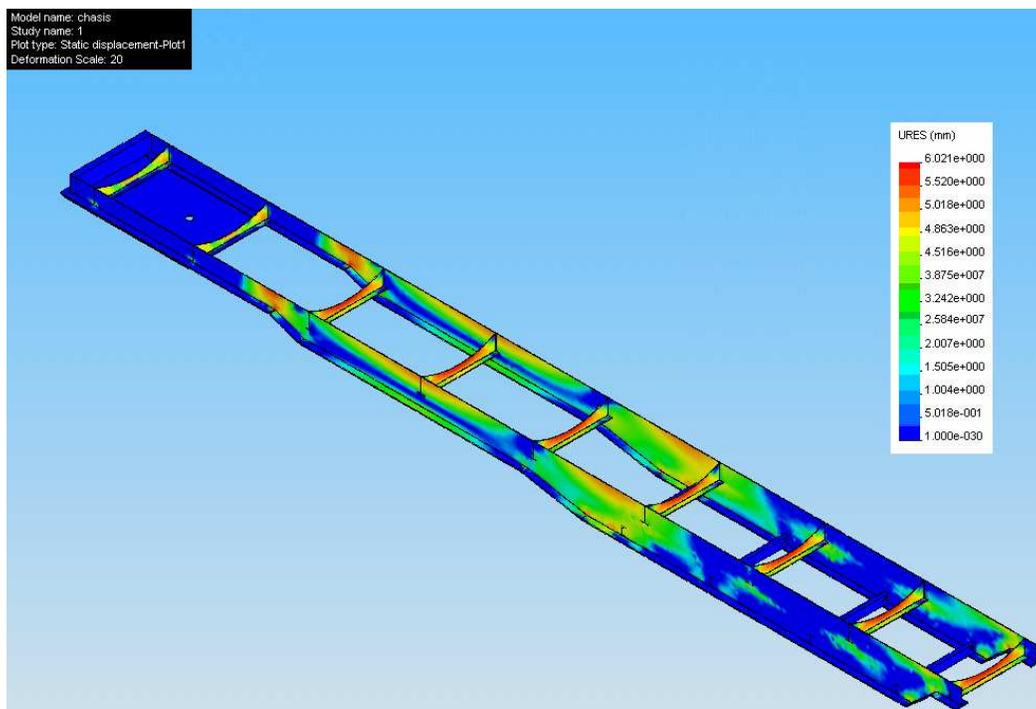


Figura 5.37 Deformación (B) chasis

Deformación Máxima: 6.03 mm

5.22 SELECCIÓN DEL SUSPENSIÓN (TANDEM)

La suspensión del Trailer debe ser seleccionada tomando en cuenta los siguientes puntos importantes:

- La carga vertical impuesta por el camión, cuerpo y carga.
- Las cargas; longitudinal, aceleración y la desaceleración.
- Proporcionar el aislamiento de movimientos del chasis absorbidos por los cojinetes (para mejorar la estabilidad).
- Mantenga la posición de las ruedas (la alineación)
- Proporcione estabilidad y resistencia al vuelco.

También, una suspensión del remolque puede bloquearse en algunas posiciones, en relación al cabezal que remolca el tanque, ajustando la distribución de carga así entre el cabezal y remolque. Por ejemplo, una suspensión que proporciona alta resistencia al vuelco está normalmente más rígida y tiene menos viaje. Lo que degrada la calidad del paseo. También es importante conocer el tipo de carga que se va a llevar, ya que algunos materiales requieren de menos movimiento en el transporte, y otros por su peligrosidad no pueden tener reacciones de vuelco en el transporte. Por lo tanto se deben conocer las condiciones del camino donde va a rodar el tanquero.



Figura 5.38 Esquema del Sistema de Suspensión

Con estas consideraciones, los caminos por donde van a viajar el Auto Tanque, no son totalmente planos, y se tiene gran cantidad de curvas pronunciadas con peralte pronunciado, lo cual indica que el sistema de suspensión debe tener una buena flexibilidad para evitar el vuelco del tanque. Al mismo tiempo los caminos antes mencionados tienen en muchos de los casos agrietamientos y desniveles, los cuales requieren que la suspensión absorba los golpes y saltos que estos van a generar al remolque.

Para este proyecto la selección de un tandem, se inicia por la facilidad del proveedor en el país, por mantenimiento y restitución de partes. La marca "REYCO", es una de las que se puede encontrar en el medio y al mismo tiempo es reconocida a nivel mundial.

Con la ayuda de la pagina web de "REYCO", buscamos el tipo de suspensión mas adecuado para el trabajo va a realizar. La suspensión más adecuada para nuestro medio y requerimientos es la "**21B**" que puede ser de dos o tres ejes (Brochure y características: Anexo 22). Por los siguientes requerimientos:

- Fácil instalación y mantenimiento.
- Sistema conocido para un operador del medio.
- Resistente a condiciones extremas.
- Resistencia al peso de hasta 26000 libras por eje.

El peso y las reacciones que se van a producir sobre la sección donde se va a colocar la suspensión es obtenida de "Cosmos", y sobre esto se escoge el tipo de suspensión y el resorte que se requiere.

La reacción de los soportes para la suspensión es 292440 N (65742 lb), se requiere colocar un tandem de tres ejes para soportar **21914 lb** por eje y es aceptable para el tipo de suspensión escogida. El modelo de suspensión

seleccionado para este fin es **TS – 4360 – 3 Flange Mount Tri-Axle, Round Axle**.

Ahora se debe hacer la selección de los resortes que van a ir en la suspensión. Estos deben soportar la mitad del peso que se aplica en cada eje: **10957 lb** y el resorte que debe ir en la suspensión es: **TS 4360 NEWAY**, que va a soportar 11,000 lb (Anexo 22).

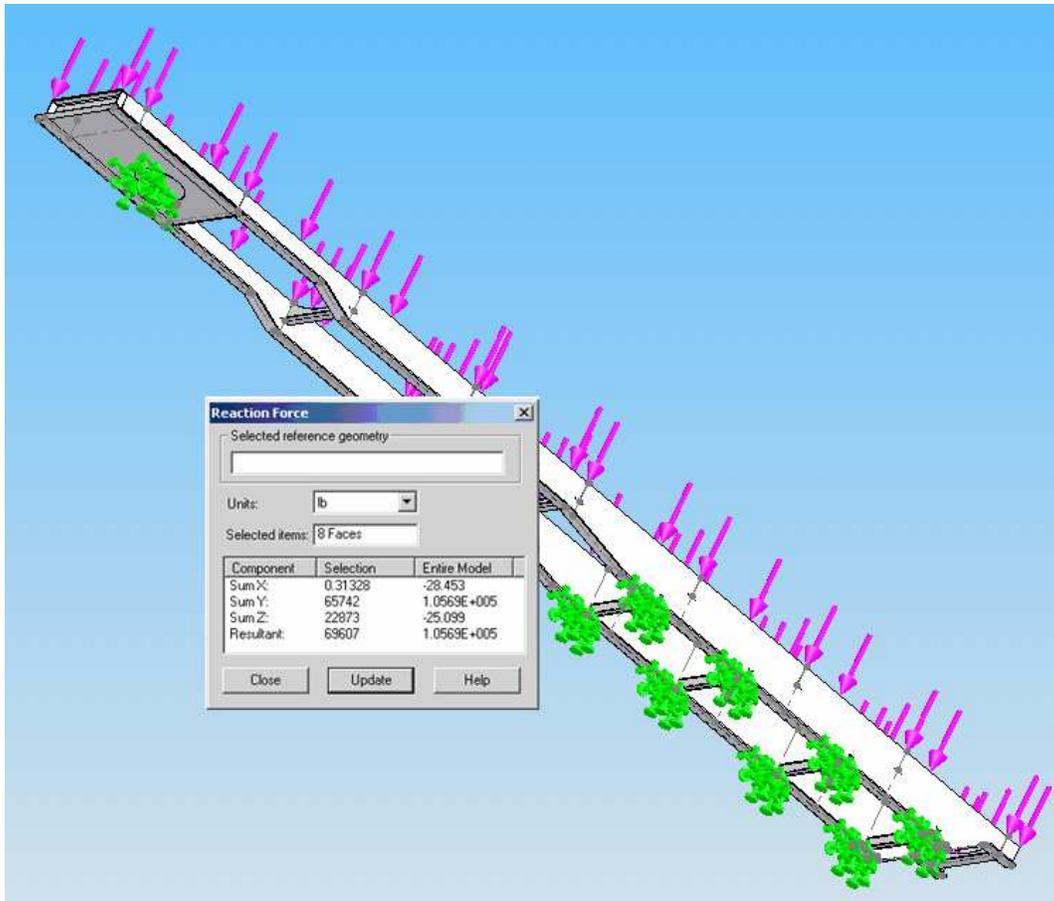


Figura 5.39 Resultante en las Restricciones del Chasis

5.23 SELECCIÓN DE LOS EJES

Con el peso cada eje se hace la selección del mismo, estos no requieren pertenecer a la misma firma fabricante de la suspensión, ya que este tipo de elementos han sido establecidos para uso universal, por lo que tienen un sistema de sujeción ajustable a la medida requerida de eje

El peso que va a soportar cada eje es **21914 kg**, y la suspensión esta diseñada para montar eje redondo de 5 pulgadas de diámetro, con sujeción mediante “U” bolts (Anexo 22).

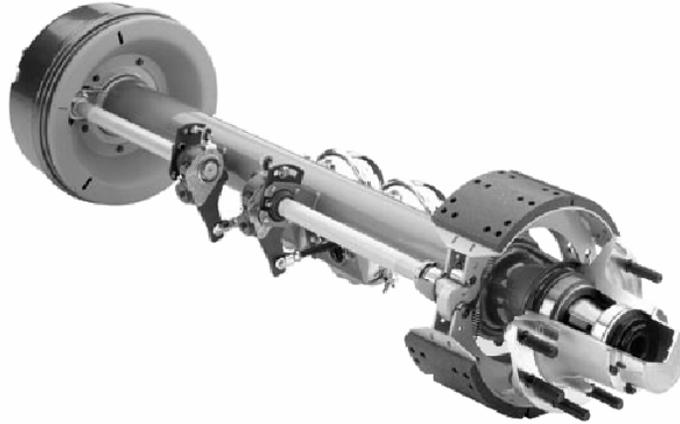


Figura 5.40 Esquema del Eje

Para este diseño en particular, por el peso que va a soportar cada eje se a seleccionado de la marca “DANA”, el modelo: **“Eje Spicer Dana D22 para Trailer de 22500 libras**. Este eje es redondo, de fácil mantenimiento, viene con el sistema de frenos para aire. 5 pulgadas de diámetro. Tiene stock completo de repuestos en nuestro medio.

5.24 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS

La selección del sistema de frenos ya no es requerida por cuanto los ejes escogidos vienen con el sistema de Tambores y Bombas de frenos para aire. Quedaría por escoger el sistema de conexión de frenos desde el cabezal hacia los ejes.

Este tipo de sistemas es universal, Se ha escogido para este diseño un: **kit Completo de Frenos de Aire para Semi Remolque Marca “LUCKY”, Modelo 8202-21-1** (Anexo 22).

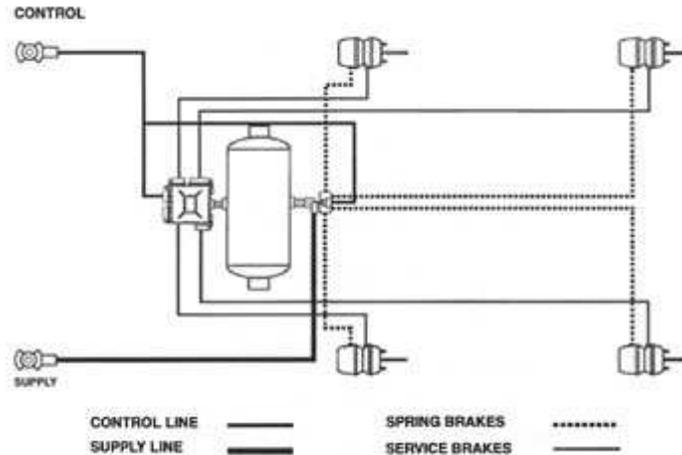


Figura 5.41 Esquema Sistema de Frenos

De igual manera este sistema viene listo para la instalación y conexión al sistema de frenos que viene en los Ejes. Este sistema de frenos de aire cumple con las especificaciones internacionales requeridas.

5.25 SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El tanque requiere de un sistema de señalización, como cualquier transporte que circula sobre una vía. Para este fin es necesario seleccionar un kit completo de conexiones y lámparas para señalización normalizada, existentes para este fin.

El sistema eléctrico requerido según especificaciones internacionales específicamente para el sistema eléctrico y de señalización según DOT, por lo tanto se escoge un proveedor que cumpla esta norma y nos muestre lo requerido para cada aplicación (Anexo 18). La instalación debe tener conexiones universales para poder conectar en el cabezal que lo va a remolcar.

Los requerimientos para este diseño son los siguientes:

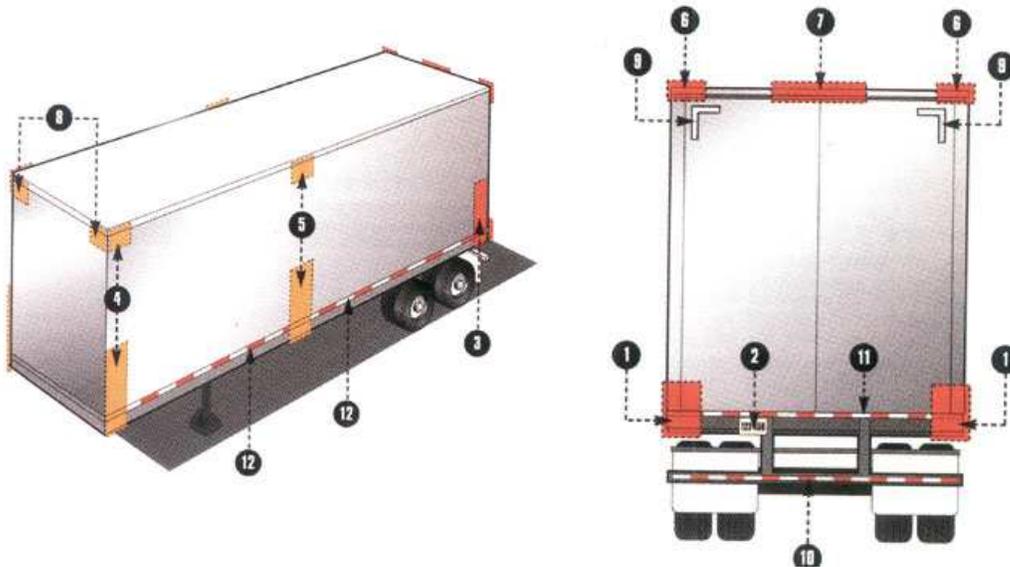


Figura 5.42 Posición de los Accesorios Eléctricos

Tabla 5.12 Requerimientos Eléctricos	
1	Luces de Cola, Luces de Freno, Reflectivos, Luces de Retro y Giro
2	Luz para Placa
3	Luces Demarcadoras Laterales fotométricas, Luces reflectivas
4	Luces Demarcadoras Frontales, Luces reflectivas
5	Luces intermedias , Luces reflexivas
6	Luces superiores para visibilidad
7	Luz posterior para identificación
8	Luces frontales para visibilidad
9	Marcas para esquinas superiores
10	Marca para el guarda choque
11	Marca inferior
12	Marcas Laterales

Fuente: Recopilación de Catalogo Accesorios Eléctricos según DOT

Elaboración: Recopilación de Catalogo Accesorios Eléctricos según DOT

Se requiere para todas estas conexiones un conector de siete visa: **7 Way Trailer End**, por la cantidad de accesorios para señalización que se requiere y dejar dos pines de seguridad.

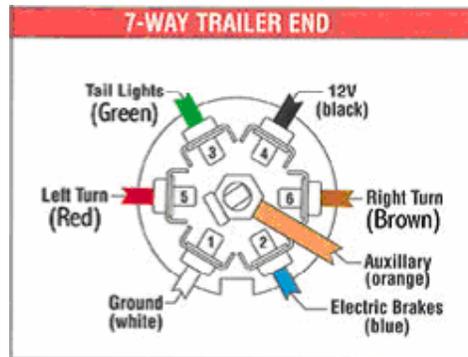


Figura 5.43 Diagrama del Conector de Accesorios

El sistema seleccionado para este diseño es: **Sistema Eléctrico completo para Semi Remolque Marca “LUCKY” y un sistema completo de lámparas.** Este equipo viene listo para ser instalado con la ayuda de: mangueras para protección del cableado, soportes, conectores, y accesorios, sistema de luces de señalización y seguridad que requiere el auto tanque.

5.26 SELECCIÓN DE LA QUINTA RUEDA (KINGPIN)

La quinta rueda es elemento muy importante en un remolque por que va a soportar la carga que se va a generar cuando se produzca haya movimiento, y conecta con el Cabezal con el remolque. Este tipo de elementos no requieren de un sistema de selección, ni parámetros para su selección. Por lo que el diseñador debe seleccionar un kingpin tomando en cuenta otros factores.



Figura 5.44 King Pin

El diámetro del kingpin es 3 pulgadas. Para este diseño se utilizara el siguiente: **Kingpin 90 “JOST” 3 plg Mushroom Series Modelo KZ 1416** (Anexo 22). La razón de selección más importante es la facilidad de encontrar este elemento en el mercado local.

5.27 SELECCIÓN DEL BARRAS TELESCÓPICAS (LANDING GEAR)

Este elemento, es utilizado en el auto tanque, cuando este no esta conectado al cabezal (para estacionarlo). De igual forma las barras telescópicas seleccionadas según el peso que tiene el tanque son: **Barras telescópicas JOST Modelo SD0702700**. (Anexo 22).

5.28 SOLDADURA

Las soldaduras 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 lograrlo el ingeniero debe conocer los procesos y procedimientos requeridos 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 totalidad por soldadura tipo SMAW (Soldadura por Arco Eléctrico), ya que es uno de los métodos más utilizados en nuestro medio, para facilitar procesos de fabricación, mantenimiento y reparación de los elementos del Auto Tanque.

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 es ASME SEC. IX; estos no son totalmente aplicables, y serán utilizados en la medida posible, y ayudándonos de la teoría existente en libros. Por otro lado el código permite realizar calculo por elementos finitos si fuera necesario, adicionalmente se utilizara software especifico para de diseño de soldadura.

La programa de soldadura. A utilizarse es un demostrativo del paquete “Weld Calculator” (de Archon Software). Los códigos de diseño a utilizar son: AWS D2.1, y ASME.

Las soldaduras de principal estudio en este diseño son las siguientes:

- Cuerpo del Tanque
- Tapas del Tanque
- Sillas del Tanque
- Chasis del Auto Tanque

5.28.1 MATERIAL DE APORTE PARA LA SOLDADURA

El principio general de este diseño es facilitar la fabricación y el mantenimiento. Por lo que el material de aporte según AWS 2.1 (Tabla 2.3), nombra el requisito para el material de aporte: debe tener iguales o mayores características mecánicas que el material base de la soldadura.

El material utilizado para la fabricación del tanque es Acero A-36, Se ha seleccionado para el cordón raíz y posteriores, según el código, electrodo **E6010** (Tabla 3.1 de AWS 2.1). Que garantiza alta penetración en varias posiciones, y sus características se muestran a continuación.

Tabla 5.13 Electrodo Revestido E6010

Clasificación AWS	Recubrimiento	Posición de Soldadura	Tipo de Corriente	Esfuerzo de Tensión (Mpa)
E6010	Alta Celulosa Sódica	F, V, OH, H	dcep	414

Fuente: AWS 1.1

Notas:

- F: posición plana
- V: posición vertical
- H: posición horizontal
- OH: posición sobre cabeza
- dcep: corriente directa, electrodo positivo

5.28.2 TIPO Y PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS

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.

Requisitos que nos indican la preparación requerida de la junta a tope:

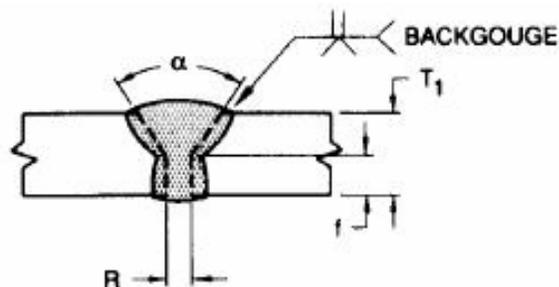


Figura 5.45 Junta a Tope

Tabla 5.14 Limitaciones para la Junta "V" a Tope

Posición de Soldadura	Diseño de Junta	Material Base	Penetración de Ranura
SMAW	B – U2	esp. = Ilimitado	R = 0 a 3 f = 0 A 3 $\alpha = 60^\circ$
Tolerancia	Adecuado	Posición	Notas
+1.6 – 0 10°- 0°	+1.6 , -3 10°- 5°	Todas	C, D, N

Fuente: AWS 1.1

Las notas indicadas son:

C = Prueba de Ultrasonido Requerida

D = Los detalles de soldadura pueden ser utilizados para GMAW y FCAW

N = La orientación de las placas a soldar pueden ser: entre 135° y 180° para juntas a tope; 45° y 90° para juntas en T.

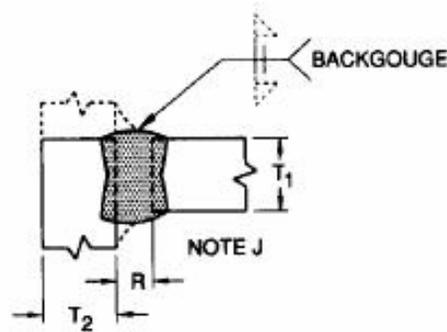


Figura 5.46 Junta de Filete

Tabla 5.15 Limitaciones para Junta de Filete

Posición de Soldadura	Diseño de Junta	Material Base	Penetración de Ranura
SMAW	TC – L1b	esp. = Ilimitado	R = esp/2 f = 0 A 3
Tolerancia	Adecuado	Posición	Notas
+1/16 – 0	+1/6 , 1/8	Todas	C, J

Fuente: AWS 1.1

5.28.3 SOLDADURA EN EL CUERPO

El cuerpo del tanque esta compuesto por cinco anillos. La soldadura requerida y calculo, debe ser en dos direcciones: los cordones transversales y longitudinales del el cuerpo.

Las dimensiones de los anillos y desarrollo del cuerpo, se muestran en los planos constructivos.

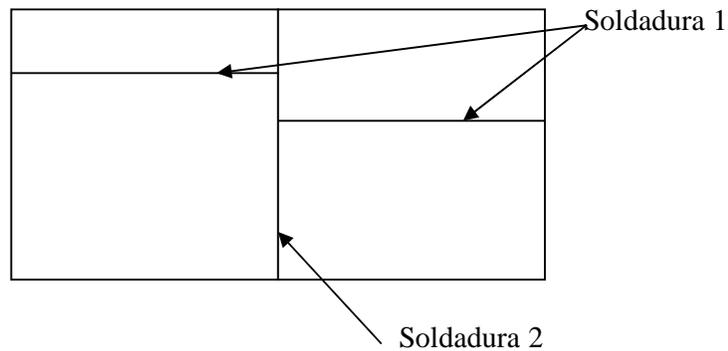


Figura 5.47 Categoría de juntas soldadas en el cuerpo

Para la soldadura tipo 1, Obtenemos el esfuerzo máximo y mínimo en el cordón de soldadura, con la ayuda del programa de diseño estructural, como se muestra en la figura 4.54. Para validar se obtiene el factor de seguridad, de un estudio a fatiga por el tipo de trabajo que va a realizar el tanque.

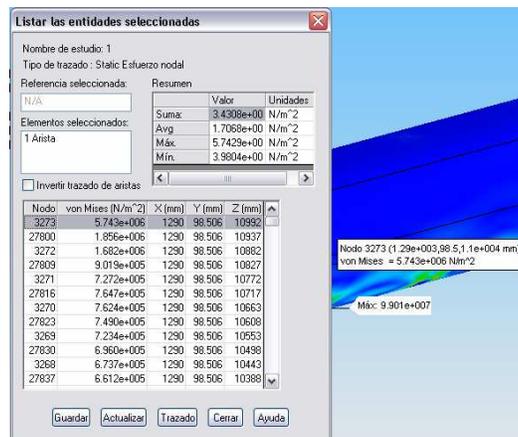


Figura 5.48 Esfuerzo en la Soldadura Tipo1

El cálculo de límite de resistencia a fatiga es:

$$a := 4.51$$

$$b := -0.265$$

$$S_y := 430 \text{ Mpa}$$

$$k_a := a \cdot S_y^b$$

$$k_a = 0.904$$

$$k_b := 1$$

$$k_c := 1$$

$$k_d := 1.025$$

$$S_e' := 0.4 \cdot S_y$$

$$S_e' = 172 \text{ Mpa}$$

$$S_e := k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot S_e'$$

$$S_e = 159.426 \text{ Mpa}$$

El calculo del factor de seguridad a fatiga según “Solderberg” es:

$$\sigma_{\max} := 5.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\min} := 0.7 \text{ Mpa}$$

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

$$\sigma_m = 3.25$$

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

$$\sigma_a = 2.55$$

$$k_f := 1$$

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

$$FS = 42.457$$

El factor de seguridad es sumamente alto, y es aceptado por que el material del espesor no seria aconsejable cambiarlo por otras causas.

Para la soldadura tipo 2, Utilizando el mismo procedimiento encontramos el mayor y menor esfuerzo en la sección donde se soldara los anillos.



Nombre de estudio: 1
Tipo de trazado: Static Esfuerzo nodal (Membrane)-Plot1

Nodo	von Mises (N/m ²)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
12108	1.939e+007	828.83	-841.64	6713.7
12103	2.115e+007	917.27	-773.26	6658.8
12104	2.192e+007	873.99	-808.31	6658.8
12101	1.683e+007	958.59	-736.55	6658.8

Borrar Guardar Trazado Respuesta
Cerrar Ayuda

Figura 5.49 Esfuerzo en la Soldadura Tipo 2

El cálculo del factor de seguridad a fatiga en la soldadura en los anillos es:

$$\sigma_{\max} := 19.7 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\min} := 16.3 \text{ Mpa}$$

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

$$\sigma_m = 18$$

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

$$\sigma_a = 1.7$$

$$k_f := 1$$

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

$$FS = 19.039$$

De igual forma el valor es alto pero se acepta.

5.28.4 SOLDADURA EN LAS TAPAS

Con respecto a la soldadura existen dos secciones que serian, las más críticas: La unión con el tanque, La unión para conformar la tapa. Con la ayuda del programa estructural, se tiene es esfuerzo máximo y mínimo.

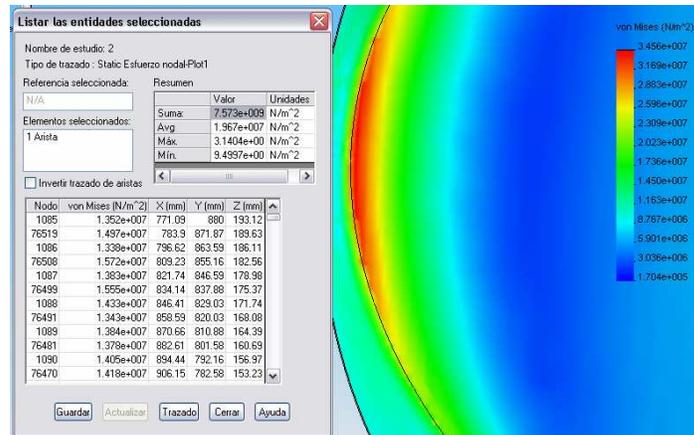


Figura 5.50 Esfuerzo en la Soldadura Tapas

El cálculo del esfuerzo es

$$\sigma_{\max} := 31.4 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\min} := 9.5 \text{ Mpa}$$

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

$$\sigma_m = 20.45$$

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

$$\sigma_a = 10.95$$

$$k_f := 1$$

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

$$FS = 8.603$$

El factor de Seguridad es aceptable, ya que si en este caso mostraría un sobre dimensionamiento, otros factores tomados en cuenta en el diseño se aceptan.

5.28.5 SOLDADURA EN LOS BAFLES

Cada Bafle será soldado al cuerpo, en las cuatro secciones que están en contacto con el mismo. La fuerza que va a soportar el tanque es la carga generada (36510 N). Dividida para las secciones que serán soldadas, las fuerzas de reacción es: $F_z = 9852 \text{ N}$

$$M_y = 34770 \text{ Nmm}$$

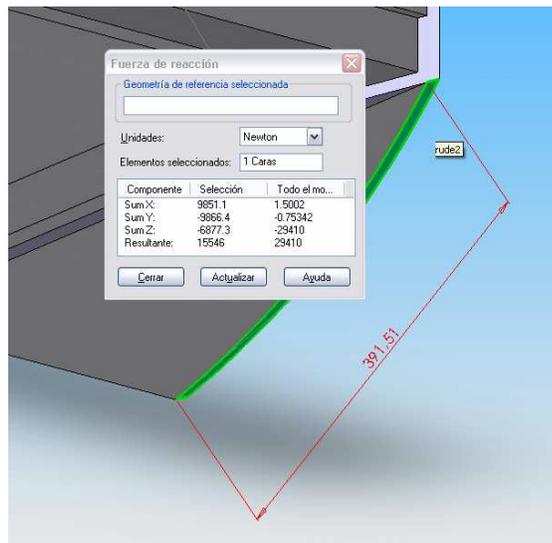


Figura 5.51 Fuerzas de Reacción en la Soldadura Bafles

Estas reacciones y los momentos generados en esta sección, se ingresan para calcular el talón de la garganta.

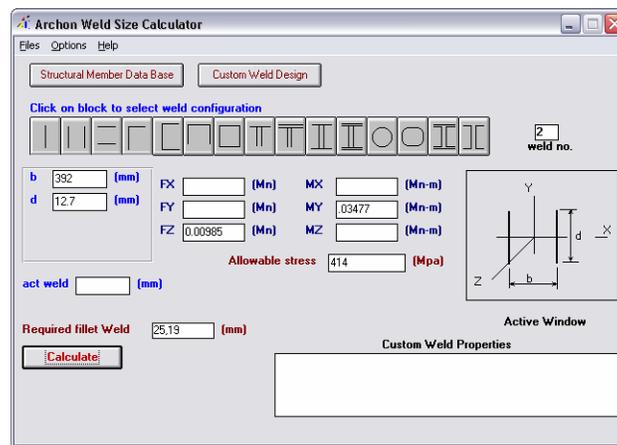


Figura 5.52 Calculo de filete de Soldadura Bafle

La altura del filete de soldadura es 25mm. La preparación de la junta para estas soldaduras específicamente deberán tener bisel en "V" en el Bafle.

5.28.6 SOLDADURA EN LAS SILLAS

Para realizar el cálculo del filete de soldadura en las sillas, se tomo en cuenta las siguientes fuerzas que son generadas en condiciones de trabajo del tanque.

- Peso del tanque / silla: 23400 N
- Fuerza Cortante / silla: 29208 N
- Momento en el filete: 37970 Nm

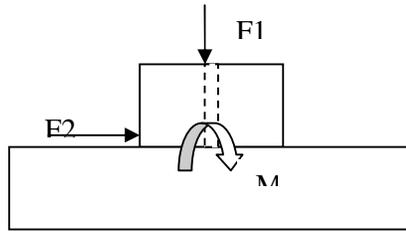


Figura 5.53 Fuerzas y Momentos en las Sillas

Ingresando estos datos al programa de diseño de soldadura tenemos.

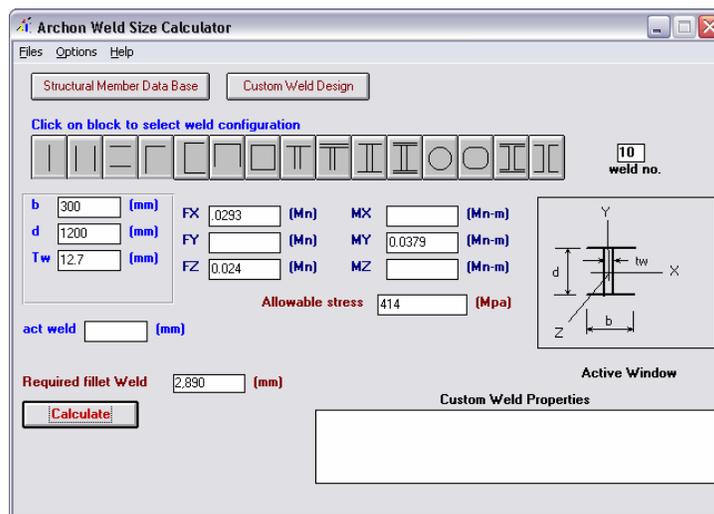


Figura 5.54 Calculo de filete de Soldadura Sillas

El alto de filete de soldadura debe ser: **6mm**. La sección estudiada es la más crítica, por lo tanto se copiara el filete para todas las demás soldaduras en las sillas.

5.28.7 SOLDADURA EN EL CHASIS

Para realizar el cálculo del filete de soldadura en el chasis, se toma en cuenta las secciones donde se va a tener las mayores cargas, y así tener un filete de soldadura seguro en todo el chasis. Las cargas en la sección más critica son las siguientes.

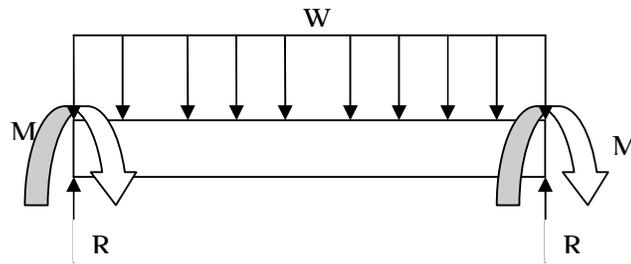


Figura 5.55 Carga en las Vigas de Sillas

Momento y las Reacciones

$$l := 1.200 \text{ [m]}$$

$$W := 23400 \text{ [N]}$$

$$x1 := 0$$

$$x2 := 1.200 \text{ [m]}$$

$$R := \frac{W \cdot l}{2}$$

$$R = 1.404 \times 10^4 \text{ [N]}$$

$$M1 := \frac{W}{12} \cdot (6 \cdot x1 \cdot l - 6 \cdot x1^2 - l^2)$$

$$M1 = -2.808 \times 10^3 \text{ [Nm]}$$

$$M2 := \frac{W}{12} \cdot (6 \cdot x2 \cdot l - 6 \cdot x2^2 - l^2)$$

$$M2 = -9.985 \times 10^4 \text{ [Nm]}$$

Fuerza cortante en lado de la soldadura en la viga: 11700 N

El cálculo de la altura del filete es:

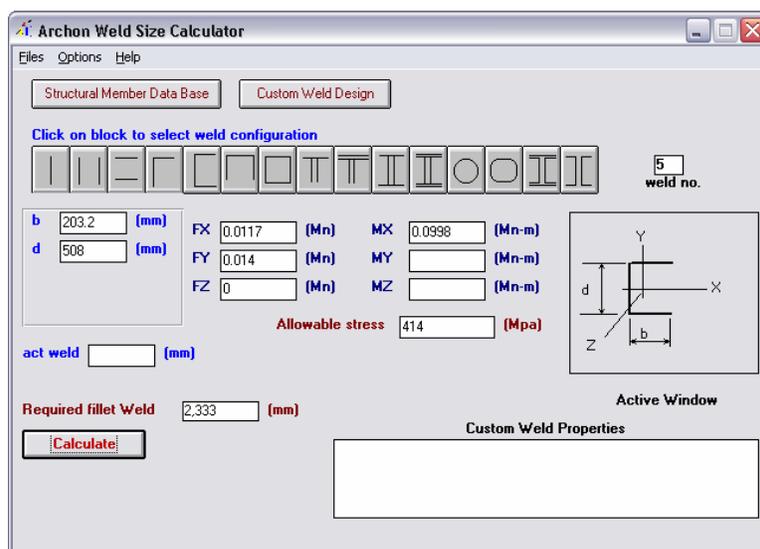


Figura 5.56 Filete de Soldadura en las Vigas del Chasis

El filete de soldadura aproximando sería: **6mm**. Ya que el análisis se realizó para la sección más crítica del chasis, se asumirá este filete para toda la soldadura en el Chasis.

5.28.8 OTRAS SOLDADURAS

El proyecto requiere de la especificación de otros filetes de soldadura como por ejemplo, el Kingpin, el sistema de sujeción de la suspensión, entre otros. Los cuales no requieren de un cálculo de soldadura ya que estos, tienen el dato de filete de soldadura requerido especificado en el catálogo, el cual está mostrado e indicado en los planos constructivos.

CAPITULO 6

SOFTWARE DE DISEÑO Y COSTOS DEL SEMIREMOLQUE TANQUE

6.1 SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y AFORO DE SEMIREMOLQUES TANQUE PARA EL TRASLADO DE COMBUSTIBLES.

Con la finalidad de facilitar la obtención de datos de prediseño para el semiremolque tanque seleccionado, se elaboró una memoria de cálculo en Visual Basic 6.0, software que proporciona todos los datos característicos y necesarios que se deben conocer para poder proceder con el posterior diseño.

El software elaborado es de muy amigable y de fácil operación, el mismo que posee cuatro tipos diferentes de semiremolques tanque, donde las características geométricas son elegibles para capacidades volumétricas que varían en un rango de entre 8.000 y 12.000 galones.

En la memoria de cálculo se puede elegir el tipo de combustible a transportar (gasolina, diesel, fuel oil, etc.), el mismo que a la vez ofrece las propiedades físicas del hidrocarburo. Después de realizar todos los requerimientos para un semiremolque tanque, incluyendo sus posibles dimensiones, el programa entrega cálculos de dimensiones, aforo, pesos, fuerzas, presiones, así como los accesorios que deberá tener el dispositivo de transporte.

6.2 REALIZACIÓN DEL PROGRAMA

Se tomó todos los cálculos realizados en el capítulo de diseño y aforo del tanque, con lo que se determinó varios campos o pantallas para el ingreso de los datos, entre los cuales tenemos: Ingreso de Datos; Cálculo de Aforo del Tanque;

Cálculo de: Cargas por Viento y Muertas, Cargas Vivas, Diagrama de Cargas; Cálculo del Serpentín de Calentamiento y Cálculo del Aislamiento. Estas están ubicadas en pestañas para facilitar su cambio y ubicación.

Igualmente se estructuró en el plano de diagramación con una “Interfase”, de manera que al cambiar en las diferentes pantallas de las pestañas solo se ejecuten los cálculos correspondientes a la pantalla, ya que los cálculos están en continua ejecución a través de un lazo, el cual solo se detiene cuando se presiona “Salir”. Esto evitará que el programa sea lento por la ejecución de gran cantidad de cálculos al mismo tiempo. La desventaja es que se requiere seguir una secuencia de cálculo empezando por la izquierda, ya que para cálculos posteriores se requiere datos de las primeras pantallas.

Para el cálculo del aforo se realizó un sub – programa, el cual se ejecuta cuando se presiona “Calcular”, ya que es una gran cantidad de datos que se deben calcular por medio de la integración y toma algunos segundos su ejecución, se le ha colocado una ventana de espera. Son los únicos datos que no se calculan en tiempo real.

6.2.1 EJEMPLO PRÁCTICO DEL SOFTWARE DE DISEÑO APLICADO A LA ALTERNATIVA ESCOGIDA.

A continuación se realiza un ejemplo del modo de empleo de la memoria de cálculo aplicado a un *Semiremolque tanque de cilíndrico circular con tapas toriesféricas*, con un volumen de 10.000 galones, ya que esta capacidad de transporte es la de mayor acogida y construcción en el país, según los resultados arrojados por estudio de mercado.

Luego de la pantalla de inicio que se muestra a continuación, se debe proceder con los siguientes pasos:



Figura 6.1 Pantalla de iniciación de la memoria de cálculo

PASO 1. Se debe seleccionar el modelo y el tipo de combustible a transportar.

Ingreso de Datos

Información del Cliente

Cliente: Escuela Politécnica Nacional Código: EPN-001 Revisión: Ing. Jaime Vargas
 Proyecto: Semiremolque Tanque Fecha: 24/02/2006 Realizador: Ings. Francisco Salas ; Marcelo Garzón
 Referencia: Ing. Jaime Vargas

DATOS DE DISEÑO

Geometría del Tanque

Forma del cilindro

Cilindro Circular
 Cilindro Elíptico

Forma de las Tapas del Tanque

Tonésfericas
 Elipsoidales Cóncavas
 Planas

Material a transportar

Material: Diesel 2
 Densidad: 843.8 [Kg/m³]
 Viscosidad: 6 [Kg/sm]
 Punto de Inflamación: 51 [°C]
 Punto inicial de ebullición: 183 [°C]
 Corrosión a la lamina de cobre: 2

Propiedades del Acero

Módulo de Elasticidad: 200 [GPa] Esfuerzo a la fluencia: 150 [MPa]
 Módulo de Rigidez: 73.9 [GPa] Esfuerzo ultimo: 400 [MPa]
 Coeficiente de expansión: 0,000846 [1/K] Espesor Acero: 0,0048 [m]
 Peso específico: 7850 [Kg/m³] Conductividad: 45 [J/smK]
 Espesor Tol: 0,0008 [m]

Volumen de Transporte

Capacidad: 10000 [Gals]
 Peso del liquido a transportar: 31,94 [Tons]
 Codificación de Transporte según MOP: 3S3

Esquema

Pre - Dimensionamiento

Figura 6.2 Pantalla para la introducción de datos.

PASO 2. Se obtiene el predimensionamiento del semiremolque tanque según las regulaciones del MOP, en la pestaña adicional que aparece se puede realizar el aforo.

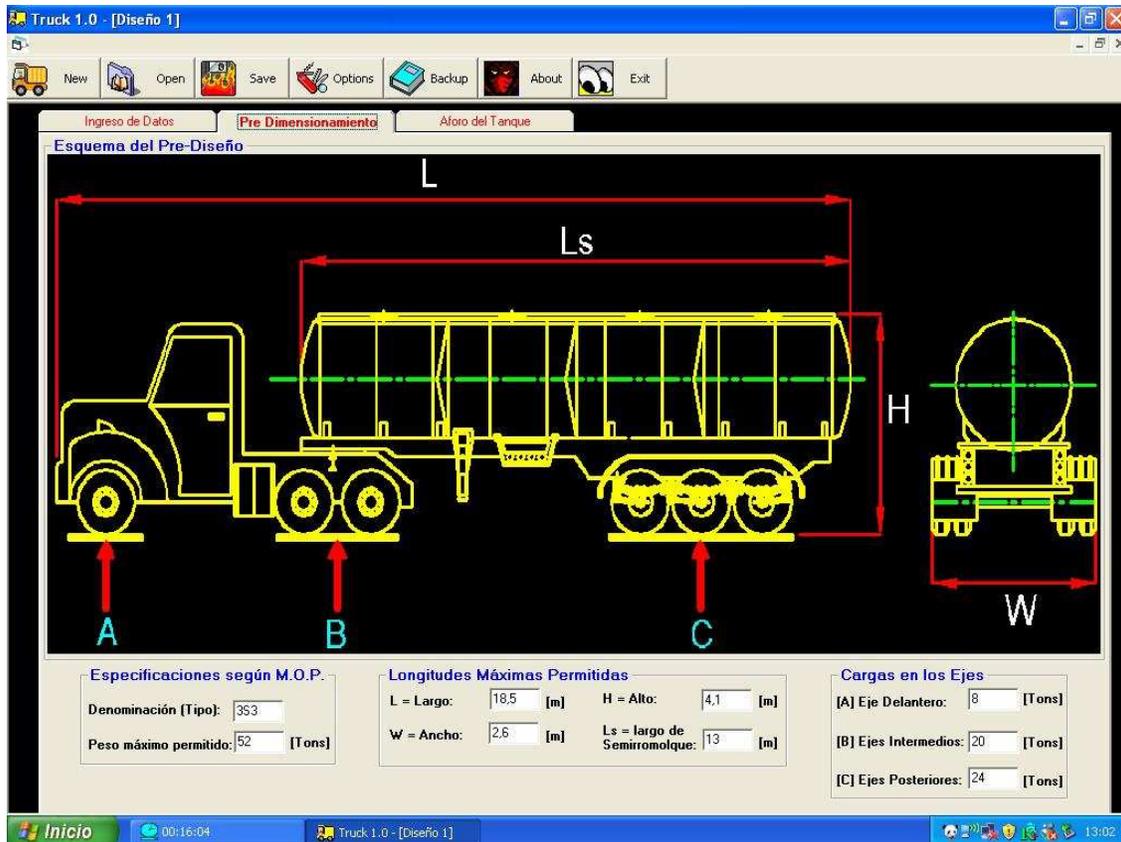


Figura 6.3 Pantalla de resultados del predimensionamiento.

PASO 3. En la pestaña de aforo del tanque se debe introducir los datos inherentes a las dimensiones que tendrán las tapas así como la longitud del cilindro del tanque. Si la opción escogida hubiera sido un cilindro elíptico se deben introducir los valores de los focos de la elipse, además el aforo del tanque se puede realizar por intervalos, el mismo que puede tener valores de cualquier rango.

Truck 1.0 - [Diseño 1]

Ingreso de Datos Pre Dimensionamiento **Aforo del Tanque** Cargas de Viento

MEDICION Y CALIBRACION DEL TANQUE

Opción Escogida

Dimensiones

Diametro: 2100 [mm]

Longitud del tanque: 11004 [mm]

Resultados

Volumen de las cabezas: 139,309 [Gal]

Volumen del cuerpo: 10069,622 [Gal]

Volumen total del tanque: 10208,931 [Gal]

Reducciones Volumetricas

Ribetes de Cabeza: 2 [Gal]

Escalera Interior: 3 [Gal]

Válvulas y Mecanismos: 1 [Gal]

Knucl: 2,3 [Gal]

Otros: 5 [Gal]

REDUCCION TOTAL: 13,3 [Gal]

Aforo Total

H [mm]	Vol [Gal]
100	175,44869
200	489,79883
300	887,51218
400	1346,68098
500	1853,63329
600	2397,82813
700	2970,90445
800	3565,56901
900	4175,237
1000	4793,75104
1100	5414,95684
1200	6033,47672
1300	6643,15599
1400	7237,83773
1500	7810,93667
1600	8355,15791
1700	8862,15215
1800	9321,34012
1900	9719,08424
2000	10033,46331
2100	10208,92848

Intervalo: 100 [mm]

Calcular

Inicio 00:17:13 Truck 1.0 - [Diseño 1] 13:03

Figura 6.4 Pantalla de introducción de datos y resultados de aforo del auto tanque

PASO 4. En las pantallas que se ven a continuación, se puede evidenciar que los resultados presentados en éstas son una concatenación de los datos ingresados anteriormente y que automáticamente calcula y genera los resultados de diagramas y valores de: carga de viento, cargas vivas y cargas muertas.

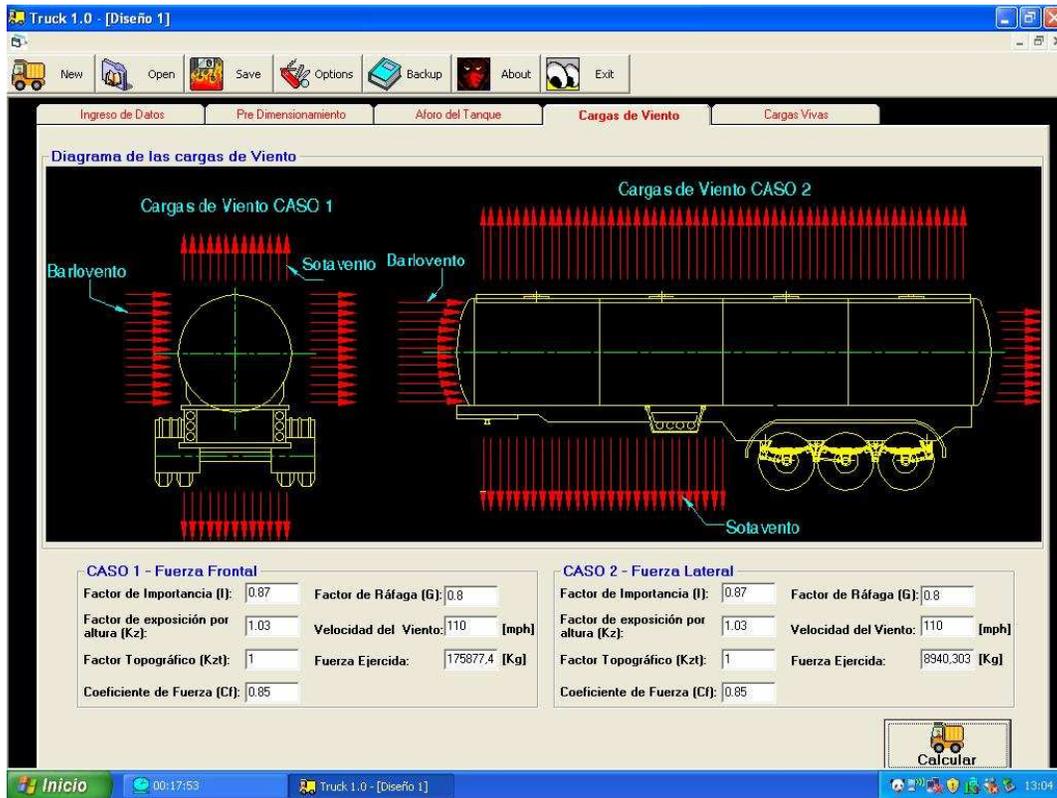


Figura 6.5 Pantalla de resultados de diagramas y valores de cargas de viento.

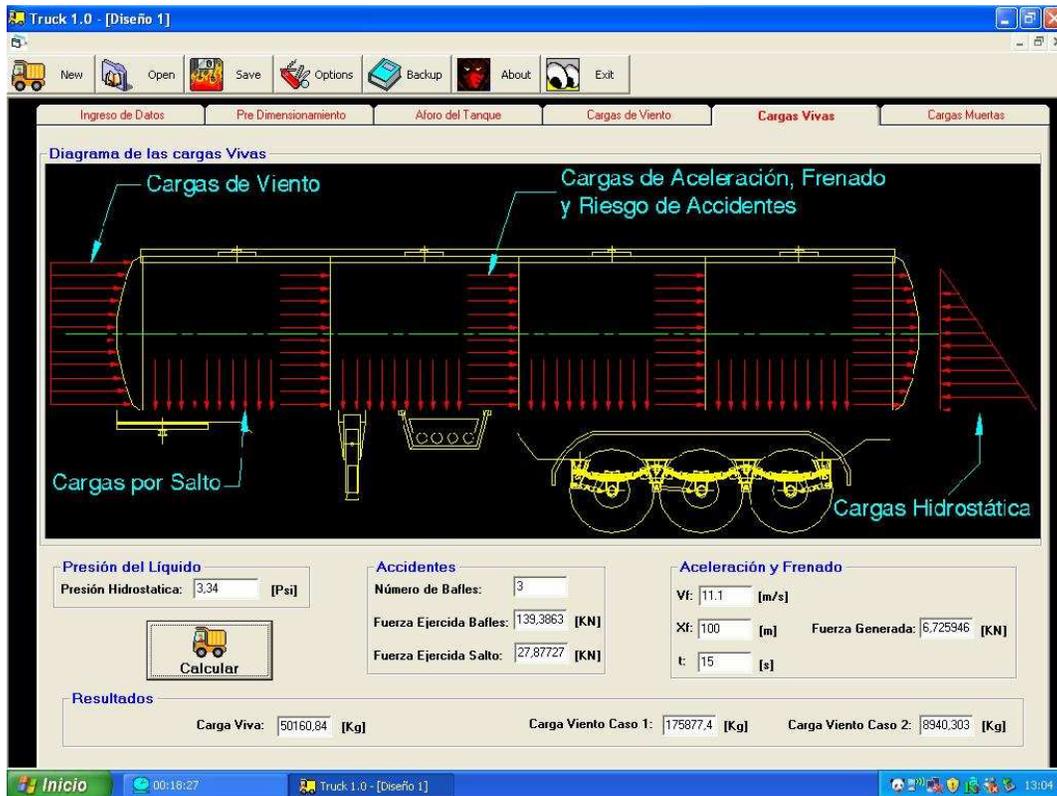


Figura 6.6 Pantalla de resultados de diagramas y valores de cargas vivas.



Figura 6.7 Pantalla de resultados con valores de cargas muertas

Los resultados de este software brinda información suficiente para proceder con el diseño de cualquier auto tanque, de geometría a elegir con una capacidad entre 8.000 y 11.000 galones.

Finalmente para facilidad del usuario, el programa posee una opción donde se realiza un resumen de resultados, y que es generado mediante una tabla en Microsoft Excel.

6.3 MODELO MATEMÁTICO, ECUACIONES Y EJEMPLO DE AFORO DE AUTO TANQUES.

6.3.1 MÉTODO DE MEDIDA Y CALIBRACIÓN DE UN AUTO TANQUE

La calibración o tabla de aforo para un auto tanque, es un requerimiento importante para el diseño. Mediante este se puede conocer exactamente la cantidad de producto en el tanque al momento de la carga y la descarga del auto tanque. Es también un requerimiento del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), y del Ministerio de Obras Publicas.

La “API Standard 2554” (Ver Anexo 18), norma la calibración de auto tanques para hidrocarburos, mediante un método de calibración y medición manual del tanque. Describe el procedimiento y separa el método de medición en dos partes: para auto tanques que están a presión atmosférica, y la segunda para tanques a presiones elevadas.

El método de medición externa del tanque es el método más utilizado en la actualidad, usando herramientas básicas de medida como por ejemplo un flexo metro y reglas metálicas, para hacer practica la calibración del tanque.

Otras consideraciones importantes para la calibración del auto tanque son los accesorios y la forma de construcción del tanque. Entre estos están:

- Escaleras interiores
- Cabezas de Remaches
- Válvulas y mecanismos

Mediante la siguiente tabla podemos especificar la reducción de volumen por accesorios que tienen los tanques

Tabla 6.1 Reducciones Volumétricas por Accesorios

Capacidad (galones)	Cabezas de Remaches	Válvulas y mecanismos	Escaleras interiores	Total (galones)
---------------------	---------------------	-----------------------	----------------------	-----------------

6500	2.8	1.2	0.8	4.8
8000	3.2	1.3	0.9	5.4
10000	3.6	1.4	0.9	5.9
12000	4.5	1.3	1.0	6.8

Fuente: API 2554

Los cálculos también incluyen la disminución de volumen que se genera por la presencia de:

- Cuerpo
- Cabezas
- Domos
- Tapas

Cabe decir que las formulas están dirigidas solo para tanques cilíndricos con tapas diseñadas bajo norma ASME. Para el diseño en particular de un cuerpo de forma elíptica y tapas de forma cóncava, es necesario desarrollar un método de calibración propio para lograr obtener una tabla de aforo del tanque el cual es el objetivo final de este procedimiento. Siguiendo los parámetros que la norma rige.

Existe una tabla de toma de datos y resultados que la norma presenta, de igual forma esta diseñada para tanques con forma cilíndrica. Por lo que la tabla para un tanque a de forma elíptica, tiene variaciones con el fin de facilitar la toma de datos y obtención de resultados mediante un pequeño programa de cálculo de aforo del tanque.

6.3.2 Aforo en las Tapas (Cabezas)

Para el auto tanque que se tomó como alternativa en este proyecto, se puede hacer el cálculo del aforo de las tapas toriesféricas mediante “API Standard 2554” (Ver Anexo 18), pero para el software de simulación se requiere también hacer cálculos de aforo para tapas elípticas cóncavas, las mismas que no son cubiertas por estándar API.

Para resolver el problema de aforo en tapas elípticas cóncavas se desarrolló un método de cálculo que facilita el mismo y que se muestra a continuación.

Las tapas elípticas-cóncavas son un segmento circular si lo observamos desde la vista superior del auto tanque, como se muestra en la figura.

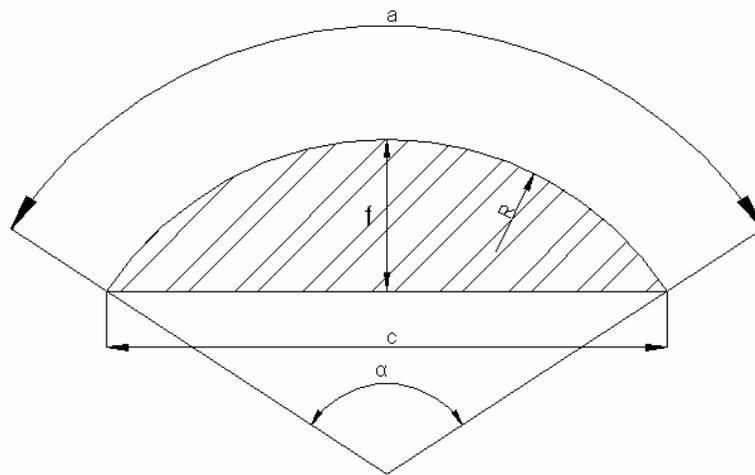


Figura 6.8 Segmento circular de una tapa elíptico-cóncava

Con la ayuda de formulas de segmento circular se obtiene los valores de a , f , c , α , área, y mediante un incremento de altura (h). El siguiente ejemplo de cálculo muestra las formulas utilizadas:

El ejemplo de calculo esta escogido para cuando tenga una altura $h = 11\text{mm}$

$$a := 1100$$

$$b := 1300$$

a = cateto menor de la elipse

b = cateto mayor de la elipse

El intervalo que relaciona altura y ancho

$$\text{intervalo} := \frac{2 \cdot b}{a}$$

$$\text{intervalo} = 2.364$$

Se encuentra los valores máximos del radio (r máx.) y de la flecha (f máx.) y (c máx.), pero los valores de r máx. y f máx. son los adoptados él la configuración de la geometría del tanque.

$$c_{\max} := 2600$$

$$f_{\max} := 300$$

$$r_{\max} := \frac{c_{\max}^2}{8 \cdot f_{\max}} + \frac{f_{\max}}{2}$$

$$r_{\max} = 2.967 \times 10^3$$

$$r := r_{\max}$$

El radio para todos los intervalos es constante ósea es el radio máximo. Haciendo la sumatoria hasta la altura h = 11 tenemos que c=26.

$$f := r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{c}{2}\right)^2}$$

$$f = 0.028$$

$$\alpha := 2 \operatorname{asin}\left(\frac{c}{2 \cdot r}\right)$$

$$\alpha = 8.764 \times 10^{-3}$$

$$\alpha^\circ := \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\alpha^\circ = 0.502$$

$$a := \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha^\circ}{180}$$

$$a = 26$$

$$A := \frac{r \cdot (a - c) + c \cdot f}{2}$$

$$A = 0.494$$

El volumen que se tiene para cada altura, es el área multiplicado por el incremento de altura, y sumándolo con el dato anterior de volumen se obtiene el acumulado de volumen para cada altura hasta llegar a 2200mm que es el alto del tanque para el ejemplo. Y el volumen acumulado hasta la altura de 11mm es $V = 1.6157\text{mm}^3$, como se muestra en la siguiente tabla ejemplo:

Tabla 6.2 Aforo en las Tapas del Tanque

H (mm)	C (mm)	r (mm)	f(mm)	alfa (grados)	a	Área (mm2)	Volumen (mm3)
0	0	2966,66667	0	0	0	0	0
1	2,36363636	2966,66667	0,0002354	0,04564935	2,36363643	0,00037093	0,00037093
2	4,72727273	2966,66667	0,00094159	0,0912987	4,72727323	0,00296744	0,003338371
3	7,09090909	2966,66667	0,00211858	0,13694807	7,09091078	0,01001512	0,013353486
4	9,45454545	2966,66667	0,00376637	0,18259745	9,45454946	0,02373954	0,037093026
5	11,8181818	2966,66667	0,00588495	0,22824687	11,8181896	0,04636631	0,083459334
6	14,1818182	2966,66667	0,00847434	0,27389633	14,1818317	0,08012102	0,163580357
7	16,5454545	2966,66667	0,01153452	0,31954582	16,545476	0,1272293	0,290809653
8	18,9090909	2966,66667	0,0150655	0,36519537	18,9091229	0,18991675	0,480726405
9	21,2727273	2966,66667	0,01906729	0,41084498	21,2727728	0,27040903	0,751135437
10	23,6363636	2966,66667	0,02353988	0,45649465	23,6364262	0,37093179	1,12206723

11	26	2966,66667	0,02848328	0,50214439	26,0000832	0,49371071	1,615777939
----	----	------------	------------	------------	------------	------------	-------------

6.3.3 Aforo en el Cuerpo del Tanque

Para hallar el volumen que tiene el tanque usamos una integral para calcular el área que se tiene en cada intervalo de altura por el largo del tanque.

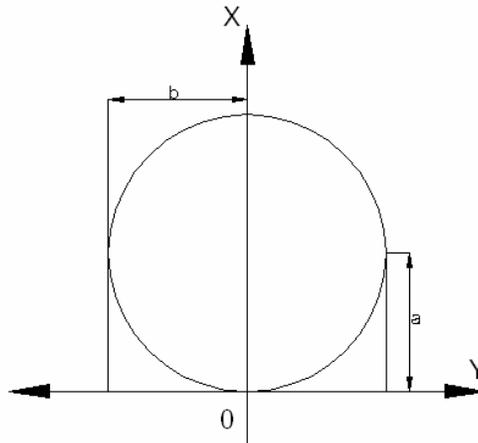


Figura 6.9 Aforo del Tanque

La ecuación de la elipse es:

$$\frac{(X - a)^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1$$

despejando Y

$$Y = \frac{b}{a} (2xa - x^2)^{\frac{1}{2}}$$

si

$$b = \frac{A}{2}$$

y

$$a = \frac{H}{2}$$

$$Ar = 2 \int_0^x \frac{A}{H} (Ax - x^2)^{\frac{1}{2}} dx$$

$$x - a = \mu$$

$$\delta x = \delta \mu$$

$$Ar = \frac{b}{a} \int_0^{\mu} (a^2 - \mu^2)^{\frac{1}{2}} \delta \mu$$

$$\mu = a * \text{Sen}(t)$$

$$\delta \mu = a * \text{Cos}(t)$$

$$Ar = \frac{b}{a} \int_0^{\mu} (a^2 - \mu^2)^{\frac{1}{2}} \delta \mu$$

$$Ar = ab \left(\frac{t}{2} + \frac{\text{Sen}(2t)}{4} \right)$$

$$Ar = 2ab \left[\frac{a \text{Sen} \left(\frac{x-a}{a} \right)}{2} + \frac{\text{Sen} \left(2a \text{Sen} \left(\frac{x-a}{a} \right) \right)}{4} \right]$$

Reemplazamos el área para cada intervalo de altura (x), lo multiplicamos por el área y se obtiene el volumen en el cilindro para la altura deseada.

Como paso final se encuentra la sumatoria entre el aforo del tanque y el aforo de las tapas. Sin dejar de lado las reducciones que se debe hacer por accesorios internos en el tanque y la suma de otros elementos como por ejemplo el manhole donde puede haber aumento de volumen.

El software de calculo facilita y genera la tabla para datos de aforo de el tanque a diseñarse, con las medidas requeridas e ingresadas de cada caso particular, según un intervalo de altura, así como también las reducciones y aumento de volumen deseados por el ejecutor.

Ejemplo de cálculo de aforo para un auto tanque de cuerpo cilíndrico y tapas toriesféricas y que posee las siguientes medidas generales.

$$\text{Si } a = 1100 \text{ mm} \quad x \Rightarrow 0 \quad a \quad 2200$$

$$b = 1300 \text{ mm} \quad L = 11000 \text{ mm}$$

$$Ar = 2(1100) * 1300 \left[\frac{1100 \text{Sen} \left(\frac{2200-1100}{1100} \right)}{2} + \frac{\text{Sen} \left[2 * 1100 \text{Sen} \left(\frac{2200-1100}{1100} \right) \right]}{4} \right]$$

$$Ar = 2860000 \left[\frac{925.6180}{2} + \frac{1851.2361}{4} \right] = 2647267552 \text{ mm}^2 = 2647.26 \text{ m}^2$$

$$2860000 [9.5988 + 0.15527] = 27.89 \text{ mm}^2$$

$$27896642.64 \text{ mm}^2 * 11000 \text{ mm} = 3.06 * 10^{11} \text{ mm}^3 = 306.863069 \text{ m}^3 = 81073.22 \text{ gal}$$

$$\frac{(x-a)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{2ax - x^2}$$

$$\int_0^A \delta y = \int_0^x \frac{b}{a} \sqrt{2ax - x^2} \delta x$$

$$A = \frac{b}{a} \int_0^x \sqrt{2ax - x^2} \delta x$$

$$A = \frac{2b}{a} \left[\frac{x-a}{2} \sqrt{2ax - x^2} + \frac{a^2}{2} \text{arcCos} \left(1 - \frac{x}{a} \right) \right]$$

$$A = \frac{1300}{1100} \left[\frac{2200 - 1100}{2} \sqrt{2 * 1100 * 2200 - 2200^2} + \frac{1100^2}{2} \text{arcCos} \left(1 - \frac{2200}{1100} \right) \right]$$

$$A = 1.1818 [550\sqrt{0} + 650000 \text{Cos}^{-1}(-1)] = 2246209.442 \text{mm}^2 = 2.246209442 \text{m}^2$$

$$V = A * L = 24.70830386 \text{m}^3 = 6527.93 \text{gal}$$

$$A = \frac{1050}{1050} \left[\frac{2100 - 1050}{2} \sqrt{2 * 1050 * 2100 - 2100^2} + \frac{1050^2}{2} \text{Cos}^{-1} \left(1 - \frac{2100}{1050} \right) \right]$$

$$A = 252\sqrt{0} + 551250 \text{Cos}^{-1}(-1) = 1731802.95 \text{mm}^2 = 1.73180295 \text{m}^2$$

$$V = A * L = 19.04983245 \text{m}^3 * \frac{264.2 \text{gal}}{1 \text{m}^3} = 5032.965733$$

$$V = 10065.93147 \text{gal}$$

6.4 COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL AUTO TANQUE

El costo de los materiales que se emplearán para un Auto tanque con una capacidad de 10.000 galones de cuerpo cilíndrico y tapas toriesféricas son tomados con referencia a los precios del mes de Enero del 2006. Estos precios son los costos reales de los artículos con los que se encuentran disponibles en el mercado nacional.

Con el objeto de realizar una evaluación adecuada sobre el diseño y la construcción del auto tanque, se a realizado una lista detallada de materiales con precios reales, tanto de los accesorios como de los precios por kilogramo de material a emplear en su construcción, además se mencionan varios rubros los cuales se encuentran detallados en el Anexo 23 y son:

- Costos de Materiales
- Costo de hora máquina y mano de obra.
- Costos de elementos de adquisición.
- Costo del Diseño
- Imprevistos

6.5 COSTOS DE MATERIALES:

Para poder realizar la construcción de la estructura del Auto tanque, el costo total en materiales asciende a un valor de 4315 dólares americanos.

6.6 COSTOS DE FABRICACIÓN:

En este rubro se considera se considera lo que tiene que ver con las horas mano de obra calificada, transporte, montaje, dando un valor total de 1600 dólares americanos.

Es necesario considerar un rubro de imprevistos, el cual es de 5% del costo total de la estructura, su valor es de 1360 dólares americanos.

6.7 COSTOS DE ELEMENTOS DE ADQUISICIÓN

Estos elementos son de vital importancia ya que de ellos dependerá el funcionamiento de este sistema de transporte a granel para combustibles, y su adquisición asciende a un valor de 19320 dólares americanos.

6.8 COSTO DE DISEÑO

Esta evaluación se realiza de acuerdo al número de horas empleadas en dicho proceso las cuales ascienden a 255 horas, se establece el costo de hora de diseño, elaboración de planos, ingeniería de detalle y simulación computacional en 5 dólares, lo que da un costo total de 1275 dólares americanos.

6.9 COSTO TOTAL DE LA ESTRUCTURA

Se puede decir que el costo total de la estructura es de 28595 dólares americanos.

Estos materiales se los puede observar detalladamente en el Anexo 20.

6.10 FUNCIÓN PARA DETERMINAR COSTOS APROXIMADOS DE FABRICACIÓN DE AUTO TANQUES.

Para el desarrollo de la función que se muestra a continuación, se ajustaron curvas que fueron obtenidas a partir de una comparación de precios por kilogramo de acero (A -36) entre auto tanques desde 8.000 hasta 15.000 galones, añadiendo a ésta fórmula índices de costos indirectos, mano de obra, pintura, y costos de accesorios.

USD (\$) VS. CAPACIDAD

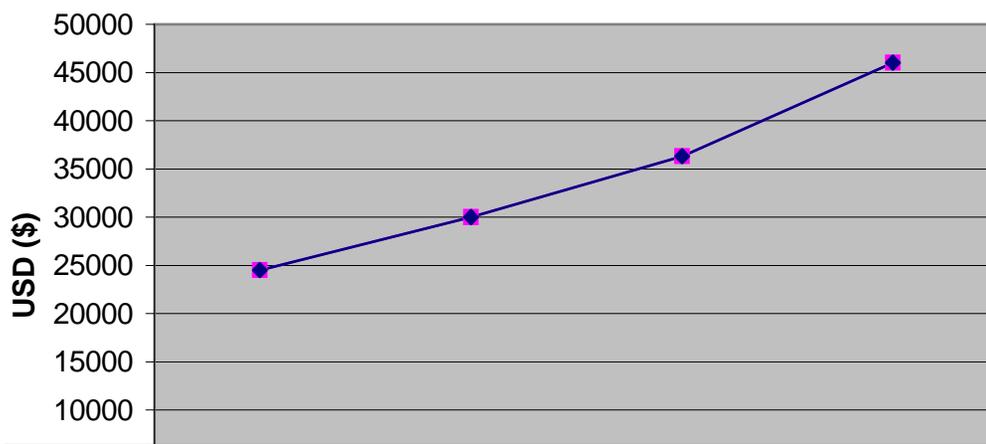


Gráfico 6.1 Costos de fabricación de auto tanques por kilogramo de acero vs. capacidad volumétrica.

$$\text{Ecuación : } C = 2.26 * 10^{-4} X^2 - 0.044X + 2.54$$

Donde: C = Costo (en dólares) por cada Kg. de material (acero A-36)

X = Volumen del auto tanque (en m^3).

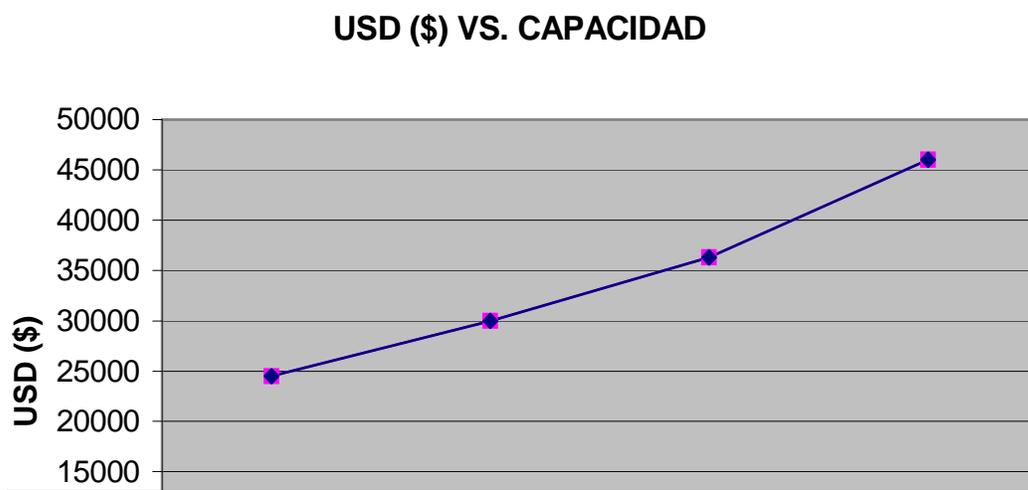


Gráfico 6.2 Costos total de fabricación de auto tanques vs. capacidad volumétrica.

Ecuación : $C = 0.112X^2 + 778X + 274.5$

Donde: C = Costo aproximado (en dólares) de un auto tanque.