



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTO TANQUE
PARA ASFALTO DE 10000 GALONES CON SISTEMA DE
RECIRCULACIÓN PARA INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES
S.A.**

**AUTORES: POZO ARTURO, ANDRÉS MARCELO
VALENCIA PÉREZ, IVÁN SEBASTIAN**

DIRECTOR: ING. VILLAVICENCIO, ANGELO

SANGOLQUÍ

2015



CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTO TANQUE PARA ASFALTO DE 10000 GALONES SON SISTEMA DE RECISRCULACIÓN PARA INSDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A.”, fue realizado en su totalidad por: Pozo Arturo Andrés Marcelo y Valencia Pérez Iván Sebastián, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniería Mecánica, el mismo cumple con todos los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar a los señores Pozo Arturo Andrés Marcelo y Valencia Pérez Iván Sebastián para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 21 de diciembre del 2015

ING. ANGELO VILLAVICENCIO

Director



DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Pozo Arturo, Andrés Marcelo

Valencia Pérez, Iván Sebastián

DECLARAMOS QUE:

El Proyecto de grado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTO TANQUE PARA ASFALTO DE 10000 GALONES SON SISTEMA DE RECISRCULACIÓN PARA INSDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A.**”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan en los párrafos correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Sangolquí, 21 de diciembre del 2015

Pozo Arturo Andrés Marcelo

CI. 1718163544

Valencia Pérez Iván Sebastián

CI. 1719927715



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

AUTORIZACIÓN

Pozo Arturo, Andrés Marcelo

Valencia Pérez, Iván Sebastián

AUTORIZAMOS:

Nosotros, Pozo Arturo Andrés Marcelo y Valencia Pérez Iván Sebastián, autorizamos a la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución el proyecto de investigación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTO TANQUE PARA ASFALTO DE 10000 GALONES SON SISTEMA DE RECISRCULACIÓN PARA INSDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 21 de diciembre del 2015

Pozo Arturo Andrés Marcelo

CI. 1718163544

Valencia Pérez Iván Sebastián

CI. 1719927715

DEDICATORIA

Todo el trabajo y esfuerzo entregado durante todos estos años de estudio y la elaboración de este proyecto de grado se lo dedico a mi madre, ya que siempre me ha apoyado, guiado y ha sido la base de mi desarrollo como persona.

Andrés Marcelo Pozo Arturo

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a mi familia, en especial a mi padre y a mi madre que estuvieron siempre pendientes y ofrecieron todo el apoyo para que esto sea una realidad, por dedicar su tiempo y su trabajo para que yo tenga una educación, por celebrar mis triunfos y apoyarme en mis fracasos, y que por sobre los problemas siempre han sido ejemplos a seguir en varios aspectos.

Iván Sebastián Valencia Pérez

AGRADECIMIENTO

Principalmente quiero agradecer a Dios por la familia con la que me bendijo, porque todo lo que he logrado ha sido gracias a los valores y principios que me supieron inculcar mi mamá con la ayuda de mi abuelita Gladys y mi abuelito Marcelo.

A todo el apoyo incondicional de mi papá y mi abuelitos paternos.

Y mi agradecimiento especial a Javier por la ayuda en este proyecto y a Sofi por el empuje y ánimo que me da para llegar más alto cada vez.

Andrés Marcelo Pozo Arturo

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, y a muchos de sus profesores que algunas veces dejaron más que enseñanzas académicas, enseñanzas para la vida en sí y que estuvieron presentes durante todo mi periodo de formación en esta escuela.

Un agradecimiento muy especial a mis padres por el esfuerzo que dedicaron en brindarme una educación de calidad, a mis amigos por ser esa segunda mitad en la vida aparte de la responsabilidad y seriedad que significa crecer y ser adulto, y finalmente a toda mi familia que siempre estuvo pendiente de mi trabajo y mi esfuerzo.

Iván Sebastián Valencia Pérez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xix
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT	xxiii
1. CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. MARCO INSTITUCIONAL.....	1
1.1.1. MISIÓN.....	1
1.1.2. VISIÓN	1
1.1.3. POLITICA DE CALIDAD	1
1.2. ANTECEDENTES.....	1
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.5. OBJETIVOS.....	9
1.5.1. Objetivo General	9

	x
1.5.2. Objetivos Específicos.....	9
1.6. ALCANCE.....	10
2. CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	11
2.1. DEFINICIONES.....	11
2.1.1. Definición Auto Tanque.....	11
2.1.2. Dispositivos de seguridad de un auto tanque	11
2.2. TIPOS DE AUTOTANQUE.....	14
2.2.1. Remolques	14
2.2.2. Semirremolques	14
2.2.3. Secciones y Formas.....	16
2.3. HISTORIA HIDROCARBURÍFERA EN EL ECUADOR	16
2.3.1. Fases de la industria Petrolera	19
2.4. NORMAS DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSPECCIÓN Y SEGURIDAD INDSDUSTRIAL PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO	21
2.4.1. Generalidades	21
2.4.2. Definiciones	22
2.4.3. Norma NFPA 385.....	28
2.4.4. Código de Regulaciones Federales de EEUU (CFR)	37
2.4.5. Norma NTE INEN 2266	41
2.4.6. Normativas de la Dirección Nacional de Hidrocarburos.....	50
2.5. AISLAMIENTO TÉRMICO PARA AUTOTANQUES	57
2.5.1. Lana de vidrio	57
2.5.2. Prestaciones Térmicas	58
2.5.3. Reacción al fuego	59
2.5.4. Comportamiento Higrotérmico.....	59
2.5.5. Medio Ambiente	60
2.6. CALENTAMIENTO DE ASFALTO	61

2.6.1.	Fluido de Calentamiento	62
2.7.	SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE ASFALTO	64
3.	CAPITULO III: DISEÑO DEL AUTO TANQUE	66
3.1.	DEFINICIONES PREVIAS DEL AUTOTANQUE	66
3.1.1.	Diseño Concurrente	66
3.1.2.	Diseño Conceptual.....	68
3.1.3.	Definición de Módulos.....	71
3.1.4.	Alternativas de Diseño	73
3.1.5.	Análisis de Alternativas.....	78
3.1.6.	La Casa de la Calidad.....	80
3.1.7.	Cuadro de Ponderaciones	82
3.1.8.	Selección de la Mejor Alternativa	84
3.2.	DISEÑO MECÁNICO.....	85
3.2.1.	Generalidades y definiciones previas.....	85
3.2.2.	Material a Transportar (Asfalto).....	85
3.2.3.	Especificación de Material	87
3.2.4.	Especificación de Dimensiones del Auto Tanque	88
3.2.5.	Cargas	90
3.2.6.	Factor de Seguridad	100
3.2.7.	Deformación Permitida	100
3.2.8.	Corrosión Admisible.....	100
3.2.9.	Diseño del Cuerpo del Tanque	100
3.2.10.	Diseño de las cabezas del Tanque	106
3.2.11.	Diseño de espejos deflectores.....	108
3.2.12.	Diseño del chasis.....	111
3.3.	DISEÑO SOLDADURAS.....	128
3.3.1.	Material de Aporte para la Soldadura.....	129

3.3.2.	Tipo y Reparación de Juntas	130
3.3.3.	Soldadura en el Cuerpo del Tanque.....	131
3.3.4.	Soldadura en las Cabezas del Tanque	135
3.3.5.	Soldadura en Espejos Deflectores del Tanque.....	138
3.3.6.	Soldadura en el Chasis del Auto Tanque.....	141
3.3.7.	Otras Soldaduras	143
3.4.	DISEÑO TÉRMICO.....	144
3.4.1.	Generalidades y definiciones previas.....	144
3.4.2.	Dimensionamiento del Material Aislante	144
3.4.3.	Diseño del Sistema de Calentamiento	148
3.4.4.	Sistema de recirculación.....	152
3.5.	SELECCIÓN DE LA SUSPENSIÓN	154
3.6.	SELECCIÓN DE LOS EJES	156
3.7.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FRENSOS	157
3.8.	SELECCIÓN DEL SISTEMA ELECTRICO	157
3.9.	SELECCIÓN DE ACCESORIOS.....	159
3.9.1.	Válvulas.....	159
3.9.2.	Kingpin	160
3.9.3.	Barras Telescópicas.....	160
3.9.4.	Bomba de Recirculación de Asfalto.....	161
4.	CAPITULO IV: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	163
4.1.	TECNOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN	163
4.2.	OPERACIONES TECNOLÓGICAS	164
4.3.	CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	165
4.3.1.	Diagrama de Flujo de Construcción del Cuerpo	165
4.3.2.	Diagrama de Flujo de Construcción de las Cabezas	166
4.4.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	166

4.4.1.	Diagrama de flujo de construcción del sistema de calentamiento..	166
4.5.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN	167
4.6.	OPERACIONES DE MONTAJE.....	167
4.6.1.	Diagrama de flujo de montaje.....	168
4.7.	MAPA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE	168
5.	CAPITULO V: ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	170
5.1.	COSTOS DIRECTOS	170
5.1.1.	Materiales.....	170
5.1.2.	Mano de obra	171
5.2.	COSTOS INDIRECTOS.....	171
6.	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	173
6.1.	CONCLUSIONES	173
6.2.	RECOMENDACIONES.....	174
	BIBLIOGRAFÍA.....	175
	ANEXOS.....	177
	ANEXO A: FOTOGRAFÍA DE CONSTRUCCIÓN	178
	ANEXO B: PLANOS DE DETALLE	184
	ANEXO C: MANUAL DE OPERACIÓN Y SEGURIDAD	185
	ANEXO D: CATALOGO BOMBA PARA ASFALTO	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema móvil de transporte de asfalto	4
Figura 2: Almacenamiento y manipuleo del asfalto caliente	5
Figura 3: Autotanque de 10000 Galones	11
Figura 4: Dispositivos en cúpula de cisterna correspondientes a la boca de hombre, bocas de carga y pasarela de plataforma de desembarco desde la escalera de acceso	12
Figura 5: Escalera antideslizante de acceso al domo de la cisterna, provista de barandillas en la plataforma de desembarco a la pasarela .	13
Figura 6: Partes de un Autotanque	14
Figura 7: Camión cisterna como remolque	14
Figura 8: Semiremolque-cisterna soportado sobre bastidor	15
Figura 9: Semiremolque-cisterna autoportante	16
Figura 10: Secciones y formas comunes de autotanques	16
Figura 11: Diagrama de Flujo para Asfalto de Petróleo	21
Figura 12: Disposición para el diseño de los anillos de refuerzo	34
Figura 13: Definición de sección transversal para el cálculo del módulo de sección del anillo de refuerzo para Tanques (no ASME)	35
Figura 14: Asignación de Elementos de Etiquetado	46
Figura 15: Modelos de Rotulación para las unidades de transporte	47
Figura 16: Modelos de Rotulación para las unidades de transporte	47
Figura 17: Criterios de grado de peligrosidad del Diamante de Fuego	48
Figura 18: Dimensiones del rombo y de los dígitos empleados en el diamante de fuego.	49
Figura 19: Dimensiones de letras de rotulado lateral	50

Figura 20: Dimensiones de letras de rotulado lateral.....	55
Figura 21: Desarrollo de la capa límite hidrodinámica en tubo circular en flujo laminar	61
Figura 22: Equipo de trabajo multidisciplinario.....	67
Figura 23: Ciclo de vida del producto (CVP) bajo el enfoque concurrente y tradicional.....	68
Figura 24: Función Global Análisis Funcional	69
Figura 25: Análisis Funcional Nivel 0	69
Figura 26: Análisis Funcional Nivel 1	70
Figura 27: Análisis Funcional Nivel 2	70
Figura 28: División Modular	73
Figura 29: Secciones Circulares y elípticas de Tanques cilíndricos.....	78
Figura 30: Comparación de Capacidad Volumétrica de Diferentes Cabezas.....	79
Figura 31: Comparación de Presiones Máximas Soportadas por diferentes tipos de cabezas	79
Figura 32: Gráfica Temperatura vs. Conductividad Térmica Lana de Vidrio.	80
Figura 33: Gráfica Temperatura vs. Conductividad Térmica Lana de Roca .	80
Figura 34: Casa de la Calidad.....	82
Figura 35: Pesos Permitidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas	89
Figura 36: Dimensiones Generales del Auto Tanque	89
Figura 37: Esquema de Barlovento y Sotavento en Carga Frontal	90
Figura 38: Esquema de Barlovento y Sotavento en Carga Lateral	91
Figura 39: Combinación de Cargas en un Auto Tanque	96
Figura 40: Presión Hidrostática Simulada en SOFTWARE CAD/CAE.....	97

Figura 41: Cargas Sometidas al Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	105
Figura 42: Esfuerzos en el Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	105
Figura 43: Deformaciones en el Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	106
Figura 44: Factor de Seguridad en el Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	106
Figura 45: Cargas Sometidas a las Cabezas del Tanque Simulada en Software CAD/CAE.....	107
Figura 46: Esfuerzos en las Cabezas del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	107
Figura 47: Deformaciones en las Cabezas del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	108
Figura 48: Factor de Seguridad en las Cabezas del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	108
Figura 49: Cargas Sometidas a los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	109
Figura 50: Esfuerzos en los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	109
Figura 51: Deformaciones en los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	110
Figura 52: Factor de Seguridad en los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE.....	110
Figura 53: Peso del tanque con los anillos de refuerzo y los espejos deflectores modelados en Software CAD/CAE.....	112
Figura 54: Diagrama de Cuerpo Libre de una Viga del Chasis.....	113
Figura 55: Diagrama de Cuerpo Libre de una Viga del Chasis.....	114

Figura 56: Diagrama de Cuerpo Libre de una Viga del Chasis	115
Figura 57: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 1	115
Figura 58: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 5	116
Figura 59: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 1-2-3	116
Figura 60: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 2-3-4	117
Figura 61: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 3-4-5	117
Figura 62: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 1-2	118
Figura 63: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 2-3	119
Figura 64: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 3-4	120
Figura 65: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 4-5	120
Figura 66: Corte de la viga en la sección de análisis	121
Figura 67: Sección transversal de la viga	122
Figura 68: Cargas Sometidas al Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE. Vista Lateral	126
Figura 69: Cargas Sometidas al Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE	127
Figura 70: Esfuerzos en el Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE	127
Figura 71: Deformaciones en el Chasis del Auto Tanque Simulado en SOFTWARE CAD/CAE	128
Figura 72: Factor de Seguridad en el Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE	128
Figura 73: Esquemas de Tipos de Soldadura Aplicables a la Construcción del Auto Tanque	130
Figura 74: Transferencia de Calor en el Auto Tanque	145
Figura 75: Circuito Térmico del Auto Tanque	145
Figura 76: Tubería de Aceite Térmico	149

Figura 77: Tabla de coeficientes de expansión térmica	150
Figura 78: Sistema de suspensión mecánica de tres ejes	154
Figura 79: Suspensión REYCO Modelo 21 B CAST.....	155
Figura 80: Especificaciones de cómo ordenar el tipo de suspensión.....	156
Figura 81: Esquina del eje	156
Figura 82: Esquina del sistema de frenos.....	157
Figura 83: Ubicación de los accesorios de señalización.....	158
Figura 84: Diagrama del conector de accesorios eléctricos.....	159
Figura 85: Diagrama de cableado de conexión de accesorios eléctricos ...	159
Figura 86: Kingpin.....	160
Figura 87: Barras Telescópicas	161
Figura 88: Gráfico de Caudales y Presiones de Trabajo GIORDANO MODELO N.P. 12	161
Figura 89: Diagrama de Flujo para la Construcción del Cuerpo del Taque	165
Figura 90: Diagrama de Flujo para la Construcción de las Cabezas del Taque	166
Figura 91: Diagrama de Flujo para la Construcción del Sistema de Calentamiento.....	166
Figura 92: Diagrama de Flujo para la Construcción del Sistema de Recirculación	167
Figura 93: Diagrama de Flujo de Montaje.....	168
Figura 94: Mapa de procesos de construcción y ensamblaje	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Temperaturas recomendadas para almacenaje y entrega.....	6
Tabla 2 Temperaturas máximas seguras recomendadas para almacenaje y entrega.....	7
Tabla 3 Temperaturas máximas seguras recomendadas para almacenaje y entrega.....	22
Tabla 4 Propiedades de Acero.....	30
Tabla 5 Espesor mínimo de cabezas, mamparas, espejos en Calibre (Acero) y Decimas de pulgada (Aluminio).....	30
Tabla 6 Espesor mínimo del cuerpo en Calibre (Acero) y Decimas de pulgada (Aluminio).....	31
Tabla 7 Sección del cuerpo acreditado para el cálculo del módulo se sección de los anillos de refuerzo.....	35
Tabla 8 Espesor mínimo de cabezas, mamparas, espejos en decimas de pulgada (Aluminio).....	38
Tabla 9 Espesor mínimo de cuerpo del auto-tanque en decimas de pulgada (Aluminio).....	38
Tabla 10 Rótulos que deben colocarse cuando se transportan cantidades de materiales peligrosos en pesos mayores a 454 Kg	44
Tabla 11 Colores para las Etiquetas y Rótulos de Peligro	45
Tabla 12 Criterios de Peligrosidad	48
Tabla 13 Criterios de peligrosidad para un auto tanque de asfalto	49
Tabla 14 Tipo de Vehículos para Transporte de Líquidos Inflamables	51
Tabla 15 Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones para Vehículos de Transporte de Carga.....	52
Tabla 16 Volúmenes máximos permitidos en Tanqueros para el Transporte de Líquidos Inflamables y Gases.....	52

Tabla 17 Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones para Vehículos de Transporte de Carga.....	53
Tabla 18 Temperaturas máximas de Carga de Líquidos Inflamables Clasificado por Regiones	54
Tabla 19 Colores para las Etiquetas y Rótulos de Peligro	64
Tabla 20 Cuadro de Ponderaciones para la Sección del Tanque	83
Tabla 21 Cuadro de Ponderaciones para las Cabezas del Tanque.....	84
Tabla 22 Cuadro de Ponderaciones para el Aislante Térmico	84
Tabla 23 Datos generales del Asfalto AC–20	86
Tabla 24 Identificación Asfalto AC–20	86
Tabla 25 Propiedades físicas - Químicas Asfalto AC–20.....	86
Tabla 26 Propiedades Acero ASTM A36	87
Tabla 27 Especificaciones de material para los diferentes componentes de Auto Tanque	88
Tabla 28 <i>Clasificación de Edificios y otras Estructuras para Cargas de Viento</i>	92
Tabla 29 <i>Clasificación de Edificios y otras Estructuras para Cargas de Viento</i>	103
Tabla 30 <i>Eficiencia de la Junta</i>	104
Tabla 31 <i>Factores de Acabado Superficial</i>	132
Tabla 32 <i>Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en el Cuerpo</i>	133
Tabla 33 <i>Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en las Cabezas</i> ..	136
Tabla 34 <i>Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en los Espejos Deflectores</i>	139
Tabla 35 <i>Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en el Chasis</i>	142
Tabla 36 <i>Transmisión de Calor de las Líneas de Traceado a la Línea de Productos</i>	149

Tabla 37 <i>Referencia de requerimientos eléctricos</i>	158
Tabla 38 <i>Máquinas y Equipos Utilizados en la Construcción</i>	163
Tabla 39 <i>Herramientas y Accesorios Auxiliares</i>	164
Tabla 40 <i>Operaciones Tecnológicas</i>	164
Tabla 41 <i>Simbología del diagrama de Flujo</i>	165
Tabla 42 <i>Operaciones de Montaje</i>	167

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto el diseño de un auto tanque sobre un chasis acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de asfalto o bunker con una capacidad volumétrica de 10.000 galones y sistema de recirculación. Para comenzar se procede a definir los fundamentos teóricos que intervendrán tanto en el funcionamiento como en la construcción del proyecto. Una vez encontrada la necesidad por parte de la empresa Industria Acero de los Andes, se realiza un estudio profundo de las normas actuales a nivel nacional e internacional relacionadas con el diseño y la construcción de tanques de transporte de combustibles y sustancias inflamables, enfocándose principalmente en los tanques de transporte de asfalto. Posterior a la revisión de normas se proceden a definir aspectos técnicos adicionales a los antes definidos para completar todos los sistemas que intervendrán en el funcionamiento del auto tanque. Al estar todos los sistemas definidos se procede al diseño de los mismos, enfocándose en: Especificaciones de auto tanques, Diseño Mecánico, Soldadura y Diseño Térmico. Para esto se utilizan tanto fuentes bibliográficas como software especializado para diseño y simulación. Ya realizados los diseños, comenzamos con el estudio y selección de alternativas que satisfagan las necesidades para el propósito actual, tomando en cuenta tanto el aspecto técnico como económico para la selección de la mejor alternativa. Teniendo todo eso se procede a determinar y especificar las tecnologías de manufactura que se van a aplicar en la construcción del auto tanque, enfocándonos a diagramas de flujo de construcción divididos para cada uno de los sistemas finalizando con un mapa de procesos de construcción y ensamblaje general para el proyecto en general. Por último, se realiza el análisis económico donde se toman en cuenta tanto los costos directos como los costos indirectos que intervienen en el diseño y construcción del auto tanque de las características antes mencionadas. Al final de este trabajo se podrá observar los planos de construcción, manual de operación y las fotografías del proceso de construcción que sustenten todo el trabajo realizado.

Palabras Clave:

- Autotanque
- Asfalto
- Transportación
- Recirculación
- Combustibles

ABSTRACT

The present work has as an objective to design a tank vehicle with a 10.000 gallons of storage capacity and recirculation system. As soon as the company Industria Acero de los Andes found the necessity, a deep study on national and international norms related to the design and construction of tank vehicles for combustible and flammable substances was made, focusing specifically on asphalt transportation tank vehicles. Subsequent to the norms review, we proceed to further define supplementary technical aspects in addition to the above defined to complete all the systems that will take part in the tank vehicle operation. With all the systems defined we proceed to design them, focusing on: Tank vehicle's specifications, Mechanical Design, Welding, and Thermal Design. For this process bibliographical sources and specialized design and simulation software were used. With the finalized designs, we begin the study and selection of alternatives which satisfy the necessities for the project goal, considering both technical and economic aspects in order to select the best alternative. With this we proceed to determine and specify the manufacturing technologies that will be applied to the tank vehicle construction, focusing on the use of construction flowcharts with a section for each system, with the end result being a general construction and assembly process map. Lastly, the economic analysis is made, where we consider both direct costs and indirect costs that are a part of the design and construction of the above defined specifications tank vehicle. At the end of this project, construction plans, an operation manual and construction process photographs will be shown to demonstrate the work that has been done.

Key Words:

- Tank Vehicle
- Asphalt
- Transportation
- Recirculation
- Fuels

1. CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. MARCO INSTITUCIONAL

INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A.

1.1.1. MISIÓN

Nos especializamos en el diseño fabricación y desarrollo de soluciones integrales para procesos industriales de contenido metalmecánico.

1.1.2. VISIÓN

Ser reconocida como una empresa de ingeniería confiable, que aporta con valor agregado a los sectores industrial, energético e infraestructura civil.

1.1.3. POLITICA DE CALIDAD

Acero de los Andes diseña, fabrica y suministra bienes de capital y ejecuta proyectos de contenido metalmecánico para los sectores energético e industrial, agrega valor y mantiene un sistema de gestión integrado basado en las normas ISO 9001, ISO 14001 y OSHAS 18001; está comprometida con la satisfacción de las necesidades de sus clientes internos y externos, mejora continuamente sus procesos para prevenir, minimizar o eliminar los riesgos laborales y la contaminación ambiental.

1.2. ANTECEDENTES

Industria acero de los Andes (IAA) es una empresa Ecuatoriana que ha estado presente en el desarrollo de la industria metalmecánica del país y Latinoamérica desde 1974.

Especializada en el diseño, fabricación y suministro de Bienes de Capital y proyectos de contenido metalmecánico para los sectores energético, industrial y de infraestructura.

“La empresa cuenta con las más avanzadas tecnologías que puedan satisfacer las especificaciones técnicas y requerimientos particulares de cada cliente.” (Acero de los Andes, 2015, Folleto Informativo)

I.A.A. mantiene convenios y licencias con empresas internacionales especializadas en distintas actividades industriales, para la obtención de asistencia técnica y transferencia tecnológica orientada a la ejecución de proyectos complejos.

El Departamento de Ingeniería utiliza entre otras Normas y estándares internacionales: API, ASME, AWWA, ASTM, ANSI, UL, y las normas ecuatorianas determinadas por el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización).

“IAA cuenta con un staff de ejecutivos, ingenieros, técnicos, diseñadores, supervisores, soldadores y obreros altamente calificados y entrenados en cada una de sus especialidades, para el desarrollo de sus proyectos integrales.” (Acero de los Andes, 2015, Folleto Informativo)

La Planta Industrial dispone de 4.000 m² de área de prefabricación, ensamblaje y soldadura y 10.000 m² de bodegas y patios de manipuleo.

Entre los principales equipos y maquinaria que dispone para la fabricación de sus equipos se encuentran:

- Equipos de soldadura bajo procesos MIG, TIG, SAW, SMAW, FCAW.
- Equipos para conformado mecánico (prensado, rolado, rebordeado, plegado y doblado).
- 2 Cabinas de granallado y 1 cabina de pintura climatizada y presurizada, que permite proteger adecuadamente las superficies de los equipos.
- Mesa de oxicorte automática de 12 mts de longitud. Pantógrafo óptico para corte de piezas especiales.
- Equipo de corte por plasma.

- Nave Industrial principal de L180 x A20 x A8.
- La Nueva Nave auxiliar ha sido diseñada para trabajos de precisión (spooling, paquetizados y estructuras livianas) con iluminación superior a 500 lux.
- 3 puentes grúa de 10, 15 y 25 TON y semipórticos de 5 y 10 TON, grúa telescópica de 20 TON y montacargas de 7 TON.

En los últimos años la construcción de carreteras y caminos se ha vuelto un referente en las acciones del gobierno para mejorar la calidad de vida de los pueblos, para mejorar la movilización y para crear más y mejores vías de comercio. Los tiempos de ejecución de estas obras se han visto beneficiados con la implementación de nuevas tecnologías que permiten un trabajo conjunto preciso y que cada vez requiere menos intervención directa de la mano de obra humana.

Para la ejecución de este tipo de obras la transportación de un material tan importante como es el asfalto se vuelve un factor crucial en los trabajos de construcción de carreteras y otros trabajos, el asfalto al ser un material con una viscosidad alta, se deben aplicar procesos para llegar a un punto de ablandamiento y mantener el material en este punto, para que mantenga una viscosidad adecuada, y se pueda trabajar al momento de la aplicación. Para esto dentro de la industria de la construcción se han venido utilizando sistemas móviles de transporte de asfalto como se observa en la figura 1, que permiten el traslado de este material.

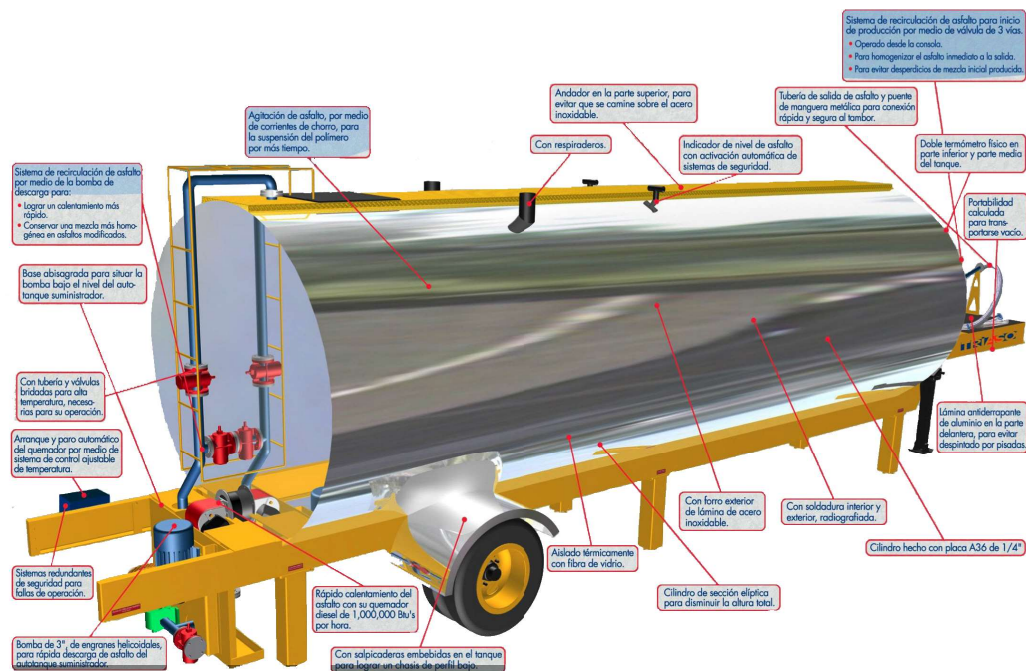


Figura 1: Sistema móvil de transporte de asfalto

Fuente: (TRIASO S.A. de C.V., 2014)

- Brevemente, este tipo de sistema cuentan con elementos tales como:
- Tanque atmosférico
- Caldera para aceite térmico
- Sistema de bombeo de aceite térmico
- Sistema de bombeo de asfalto
- Sistema de calentamiento interno con serpentín
- Chasis o bastidor

Este sistema utilizado tradicionalmente ha permitido el adecuado transporte y manejo del asfalto en las diferentes obras en las que se requiere dicho material.

El cemento asfáltico es definido por el instituto de petróleo como:

“Un líquido viscoso, o un sólido, que esencialmente consiste de hidrocarburos y sus derivados, el cual es soluble en tricloroetileno, es

sustancialmente no volátil y se ablanda cuando es calentado. Es de color negro o café, posee impermeabilidad y propiedades adhesivas.”

El asfalto es un material que requiere un tratamiento especial y los sistemas de transporte están diseñados para cumplir con las condiciones que este requiere para un adecuado uso, en la figura 2 se puede apreciar los límites temperaturas ideales para el transporte y almacenamiento de los diferentes tipos de asfalto.

	Límites de Temperaturas Recomendadas °C			
	Grado	Almacenamiento Prolongado	Tanques de Despacho	Máximas Condiciones de Operatividad
<p>Costras o formación de pieles en tanques de asfalto es causado por el sobre calentamiento en una atmósfera oxidante. Esto puede ser minimizado reduciendo la temperatura de almacenamiento o evitando picos temporales de temperatura causado por controles deficientes de la temperatura. El asfalto no debe ser almacenado a granel a altas temperaturas. Si la temperatura de aplicación está por encima de los 160°C, se deberá utilizar un pequeño tanque calentador para llegar a esa temperatura y la temperatura en el tanque de estar 50°C por encima del punto de ablandamiento del asfalto en cuestión. Gas inerte como el nitrógeno o el dióxido de carbono puede ser utilizado para reducir la formación de "pieles" en la superficie del asfalto. Este tipo de proceso puede llegar a ser honoroso.</p> <p>Otros procesos a utilizarse pueden ser:</p> <p>Este seguro que alguna línea de retorno en el sistema circulatorio entre al tanque por debajo del nivel de la superficie del asfalto y reducir la exposición del asfalto al contacto con el oxígeno del aire</p> <p>Usar tanques verticales para reducir la superficie de contacto con el oxígeno del aire</p> <p>Si alguna piel se forma en la superficie de contacto del asfalto con el aire, mezclar ligeramente para que esa proporción de residuos carbonosos mezclados vuelvan a mezclarse con la masa original del asfalto</p> <p>Evitar inhalar los vapores de asfalto, particularmente cuando se retiran muestras de la parte superior del tanque</p>	Asfalto de penetración			
	penetración > 200	105	155	190
	100-200	115	165	200
	40-100	125	175	200
	penetración <40	140	190	220
	Asfalto Oxidados			
	Punto Ab. <80	150	175	200
	Punto Ab. 80-90	160	190	
	Punto Ab. 90-100	175	200	
	Punto Ab. >100	200		

Figura 2: Almacenamiento y manipuleo del asfalto caliente

Fuente: (Manual de Asfalto, 1982)

La mayoría de los cementos de asfalto requieren calentamiento para un eficiente bombeo y manejo del producto (Figura 2). La degradación del producto puede llevarse a cabo si no se tiene el debido cuidado así como también pueden ocurrir explosiones peligrosas que son creadas si las temperaturas se elevan más de lo necesario.

La carga de los productos asfálticos a temperaturas mayores a mayores a las indicadas en la figura 2 da como resultado un incremento en

los costos de calentamiento y puede requerir gasto de capital adicional para aumentar la capacidad de los equipos de calentamiento.

De acuerdo con esto las máximas temperaturas a las que se puede mantener los productos de asfalto en un rango seguro se dan en la siguiente tabla:

Tabla 1

Temperaturas recomendadas para almacenaje y entrega

GRADO	Max Temperatura para almacenaje prolongado (Una Semana o mas) °C	Max Temperatura para cortos periodos Almacenaje y entrega °C
Grados de Penetración:		
200 a 400 de penetración	105	155
100 a 200 de penetración	115	165
50 a 100 de penetración	125	175
Mas duro que 50 de penetración	140	190
Completamente Soplados y Grados duros:		
Punto de Ablandamiento arriba de 80°C	150	175
Punto de Ablandamiento arriba de 90°C	160	190
Punto de Ablandamiento arriba de 100°C	170	200
Punto de Ablandamiento sobre 100° C	200	200
Recortes:		
RCO, RC30	Ambiente	50
RC1, RC70		45 70
RC2, RC250		60 90
RC3, RC800		75 110
RC4		85 115
RC5, RC3•000		100 120
MCO, MC30	Ambiente	60
MC1, MC70	45	85
MC2, MC250	60	110
MC3, MC800	75	125
MC4	85	140
MC5, MC3•000	100	155
50/100 seconds	85	120
150/200 and 200/300 seconds	95	130
300/400 and 500/700 seconds	105	140
S125	110	145

Fuente: (Manual de Asfalto, 1982)

Si las temperaturas de entrega de producto superan las temperaturas máximas seguras de almacenamiento, se requerirá por razones de eficiencia en el manejo de estos productos o para su comercialización, que dichas temperaturas deben ser alcanzadas calentando el producto cuando este deje el tanque de almacenamiento por medio de calentadores en la succión. La temperatura máxima segura de 200°C podría mantenerse para poder realizar el despacho.

Tabla 2

Temperaturas máximas seguras recomendadas para almacenaje y entrega.

Grado y Rango	Tanques de Almacenamiento	Tanques de Procesos	
	No Estático	Estático Cubierto	No Estático
Penetración y Grados de Dureza			
Mayor que 200 de penetración	190)	190)	N/A
Mayor que 200 de penetración	200)	200)	N/A
100 a 200 de Penetración	200)	200)	N/A
40 a 100 de penetración	200)	200)	N/A
Menor que 40 de Penetración	200)	200)	N/A
Grados Oxidados R			
Punto de Ablandamiento abajo de 80°C	230)	200	230
Punto de Ablandamiento de 80 a 90°C	230)	200	230
Punto de Ablandamiento de 90 a 100°C	230)	200	230
Punto de Ablandamiento arriba de 100°C	230)	200	230
Grados de Recorte			
RCO, RC30	80		
RC1, RC70	90		
RC2, RC250	110		
RC3, RC800	115		
RC4	115		
RC5, RC3 000	120		
MCO, MC30	80		
MC1, MC70	90		
MC2, MC250	110		
MC3, MC800	130		
MC4	140		
MCS, MC3 000	155		
50/100 segundos	130		
150/200, 200/300 seg.	135		
300/400, 500/700 seg.	140		
S 125	145		

Fuente: (Manual de Asfalto, 1982)

Se va a diseñar un auto tanque de asfalto con un sistema de recirculación que permita mantener el asfalto a una temperatura adecuada, se comenzará definiendo los parámetros de diseño y posteriormente a eso se seleccionará las mejores opciones, después se generarán los planos y demás

entregables para facilitar la construcción del auto tanque y sus componentes tales como accesorios, accesos e instrumentación respectiva.

Por último se procederá a la construcción del auto tanque en las instalaciones de Acero de los Andes, el proyecto terminará con la entrega del auto tanque.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido al creciente aumento del parque automotor del país y el mundo, la construcción de vías se ha vuelto un problema fundamental, la rapidez y eficiencia con la que se construyan estas se vuelven cruciales por el hecho de que la circulación vehicular no se puede detener por mucho tiempo debido a que esto genera pérdidas de tiempo y dinero para las personas y las empresas.

La construcción de carreteras requiere un conjunto de sistemas para cada uno de los procedimientos que se realizan, cada uno de estos sistemas tienen que actuar lo más rápido posible para que los trabajos tarden lo menos posible y poder habilitar las vías lo más rápido posible.

El asfalto es uno de los materiales base para la construcción de carreteras y su transportación y disponibilidad inmediata es un factor clave para permitir una rápida ejecución de los trabajos.

Actualmente los sistemas de almacenamiento de asfalto generan problemas, por el enfriamiento del mismo dentro de las tuberías donde el asfalto inevitablemente se enfría al estar fuera del sistema de calentamiento interno, lo que genera un atascamiento inicial del tanque almacenador que tiene que ser solucionado por una fuente externa de calor que permita que el asfalto atascado se caliente y pueda seguir circulando.

En la actualidad Industria Acero de los Andes no fabrica este tipo de auto tanques para el almacenamiento y transporte de líquidos inflamables como el asfalto.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Industria Acero de los Andes (IAA) es una empresa líder en diseño, fabricación y suministros de productos y proyectos de contenido metalmeccánico para los sectores energético, industrial y de infraestructura, que tiene como objetivo lograr la competitividad en el mercado, la satisfacción del cliente y contribuir con el cambio de matriz productiva del país.

Conscientes de lo anteriormente descrito, Industria Acero de los Andes busca generar una nueva línea de producción en serie de productos metalmeccánicos con la fabricación de auto tanques para el transporte de asfalto.

La necesidad de obtener una alta eficiencia de calentamiento del asfalto durante su transportación, ha llevado a implementar un sistema innovador de recirculación, que también ayudará al proceso de carga y descarga de asfalto. Debido a estas necesidades del mercado son razones por la cual se ha planteado este proyecto.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Realizar el diseño y construcción de un Auto Tanque para Asfalto de 10000 galones con Sistema de Recirculación para Industria Acero de los Andes S.A.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Definir los parámetros de diseño para un auto tanque de asfalto
- Desarrollar el diseño estructural y mecánico del auto tanque de asfalto
- Cumplir con la norma de construcción de auto-tanques para transporte de líquidos inflamables NFPA 385.

1.6. ALCANCE

La realización de este proyecto investigativo inicia con la definición del problema y la investigación de los fundamentos teóricos; como son las normas de construcción y los diferentes tipos de sistemas que componen el auto tanque, que servirán como base para el posterior diseño de cada uno de dichos sistema. Una vez concluido esta fase de diseño se realizaran los planos de detalle para su construcción e inspección en la planta industrial de IAA.

A fin de cumplir con el objetivo planteado en el presente proyecto las personas encargadas del mismo entregarán a la empresa Industria Acero de los Andes los siguientes ítems:

- Auto tanque de asfalto de 10000 galones con sistema de recirculación.
- Soporte estructural del tanque de almacenamiento.
- Planos mecánicos de detalle. (Sólo empresa)
- Planos generales de componentes
- Manual de operación.

2. CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. DEFINICIONES

2.1.1. Definición Auto Tanque

“Un auto tanque es un depósito especial dedicado al transporte de líquidos, normalmente tienen una sección cilíndrico o elipsoidal, con casquetes o fondos abombados en sus extremos, provisto de válvulas, conducciones y dispositivos de carga y descarga. Estas cisternas, como elemento portante, situada en la zona posterior de una cabeza tractora, unidas de forma fija (rígida), constituye un camión cisterna o auto tanque” (NTP 356, 1999, pg. 2). Un auto tanque común se muestra en la figura 3.

Los productos se transportan en estado líquido ya que los fluidos tienen un menor volumen en estado líquido que en gaseoso, pudiendo transportar una mayor cantidad de este.

Los productos que más se transportan son: agua, gasolina, queroseno, GLP, entre otros productos químicos.



Figura 3: Autotanque de 10000 Galones

Fuente: (H.O. Bouchard Transportation, Sin año)

2.1.2. Dispositivos de seguridad de un auto tanque

Aparte de las válvulas y elementos propios de llenado y vaciado, las cisternas suelen ir provistas de otros dispositivos cuya misión es conferir seguridad intrínseca a las operaciones de carga y descarga. Los más importantes son:

2.1.2.1. Plataformas superiores

Es un pasillo metálico formado por un entramado largo de la parte superior del auto tanque y cuya funcionalidad reside en el tránsito y operatividad precisa para efectuar con seguridad las maniobras de apertura y cierre de bocas de carga, controles e inspección del interior de los compartimientos, en la figura 4 se muestra la disposición de los componentes de esta plataforma.

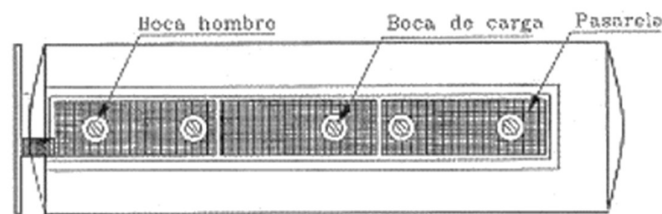


Figura 4: Dispositivos en cúpula de cisterna correspondientes a la boca de hombre, bocas de carga y pasarela de plataforma de desembarco desde la escalera de acceso

Fuente: (NTP 356: Condiciones de Seguridad en la carga y Descarga de Camiones Cisterna: Líquidos Inflamables (I), 1999)

“Su disposición relativa es la de un pasillo central de anchura constante a lo largo de la generatriz superior del auto tanque, de longitud comprendida entre el último peldaño de la escalera o desde la plataforma de desembarque hasta un mínimo de 40 cm aproximadamente, sobrepasada la última boca de carga.” (NTP 356, 1999, p. 5)

Todos estos elementos están formados por trama antideslizante.

2.1.2.2. Escaleras de acceso

La escalera antideslizante de acceso al domo del auto tanque está provista de barandillas en la plataforma de desembarco a la pasarela.

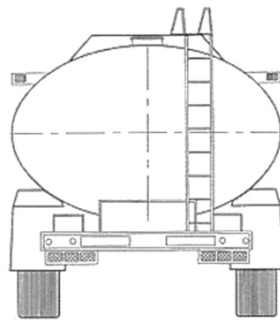


Figura 5: Escalera antideslizante de acceso al domo de la cisterna, provista de barandillas en la plataforma de desembarco a la pasarela

Fuente: (NTP 356: Condiciones de Seguridad en la carga y Descarga de Camiones Cisterna: Líquidos Inflamables (I), 1999)

“La altura del primer peldaño desde el suelo debe ser de máximo 50 cm, a vehículo vacío y en orden de marcha, y el nivel del último peldaño debe coincidir con el de la plataforma superior de desembarque.” (NTP 356, 1999, p. 7)

“La separación mínima de cualquier punto de la escalera al auto tanque no debería ser menor a 16 cm. La pletina antideslizante soldada a cada peldaño debe tener un ancho mínimo de 6 cm.” (NTP 356, 1999, p. 7)

“Para facilitar el acceso a la plataforma es recomendable que las barandillas laterales de la escalera se eleven un mínimo de 50 cm sobre aquella. Ningún elemento de la escalera debe obstaculizar la introducción o retirada de las mangueras en los porta-mangueras laterales correspondientes.” (NTP 356, 1999, p. 7)

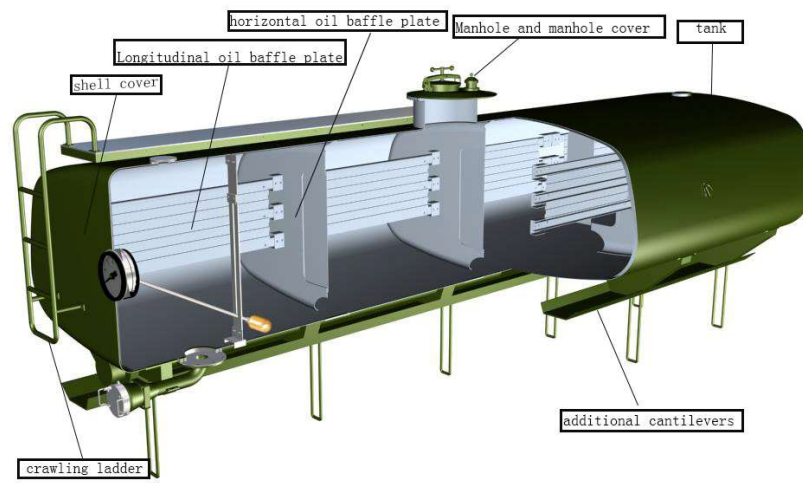


Figura 6: Partes de un Autotanque

Fuente: (Chinatruck CLW Group, sin año)

2.2. TIPOS DE AUTOTANQUE

2.2.1. Remolques

Son elementos de transporte integrados por una cisterna sobre un bastidor soportado por ejes de ruedas delantero y trasero, unido a una parte tractora o auto tanque por un enganche reglamentario, pudiendo ambas partes quedar separadas. En la figura 7 se observa un diagrama de un remolque.

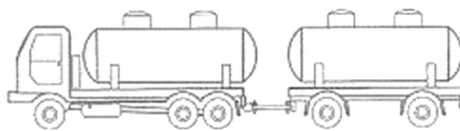


Figura 7: Camión cisterna como remolque

Fuente: (NTP 356: Condiciones de Seguridad en la carga y Descarga de Camiones Cisterna: Líquidos Inflamables (I), 1999)

2.2.2. Semirremolques

“Al igual que los remolques, no pueden moverse por sí mismos, precisando de un elemento motriz. Carecen de ejes de rueda delanteros, materializándose la unión a la parte tractora a través de una articulación

especial donde queda fijado el pivote de sujeción (pivote real) de 2 pulgadas de diámetro del que va provisto todo semirremolque. A la parte de esta unión que va fija al tractor se le denomina la quinta rueda y se localiza a unos 300 mm por delante del último eje del tractor.” (NTP 356, 1999, p. 2)

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

“Con independencia del sistema de tracción, los semirremolques pueden ser: con chasis (ver figura 8), en los que la cisterna va apoyada en toda su longitud sobre un bastidor y auto portantes (ver figura 9), sin bastidor, estando la propia cisterna calculada para resistir mecánicamente apoyada, por un lado en una placa giratoria y por otro, en los ejes traseros por medio del carretón trasero, falso bastidor auxiliar en la zona trasera. Tiene la gran ventaja de su reducido peso muerto y la de permitir la libre dilatación con productos a temperaturas distintas a la atmosférica. Mecánicamente trabaja como una viga simplemente apoyada en sus extremos. Son casi cilíndricas con fondos o casquetes semiesféricos.” (NTP 356, 1999, p. 2)

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

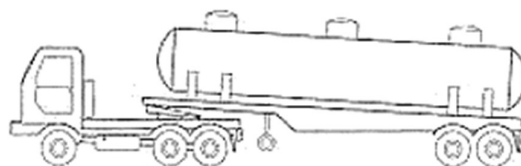


Figura 8: Semirremolque-cisterna soportado sobre bastidor

Fuente: (NTP 356: Condiciones de Seguridad en la carga y Descarga de Camiones

Cisterna: Líquidos Inflamables (I), 1999)

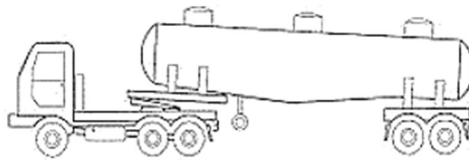


Figura 9: Semiremolque-cisterna autoportante

Fuente: (NTP 356: Condiciones de Seguridad en la carga y Descarga de Camiones
Cisterna: Líquidos Inflamables (I), 1999)

2.2.3. Secciones y Formas

Los auto tanques dependiendo de su función y diseño pueden tener diferentes secciones y formas que le dan a cada uno de estos una aplicación diferente. En la figura 10 se pueden observar las secciones más comunes utilizadas para auto tanques.

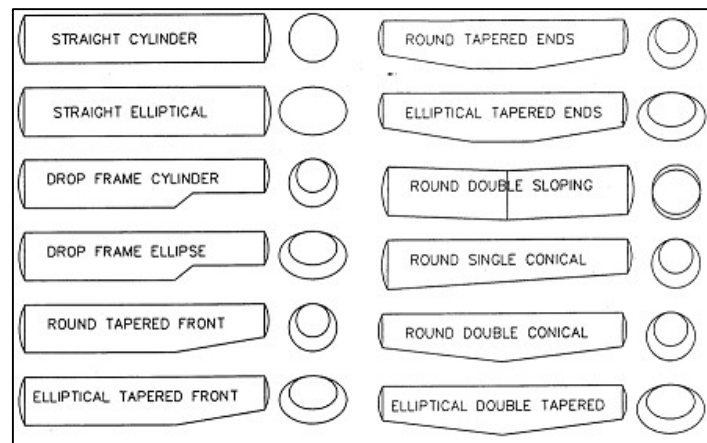


Figura 10: Secciones y formas comunes de autotanques

Fuente: (Guidelines for structural evaluation of cargo tanks, 1996)

2.3. HISTORIA HIDROCARBURÍFERA EN EL ECUADOR

La historiadora Jenny Estrada, en su libro "Ancón", señala que el petróleo se conocía desde antes de la llegada de los españoles a las costas de la península de Santa Elena. Los nativos lo llamaban copey o copé, luego se explotó esos yacimientos y la producción se exportaba al Perú, para la fabricación de brea.

Desde 1927, se produjo un incremento sustancial de la producción petrolera de la compañía Anglo en esa región, de 3000 barriles diarios de promedio anual, continuó incrementándose consistentemente hasta 1955 cuando alcanzó su máximo nivel con cerca de 10 000 barriles por día de promedio anual.

La historia petrolera del Ecuador se resume en varios acontecimientos importantes:

En 1878, se otorga la primera concesión, a favor del ciudadano colombiano M.G. Mier, para que pueda extraer de los terrenos comprendidos en la jurisdicción de la parroquia Santa Elena toda especie de sustancias bituminosas que en ellos se encuentren, tales como petróleo, brea y kerosene.

En 1886, el Congreso de la República expide el Primer Código de Minería del Ecuador, que declara la propiedad estatal sobre minas, pero que reconoce el dominio particular sobre la superficie del terreno que las cubra.

En 1911, se perforó el primer pozo petrolero en la Península de Santa Elena, denominado Ancón 1, con resultados positivos. Desde esa fecha se inició la explotación de petróleo en el Ecuador.

En 1940 se construyó la refinería La Libertad (todavía funcional) con dos plantas de destilación primaria para procesar mil barriles por día de crudo

En 1933, se crea la Dirección General de Minas y Petróleos, adscrita al Ministerio de Obras Públicas, y se nombra a su primer director, justamente a quien fuera gerente vitalicio de la Anglo, Enrique Coloma Silva.

En 1964, la Junta Militar de Gobierno otorgó al Consorcio Texaco-Gulf, por el lapso de 40 años, prorrogables por 10 más, una concesión de 1'431.459 hectáreas, en la región amazónica.

El 23 de junio de 1972 se creó la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana CEPE y la primera exportación fue de 308.238 barriles a USD. 2,34 el barril.

Estas actividades se caracterizaron por concesiones a varias compañías extranjeras sin beneficio para el Estado ecuatoriano.

En 1989 se creó PETROECUADOR que reemplazó a CEPE y se conformó un Holding, es decir, una matriz y seis filiales: tres permanentes:

- PETROPRODUCCION
- PETROINDUSTRIAL
- PETROCOMERCIAL

Y, tres temporales:

- PETROPENINSULA
- PETROAMAZONAS
- PETROTRANSPORTE.

En 1992, Petroecuador obtuvo las acciones y derechos de la compañía Texaco que, terminó sus operaciones el 6 de junio de 1992.

En 1993, Petroproducción descubrió un nuevo eje estructural de yacimientos en el centro-sur de la región amazónica conocido como proyecto ITT (Ishpingo, Tiputini y Tambococha).

En 1999 se ordena a PETROECUADOR firmar el acta de entrega – recepción provisional de la ampliación de Refinería Esmeraldas a 110 mil barriles.

En octubre de 2002 se inaugura la gasolinera más grande del país, en la ciudad de Quito, de propiedad de Petrocomercial. También se inauguran obras de ampliación en la refinería de La Libertad.

A inicios del 2007 el gobierno anuncia la construcción de una nueva refinería en la provincia de Manabí con una capacidad de refinación de 300.000 barriles diarios. En este año también se inicia el intercambio de crudo por derivados con Venezuela.

2.3.1. Fases de la industria Petrolera

La secuencia de procesos para la producción de petróleo se conoce generalmente como cadena de valor y comprende una serie de pasos necesarios para agregar valor a una materia prima.

- Upstream: exploración y producción

La exploración es una de las actividades más importantes en la búsqueda de petróleo y consiste en la localización de las capas de rocas sedimentarias en el subsuelo, con la ayuda de métodos geológicos y geofísicos. Se perfora el suelo para recolectar muestras de terreno y estudiar estratos; con esos datos se realiza una carta geológica, con la que se define la posibilidad de existencia de petróleo.

Luego se procede a la exploración sísmica, que consiste en producir temblores artificiales en el subsuelo, mediante la colocación de cargas explosivas en tierra a poca profundidad o un cañoneo con aire comprimido en el mar. Con los resultados, se define la posibilidad de existencia de petróleo.

La producción es la extracción de petróleo y gas del subsuelo. El petróleo se extrae mediante la perforación de un pozo sobre el yacimiento. Si la presión de los fluidos es suficiente, forzarán la salida natural del petróleo a través del pozo que se conecta mediante una red de oleoductos para llevarlo a un sitio donde es sometido a tratamiento primario, para deshidratarlo y estabilizarlo, eliminando los compuestos más volátiles. Posteriormente se transporta a refinerías o plantas de mejoramiento. Durante la vida del yacimiento, la presión descenderá y será necesario usar otras técnicas para la extracción del petróleo. Esas técnicas incluyen el uso de bombas, la inyección de agua o de gas, entre otras.

- Midstream: transporte y almacenamiento de crudo y sus derivados

Esta parte del proceso está conformada por los sistemas de oleoductos, tanques y poliductos, que sirven para el transporte y el almacenamiento de

crudo y derivados desde el lugar de producción hasta otro de consumo (exportación o industrialización).

- Downstream: refinación y comercialización

La refinación es la fase en la que el crudo es transformado en diversos tipos de combustible, para darle valor agregado y satisfacer las necesidades energéticas del país y la exportación. La refinación del petróleo es un proceso que incluye el fraccionamiento y las transformaciones químicas del crudo para producir derivados comercializables. La estructura de cada refinería debe tener en cuenta todas las diferentes características del crudo. Además, una refinería debe estar concebida para tratar una gama bastante amplia de crudos. Sin embargo, existen refinerías concebidas para tratar solamente un único tipo de crudo, pero son casos particulares en los que las reservas estimadas de dicho crudo son consecuentes.

La comercialización es el proceso de venta del petróleo crudo en los mercados internacionales y de combustibles, en el interno. El concepto de industria integrada se refleja en la estructura de la petrolera estatal, que abarca casi todas las fases y puede atender las necesidades de combustibles del mercado interno con la agregación de un máximo valor al petróleo que se extrae.

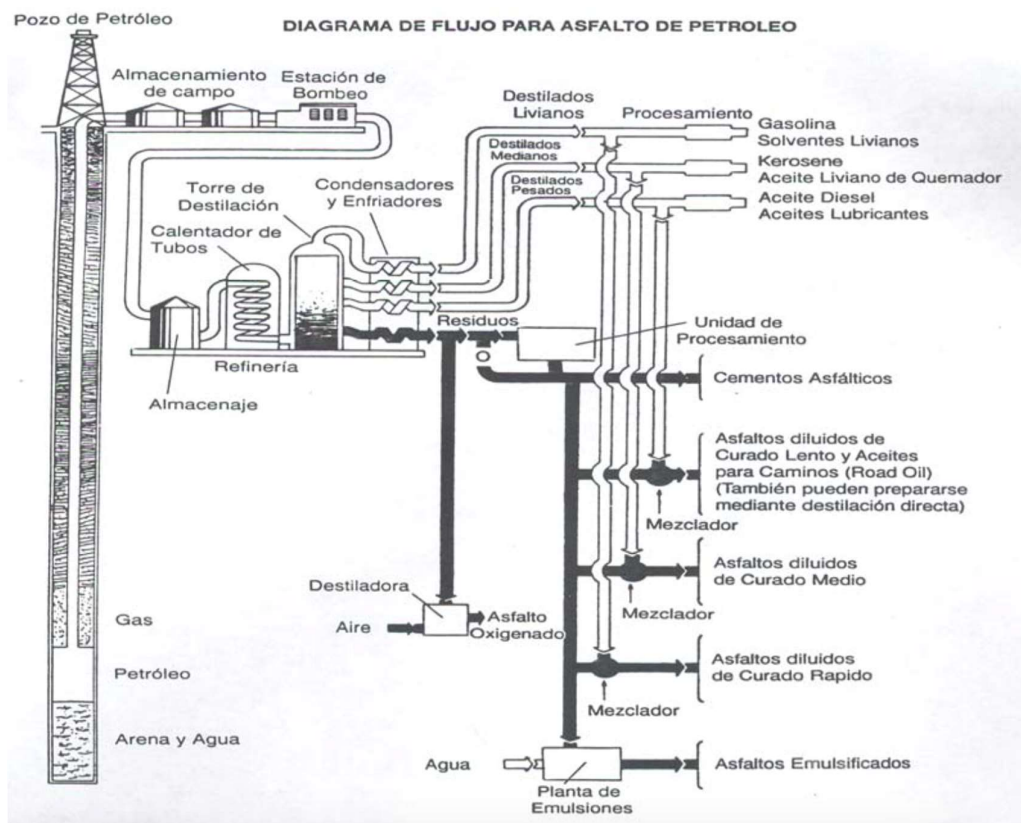


Figura 11: Diagrama de Flujo para Asfalto de Petr6leo

Fuente: (Manual de Asfalto, 1982)

2.4. NORMAS DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSPECCIÓN Y SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO

2.4.1. Generalidades

Con el objeto de poder determinar todos los factores que influyen dentro de un diseño seguro y confiable, se analizaran los distintos códigos y normativas nacionales e internaciones para la construcción de auto tanques destinados a la transportación de asfalto.

El uso de normas técnicas facilita la ejecución de un diseño confiable, ya que es una herramienta que proporciona información general y especifica de procedimientos que ya han sido probados y verificados.

Los códigos y normas de diseño a utilizar para la construcción del auto tanque son las siguientes:

Tabla 3

Temperaturas máximas seguras recomendadas para almacenaje y entrega.


CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
NFPA 385	Standard for Tank Vehicles of Flammable and Combustible Liquids
NFPA 30	Flammable and Combustible Liquids Code
CFR of United States	Code of Federal Regulations of United States
ASME SECTION VIII	Rules for Construction of Pressure Vessels
NTE INEN 2341	Derivados del Petróleo. Productos Relacionados con el Petróleo y Afines. Definiciones.
NTE INEN 2266	Transporte, Almacenamiento y Manejo de materiales peligrosos. Requisitos
NTE INEN 439	Colores, Señales y Símbolos de Seguridad

Fuente: (Manual de Asfalto, 1982)

2.4.2. Definiciones

- **Arresta llamas.** Dispositivo que evita la propagación de la llama o chispa del tubo de escape hacia el exterior.
- **Asfalto de curado lento (SC).** Asfalto diluido compuesto de betún asfáltico y aceites relativamente poco volátiles, tales como el gasóleo.
- **Asfalto de curado medio (MC).** Asfalto diluido compuesto de betún asfáltico y un disolvente del tipo Diésel No 1 (queroseno), de volatilidad media.
- **Asfalto de curado rápido (RC).** Asfalto diluido compuesto de betún asfáltico y de un disolvente de tipo nafta o gasolina, muy volátil.

- **Asfalto de penetración (Cemento asfáltico).** Producto derivado del petróleo que satisface las especificaciones establecidas para los materiales empleados en pavimentación y otros usos industriales. Ver NTE INEN 2060.
- **Asfalto de petróleo.** Producto del residuo que se obtiene de la destilación en la unidad de vacío.
- **Asfalto industrial.** Producto derivado del petróleo apto para revestir agregados minerales, se utiliza en el mantenimiento y construcción de superficies, tales como pavimentos y trabajos hidráulicos.
- **Asfalto modificado.** Producto derivado del petróleo, en el que las propiedades fisicoquímicas han sido modificadas por el uso de aditivos químicos.
- **Asfalto natural.** Material compacto, sólido a 25°C, se encuentra en los depósitos naturales generalmente mezclado con materia mineral fina o muy fina.
- **Asfalto.** Material ligante sólido o semisólido, cuyo color varía de negro a pardo oscuro, se licuan gradualmente al calentarse; sus constituyentes predominantes son los betunes que se encuentran en la naturaleza en forma sólida o semisólida o como productos de la destilación del petróleo.
- **Asfaltos diluidos.** Producto de consistencia suave en el que el requisito de penetración excede el límite especificado en la NTE INEN 917.
- **Auto-tanque (Tanquero).** Cualquier vehículo de motor autopropulsado único con un tanque de cargamento montado sobre él y usado para el transporte de líquidos inflamables y combustibles o asfalto.
- **Autoridad de control.** El o los organismos autorizados para aceptar o rechazar los tanques destinados al uso en el país, en función del cumplimiento de requisitos y ensayos realizados de acuerdo a esta norma.

- **Capacidad del tanque.** Volumen máximo de agua que puede contener el tanque, en m³. 
- **Color de contraste.** Uno de los dos colores neutrales, blanco o negro, usado en las señales de seguridad.
- **Color de seguridad.** Es un color de propiedades colorimétricas y/o fotométricas especificadas, al cual se asigna un significado de seguridad.
- **Compartimiento.** División interior hermética de un tanque.
- **Conexión a tierra.** Instalación que permita descargar a tierra la electricidad estática acumulada o producida en el tanque, sin emitir arco o chispa.
- **Diámetro exterior.** Diámetro exterior de la sección circular del tanque, excluyendo los cordones de soldadura.
- **Diámetro interior del tanque.** Mayor diámetro interior medido o calculado de la sección circular.
- **Electricidad estática.** Es una carga eléctrica causada por roce o frotamiento que se acumula en la superficie de un objeto.
- **Espejo.** Es una división interior hermética del tanque, que da lugar a los compartimentos.
- **Estándar de operación.** Constituye el compendio de normas, disposiciones y especificaciones técnicas, de seguridad y operación que la comercializadora de derivados aplicará sobre el auto-tanque y el transportista con el fin de que en el desarrollo de las actividades de transporte, el servicio sea seguro, eficiente y oportuno.
- **Extintor.** Instrumento portátil cargado con agente ignífugo, destinado a la extinción del fuego.
- **Hidrocarburos.** Compuestos orgánicos formados exclusivamente de hidrógeno y carbono.

- **Inspección visual.** Aquella que se realiza a la parte interior y exterior del tanque y sus accesorios, para determinar la presencia de defectos en sus diferentes partes constitutivas.
- **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.
- **Líquido Clase IA.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación por debajo de 73°F (22.8°C) y un punto de ebullición por debajo de 100°F (37.8°C).
- **Líquido Clase IB.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación por debajo de 73°F (22.8°C) y un punto de ebullición en o por encima de 100°F (37.8°C).
- **Líquido Clase IC.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 73°F (22.8°C) pero debajo de 100°F (37.8°C).
- **Líquido Clase II.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 100°F (37.8°C) y por debajo de 140°F (60°C).
- **Líquido Clase III.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 140°F (60°C). Líquidos Clase III deberán ser además clasificados en conformidad con (a) y (b), como sigue:
 - **Líquido Clase IIIA.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 140°F (60°C), pero por debajo de 200°F (93°C).
 - **Líquido Clase IIIB.** Cualquier líquido que tenga un punto de inflamación en o por encima de 200°F (93°C).
- **Líquido combustible.** Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación en o por encima de 100°F (37.8°C) y debajo de 140°F (60°C). Su clasificación es:
- **Líquido Inflamable.** Cualquier líquido que tiene un punto de inflamación de copa cerrada debajo de 100°F (37.8°C) y una presión

de vapor Reid no excediendo 276 kPa (40 psia o 2068 mm Hg). Su clasificación es:

- **Lote.** Conjunto de tanques de la misma geometría y capacidad nominal, fabricados bajo las mismas condiciones de producción.
- **Luminancia.** De un punto de determinada dirección, es el cociente de dividir la intensidad luminosa en dicha dirección, para el área de la proyección ortogonal de la superficie infinitesimal que contiene al punto, sobre un plano perpendicular a la dirección dada.
- **Pantalla.** División no hermética de un tanque.
- **Penetración.** Profundidad hasta la cual ingresa un objeto, cono o cuello normalizado, en una porción interior de una muestra bajo condiciones normalizadas.
- **Petróleo o crudo.** Producto natural líquido o semilíquido, compuesto principalmente por hidrocarburos y otros componentes en menor proporción, tales como gas, agua, sedimentos y piedras areniscas, generalmente se encuentra en las formaciones porosas bajo tierra. Se clasifica de varias formas, entre las cuales las más generalizadas son: la naturaleza química, la densidad API, y el contenido de azufre.
- **Presión de diseño.** Es función de la máxima presión de servicio.
- **Presión de ensayo.** Presión hidrostática o neumática a la cual debe ser sometido el tanque a fin de comprobar su integridad estructural.
- **Presión de servicio.** Es la presión desarrollada por el gas a la temperatura de servicio.
- **Presión máxima de servicio.** Es aquella presión manométrica desarrollada por el gas a la máxima temperatura de servicio.
- **Punto de ebullición.** Temperatura a la cual un combustible líquido hierve bajo condiciones normales.
- **Punto de fuego.** Temperatura mínima a la cual un producto de petróleo se enciende y continúa así durante un tiempo determinado cuando se acerca una llama a su superficie bajo condiciones normalizadas.

- **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.
- **Punto de inflamación.** Temperatura mínima a la cual un combustible líquido debe ser calentado para que emita vapores que se combustionen simultáneamente en presencia de una llama bajo condiciones normalizadas.
- **Señal auxiliar.** Señal que incluye solamente texto, que se utiliza, de ser necesario, con la señal de seguridad, para aclarar o ampliar la información.
- **Señal de seguridad.** Es aquella que transmite un mensaje de seguridad en un caso particular, obtenida a base de la combinación de una forma geométrica, un color y un símbolo de seguridad. La señal de seguridad puede también incluir un texto (palabras, letras o números).
- **Símbolo de seguridad.** Es cualquiera de los símbolos o imágenes gráficas usadas en la señal de seguridad.
- **Soldadura principal.** Aquella que sirve para unir las partes del tanque sometidas a la presión del gas.
- **Soldadura secundaria.** Aquella que sirve para unir al tanque los diferentes accesorios que no están sometidos a la presión del gas.
- **Tanque de almacenamiento.** Sistema o recipiente construido expresamente para contener petróleo crudo y sus derivados en los lugares de producción, centros de distribución, terminales de almacenamiento y auto-tanques.
- **Tanque fijo o estacionario.** Tanque que ha sido diseñado, construido para ser instalado en forma fija e inamovible.
- **Tanque móvil.** Tanque que ha sido diseñado y construido para ser instalado en un vehículo.
- **Tanque.** Recipiente para almacenar gases a baja presión.

- **Terminal o depósito de abastecimiento.** Constituye toda instalación que almacena y entrega derivados del petróleo al granel en auto-tanques para centros de distribución o consumidor final.
- **Transporte.** Actividad de trasladar derivados líquidos del petróleo mediante poliductos, auto-tanques y/u otros medios de transporte desde un centro de distribución o terminal hasta los centros de distribución o consumidor final.
- **Válvula de alivio.** Dispositivo que permite eliminar el exceso de presión interna de los tanques o tuberías, llevándola a los límites permisibles.
- **Válvula de exceso de flujo.** Dispositivo que se cierra automáticamente cuando el caudal del fluido sobrepasa los límites previstos.

2.4.3. Norma NFPA 385

Estándar para vehículos cisterna para líquidos inflamables y combustibles, desarrollado por el Comité Técnico sobre Transporte de Líquidos Inflamables de los Estados Unidos de América (NFPA).

2.4.3.1. Alcance

Esta norma se aplicará a los vehículos cisterna utilizados para el transporte de asfalto o líquidos inflamables y combustibles normalmente estables con puntos de inflamación por debajo de 200 °F (93 °C). Proporcionará los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de los tanques del camión de carga y de sus accesorios y dispondrá asuntos referentes a los vehículos tanque.

Las recomendaciones de este estándar no impedirán el uso de las medidas adicionales para los vehículos tanque usados para el transporte de los líquidos inflamables y combustibles con características adicionales tales como altos índices de expansión, inestabilidad, corrosividad, y toxicidad.

2.4.3.2. Generalidades

El diseño del vehículo del tanque considerará la relación estructural entre el tanque de carga, el equipo de la propulsión y las partes de soporte, si los hay, con relación al peso y a la temperatura del cargamento, las características del camino y el frenado.

Los espesores del metal especificados en este capítulo serán los espesores mínimos exigidos por la estructura del tanque mismo. Estos espesores podrán ser aumentados en áreas de mayor tensión.

El diseño general del chasis del tanque y del vehículo de carga será el apropiado para brindar una mejor combinación de características y funcionamiento estructurales del vehículo.

El diseño del sistema de la suspensión tendrá en cuenta la estabilidad lateral cuando el vehículo gira en las esquinas.

Cualquier tanque de carga diseñado para transportar a temperaturas mayores al ambiente tendrá una placa de advertencia bien ubicada que indicará la máxima temperatura permitida. Esta temperatura máxima permitida de la carga será especificada por el fabricante del tanque.

Los materiales utilizados en la construcción de los tanques de carga serán compatibles con las características químicas de los líquidos combustibles e inflamables por transportar.

Tanques, tuberías y conexiones del tanque de carga para transportar líquidos inflamables y combustibles a temperaturas sobre sus puntos ebullición. Serán construidos de acuerdo con la parte 49 CFR 178 del "Código de Regulaciones Federales de U.S.", que refiere a la "Regulación de Materiales Peligrosos".

2.4.3.3. Material y Espesor

Todo el material de construcción de las partes de un tanque de carga no requiere cumplir con ASME Boiler and Pressure Vessel, deberán cumplir con los mínimos siguientes:

Tabla 4

Propiedades de Acero

Característica	Acero Suave (MS)	Alta Resistencia Acero de baja aleación (HSLA)	Acero inoxidable austenítico (SS)
Resistencia a la Fluencia	25.000 psi	45.000 psi	25.000 psi
Resistencia Ultima	45.000 psi	60.000 psi	70.000 psi
Elongación, [2in samples]	20%	25%	30%

Fuente: (Norma NFPA 385, 2010)

El espesor mínimo requerido para las cabezas, espejos, y anillos de refuerzo se encuentra en la tabla 4, y para el espesor mínimo requerido del cuerpo se encuentra establecido en la tabla 5.

Tabla 5

Espesor mínimo de cabezas, mamparas, espejos en Calibre (Acero) y Decimas de pulgada (Aluminio).

Capacidad de Volumen en Galones por Pulgada												
	Menos de 10			De 10 a 14			De 14 a 18			Más de 18		
	MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL
Espesor	14	15	0.096	13	14	0.109	12	13	0.130	11	12	0.151

Fuente: (Norma NFPA 385, 2010)

Tabla 6

Espesor mínimo del cuerpo en Calibre (Acero) y Decimas de pulgada (Aluminio).

Máximo Radio del cuerpo (Pulg)	Distancia entre anillos de refuerzo (Pulg)	Capacidad de Volumen en Galones por Pulgada											
		Menos de 10			De 10 a 14			De 14 a 18			Más de 18		
		MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL
Menos de 70	Menos de 36	14	16	0.087	14	16	0.087	14	15	0.096	13	14	0.109
	De 36 a 54	14	16	0.087	14	15	0.096	13	14	0.109	12	13	0.130
	De 54 a 60	14	15	0.096	13	14	0.109	12	13	0.130	11	12	0.151
De 70 a 90	Menos de 36	14	16	0.087	14	15	0.096	13	14	0.109	12	13	0.130
	De 36 a 54	14	15	0.096	13	14	0.109	12	13	0.130	11	12	0.151
	De 54 a 60	13	14	0.109	12	13	0.130	11	12	0.151	10	11	0.173
De 90 a 125	Menos de 36	14	15	0.096	13	14	0.109	12	13	0.130	11	12	0.151
	De 36 a 54	13	14	0.109	12	13	0.130	11	12	0.151	10	11	0.173
	De 54 a 60	12	13	0.130	11	12	0.151	10	11	0.173	9	10	0.194
Más de 125	Menos de 36	13	14	0.109	12	13	0.130	11	12	0.151	10	11	0.173
	De 36 a 54	12	13	0.130	11	12	0.151	10	11	0.173	9	10	0.194
	De 54 a 60	11	12	0.151	10	11	0.173	9	10	0.194	8	9	0.216

Fuente: (Norma NFPA 385, 2010)

2.4.3.4. Integridad Estructural

Los tanques de carga contarán con elementos estructurales adicionales cuanto sea necesario para prevenir esfuerzos de tensión que resulten en exceso a aquellos permitidos, donde el esfuerzo calculado máximo no excederá el 20 por ciento de la última fuerza mínima del material según lo autorizado a menos que se exijan los requerimientos de la ASME (véase la sección VIII, la caldera de ASME Boiler and pressure Vessel Code). Se tendrá en cuenta las siguientes cargas:

- Carga dinámica bajo todas las configuraciones para la carga del producto.
- Presión interna.
- Cargas adicionales tales como equipo de operación, aislamientos, tuberías, mangueras, gabinetes, etc.

- d) Reacciones en los soportes.
- e) Efecto de los gradientes de la temperatura resultando de producto y de extremos ambiente de la temperatura. Los coeficientes termales de los materiales disímiles donde utilizado serán acomodados

2.4.3.5. Juntas Soldadas

Todas las juntas entre en cuerpo del tanque, cabezas, espejos y anillos deben ser soldadas de acuerdo con los siguientes requisitos:

Todas las juntas soldadas de aleación de aluminio serán hechos de acuerdo a las buenas prácticas reconocidas y la eficacia de un empalme será mayor a 85% de las características del material adyacente. Las aleaciones de aluminio serán ensambladas por tipo de proceso de soldadura arco de gas de aluminio-magnesio.

Todas las juntas soldadas de acero suave (MS), acero poco aleado de alta resistencia (HSLA), y acero inoxidable austenítico (SS) serán hechos de acuerdo con la buena práctica reconocida y la eficacia de cualquier empalme no serán menores 85% de las características mecánicas del metal adyacente en el tanque.

Las combinaciones del acero suave (MS), del acero inoxidable poco aleado (HSLA), y/o austenítico de alta resistencia (SS) serán aceptadas en la construcción de un solo tanque, siempre y cuando se cumpla los requisitos mínimos exigidos para cada material.

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

2.4.3.6. Soportes y Anclaje

Tanques de carga que no cuentan con marcos integrados al vehículo, serán fijados y asegurados de tal forma que se eliminen cualquier movimiento del tanque mismo ante una parada y/o arranque brusco o un giro del mismo. Estos dispositivos de fijación serán fácilmente accesibles para la inspección y el mantenimiento.

2.4.3.7. Refuerzos Circunferenciales

Los tanques con espesores en la carcasa menores de 3/8 pulg. (9.3 milímetros), en adición al refuerzo instalado en los cabezales del tanque, deberán contar con un refuerzo circunferencial con tabiques herméticos, baffles y/o refuerzos de anillo (Figura 12). Será permitido para utilizar cualquier combinación de los refuerzos ya mencionados en un solo tanque del cargo.

El refuerzo circunferencial será ubicado de manera que de ningún modo será más de 60 pulg. (1524 milímetros). Además, tal refuerzo circunferencial será situado a 1 pulg. (25.4 milímetros) de los puntos donde la discontinuidad en la alineación longitudinal de la plancha de la carcasa excede 10 grados.

Los baffles o los anillos de refuerzo, serán circunferencialmente soldados a la carcasa del tanque. La soldadura será no menor que 50% de la circunferencia total del recipiente, y el espacio máximo no soldado en este empalme no excederá 40 veces el grosor de la carcasa.

Dondequiera que se use deflectores o espejos dobles, deberán ser provistos por una separación de aire. Este espacio de aire será venteado y equipado con facilidades de drenaje siempre operativas.

Los anillos de fijación serán continuas alrededor de la circunferencia de la carcasa del tanque y tendrá un módulo de sección sobre el eje neutral de la sección del anillo paralela a la carcasa por lo menos igual a la determinada por las fórmulas siguientes:

- Acero:

$$\frac{I}{C} (Min) = 0.00027 * W * L$$

- Aleación de Aluminio:

$$\frac{I}{C} (Min) = 0.000467 * W * L$$

Donde:

- $\frac{I}{C}$ = Modulo de Sección (Pulg³).
- W = Diámetro o Ancho del Tanque (Pulg).
- L = Máxima distancia desde el punto medio de la coraza no soportada sobre un lado del anillo de refuerzo hasta el punto medio de la coraza no soportada del lado opuesto al anillo de refuerzo. (Pulg).

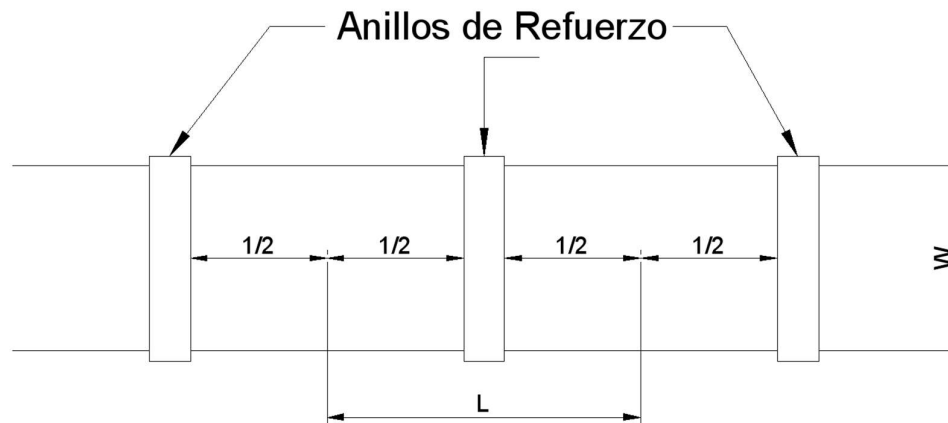


Figura 12: Disposición para el diseño de los anillos de refuerzo

Fuente: Propia

Los anillos de fijación serán continuas alrededor de la circunferencia de la carcasa del tanque y tendrá un módulo de sección (Figura 13) sobre el eje neutral de la sección del anillo paralela a la carcasa por lo menos igual a la determinada por las fórmulas siguientes:

Donde un anillo de refuerzo se suelda a la carcasa del tanque (con cada soldadura circunferencial no menor del 50% de la circunferencia total del recipiente y el máximo espacio no soldado en este empalme que no excede de 40 veces el espesor de la carcasa), una porción de la carcasa será permitida a ser considerada como parte de la sección del anillo con objeto de computar el módulo de la sección del anillo. La porción máxima de la carcasa que se utilizará en estos cálculos está según las indicaciones de tabla 7

Tabla 7

Sección del cuerpo acreditado para el cálculo del módulo de sección de los anillos de refuerzo

Soldaduras Circunferenciales del Anillos de Refuerzo al Cuerpo del Tanque	Distancia entre Soldaduras Circunferenciales Paralelas del Anillos de Refuerzo al Cuerpo del Tanque	Sección del Cuerpo Acreditado
1	—	20t
2	Menor que 20t	20t + w
2	20t o más	40t

Fuente: (Norma NFPA 385, 2010)

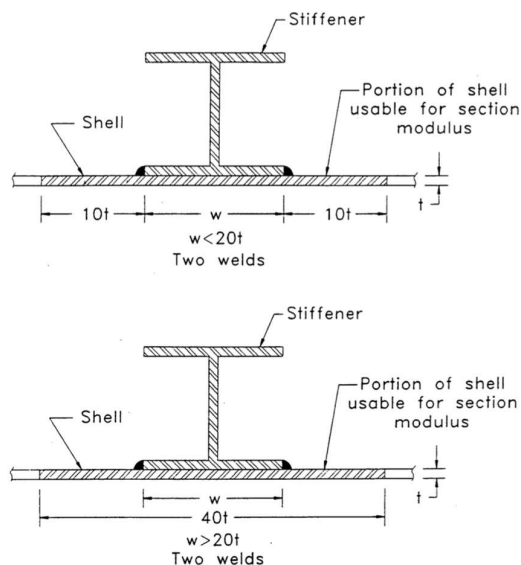


Figura 13: Definición de sección transversal para el cálculo del módulo de sección del anillo de refuerzo para Tanques (no ASME)

Fuente: (Department of Transportation of U.S.A., 2010)

Donde:

- w = Distancia entre la suelda paralela circunferencial del anillos de refuerzo al cuerpo.
- t = Espesor del cuerpo.

Los miembros estructurales, tales como los marcos de suspensión, la protección contra volcaduras y los anillos externos, cuando sea posible, serán utilizados como lugares para ubicar a los accesorios a un tanque de carga.

2.4.3.8. Aberturas de Llenado y Entradas de Hombre

Cada tanque de carga para asfalto contará con una “entrada de hombre” con una abertura libre de por lo menos 15 pulg. (381 milímetros) de diámetro, diseñado para liberar la presión interna entre 2 y 3 psi (entre 0.095 y 0.143 kPa) o un dispositivo equivalente de liberación.

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

2.4.3.9. Respiraderos para Tanques de Carga de Asfalto

Cada tanque de carga usado para asfalto contará con un respiradero que tenga abertura efectiva por lo menos de 2” de diámetro interior (50 milímetros).

2.4.3.10. Hornilla y Tubos de Calentamiento en Auto-Tanques para Asfalto

Los depósitos de gasolina para el motor de vehículo y los depósitos de gasolina para las hornillas en los vehículos tanque para asfalto serán situados remotamente de la hornilla o protegidos por un protector incombustible contra la hornilla para prevenir retrollamas. Los tubos de la hornilla serán instalados y mantenidos correctamente.

El fondo de los tubos internos de la hornilla será situado tan bajo en el tanque tanto como se lo permita el diseño.

Debe contarse con las instrucciones para la operación adecuada del equipo de la hornilla y del bombeo. Estas instrucciones deberán encontrarse en el vehículo permanentemente.

2.4.4. Código de Regulaciones Federales de EEUU (CFR)

El Código de Regulaciones Federales de los Estado Unidos de América es la autoridad dentro del ámbito de tanques de carga y se ha extendido más allá estrictamente del transporte, para abarcar no sólo el diseño y la construcción, sino la calificación continua y el mantenimiento de los tanques de carga también.

Las porciones de las regulaciones federales que pertenecen a estas áreas se pueden encontrar en 49 CFR parte 178 y 180, donde detallan las especificaciones DOT.

El Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT) es el encargado de regular y hacer cumplir todas las leyes relacionadas con el transporte de materiales peligrosos dentro de los Estados Unidos. Tiene jurisdicción sobre todo el transporte interestatal, dentro del estado y al extranjero de materiales peligrosos por vía aérea, ferroviaria, marítima o por carretera por parte de transportistas y remitentes en los Estados Unidos.

Para tanques de carga basados en las especificaciones DOT 400, se ha diseñado y construido el código en concordancia con la Norma ASME.

2.4.4.1. Requerimientos Generales

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

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

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

2.4.4.2. Material y Espesor

Todo material para cuerpo, cabezas, espejos y anillos de refuerzo deben estar en conformidad con el Código ASME Sección II Parte A y B.

El espesor mínimo requerido para las cabezas, espejos, y anillos de refuerzo se encuentra en la tabla 8, y para el espesor mínimo requerido del cuerpo se encuentra establecido en la tabla 9.

Tabla 8

Espesor mínimo de cabezas, mamparas, espejos en decimas de pulgada (Aluminio).

	Capacidad de Volumen en Galones por Pulgada								
	Menos de 14			De 14 a 23			Más de 23		
	MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL	MS	HSLA SS	AL
Espesor	14	15	0.096	13	14	0.109	12	13	0.130

Fuente: (Código de Regulaciones Federales de EEUU, 2010)

Tabla 9

Espesor mínimo de cuerpo del auto-tanque en decimas de pulgada (Aluminio).

Capacidad de Carga del Auto-Tanque (Galones)	AC	SS/HSLA	AL
De 0 a 4500	0.100	0.100	0.151
De 4500 a 8000	0.115	0.100	0.160
De 8000 a 14000	0.129	0.129	0.173
Más de 14000	0.143	0.143	0.187

Fuente: (Código de Regulaciones Federales de EEUU, 2010)

2.4.4.3. Integridad Estructural

El máximo esfuerzo de diseño calculado en cualquier punto del tanque no debe exceder el máximo esfuerzo admisible prescrito por el Código ASME, o el 25 por ciento del esfuerzo de tensión del material utilizado.

Las propiedades físicas relevantes de los materiales usados en cada tanque pueden ser establecidos tanto por reportes de prueba certificados por el proveedor del material o por pruebas en conformidad con un estándar reconocido. En cada caso, la resistencia última de tensión no puede exceder el 120% de la resistencia última a la tensión especificada en ASME para el material manufacturado.

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.

La corrosión admisible puede no incluirse para satisfacer cualquiera de los requisitos de cálculos de diseño.

El diseño estático y construcción del auto-tanque debe ser en acorde con la sección VIII división 1 del código ASME. El diseño del auto-tanque debe incluir cálculos de esfuerzos generados por máxima presión admisible de diseño (MAWP), el peso del producto a transportar, el peso de la estructura soportada por la pared del tanque y los efectos de gradiente de temperaturas extremas del producto y del ambiente. Cuando se utiliza diferentes materiales, sus coeficientes térmicos deben ser usados en cálculos de esfuerzos térmicos.

Concentraciones de esfuerzos en tensión, flexión y torsión los cuales ocurren en los Refuerzos, Cunas u otros soportes deben ser considerados en concordancia con apéndice G del código ASME.

2.4.4.4. Aberturas de Llenado y Entradas de Hombre

Cada tanque con capacidad mayor que 400 gal (1.512 m³) debe ser accesible a través de un boca de carga o de inspección de al menos 15plg (38.1 cm) de diámetro.

Cada abertura de carga o entrada de hombre, debe ser estructuralmente capaz de resistir la presión interna de fluido estático de al menos 36 psi (248.4kPa) o la presión de prueba cualquiera que sea mayor.

La abertura de carga debe ser probado con dispositivos de venteo bloqueado. Alguna gotera o deformación que podría afectar la retención del producto es considerada una falla.

La abertura de carga o entrada de hombre, debe ser asegurada con sujetadores o seguros que impidan aberturas de las tapas como resultado de vibración o choques dados en carretera.

2.4.4.5. Soportes y Anclajes

Un tanque con un chasis que no sea parte integral del tanque, debe asegurarse mediante acoples de restricción para eliminar algún movimiento entre el tanque y el chasis que pueda dañar el cuerpo del tanque debido a frenadas, o arranques del vehículo.

Los dispositivos con acoples de restricción deben ser accesibles para inspección y mantenimiento, excepto que aislamientos sean permitidos para cubrir estos dispositivos.

2.4.4.6. Refuerzos Circunferenciales

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

Refuerzos circunferenciales deben ser localizados de tal manera que la máxima porción de cuerpo sin refuerzo no exceda 60 pulg. (152.4 cm).

La porción soldada no puede ser menor del 50% de la circunferencia total del auto-tanque y la longitud del espacio sin soldar en la junta no puede exceder 40 veces el espesor del cuerpo.

El módulo de la sección de los anillos de refuerzo debe ser por lo menos igual a la fórmula especificada anteriormente en la norma NFPA 385.

2.4.5. Norma NTE INEN 2266

Esta norma establece los requisitos que se deben cumplir para el transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos.

Esta Norma se ha desarrollado siguiendo los lineamientos del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA), las Recomendaciones relativas al transporte de materiales peligrosos, Reglamentación Modelo de Naciones Unidas y la Normativa Nacional vigente.

2.4.5.1. Alcance

Esta norma se aplica a las actividades de producción, comercialización, transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos.

2.4.5.2. Clasificación de los materiales

- Clase 1: Explosivos

División 1.1	Sustancias y objeto que presentan un riesgo de explosión en masa
División 1.2	Sustancias y objetos que tiene un riesgo de proyección sin riesgo de explosión en masa.
División 1.3	Sustancias y objetos que presentan un riesgo de incendio y un riesgo menor de explosión o un riesgo menor de proyección, o ambos, pero no un riesgo de explosión en masa.
División 1.4	Sustancias y objetos que no presentan riesgo apreciable.

División 1.5 Sustancias muy insensibles que tienen un riesgo de explosión en masa.

División 1.6 Objetos sumamente insensibles, que no tienen riesgo de explosión en masa.

- Clase 2: Gases

División 2.1 Gases inflamables.

División 2.2 Gases no inflamables, no tóxicos.

División 2.3 Gases tóxicos.

- Clase 3: Líquidos Inflamables

Son los líquidos, mezclas de líquidos o líquidos que contienen sustancias sólidas en solución o suspensión (pinturas, barnices, lacas, etc., siempre que no se trate de sustancias incluidas en otras clases por sus características peligrosas) que desprenden vapores inflamables a una temperatura no superior a 60 °C en ensayos en crisol/vaso cerrado o no superior a 65,6 °C en ensayos en crisol/vaso abierto, comúnmente conocida como su punto de inflamación.

A los líquidos combustibles como gasolina, diésel, y asfalto, se los clasifica dentro de la Clase 3, debido al grado de peligro de la sustancia a transportar; Grado 1: Alto Peligro, Grado 2: Medio Peligro, Grado 3: Bajo Peligro.

- Clase 4: Sólidos Inflamables

Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea, sustancias que en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.

División 4.1 Sólidos inflamables; sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados.

División 4.2	Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea.
División 4.3	Sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.

- Clase 5: Sustancias Comburentes y Peróxidos Orgánicos

División 5.1 Sustancias comburentes.

División 5.2 Peróxidos Orgánicos.

- Clase 6: Sustancias Tóxicas y Sustancias Infecciosas

División 6.1 Sustancias Tóxicas.

División 6.2 Sustancias Infecciosas.

- Clase 7: Material Radioactivo
- Clase 8: Sustancias Corrosivas
- Clase 9: Sustancias y Objetos Peligrosos Varios

2.4.5.3. Etiquetado y Rotulado

Las etiquetas deben ser de materiales resistentes a la manipulación y la intemperie, pueden ser adheribles o estar impresas en el empaque, adicionalmente llevar marcas indelebles y legibles, que certifiquen que están fabricadas conforme a las normas respectivas. Los rótulos que deben colocarse según el tipo de sustancia a transportar se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Rótulos que deben colocarse cuando se transportan cantidades de materiales peligrosos en pesos mayores a 454 Kg

CLASE O DIVISIÓN DE PELIGRO	NOMBRE DEL RÓTULO
1.4	Explosivos 1.4
1.5	Explosivos 1.5
1.6	Explosivos 1.6
2.1	Gas inflamable
2.2	Gas no-inflamable
3.	Inflamable
Líquido Combustible	Combustible
4.1	Sólidos Inflamables
4.2	Combustión espontánea
5.1	Comburente (Oxidante)
5.2 (Que no sea peróxido orgánico, Tipo B, líquido o sólido de temperatura controlada)	Peróxido orgánico
6.1 (Que no sea de riesgo de inhalación. Zonas A o B)	Toxico (Veneno)
6.2	(Ninguno)
8	Corrosivo
9	Clase 9

Fuente: (Norma NTE INEN 2266, 2001)

Las etiquetas deben ajustarse al tamaño del envase y dependerán del tipo de contenedor sobre el cual habrán de ser colocadas

Las etiquetas deben estar escritas en idioma español y los símbolos gráficos o diseños incluidos de las etiquetas deben aparecer claramente visibles.

Las etiquetas deben estar escritas en idioma español y los símbolos gráficos o diseños incluidos de las etiquetas deben aparecer claramente visibles.

Los códigos de colores se deben aplicar de acuerdo a la tabla 11.

Tabla 11

Colores para las Etiquetas y Rótulos de Peligro

REFERENCIA	
COLOR	BÁSICO
Anaranjado	151 U
Amarillo	109 U
Blanco	W
Negro	Negro O 419
Verde	335 U
Rojo	186 U
Azul	285 U

Fuente: (Norma NTE INEN 2266, 2001)

El fabricante y el comercializador son responsables del cumplimiento de todo lo referente al etiquetado de materiales peligrosos.

Cuando se requieran dos o más etiquetas, estas deben colocarse juntas.

En los envases/embalajes debe colocarse además de las etiquetas de peligro indicadas en esta norma, los pictogramas de precaución de la clasificación del Sistema Globalmente Armonizado (SGA), y el etiquetado de precaución según la NTE INEN 2288 Productos químicos industriales peligrosos. También se debe colocar el nombre y dirección del proveedor, teléfonos de emergencia y cualquier información adicional que pueda ser requerida por la autoridad competente.

Las etiquetas de peligro y los pictogramas de precaución, sobre peligros físicos y daños a la salud y al ambiente del Sistema Globalmente Armonizado SGA, deben utilizarse conjuntamente en los envases/embalajes y la asignación de los elementos de etiquetado: pictograma, palabra de

advertencia e indicación de peligro para el transporte de líquidos inflamables se encuentra en la figura 14



Símbolo (llama): negro o blanco;
Fondo: rojo; Número "3" en el ángulo inferior

LÍQUIDOS INFLAMABLES				
Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Nota
 Peligro Líquido y vapores extremadamente inflamables	 Peligro Líquido y vapores muy inflamables	 Atención Líquido y vapores inflamables	Sin pictograma Atención Líquido combustible	Según las Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas, Reglamentación Modelo, el símbolo, el número y la línea del borde pueden figurar en negro en lugar de en blanco. El fondo es rojo en ambos casos.
 Líquido y vapores extremadamente inflamables	 Líquido y vapores muy inflamables	 Líquido y vapores inflamables	No se requiere en las Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas, Reglamentación Modelo	

Figura 14: Asignación de Elementos de Etiquetado

Fuente: (Norma NTE INEN 2266, 2001)

Para identificar fácilmente el material peligroso que es transportado, y para advertir a otros del tipo de carga, se deben colocar en los extremos y lados de los tanques, isotanques, furgones, contenedores, auto tanques y camiones plataforma, rombos de la clase de peligro y una placa anaranjada que deberá colocarse junto al rombo, con el número de identificación de cuatro dígitos de las Naciones Unidas (NU), correspondientes al material transportado, o el rombo que incluya en su parte central, la placa de color blanco con el número de identificación de Naciones Unidas.

El código de las Naciones Unidas que identifican el transporte de asfalta es el 1999. Los rombos no deben ser menores a los 250 mm por 250

mm para el límite de corte, con un margen interno del mismo color del símbolo, trazado a 12,5 mm del borde en todo el perímetro y paralelo al tanque. Las placas rectangulares anaranjadas no deben ser menores los 300 mm de ancho por 120 mm de altura, con un borde negro de 10 mm y los 4 dígitos negros de Naciones Unidas no deben tener un alto menor a 65 mm. Un ejemplo de rotulación se demuestra en la figura 15.

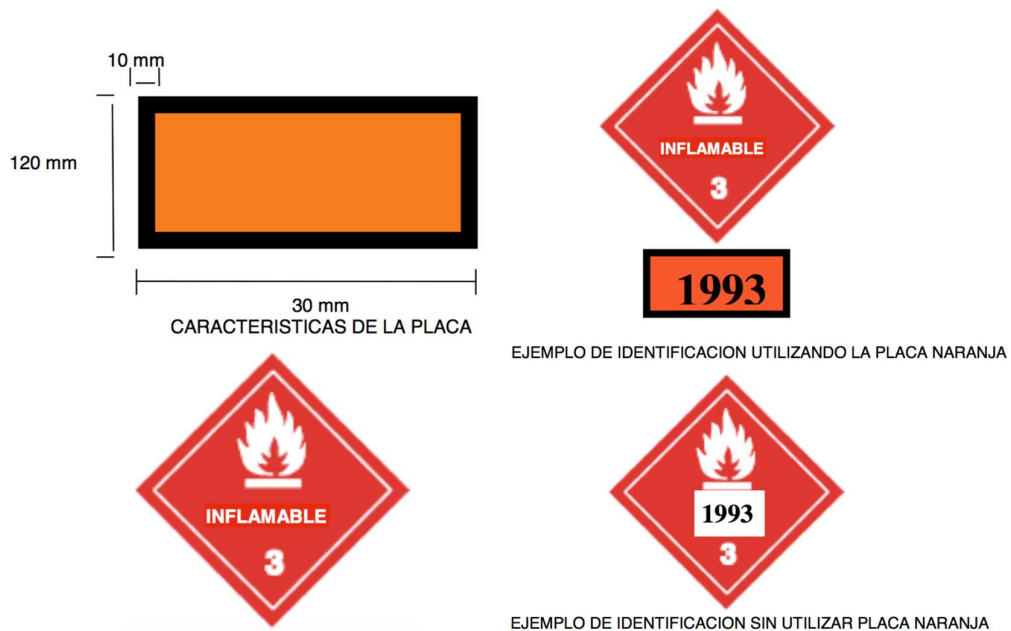


Figura 15: Modelos de Rotulación para las unidades de transporte

Fuente: (Norma NTE INEN 2266, 2001)

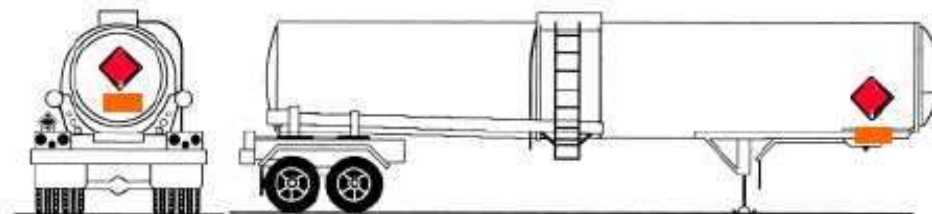


Figura 16: Modelos de Rotulación para las unidades de transporte

Fuente: (Guía de Respuesta a Emergencias para el Transporte de Materiales Peligrosos - Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT), 2008)

El Código NFPA 704 establece un sistema de identificación de riesgos para que en un eventual incendio o emergencia, las personas afectadas puedan reconocer los riesgos de los materiales. Consiste en una etiqueta que consta del nombre del material y cuatro secciones con un color asignado en cada caso:

Tabla 12

Criterios de Peligrosidad

Salud	Azul	
Inflamabilidad	Rojo	
Reactividad	Amarillo	
Riesgo especial	Blanco	

Fuente: (Norma NFPA 704, 2012)

En cada una de las secciones se coloca el grado de peligrosidad: 0, 1, 2, 3, 4, siendo en líneas generales, 0 el menos peligroso, aumentando la peligrosidad hasta llegar a 4, nivel más alto. Los criterios para establecer el grado de peligrosidad se encuentran en la Figura 17.

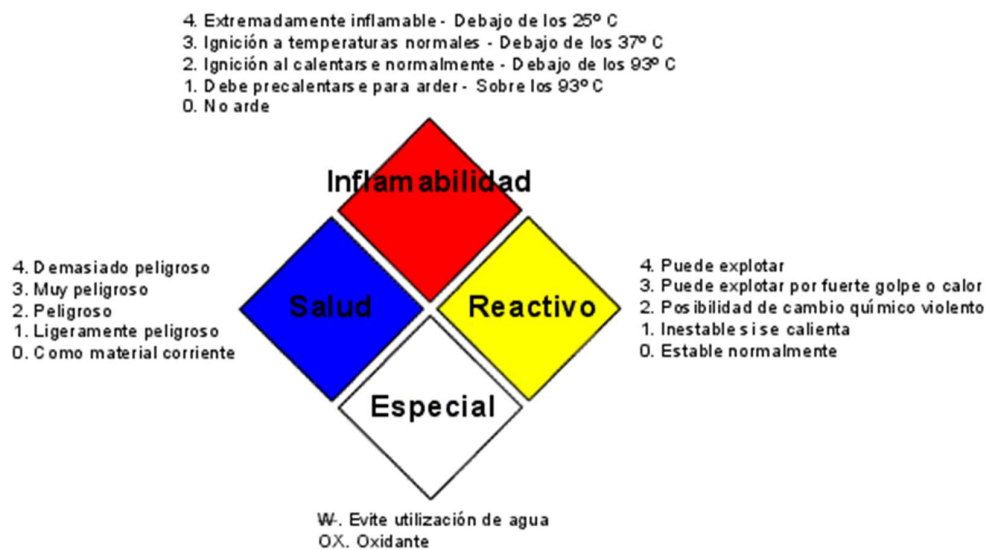


Figura 17: Criterios de grado de peligrosidad del Diamante de Fuego

Fuente: (Norma NFPA 704, 2008)

Para el transporte de asfalto los grados de peligrosidad son los siguientes:

Tabla 13

Criterios de peligrosidad para un auto tanque de asfalto

Salud	Azul	1
Inflamabilidad	Rojo	2
Reactividad	Amarillo	0
Riesgo especial	Blanco	∅

Fuente: Propia

En la figura 18 se establece las dimensiones necesarias del diamante de fuego.



Figura 18: Dimensiones del rombo y de los dígitos empleados en el diamante de fuego.

Fuente: (Norma NFPA 704, 2008)

Todo tanque debe llevar la inscripción "PELIGRO INFLAMABLE" en la parte lateral izquierda y derecha. El tamaño mínimo de las letras laterales del tanque debe ser el No. 6 (L=21 cm, A=2 cm, E=3 cm) y para la parte posterior

No.4 (L=7 cm, A=1 cm, E=1 cm), según la norma CEPE SI – 011 (Tamaños de Letras y Números).

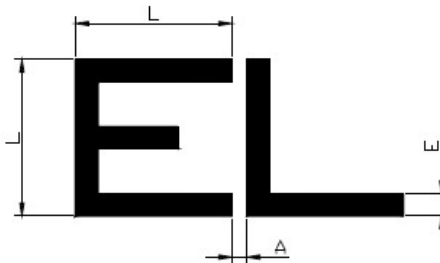




Figura 19: Dimensiones de letras de rotulado lateral

Fuente: (Norma NFPA 704, 2008)

2.4.5.4. Señalización e iluminación

El sistema de luces y señales reglamentarias el Auto-tanque debe tener las siguientes:

- 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 en la parte posterior del tanque.
- El tanque dispondrá de cuatro banderolas rojas, instaladas sobre cada uno de los extremos del tanque a una altura de 40 cm.

2.4.6. Normativas de la Dirección Nacional de Hidrocarburos

La Dirección Nacional de Hidrocarburos registra los vehículos utilizados para el transporte de líquidos inflamables de acuerdo a la siguiente clasificación:

Tabla 14

Tipo de Vehículos para Transporte de Líquidos Inflamables

TIPO DE VEHÍCULO	NOMBRE
1	Mula
2	Sencillo
3	Tráiler
4	Mula más Remolque
5	Sencillo más Remolque
6	Tráiler más Remolque

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos

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

2.4.6.1. Pesos, Dimensiones y Temperaturas Reglamentarias establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Las unidades de carga, remolques y semirremolques que son importados, ensamblados o fabricados nacional e internacionalmente, que realizan operaciones de transporte de carga nacional o internacional dentro del territorio nacional; deberán someterse a las dimensiones y pesos máximos permitidos normados en la siguiente tabla nacional de pesos y dimensiones.

Tabla 15

Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones para Vehículos de Transporte de Carga

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 octopne			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	2,60	4,10
S2			20	13,00	2,60	4,10
S1			11	13,00	2,60	4,10
R2			22	10,00	2,60	4,10
R3			31	10,00	2,60	4,10
B1			11	10,00	2,60	4,10
B2			20	10,00	2,60	4,10
B3			24	10,00	2,60	4,10

Fuente: (Ministerio de Transportes y Obras Públicas, 2012)

Los pesos y dimensiones máximos permitidos están para los trasportes de combustibles y gas en tanqueros, se autoriza la trasportación de las siguientes cantidades, de conformidad con la clasificación vehicular:

Tabla 16

Volumenes máximos permitidos en Tanqueros para el Transporte de Líquidos Inflamables y Gases.

TIPO DE VEHÍCULO	GALONES PERMITIDOS
2DB	4000 gls
3A	6000 gls
3S2	8000 gls
3S3	10000 gls

Fuente: (Ministerio de Transportes y Obras Públicas, 2012)

Tabla 17

Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones para Vehículos de Transporte de Carga

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	20,50	2,60	4,30

Fuente: (Ministerio de Transportes y Obras Públicas, 2012)

El peso máximo permitido es de 48 toneladas, excepto para los vehículos 3S3 Y 3R3 para los cuales se considerará una tolerancia de +3 toneladas y para el 3R2 y 2R3 de +1 tonelada.

Las dimensiones máximas permitidas para estos vehículos son: Alto 4,50, ancho: 2,60 y largo 20,50 metros. Para excesos en altura máxima permitida en el caso de carga no divisible dependerá de las limitaciones que presenten la ruta elegida por el transportista para el traslado de los equipos. El transportista deberá verificar dichas condiciones y solicitar el certificado de

operación especial correspondiente, con sujeción a las normas previstas en el presente reglamento, sin perjuicio de resarcir los daños que ocasione su negligencia y/o inobservancia.

Las temperaturas máximas de carga de los diferentes líquidos inflamables 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 las cuales se indican en la tabla 18.

Tabla 18

Temperaturas máximas de Carga de Líquidos Inflamables Clasificado por Regiones

REGIÓN	LIQUIDO INFLAMABLE	TEMPERATURA MÁXIMA DE CARGA	
		°F	°C
SIERRA	Gasolina 80 Octanos	67	19.44
	Gasolina 90 Octanos	74	23.33
	Diésel 1	70	21.11
	Diésel 2	70	21.11
	Fueloil	180	82.22
	Jet Fuel	71	21.66
	Asfalto	292	144.44
COSTA	Gasolina 80 Octanos	90	32.22
	Gasolina 90 Octanos	93	33.88
	Diésel 1	112	44.44
	Diésel 2	112	44.44
	Fueloil	194	90
	Jet Fuel	81	27.22
	Asfalto	302	150.00
ORIENTE	Gasolina 80 Octanos	91	32.77
	Gasolina 90 Octanos	94	34.44
	Diésel 1	115	46.11
	Diésel 2	115	46.11
	Fueloil	196	91.11
	Jet Fuel	84	28.88
	Asfalto	308	153.33

Fuente: Dirección Nacional de Hidrocarburos

2.4.6.2. Dispositivos de Seguridad

Independientemente de las válvulas y elementos de llenado y vaciado, los auto-tanques suelen ir provistos de otros elementos, que proporcionen seguridad a las operaciones de carga y descarga.

2.4.6.3. Arresta llamas para Tubos de Escape

Los arrestallamas o cortafuegos, son dispositivos montados al final del tubo de escape del motor con el objetivo de recoger o apagar partículas sólidas en ignición de carbonilla o cualquier llama que pudieran ser expulsadas, ya que aumentan el riesgo de generar incendios con los productos cargados al auto-tanque.



Figura 20: Dimensiones de letras de rotulado lateral

Fuente: (Escapes el Ciervo, 2015)

2.4.6.4. Plataforma Superior

Es una superficie metálica formada a lo largo de la parte superior del auto-tanque y cuya función es en el tránsito y en la operatividad las maniobras de apertura y cierre de bocas de carga, controles e inspección del interior de los compartimentos de manera segura.

La disposición es la de un pasillo central de anchura constante a lo largo de la parte superior del auto-tanque, donde la longitud está comprendida

entre el último peldaño de la escala o desde la plataforma de desembarque hasta un mínimo de 40 cm aproximadamente, sobrepasada la última abertura de carga.

La anchura de la pasarela a ambos lados de las bocas de carga debería ser como mínimo de 40 cm. Las plataformas deben estar exentas de obstáculos a lo largo de su recorrido y su diseño posibilitará la operatividad de las aberturas de carga, de forma que éstas cierren en sentido contrario al de la marcha.

Este pasillo debe tener una superficie antideslizante, como medida de precaución ante posibles accidentes.

Se debe emplear a lo largo de esta plataforma una línea de vida, la cual es indispensable su uso al momento de realizar el proceso de carga de asfalto

2.4.6.5. Escalera de Acceso

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

La altura máxima desde el suelo al primer peldaño de la escala deberá ser como máximo de 50 cm.

El nivel del último peldaño debe coincidir con el de la plataforma superior de desembarque.

La separación mínima de cualquier punto de la escala al auto-tanque no debería ser inferior a 16 cm.

A cada peldaño de la escalera se debe soldar una pletina antideslizante de una anchura mínima de 6 cm.

Si en el acceso al domo resulta preciso portar instrumentos de control y medición (toma de muestras, temperatura, densidad, etc.), se irá provisto del correspondiente maletín porta instrumentos, de forma que, en todo momento se disponga de manos libres.

2.5. AISLAMIENTO TÉRMICO PARA AUTOTANQUES

Los tanques para almacenamiento de asfalto requieren de un aislamiento térmico que evite la pérdida de calor de este material debido a que este material al enfriarse se vuelve viscoso e inmanejable.

La gran mayoría de auto tanques construidos en el país y el mundo utilizan lana de vidrio como aislante ya que este provee una buena relación precio-prestaciones.

2.5.1. Lana de vidrio

La lana de vidrio es una fibra mineral que se compone de millones de filamentos de vidrio unidos con aglutinante (resina ignífuga). El espacio que queda libre entre las fibras aumenta su resistencia a la transmisión de calor.

Se comienza fundiendo a una temperatura de 1450 °C una mezcla de arena natural, aditivos y vidrio reciclado. El vidrio así obtenido es convertido en fibras. Para ello se recurre a un método de alta velocidad similar al utilizado para fabricar algodón de azúcar, forzándolo a través de una rejilla fina mediante una fuerza centrífuga, enfriándose al entrar en contacto con el aire. La cohesión y resistencia mecánica del producto se obtiene rociando a los millones de filamentos con una solución aglutinante que adhiere a las fibras entre sí. La masa de fibras embebidas en el aglutinante es calentada a una temperatura de unos 200 °C para polimerizar la resina y es curada para darle resistencia y estabilidad. La etapa final comprende el corte de la lana y el empacado en rollos o paneles a alta presión previo a paletizar el producto terminado, para facilitar su transporte y almacenamiento.

Gracias a las características de este material se obtiene aislamiento térmico y acústico aparte de una total garantía de seguridad frente al fuego. Se suministra en forma de rollos y paneles, con diferentes recubrimientos o sin recubrimiento, lo que permite aplicaciones de todo tipo, principalmente se utiliza en la construcción y en el área industrial.

El aislamiento debe reunir una serie de cualidades. Además de su baja conductividad térmica, suficiente atenuación acústica, buen comportamiento frente a la humedad, al fuego o a determinados agentes químicos; también se debe valorar la forma y facilidad de colocación y que su fabricación no suponga excesos de gasto energético, o ataque al medio ambiente.

Los productos de lana mineral de vidrio deben especificarse en los proyectos de acuerdo con las características que indican las prestaciones que se desean alcanzar y no mediante una descripción de la cantidad de materia prima necesaria para su fabricación (densidad). En muchas ocasiones la densidad se utiliza como parámetro para evaluar las prestaciones de los productos aislantes. Esta situación es absolutamente errónea y lleva a confusiones.

2.5.2. Prestaciones Térmicas

Los gases son muy malos conductores de calor, por lo tanto muy buenos aislantes térmicos. Entonces se puede decir que gracias a la porosidad abierta que presenta la lana mineral de vidrio permite que el aire quede ocluido en el interior de sus poros, llegando a conductividades térmicas cercanas a las de los propios gases.

Debido al adecuado tamaño de los poros se evita al máximo la transmisión de calor por convección, radiación y conducción.

Para las prestaciones térmicas las normas obligan a referirse a los siguientes parámetros:

- λ - Conductividad térmica (expresada en $W/m \cdot K$)
- d – Espesor (normalmente en mm)
- Estas dos características conducen a una resistencia térmica expresada en $m^2 \cdot K/W$

Lógicamente no aparece la densidad por ninguna parte. Para un mismo producto con igual densidad se pueden obtener diferentes conductividades

térmicas en función de la materia prima, el proceso de producción o la orientación de la porosidad.

La densidad sólo indica la cantidad de recursos naturales que ha consumido el producto para cumplir su función de aislante. Aumentar la densidad sin mejorar las prestaciones térmicas sólo conlleva un impacto negativo para el medio ambiente.

2.5.3. Reacción al fuego

Debido al origen pétreo de las materias primas (principalmente arena y otros minerales), el carácter de la lana de vidrio es incombustible, clasificación A1 según las Euroclases. La reacción al fuego se verá modificada cuando incorporamos revestimientos en el producto. La reacción al fuego indica la contribución a la generación y desarrollo de un incendio y debe especificarse mediante la Euroclase que es el grado de reacción al fuego de acuerdo con la norma EN 13501-1.

2.5.4. Comportamiento Higrotérmico

La lana mineral de vidrio es hidrófuga y no capilar. Esto quiere decir que no capta ni transmite la humedad por el interior de sus poros. Para evitar condensaciones al interior del cerramiento las temperaturas deben ser lo más altas posibles y que el cerramiento sea transpirable. Aislantes permeables al vapor de agua será lo más interesante cuando están colocados en el exterior del cerramiento. Cuando vayan colocados en el interior del cerramiento debe incorporarse una barrera de vapor para que no se produzcan condensaciones en el contacto del aislante con el cerramiento. En las fichas técnicas del producto, la eficacia de la barrera de vapor, vendrá determinada mediante el código de designación Z (con valores del 3 al 100). Por el contrario, la permeabilidad al vapor de agua de la lana desnuda se expresará mediante la MU (con valor 1).

Hace referencia a la presencia o no de barreras de vapor y debe especificarse mediante:

- MU1 para los casos en que se desea que la lana sea permeable al vapor
- Z3 para el caso en que se desea incorporar una barrera de vapor en donde xx es la resistencia a la difusión del vapor expresada en $m^2 \cdot h \cdot Pa/mg$

2.5.5. Medio Ambiente

Evaluando todos los impactos ambientales que genera la lana mineral de vidrio, desde la “cuna hasta la tumba” (extracción de las materias primas, fabricación, vida útil del tanque y posterior desecho o reciclaje, y final de vida de la lana de vidrio) la cantidad de energía que nos ahorramos es mayor a la que se consume.

Durante el proceso de producción, la lana mineral de vidrio es el material aislante de menor impacto medioambiental por lo que su contribución a la protección del entorno es la máxima debido a los siguientes factores:

- Naturaleza natural e inorgánica de la lana mineral (lana mineral de vidrio)
- Materia prima compuesta por minerales naturales (arena, calcita, magnesita, etc.), que son sumamente abundantes en la tierra y pueden considerarse prácticamente inagotables.
- Reducido consumo de recursos naturales gracias a las excelentes prestaciones obtenidas con productos sumamente ligeros.
- Inclusión de vidrio reciclado proveniente del propio proceso de fabricación.
- El reciclado de vidrio de procedencia externa colabora con la protección del medio ambiente valorizando el vidrio ya utilizado.
- Minimización de los efluyentes de la fábrica mediante filtrado y recogida selectiva.
- Máximas prestaciones térmicas y acústicas con mínimos consumos de recursos naturales (baja densidad).

2.6. CALENTAMIENTO DE ASFALTO

En el proceso de carga y descarga de asfalto es necesario que mantenga una temperatura adecuada para que puede fluir fácilmente y lograr un vaciado rápido con la mayor homogeneidad posible.

El sistema de calentamiento se compone de serpentines dentro del tanque, que transfieren calor al asfalto mediante aceite térmico que es bombeado por los serpentines a una temperatura de 210 °C.

El serpentín de calentamiento deberá ser situado tan bajo en el tanque tanto como se lo permita el diseño, y debe contarse con las instrucciones para la operación adecuada del equipo y del bombeo. Estas instrucciones deberán encontrarse en el vehículo permanentemente.

Considerando el flujo laminar en un tubo circular de radio r_o (Figura 21), donde el fluido entra en el tubo con una velocidad uniforme.

Sabemos que cuando el fluido entra en contacto con la superficie, los efectos viscosos se vuelven importantes, y se desarrolla una capa límite con el aumento de x . Cuando el flujo completamente desarrollado, y la distancia de la entrada a la que esta condición se logra se denomina longitud de entrada hidrodinámica.

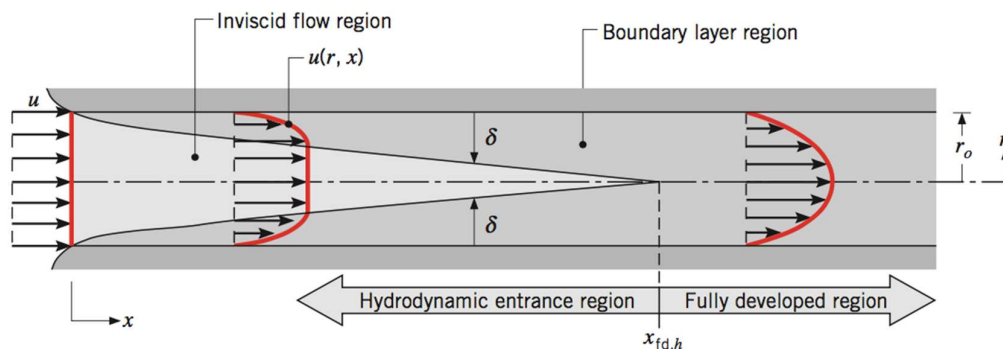


Figura 21: Desarrollo de la capa límite hidrodinámica en tubo circular en flujo laminar

Fuente: (Incropera, 2006)

Cuando se trata de flujos internos, es importante ser consciente de la extensión de la zona de entrada, que depende de si el flujo es laminar o turbulento, y para caracterizar este movimiento del fluido en un tubo circular se utiliza el número adimensional de Reynolds, que se lo define de la siguiente manera:

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

- V = Velocidad del fluido (m/s).
- L = Diámetro de la tubería a través a la cual circula el fluido. (m).
- ν = Viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

El número de Reynolds crítico correspondiente a la aparición de turbulencia es $Re \approx 2300$, por lo que para un flujo laminar es necesario tener un valor menor a este.

El modelo matemático a emplearse permite el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por convección desde los serpentines hasta el asfalto, el cual depende las condiciones de trabajo del fluido de trabajo.

2.6.1. Fluido de Calentamiento

El aceite térmico es un fluido de transferencia de calor formulado para satisfacer los requisitos de los sistemas circulantes calientes que operan a temperaturas de hasta 360 °C. Sobre la base de aceites de base parafínicos altamente refinados con inherentemente buena estabilidad térmica, estos aceites contienen aditivos seleccionados para mejorar estabilidad a la oxidación, protección contra la oxidación o la corrosión del acero y el cobre, y evitar el arrastre de aire y la formación de espuma.

2.6.1.1. Selección de aceite térmico

La selección del fluido térmico para transferir calorías o frigorías a un proceso depende básicamente de las condiciones de temperatura y de presión a las que esté sometido el fluido.

Existen diversos tipos y fabricantes de aceites térmicos: para temperaturas bajas (hasta 250°C), temperaturas medias (hasta 310°C) y temperaturas altas (hasta 360°C). La selección correcta, se debe hacer de acuerdo a la temperatura máxima y no de acuerdo a la temperatura promedio.

Al acercarse la temperatura máxima recomendada por el fabricante, el aceite térmico se degrada, perdiendo su vida, carbonizándose y tapando a los tubos del calentador. Por lo tanto, un calentador de aceite térmico, requiere del control semestral del estado del aceite térmico. Cualquier aumento de caída de presión a través del mismo, indica el comienzo de la degradación del aceite térmico.

Las bombas de aceite de transferencia térmica no operan a alta presión y por lo tanto no tienen las tolerancias mecánicas que pueden ser afectadas por la presencia de partículas, como en cojinetes de la máquina o bombas de aceite lubricante. Tampoco existe un desgaste del metal, que requiere un análisis de metales para evitar el tiempo de inactividad del equipo. Las partículas en el aceite térmico son más una molestia que una amenaza, en el peor de los casos, se asientan en el tanque de expansión.

2.6.1.2. Ventajas y desventajas del aceite térmico

Ventajas:

- Altas temperaturas (250 a 350°C) con presiones bajas, que trae altas capacidades de producción.
- Elimina el tratamiento de agua
- Elimina el mantenimiento a trampas de vapor
- Elimina la línea de condensados (corrosión)

Desventajas:

- Una capacidad de calor muy alta en movimiento, que requiere de bombas recirculadoras y válvulas que soporten altas temperaturas, así como un alto grado de aislamiento térmico.
- Degradación con el tiempo del aceite térmico. No deben existir por ningún motivo fugas de aceite térmico. Peligro de fuego, contaminación y envenenamiento. Costo alto del aceite térmico.
- Control excesivo necesario del aceite térmico (degradación).

2.7. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE ASFALTO

El sistema de recirculación tiene como objetivo lograr una homogeneización del asfalto almacenado en el auto tanque y descargar un producto listo para la utilización.

Durante el transporte de asfalto se generan natas en la superficie del mismo, debido al asentamiento y enfriamiento al ser almacenada por un periodo de tiempo. Este fenómeno es reversible y se soluciona recirculando la mezcla antes de realizar la descarga.

En la tabla 19 se mencionan las acciones necesarias que se deben realizar dentro de un tanque de asfalto para la obtención de una buena mezcla asfáltica.

Tabla 19

Colores para las Etiquetas y Rótulos de Peligro

	Tanque de Asfalto
Acciones Necesarias	Calentamiento
	Agitación
	Recirculación
	Aislamiento

Fuente: (Manual de Emulsiones Asfálticas, QUIMKAO Cía. Ltda., 2014)

La recirculación se la utiliza durante el transporte de asfalto y consiste en una tubería que inicia desde un punto inferior del auto tanque hasta la parte

superior, con la ayuda de una bomba que a su vez puede ser usada para el proceso de descarga. De esta manera se logra eliminar los asentamientos de asfalto y entregar una mezcla homogénea en la descarga.

3. CAPITULO III: DISEÑO DEL AUTO TANQUE

3.1. DEFINICIONES PREVIAS DEL AUTOTANQUE

3.1.1. Diseño Concurrente

“La creación y desarrollo de un producto o máquina a partir de funciones, especificaciones y prestaciones previamente definidas, es una de las actividades más apasionantes, pero a la vez más complejas en el ámbito de la ingeniería, debido a la cantidad de consideraciones y criterios que deben ser establecidos durante el proceso.” (Pérez R., 2006)

Éste proceso comprende una gran cantidad de disciplinas y teorías, de cálculo, diseño y simulación, soluciones constructivas, accionamientos y control, tecnología de materiales, tecnologías de fabricación, técnicas de representación, ergonomía, seguridad y uno de los términos que se han vuelto importantes en los últimos tiempos la reciclabilidad.

Arturo Calderón (2010) define la ingeniería concurrente como un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y servicio.

Pretende que los encargados del desarrollo desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del Ciclo de Vida del Producto, desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, incluyendo calidad, costo y necesidad de los usuarios... (p. 1)

Dentro de la ingeniería y diseño concurrente como se especificó anteriormente este tipo de diseño requiere una gran cantidad de disciplinas que se juntan para generar un diseño final. Algunos de los involucrados en el proceso de diseño se pueden observar en la figura 22.

La importancia de estos grupos radica en que, desde el inicio del proyecto, todos los miembros del grupo tienen la misma información sobre el producto a diseñar. Por lo tanto, algunos de los integrantes del grupo deberán

empezar a trabajar junto con los demás involucrados de forma paralela o en relevos según requiera el tipo de trabajo.

La aplicación del concepto del diseño concurrente puede generar considerables ahorros en el CVP, desde la concepción del producto hasta la producción del mismo en sí. (Ver figura 23)

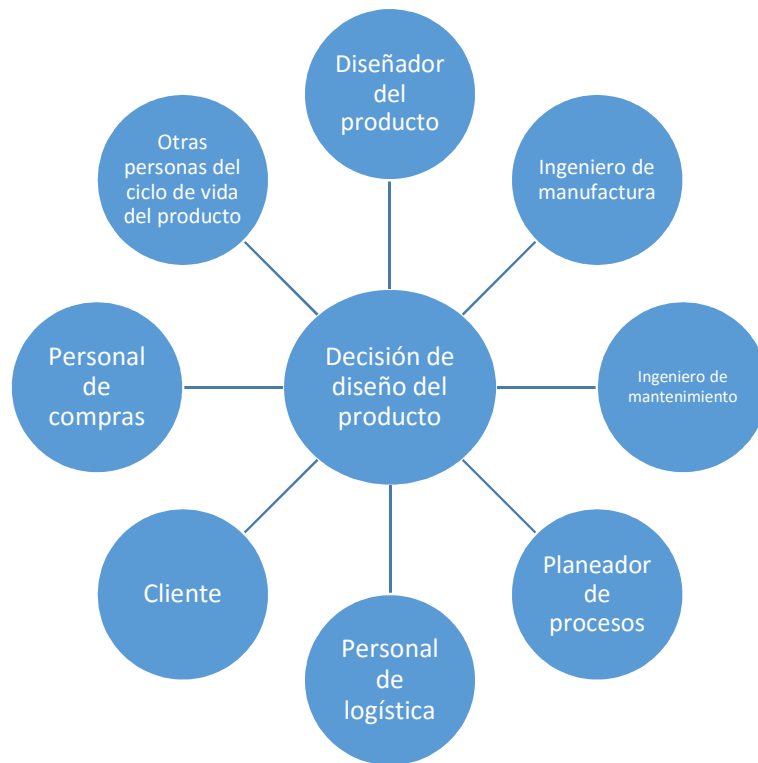


Figura 22: Equipo de trabajo multidisciplinario

Fuente: (Fundamentos de la Ingeniería Concurrente, Arturo C., 2010)

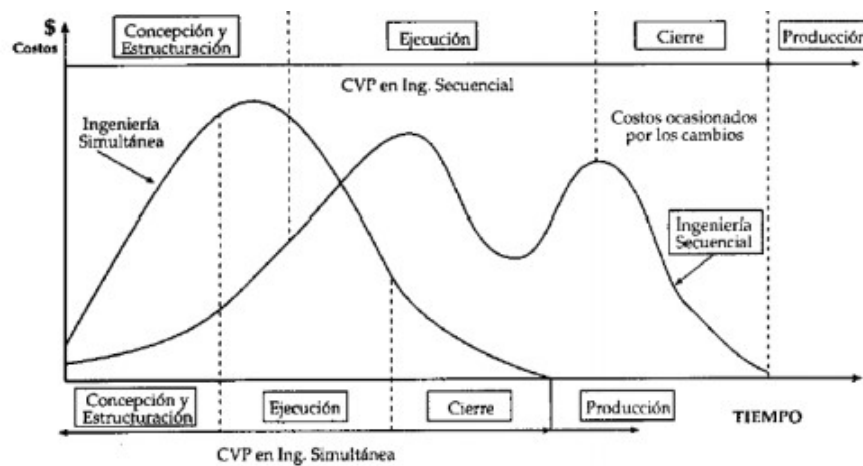


Figura 23: Ciclo de vida del producto (CVP) bajo el enfoque concurrente y tradicional

Fuente: (Fundamentos de la Ingeniería Concurrente, Arturo C., 2010)

3.1.2. Diseño Conceptual

3.1.2.1. Definición de Estructura Funcional

Es bastante útil aplicar el concepto de función para describir y resolver los problemas de diseño, la función es cualquier transformación entre unos flujos de entrada y de salida, tanto de funciones estáticas y dinámicas.

Es una formulación de una tarea, independientemente de la solución particular que se materializa.

La función global representa la tarea global que debe realizar el producto que se va a diseñar y se establece una caja negra que relacione flujos tanto de entrada como de salida. Sin embargo, la presentación antes planteada es muy esquemática y para obtener una representación más precisa, hay que dividir la función global en sub-funciones y a la vez, establecer relaciones de flujo entre las sub-funciones.

Para facilitar la representación de las funciones y de los flujos en la estructura funcional del producto, es conveniente utilizar símbolos adecuados cuya utilización sea la adecuada y lo suficientemente flexible.

Los símbolos utilizados son:

- Función: Rectángulo de línea continua
- Flujo de Material: Flecha línea gruesa continua
- Flujo de Energía: Flecha de línea continua
- Flujo de Señal: Flecha de línea discontinua
- Sistema, Subsistema o Módulo: Polígono de línea de punto

3.1.2.2. Desarrollo y Análisis de Diagramas Funcionales

Los diagramas funcionales relacionan los elementos de entrada dentro de una función principal para determinar elementos de salida como se observa en la figura 24



Figura 24: Función Global Análisis Funcional

Fuente: Diseño Concurrente, Carlos Riba.

Para este proyecto se ha realizado un análisis funcional de dos niveles ya que los mismos son suficientes para obtener todas las soluciones que se necesitan para el sistema

En el nivel 0 (Figura 25) constituye la función primaria del proyecto, que en nuestro caso es el transportar asfalto, por lo que se requiere de material, energía y señales de control generadas por los operadores.

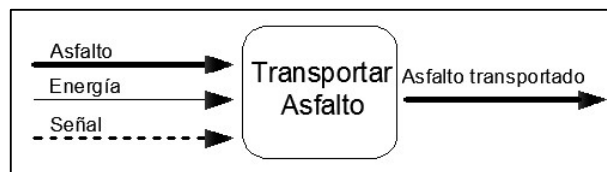


Figura 25: Análisis Funcional Nivel 0

Fuente: Propia

En el nivel 1 (Figura 26) se observa las tres funciones principales que realiza el producto, que son: cargar, transportar y descargar el asfalto.

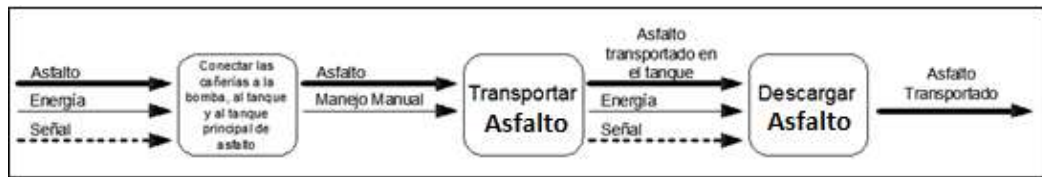


Figura 26: Análisis Funcional Nivel 1

Fuente: Propia

El nivel 2 (Figura 27) se realiza el desglose de las funciones que en el nivel 1 se generalizaron y que son necesarias para el desarrollo funcional del sistema.

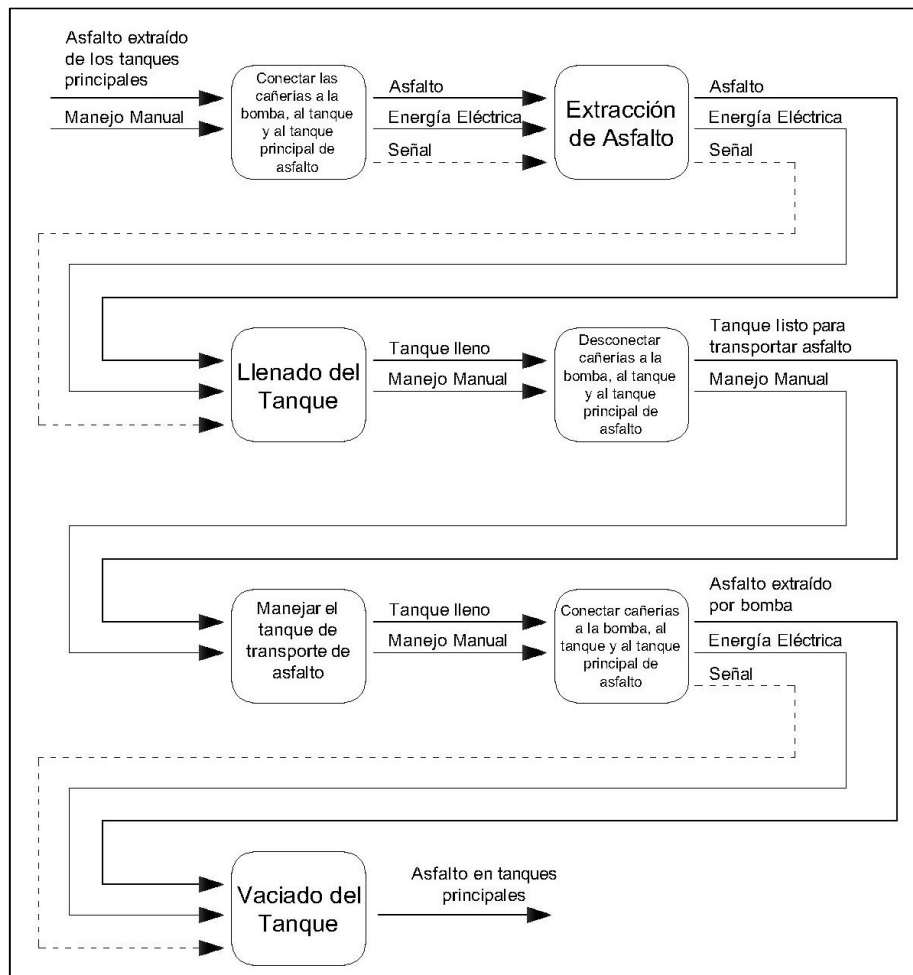


Figura 27: Análisis Funcional Nivel 2

Fuente: Propia

3.1.3. Definición de Módulos

El concepto de modularidad sugiere dividir un producto en varios bloques ya sean estos funcionales o constructivos.

“Podría parecer que siempre ha sido así, que los productos siempre se han tenido componentes y partes que luego se integran en conjuntos más complejos, esto es cierto. Sin embargo, cuando se observa la evolución de los productos podemos encontrar un cambio en la filosofía con respecto a ese aspecto, que se toma en consideración el concepto de ciclo de vida de los productos y de la necesidad de las empresas de establecer una gama coherente y racional de los productos que fabrican.” (Riba C., 2002, pg. 121)

“Los productos modulares son aquellos que están organizados según una estructura de diversos bloques constructivos, orientada a ordenar e implantar las distintas funciones y a facilitar las operaciones de composición del producto” (Riba C., 2002, pg. 121)

3.1.3.1. Módulos funcionales

Los módulos, orientados principalmente a materializar una o más funciones del producto y que se centran en la interface de conexión y a los flujos de señales, energía y materiales a través del proceso y con el entorno.

“Los módulos funcionales ayudan a organizar e implantar las funciones de un producto y, por lo tanto, exigen una atención especial en la elaboración de la estructura funcional y un esfuerzo importante durante las etapas de definición y de diseño conceptual.” (Riba C., 2002, pg. 121)

3.1.3.2. Módulos constructivos

“Son aquellos bloques, o módulos, orientados fundamentalmente a estructurar y facilitar las operaciones de composición de un producto por medio de la partición de una secuencia de fabricación compleja en secuencias de menor complejidad y prestan una especial atención a las interfaces de unión. Los módulos constructivos colaboran a implantar la fabricación, facilitan

las tareas de planificación de la producción y disminuyen los costes. Por lo tanto, su implantación exige una especial atención en la elaboración de la estructura del proceso de fabricación y un esfuerzo concurrente de los responsables de ingeniería de fabricación desde las primeras etapas del proyecto” (Riba C., 2002, pg. 122)

3.1.3.3. División Modular

El proyecto se dividió en 3 módulos como se explicó anteriormente. (Ver figura 28)

3.1.3.4. Soluciones para cada Módulo

3.1.3.4.1. Módulo 1

Como podemos observar en la Figura 28 el módulo 1 comprende las siguientes funciones:

- Conectar las cañerías a la bomba al auto tanque y al tanque principal
- Llenar el tanque

Dado que la bomba que succiona el asfalto para llenar el tanque es externa decimos que esta servirá para todos los auto tanques, es decir que los ductos y mangueras no representan un problema de diseño ya que se rigen a una norma de construcción preestablecida.

3.1.3.4.2. Módulo 2 y 3

El segundo módulo (Figura 28) comprende la función de transportar el asfalto dentro del auto tanque, y el tercer módulo comprende el proceso de descarga, por lo que se definen soluciones para la construcción del mismo.

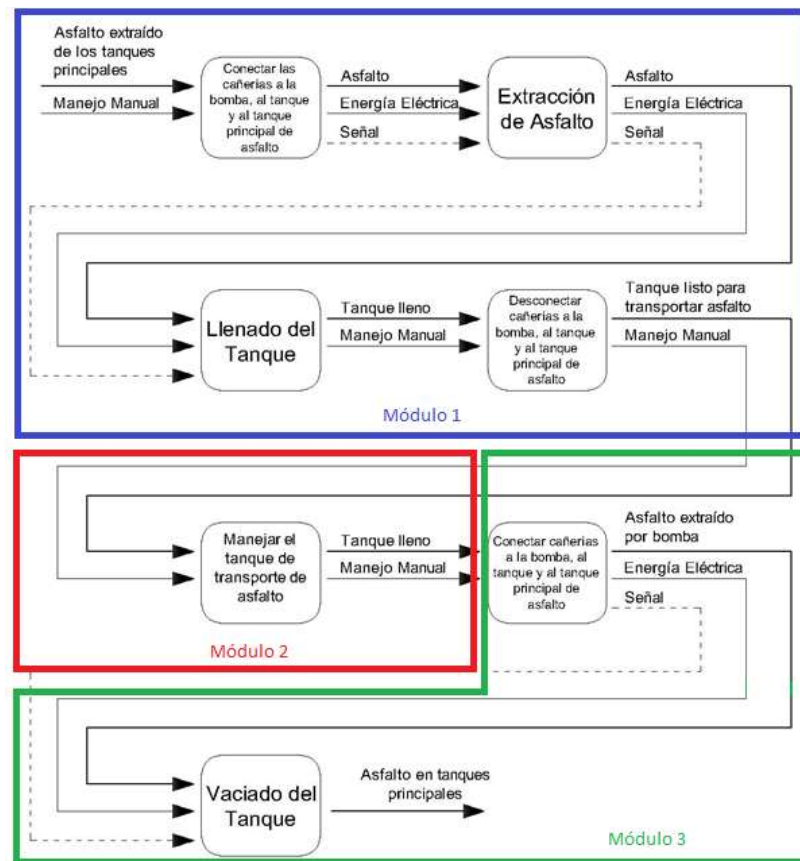


Figura 28: División Modular

Fuente: Propia

3.1.4. Alternativas de Diseño

3.1.4.1. Disposición de Tanque de Almacenamiento

Inicialmente se determina que por las condiciones de auto tanque de transporte este tiene que ser de tipo horizontal y esto se considera como alternativa única.

Los recipientes horizontales se emplean en la mayoría de tanques de transporte, para sustancias tanto sólida, líquida y gaseosa.

Ventajas

- Momento de inercia cerca de la superficie del suelo (por lo que es difícil que este se vuelque)

- Excelente estabilidad
- Se pueden transportar distintos tipos de fluidos
- Facilidad de diseño
- Gran acogida en el mercado

Desventajas

- Se emplean hasta solo cierto volumen
- Existe mayor concentración de esfuerzos en las soldaduras del cuerpo del tanque

3.1.4.2. Sección del Tanque

Alternativa 1: Sección circular

Es uno de los más comunes, la sección circular se utiliza para el transporte de sustancias, especialmente gaseosas junto con tapas semiesféricas

Ventajas

- Facilidad de fabricación
- Facilidad de diseño

Desventajas

- Inestabilidad con sustancias altamente densas/viscosas
- Centro de gravedad alto

Alternativa 2: Sección elíptica

Los tanques de sección elíptica son los más usados en el ámbito de transporte de hidrocarburos líquidos ya que proporcionan una estabilidad adicional al estar su centro de gravedad más cercano al suelo en comparación con otros tipos de tanque

Ventajas

- Estabilidad en el transporte de sustancias líquidas y viscosas
- Centro de gravedad bajo

Desventajas

- Dificultad de fabricación
- Dificultad de diseño

3.1.4.3. Cabezas del Tanque**Alternativa 1: Cabezas Planas**

Se utilizan para recipientes atmosféricos, aunque en algunos casos se utilizan en recipientes a presión. Su costo es más bajo. Se utilizan como fondos de tanques de almacenamiento grandes.

Ventajas

- Bajo costo
- Facilidad de diseño y construcción

Desventajas

- No son muy utilizadas para recipientes a presión
- Poca acogida en el mercado
- Capacidad volumétrica nula

Alternativa 2: Cabezas Semi-elípticas

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa torisférica es relativamente alto, ya que las tapas semi-elípticas soportan mayores presiones que las torisféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es el troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y en México se fabrican hasta un diámetro máximo de 3 metros

Ventajas

- Soportan mayores presiones
- Se pueden trabajar en frío o caliente

Desventajas

- Costo elevado

- Dificultad de diseño

Alternativa 3: Cabezas Toriesféricas

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

Ventajas

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

Desventajas

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

Alternativa 4: Cabezas Semiesféricas

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas. Como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación

Ventajas

- Soportan gran cantidad de presión
- Gran capacidad volumétrica

Desventajas

- Dificultad de construcción
- Dificultad de diseño

3.1.4.4. Aislamiento Térmico

Alternativa 1: Lana de roca

Los productos de Lana Mineral y de Lana de Roca son aislamientos térmicos y acústicos. Su origen mineral y composición química aseguran una perfecta estabilidad a altas temperaturas (650°C / 1100°F). Son químicamente inertes y resistentes a los agentes externos. Sus características los hacen resistentes a vibraciones y son estables aún en medios húmedos. No poseen contraindicaciones de ninguna índole por razones de higiene y seguridad, ni exigen precauciones especiales para su uso. (Catálogo RATSA, 2015)

Ventajas:

- Máxima eficiencia Térmica
- No Favorecen la corrosión
- Ahorro directo en el consumo de energía
- Reducen el ruido y la emisión de contaminantes al medio ambiente
- Fácil aplicación y manejo

Desventaja

- Dificultad de instalación
- Liberación de polvo

Alternativa 2: Lana de vidrio

La Fibra de Vidrio o Lana de Vidrio se fabrica a partir de arenas, silicatos y boratos, elementos naturales que dan como resultado un producto incombustible dotado de las características necesarias para funcionar como un eficiente aislante termoacústico.

Los productos de Fibra de Vidrio (Lana de Vidrio) Owens Corning que le presentamos son los más representativos de esta línea, por lo que si no

encuentra el producto que necesita lo invitamos a ponerse en contacto con nosotros y con gusto lo atenderemos. (Catálogo RATSA, 2015)

Ventajas

- Eficiencia térmica
- Resistente a la vibración
- No favorece la corrosión
- Fácil de instalar y manejar
- Incombustible

Desventajas

- Produce polvo nocivo para la salud

3.1.5. Análisis de Alternativas

3.1.5.1. Disposición del Tanque

Como se había especificado anteriormente la mejor alternativa realmente viable para este tipo de proyecto es el tanque tipo horizontal que es el tradicional usado para el transporte de sustancias.

3.1.5.2. Sección del Tanque

Para el análisis tenemos dos tipos de secciones consideradas, la circular y la elíptica (Figura 29), cada una con sus ventajas y desventajas, siendo estas las más populares y usadas en el ámbito de transporte de hidrocarburos.

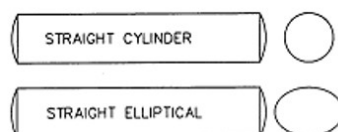


Figura 29: Secciones Circulares y elípticas de Tanques cilíndricos

Fuente: (Guidelines for structural evaluation of cargo tanks, 1996)

3.1.5.3. Cabezas del Tanque

Para el análisis de este elemento contamos con la siguiente información sumada a las ventajas y desventajas que éstas presentan, que se mencionaron anteriormente.

En la figura 30 podemos observar la diferencia entre tapas considerando su capacidad volumétrica.

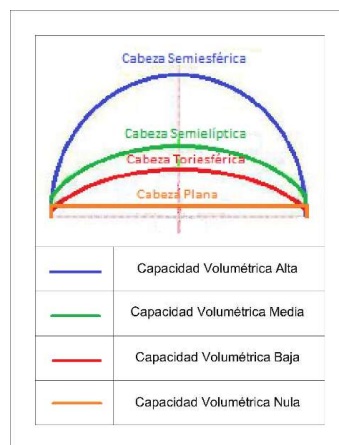


Figura 30: Comparación de Capacidad Volumétrica de Diferentes Cabezas.

Fuente: Propia

En la figura 31 podemos observar las presiones que pueden soportar los diferentes tipos de tapas dependiendo de su tipo y su diámetro

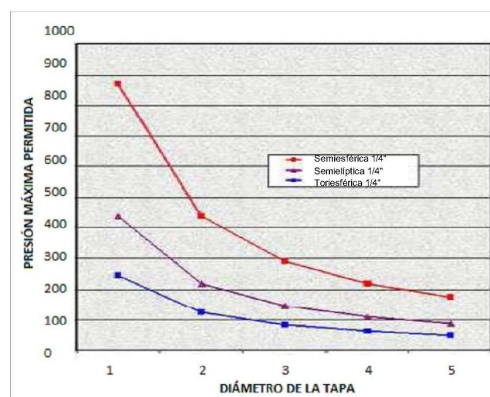


Figura 31: Comparación de Presiones Máximas Soportadas por diferentes tipos de cabezas

Fuente: (Trinity México, 2009)

3.1.5.4. Aislamiento Térmico

Para el aislamiento térmico contamos con los siguientes datos técnicos para la comparación.

Para esto analizaremos las gráficas de conductividad térmica vs temperatura de cada uno de los aislamientos (Figura 32 y Figura 33)

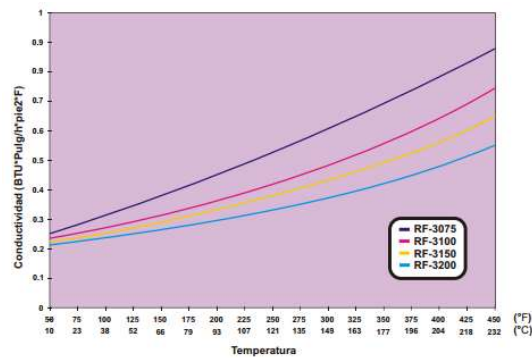


Figura 32: Gráfica Temperatura vs. Conductividad Térmica Lana de Vidrio

Fuente: (Catálogo OWENS CORNING, 2014)

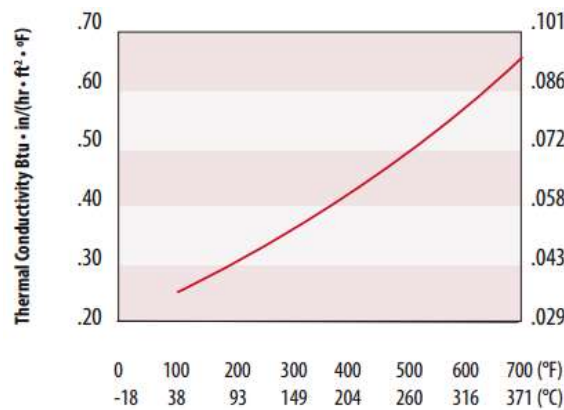


Figura 33: Gráfica Temperatura vs. Conductividad Térmica Lana de Roca

Fuente: (Catálogo CALORCOL, 2013)

3.1.6. La Casa de la Calidad

Carlos Riba (2002)

Es una matriz, parte del Diseño en Función de la Calidad, que traduce las demandas del usuario en requerimientos técnicos del producto. En ella se distinguen 6 pasos:

1. Voz del usuario: Describe las demandas (requerimientos y deseos) de los usuarios
2. Análisis de competitividad: Describe, según el usuario, el grado de satisfacción que proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia
3. Voz del ingeniero: Describe los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios
4. Correlaciones: Establece las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero
5. Comparación técnica: Compara el producto de la empresa con los de la competencia
6. Compromisos técnicos: Establece los compromisos potenciales entre las diferentes características técnicas del producto

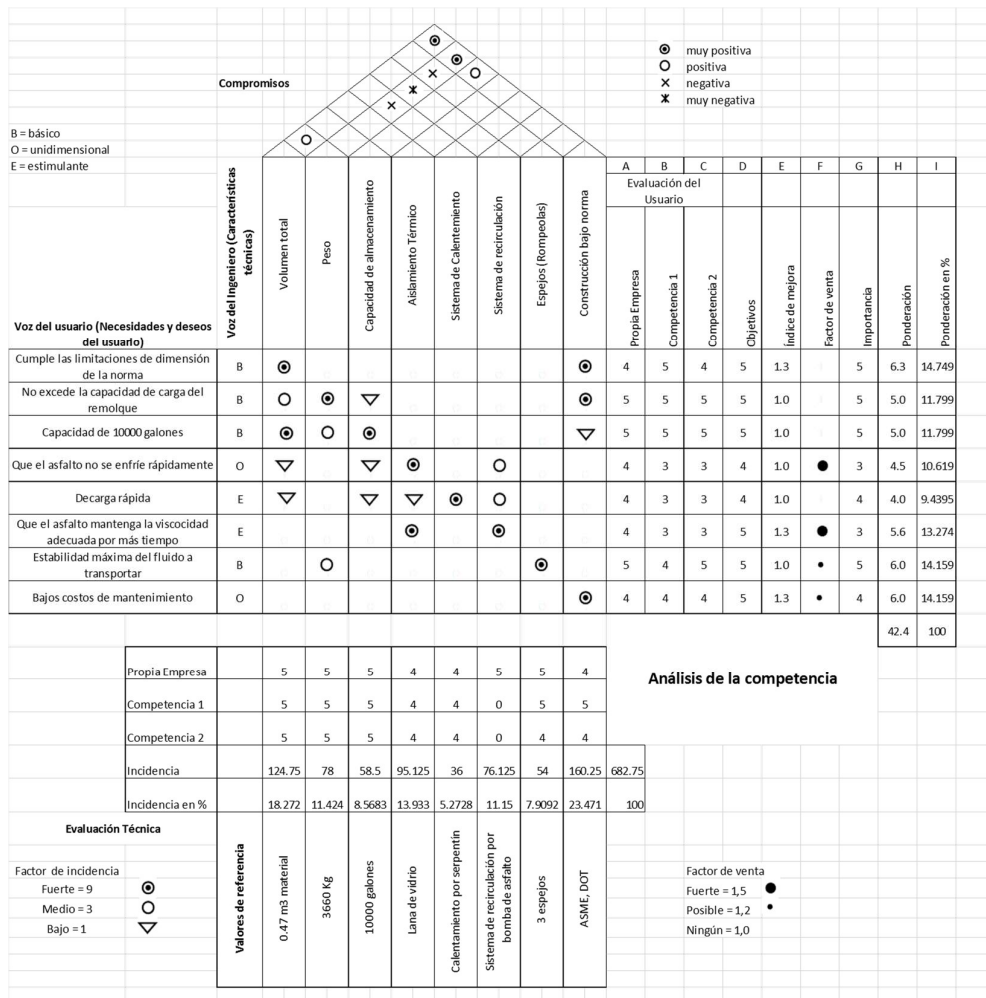


Figura 34: Casa de la Calidad

Fuente: (Diseño Concurrente, Carlos Riba, 2002)

Basándonos en esto podemos determinar que el factor técnico más influyente es el cumplimiento de las normas de construcción que permitan que el tanque cumpla con su función y también pueda circular sin problemas por el país cumpliendo las regulaciones de ley.

3.1.7. Cuadro de Ponderaciones

Para este paso se enlistó las características principales para el diseño como se detallará a continuación.

Según el nuestro criterio se enlistarán las características claves a las cuales se detallarán un valor de importancia que determinará el valor máximo que esta característica puede llegar a tener.

Las características seleccionadas son.

- Costo
- Facilidad de diseño
- Facilidad de montaje
- Facilidad de fabricación
- Mantenibilidad
- Seguridad
- Capacidad de aislamiento (Aislamiento Térmico)

3.1.7.1. Sección del Tanque

Tabla 20

Cuadro de Ponderaciones para la Sección del Tanque

Característica	Importancia	Alternativa 1	Alternativa 2
Seguridad	10	6	10
Costo	10	10	9
Facilidad de diseño	9	9	8
Facilidad de montaje	9	9	9
Facilidad de fabricación	8	8	7
Mantenibilidad	9	9	9
TOTAL	55	51	52

Fuente: Propia

3.1.7.2. Cabezas de Tanque

Tabla 21

Cuadro de Ponderaciones para las Cabezas del Tanque

Característica	Importancia	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Seguridad	10	6	8	8	9
Costo	10	10	6	7	5
Facilidad de diseño	9	9	7	7	6
Facilidad de montaje	9	9	9	9	8
Facilidad de fabricación	8	8	7	7	6
Mantenibilidad	9	8	8	8	9
TOTAL	55	50	45	46	43

Fuente: Propia

3.1.7.3. Aislamiento Térmico

Tabla 22

Cuadro de Ponderaciones para el Aislante Térmico

Característica	Importancia	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	10	8	10
Facilidad de montaje	9	9	9
Seguridad	8	8	8
Capacidad de aislamiento	9	9	8
TOTAL	36	34	35

Fuente: Propia

3.1.8. Selección de la Mejor Alternativa

Realizado el análisis podemos determinar los parámetros de diseño que se utilizarán para construcción del tanque los cuales son los siguientes

- **Tipo de tanque:** Horizontal
- **Sección:** Elíptica
- **Tapas:** Planas

- **Aislamiento térmico:** Lana de vidrio

3.2. DISEÑO MECÁNICO

En los anteriores capítulos se realizó un análisis de las normas y requisitos que aplican para el diseño y construcción de auto-tanques para el transporte de líquidos inflamables, y en base a la alternativa seleccionada, el presente capítulo se propone el siguiente diseño.

3.2.1. Generalidades y definiciones previas

El auto-tanque cilíndrico se construirá de sección elíptica, cabezas planas, cuatro espejos y ocho anillos de refuerzo, con una capacidad de 10000 galones de asfalto.

Los parámetros de diseños de temperatura y presión son considerados de acuerdo a las condiciones críticas de trabajo del auto-tanque, y se muestran a continuación (Ver Anexo B1):

- $T_d = 160 \text{ }^\circ\text{C}$ = Temperatura de diseño.
- $P_d = 101325 \text{ Pa}$ = Presión de diseño atmosférica

La norma NFPA 385 será la base del diseño en general de la alternativa propuesta, conjuntamente con las reglamentaciones que imponen el Ministerio de Transporte y Obras Públicas como la Dirección Nacional de Hidrocarburos, tanto en la selección de elementos estructurales como de control, cálculo de fuerzas, presiones, cargas, etc., así como de los requerimientos necesarios para operación y transporte de asfalto que trasladará el auto tanque.

3.2.2. Material a Transportar (Asfalto)

El asfalto a transportar puede ser distribuido tanto por Petroecuador como por las diferentes comercializadoras que operan en el país, y las propiedades que se utilizarán para el diseño son las del asfalto comercial AC-20.

Tabla 23

Datos generales del Asfalto AC-20

Nombre Químico: Hidrocarburo	Estado Físico: Se transporta en estado líquido
Nombre Comercial: AC-20	Clase de Riesgo de Transporte: Clase 3, Líquido inflamable
Familia Química: ND	Símbolos: Asfalto AC-20
Descripción General del Producto: Mezcla de hidrocarburos de número compuestos orgánicos de alto peso molecular dependientes del aceite crudo y los procesos empleados en la refinación. Se emplea para la pavimentación.	

Fuente: (Hoja de Datos de Seguridad, PEMEX S.A., 2013)

Tabla 24

Identificación Asfalto AC-20

COMPONENTE	%VOL	NUMERO ONU	NUMERO CAS	GRADO DE RIESGO			
				S	I	R	E
ASFALTO	100	1999	8052-42-4	1	2	0	W

Fuente: (Hoja de Datos de Seguridad, PEMEX S.A., 2013)

Tabla 25

Propiedades físicas - Químicas Asfalto AC-20

PROPIEDADES	VALOR
Temperatura de Ebullición (°C)	300
Temperatura de Fusión (°C)	54 – 173
Temperatura de Inflamación (°C)	232
Temperatura de Auto Ignición (°C)	400
Densidad Relativa (agua = 1)	1.0 – 1.18
Densidad Especifica (Kg/m ³)	952
Viscosidad Cinemática @ 135 °C (mm ² /s)	300
Ductilidad @ 25 °C	50

Fuente: (Hoja de Datos de Seguridad, PEMEX S.A., 2013)

3.2.3. Especificación de Material

Los materiales que se utilizan en el diseño son fácilmente encontrados en el mercado nacional, el acero ASTM A 36 es un acero de uso común en el país, por lo cual facilita su mantenimiento, reconstrucción y recambio. El acero escogido es aceptado para utilizarlo en este diseño y a continuación se muestra un cuadro de propiedades de dicho material.

Tabla 26

Propiedades Acero ASTM A36

PROPIEDADES	VALOR
Módulo de Elasticidad	2×10^5
Factor de Poisson	0.26
Módulo de Rigidez	7.93×10^4 MPa
Coefficiente de Expansión Térmica	11.7×10^{-6} /K
Densidad	7850 Kg/m ³
Conductividad	44.99 W/(m*K)
Calor Especifico	0.5 KJ/(Kg*K)
Resistencia a la Fluencia Tracción	250 MPa
Resistencia Final Tracción	400 MPa

Fuente: (Dipac Manta S.A., 2015)

De acuerdo de los requerimientos y necesidades de la empresa los materiales a utilizar para la construcción del tanque y chasis está en conformidad con la norma NFPA 385, se especifican en la tabla 27.

Tabla 27

Especificaciones de material para los diferentes componentes de Auto Tanque

Cuerpo Elíptico	ASTM A36
Tapas Delantera y Posterior	ASTM A36
Espejos Deflectores	ASTM A36
Chasis	ASTM A36
Recubrimiento Exterior	AISI 430
Aislamiento Térmico	Lana de Vidrio
Serpentín de Calentamiento	ASTM A106 B
Tubería Sistema de Recirculación	ASTM A106 B

Fuente: Propia

3.2.4. Especificación de Dimensiones del Auto Tanque

Las dimensiones y pesos generales del auto-tanque (Figura 35 y 36) están reglamentadas según el tipo por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, ya que el vehículo va a ser utilizado a lo largo de la red vial del Ecuador.

Según la alternativa seleccionada el vehículo para el transporte de asfalto es auto-tanque con semirremolque de tres ejes, que de acuerdo clasificación del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, es transporte de tipo 3S3.

- Peso = 48 Toneladas (8 T en el eje delantero, 18 T en los ejes intermedios, 22 T en los ejes posteriores).
- Longitud Total Máxima; L = 20.50 metros
- Altura Máxima; H = 4.50 metros
- Ancho Máximo = 2.60 metros
- Semirremolque = 13.00 metros

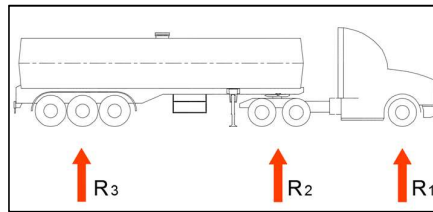


Figura 35: Pesos Permitidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Fuente: Propia

Distribución de carga reglamentaria:

R1 = 7 Toneladas

R2 = 20 Toneladas

R3 = 24 Toneladas

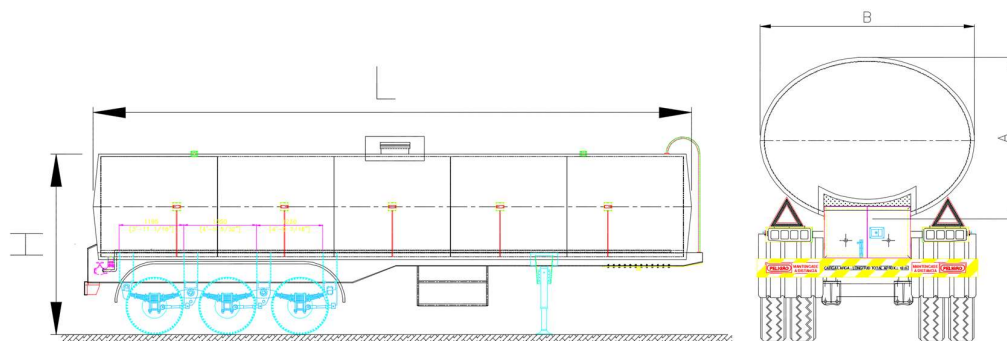


Figura 36: Dimensiones Generales del Auto Tanque

Fuente: Propia

Las dimensiones generales del auto tanque a diseñarse son:

- Longitud Total; $L = 18.00$ metros
- Altura Máxima; $H = 3.60$ metros
- Ancho Máximo; $B = 2.70$ metros

El peso del auto-tanque, está definido por el peso del cabezal; del tanque vacío y de la carga (Agua, condición extrema de carga).

3.2.5. 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 ejercida por el peso del fluido sobre el tanque.
- Cargas por Viento.
- Carga por aceleración y frenado.
- Cargas contra riesgo de accidentes por impacto según DOT.
- Cargas generadas por el movimiento del fluido en el transporte
- Esfuerzos localizados: Peso del tanque, accesorios, sistemas de calentamiento, aislamiento, etc.

Los esfuerzos producidos por las cargas a las que se somete el auto-tanque serán encontrados mediante cálculos y simulados en el software de estudios estructurales mediante elementos finitos de un software CAD/CAE, para validar el diseño.

3.2.5.1. Cargas por Viento

Las cargas por viento para el diseño del tanque son dos y se pueden observar en la figura 37 y 38:

- Carga en la parte frontal del auto-tanque: Esta carga podría ser despreciada por la aerodinámica del camión remolcador, que va a romper la presión de viento contra el tanque remolcado.

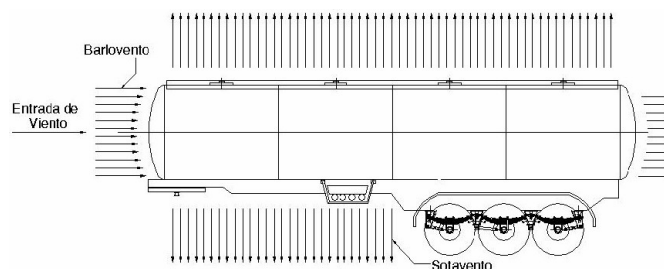


Figura 37: Esquema de Barlovento y Sotavento en Carga Frontal

Fuente: (Guía de Construcción para Auto Tanques, Andrés E., 2014)

- Carga en la parte lateral del auto-tanque

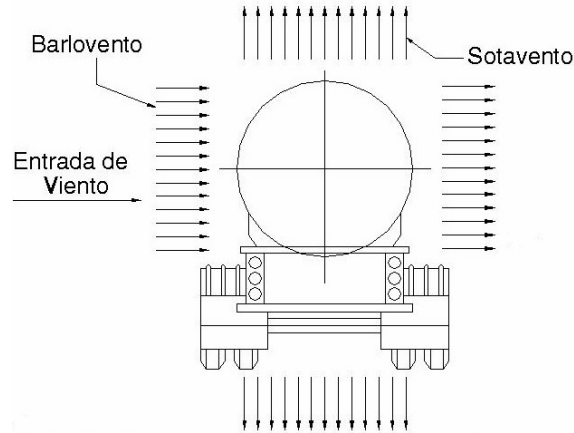


Figura 38: Esquema de Barlovento y Sotavento en Carga Lateral

Fuente: (Guía de Construcción para Auto Tanques, Andrés E., 2014)

Tomando una postura conservadora, el código ASCE 7-98, recomienda un valor de 110 MPH como velocidad promedio del viento.

La fuerza estática que genera la presión del aire es calculada mediante la Ecuación 3-1:

$$F_v = q \cdot G \cdot C_f \cdot A_f \quad \text{Ec. 3-1}$$

Donde:

- F_v = Fuerza ejercida por la presión del viento (lb/pie³).
- q = Presión del viento (lb/pie³).
- G = Factor de efecto por ráfaga.
- C_f = Coeficiente de Fuerza (de 0.7 a 0.9).
- A_f = Área proyectada expuesta al viento (pie²).

Para los casos de carga por viento frontal y carga por viento lateral el factor de ráfaga es $G = 0.85$ debido a la categoría de exposición D.

El coeficiente de fuerza para cilindros es $C_f = 0.8$.

La velocidad de la presión del viento se calcula mediante la Ecuación 3-2:

$$q = 0.00256 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot I \cdot V_V^2$$

Ec. 3-2

Donde:

- q = Presión del viento (lb/pie³).
- k_z = Coeficiente de exposición por presión dinámica.
- k_{zt} = Factor topográfico.
- I = Factor de Importancia.
- V_V = Velocidad del viento (MPH)

Para ambos casos se tiene un requerimiento topográfico, considerando la posibilidad de que el autotanque circule por la sierra ecuatoriana, se sigue la indicación 2 del numeral 6.5.7.1 Aumento de velocidad del viento sobre colinas, crestas o escarpes, que nos indica lo siguiente: “La colina, cresta, o escarpes sobresale por encima de la altura de las características del terreno contra el viento a 2 millas Radio (3,22-km) en cualquier cuadrante por un factor de 2 o más”.


Por tanto seleccionamos $k_{zt} = 2$

El factor de importancia está determinado mediante la tabla 28, donde se consideran las características de ocupación y uso de la estructura a diseñar. Como consecuencia de esta clasificación el factor de importancia es $I = 1.15$, debido a que el auto-tanque entra en la clasificación IV.

Tabla 28

Clasificación de Edificios y otras Estructuras para Cargas de Viento

Características de Ocupación	Categoría	Factor de Importancia
Edificios y otras estructuras que representan un bajo peligro para la vida humana en el evento de falla incluyendo, pero sin limitarse a: <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones Agrícolas • Instalaciones temporales • Instalaciones de almacén menores 	I	0.87


 Continúa

Todos los edificios y estructuras no contempladas en las categorías I, III y IV.	II	1.00
<p>Edificios y otras estructuras que representan un peligro considerable para la vida humana en el evento de falla incluyendo, pero sin limitarse a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Edificios y otras estructuras donde se reúnen más de 300 personas en un área • Edificios y otras estructuras para centros de educación superior con capacidad para 500 personas o más. <p>Edificios y otras estructuras que contengan suficientes cantidades de sustancias tóxicas, explosivas o similares para el ser humano en caso de ser expuestas al medio ambiente debido a una falla incluyendo, pero sin limitarse a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones petroquímicas • Instalaciones de almacenamiento de combustible • Instalaciones para la manufactura o almacenaje de químicos peligrosos • Instalaciones para la manufactura o almacenaje de explosivos 	III	1.15
<p>Edificios y otras estructuras consideradas como instalaciones esenciales incluyendo, pero sin limitarse a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hospitales o instalaciones quirúrgicas y de urgencia • Estaciones de policía, bomberos y rescate y estacionamientos para vehículos de emergencia • Centros de comunicación y otras instalaciones necesarias para asistir a la comunidad en casos de emergencia • Estructuras necesarias para la operación listadas en la categoría IV (torres de comunicación, tanques de almacenaje de combustible, torres de enfriamiento, subestaciones eléctricas) 	IV	1.15

Fuente: (Código ASCE 7, 1998)

El factor de exposición está en la tabla 6.3 del código ASCE 7, mediante la altura del tanque $H = 3.6$ (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 $k_z = 1.03$.

- Área Proyectada del auto-tanque

Para el cálculo del área expuesta se determina mediante la ecuación 3-3 dependiendo si la carga de viento es frontal o lateral, en base al esquema de dimensiones generales del auto-tanque que se muestra en la figura 36.

3.2.5.1.1. Carga por Viento Frontal

$$A_f = \pi \cdot \frac{A}{2} \cdot \frac{B}{2} \quad \text{Ec. 3-3}$$

$$A_f = \pi \cdot \frac{2.52}{2} \cdot \frac{1.984}{2} = 3.926 \text{ m}^2 = 42.27 \text{ pie}^2$$

- Presión de la velocidad de viento

$$q = 0.00256 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot I \cdot V_v^2 \quad \text{Ec. 3-4}$$

$$k_z = 1.03$$

$$k_{zt} = 2.00$$

$$I = 1.15$$

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

$$q = 0.00256 \cdot 1.03 \cdot 2.00 \cdot 1.15 \cdot 110^2 = 73.38 \left(\frac{\text{lbf}}{\text{pie}^2} \right)$$

- Fuerza aplicada por el viento

$$F = q \cdot G \cdot C_f \cdot A_f \quad \text{Ec. 3-5}$$

$$G = 0.85$$

$$C_f = 0.80$$

$$Fv1 = 73.38 \cdot 0.85 \cdot 0.80 \cdot 42.27 = 2109.2 \text{ lbf} = \mathbf{9382.19 \text{ N}}$$

3.2.5.1.2. Carga por Viento Lateral

$$Af = L \cdot H \quad \text{Ec. 3-6}$$

$$Af = 10.90 \cdot 3.60 = 39.24 \text{ m}^2 = \mathbf{422.38 \text{ pie}^2}$$

- Presión de la velocidad de viento

$$q = 0.00256 \cdot kz \cdot kzt \cdot I \cdot V_v^2$$

$$kz = 1.03$$

$$kzt = 2.00$$

$$I = 1.15$$

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

$$q = 0.00256 \cdot 1.03 \cdot 2.00 \cdot 1.15 \cdot 110^2 = \mathbf{73.382 \left(\frac{\text{lbf}}{\text{pie}^2} \right)}$$

- Fuerza aplicada por el viento

$$F = q \cdot G \cdot Cf \cdot Af$$

$$G = 0.85$$

$$Cf = 0.80$$

$$Fv2 = 73.382 \cdot 0.85 \cdot 0.80 \cdot 422.38 = 21076.66 \text{ lbf} = \mathbf{93753.65 \text{ N}}$$

3.2.5.2. Cargas Dinámicas

Las cargas dinámicas son producidas por el peso y movimiento del asfalto generados por la aceleración, la desaceleración, y por salto por la irregularidad de la carretera. Estas cargas se aplican sobre las paredes del cuerpo, tapas y los espejos, generando cargas longitudinales, laterales, y verticales.

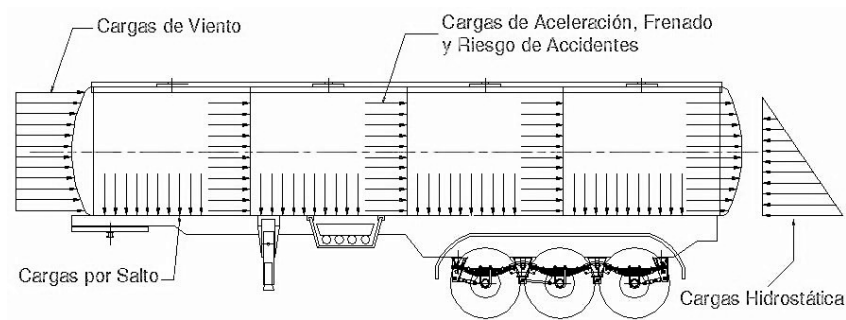


Figura 39: Combinación de Cargas en un Auto Tanque

Fuente: (Guía de Construcción para Auto Tanques, Andrés E., 2014)

3.2.5.2.1. Presión Hidrostática

La presión hidrostática es la carga más importante para el cálculo de la resistencia del tanque, ya que se debe al peso del producto a transportar, debido a que ejerce fuerzas perpendiculares sobre la superficie que lo contiene, y se utiliza la mecánica del fluido para realizar su cálculo mediante las siguientes ecuaciones:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h_{max} + P_o \quad \text{Ec. 3-7}$$

Donde:

- P_h = Presión hidrostática (Pa).
- ρ = Densidad del fluido (Kg/m^3).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).
- h_{max} = Altura máxima del Fluido (m).
- P_o = Presión atmosférica (Pa).

Se considera que la densidad del fluido debe ser a la temperatura de diseño.

$$\rho = 952 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad @ \quad T_d = 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{max} = 1.854 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_o = 101325 \text{ Pa}$$

$$P_h = 952 \cdot 9.81 \cdot 1.854 + 101325 = \mathbf{118639 \text{ Pa}}$$

A continuación, se muestra la aplicación de la presión hidrostática en el tanque mediante el software CAD/CAE.

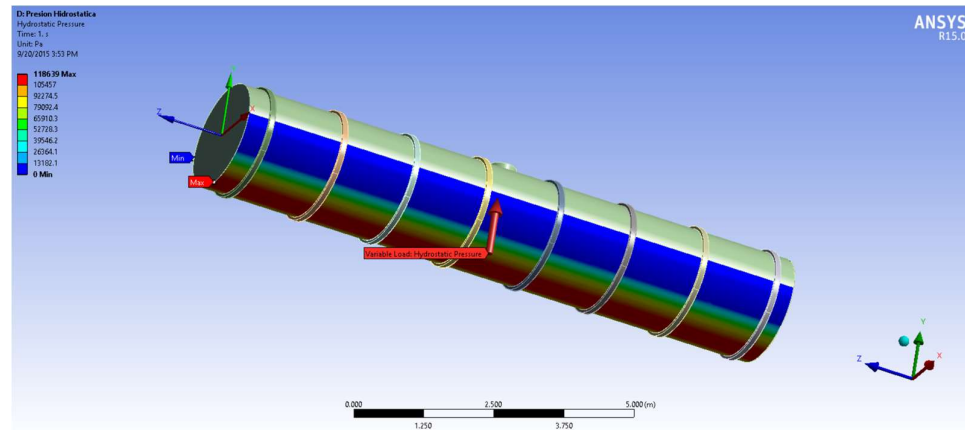


Figura 40: Presión Hidrostática Simulada en SOFTWARE CAD/CAE

Fuente: Propia

3.2.5.2.2. Fuerza por Riesgo de Accidente por Impacto

La consideración de una carga de prevención de accidentes, es un 25% de la aceleración de la gravedad, que lo establece el código DOT 412 debido a las cargas generadas por el movimiento del fluido. La fuerza generada por riesgo de accidente por impacto se va a producir sobre cada espejo, y una cabeza del tanque. Se considera esta carga como parte del diseño en la condición más crítica en caso de accidente en la que se puede encontrar el auto tanque.

$$F_{ra} = \frac{m}{N + 1} \cdot a_{ra} \quad \text{Ec. 3-8}$$

Donde:

- m = Masa de asfalto (Kg).
- $N = 4$ = Número de espejos.
- a_{ra} = Aceleración de riesgo de accidente (m/s^2).

Se considera que la masa de asfalto es a la capacidad máxima del auto-tanque.

$$Volumen_{max} = 10000 \text{ Galones} = 37.85 \text{ m}^3$$

$$\rho = 952 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad @ \quad T_d = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m = \rho \cdot Volumen_{max} \quad \text{Ec. 3-9}$$

$$m = 952 \cdot 37.85 = 36033.2 \text{ Kg}$$

Según el código DOT 412 la aceleración de riesgo de accidente es un cuarto de la aceleración de la gravedad.

$$a_{ra} = 0.25 \cdot g$$

$$a_{ra} = 0.25 \cdot 9.81 = 2.45 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{ra} = \frac{36033.2}{4 + 1} \cdot 2.45 = 17656.27 \text{ N}$$

3.2.5.2.3. Fuerza por Riesgo de Accidente en Salto

Esta carga se da por el producto de un salto de auto-tanque, generado por las superficies irregulares de las carreteras, lo que generaría roturas o fisuras en el tanque, el chasis, anillos de refuerzo y en los espejos por el pandeo excesivo del cuerpo del tanque. Para este cálculo se toma en cuenta la aceleración por accidente establecido por la norma DOT 412, (25% de la aceleración de la gravedad), y la masa total de asfalto.

$$F_{rs} = m \cdot a_{ra} \quad \text{Ec. 3-10}$$

$$F_{rs} = 36033.2 \cdot 2.45 = 88281.34 \text{ N}$$

3.2.5.2.4. Fuerza por Aceleración y Desaceleración

Mediante la experiencia de transportistas profesionales se registran los valores promedio de los datos requeridos para calcular la aceleración y el frenado requeridos para calcular la presión sobre el tanque.

- Aceleración de arranque del vehículo

$$a_v = \frac{V_f^2 - V_0^2}{2 \cdot d} \quad \text{Ec. 3-11}$$

Donde:

- a_v = Aceleración del vehículo (m/s²).
- V_0 = Velocidad inicial del vehículo (m/s).
- V_f = Velocidad final del vehículo (m/s).
- d = Distancia que recorre el vehículo (m).

La velocidad alcanzada de un auto-tanque cargado en una distancia de 100 metros desde el arranque del vehículo es de 30 KPH (8.33 m/s²).

$$V_0 = 0 \frac{m}{s}$$

$$V_f = 8.33 \frac{m}{s}$$

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

$$a_v = \frac{8.33^2 - 0}{2 \cdot 100} = 0.346 \frac{m}{s^2}$$

- Fuerza de la aceleración de arranque del vehículo

$$F_{av} = \frac{m}{N + 1} \cdot a_v \quad \text{Ec. 3-12}$$

Donde:

- m = Masa de asfalto (Kg).
- $N = 4$ = Número de espejos.

$$F_{av} = \frac{36033.2}{4 + 1} \cdot 0.346 = 2493.50 \text{ N}$$

Esta fuerza se suma a la carga de riesgo de accidente, siendo la mayor fuerza que soportarán los espejos y una de las cabezas.

3.2.6. Factor de Seguridad

El máximo esfuerzo de diseño calculado en cualquier punto del tanque no debe exceder el máximo esfuerzo admisible prescrito por el Código ASME, o el 25 por ciento del esfuerzo de tensión del material utilizado estipulado por el Código de Regulaciones Federales de Estados Unidos.

En base a estos requisitos de diseño, el factor de seguridad para vehículos de carga de líquidos inflamables debe ser igual o superior a 4, considerando una postura conservadora en cada aspecto del diseño del auto-tanque.

3.2.7. Deformación Permitida

No existen normativas ni reglamentaciones específicas para las deformaciones permitidas en el auto-tanque. Se realizará un análisis de los resultados que arroje el diseño en software CAD/CAE comprobando que cumpla con el factor de seguridad en todos sus puntos.

3.2.8. Corrosión Admisible

El tanque será pintado en su totalidad con pintura anticorrosiva de PHENOLIC / EPOXI, por lo que no es necesario aumentar el espesor de corrección admisible ni utilizar otro método de protección.

3.2.9. Diseño del Cuerpo del Tanque

Para el cálculo de espesor necesario se realizará una comparación entre lo establecido como requisitos mínimos de la norma NFPA 385 y los cálculos realizados con las fórmulas que proporciona la norma ASME Sección VIII, División 2.

- Espesor del Cuerpo

$$t_c = \frac{P_d \cdot R_i}{S_m \cdot E + 0.6 \cdot P_d} \quad \text{Ec. 3-13}$$

Donde:

- t_c = Espesor de la pared del cuerpo del tanque (in).
- P_d = Presión de diseño (PSI).
- R_i = Radio interior (in).
- S_m = Esfuerzo máxima admisible en tensión del material (PSI).
- E = Eficiencia de las juntas.

3.2.9.1. Presión de Diseño

$$P_d = P_o + (0.1 \cdot P_o \text{ ó } 30 \text{ psi (MAYOR)}) + P_{ca} \quad \text{Ec. 3-14}$$

Donde:

- $P_o = 14.696 \text{ psi}$ = Presión de operación atmosférica (PSI).
- P_c = Presión de columna de agua (PSI).

Para la presión de diseño se debe considerar adicionalmente un 10% de la presión de operación o 30 psi, el que sea mayor.

$$0.1 \cdot P_o = 0.1 \cdot 14.696 = 1.47 \text{ psi}$$

Por lo tanto, se utilizará en la formula los 30 psi adicionales ya que es mayor al 10% de la presión de operación.

- Presión de columna de agua

$$P_{ca} = 0.75 \cdot B \cdot 0.433 \quad \text{Ec. 3-15}$$

Donde:

- $B = 1854 \text{ mm} = 6.083 \text{ pies}$ = Altura máxima del fluido (pie).

$$P_c = 0.75 \cdot 6.083 \cdot 0.433 = 1.975 \text{ psi}$$

- Presión de diseño

$$P_d = 14.696 + 30 + 1.975 = 46.671 \text{ psi}$$

3.2.9.2. Radio Interior del Tanque

Debido a que el tanque tiene una sección elíptica se ha considerado utilizar un radio promedio.

$$R_i = \frac{A + B}{4} \quad \text{Ec. 3-16}$$

Donde:

- $A = 2420 \text{ mm} = \text{Diámetro horizontal del tanque (in)}$.
- $B = 1854 \text{ mm} = \text{Diámetro vertical del tanque (in)}$.

$$R_i = \frac{2420 + 1854}{4} = 1068.5 \text{ mm} = \mathbf{42.047 \text{ in}}$$

3.2.9.3. Presión Máxima admisible del Material

El esfuerzo máximo admisible en tensión del material S_m , se lo obtiene mediante la tabla 29 donde se toman en cuenta los siguientes parámetros:

$$T_d = 160 \text{ °C} = \mathbf{433.15 \text{ °F}}$$

$$\mathbf{Material = ASTM A - 36}$$

Tabla 29

Clasificación de Edificios y otras Estructuras para Cargas de Viento

PROPERTIES OF MATERIALS CARBON & LOW ALLOY STEEL Maximum Allowable Stress Values in Tension 1000 psi.*												
Specification		For Metal Temperature Not Exceeding Deg. F.										
Number	Grade	-20 400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
SA-283	C	15.7	15.7	15.3	14.8	-	-	-	-	-	-	-
SA-285	C	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9		
SA-515	60	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-515	65	18.6	18.6	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-515	70	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	14.8	12.0	9.3	6.7	4.0	2.5
SA-516	55	15.7	15.7	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-516	60	17.1	17.1	16.4	15.8	15.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-516	65	18.6	18.6	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-516	70	20.0	20.0	19.4	18.8	18.1	14.8	12.0	9.3	6.7	4.0	2.5
SA-234	WPB	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-105	-	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12.0	9.3	6.7	4.0	2.5
SA-181	I	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-350	LF1	17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-350	LF2	20.0	19.6	18.4	17.8	17.2	14.8	12.0	9.3	6.7	4.0	2.5
SA-53	B	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9	-	-
SA-106	B	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5
SA-193	B7 $\leq 2\frac{1}{2}$ "	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	23.6	21.0	17.0	12.5	8.5	4.5
SA-194	2H											
SA-307	B											
SA-36	-	15.2	15.2	15.2	15.2	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Pressure Vessel Handbook, 2001)

Por lo tanto:

$$S_m = 15.2 \text{ psi}$$

3.2.9.4. Eficiencia de las Juntas

El valor de la eficiencia de la junta E , va a depender del tipo de unión y del grado de radiografía que se aplique. Para el caso de juntas soldadas a tope por ambos lados, los valores son los siguientes:

Tabla 30

Eficiencia de la Junta

Eficiencia E		
1	FULL	TOTAL
0.85	SPOT	POR PUNTOS
0.7	NONE	NINGUNA

Fuente: (Código ASME Sección VIII, 2010)

En base a la norma NFPA 385 ha elegido una eficiencia de juntas total, por lo tanto:

$$E = 1$$

3.2.9.5. Espesor del Cuerpo del Auto-Tanque

$$t_c = \frac{P_d \cdot R_i}{S_m \cdot E + 0.6 \cdot P_d}$$

$$t_c = \frac{46.671 \cdot 42.047}{15.2 \cdot 1 + 0.6 \cdot 46.671} = 0.129 \text{ in} = \mathbf{3.275 \text{ mm}}$$

En relación a los requerimientos de la norma NFPA 385, los resultados obtenidos de cálculos establecidos por la norma ASME Sección VIII - División 2 y las reglamentaciones de la Dirección Nacional de Hidrocarburos para el permiso de circulación, donde establece que el espesor mínimo debe ser igual o mayor a 3.80 milímetros, se selecciona un espesor para el cuerpo del tanque de 4 milímetros.

$$t_{\text{cuerpo}} = 4 \text{ mm.}$$

3.2.9.6. Análisis de Esfuerzo, Deformación y Factor de Seguridad en el cuerpo del Auto Tanque

En cuerpo soportará las siguientes cargas:

- $P_h = 118639 \text{ Pa}$ = Presión hidrostática.
- $F_{TS} = 882 \text{ .34 N}$ = Carga por riesgo de accidente en salto

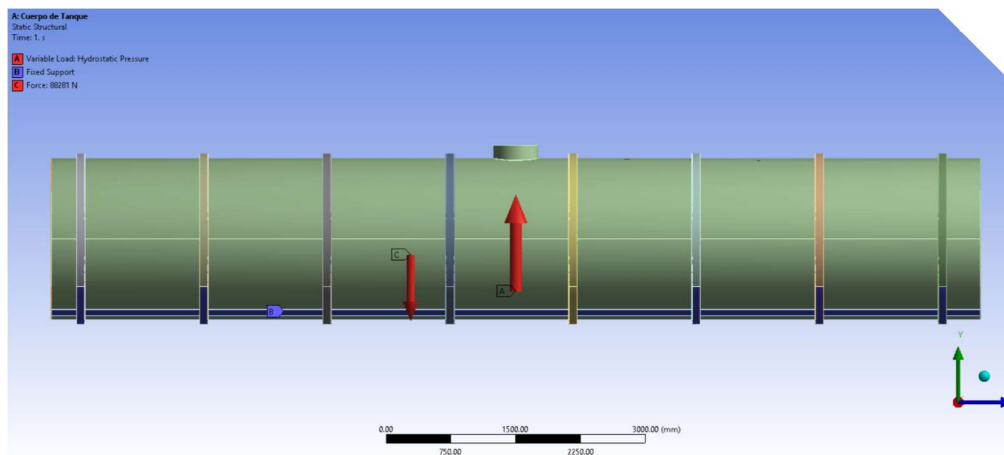


Figura 41: Cargas Sometidas al Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Análisis de esfuerzos

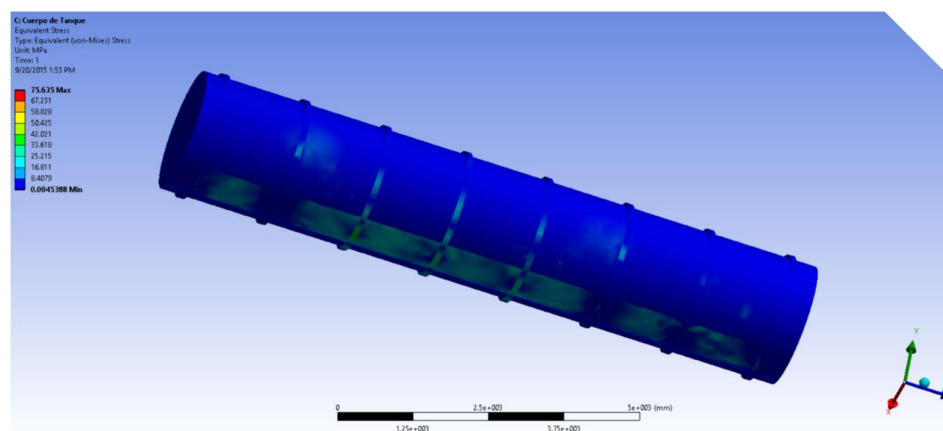


Figura 42: Esfuerzos en el Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Análisis de deformaciones

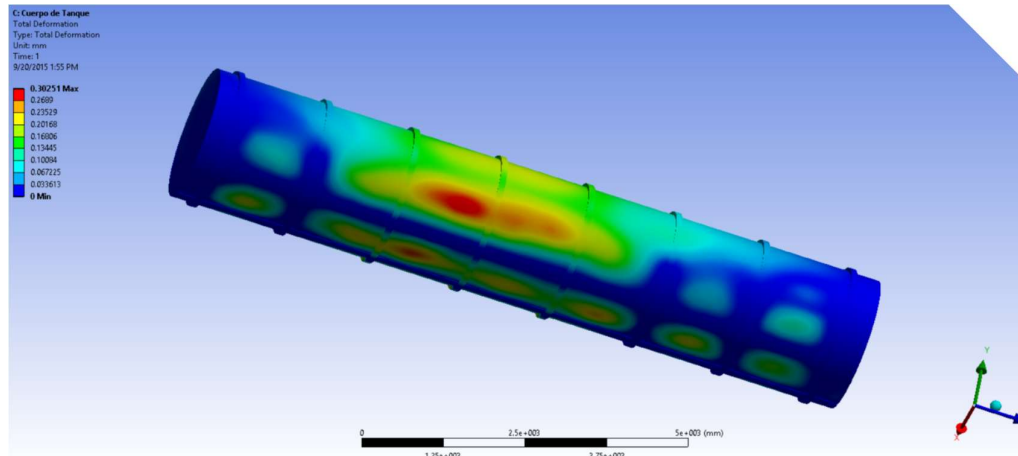


Figura 43: Deformaciones en el Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Factor de Seguridad

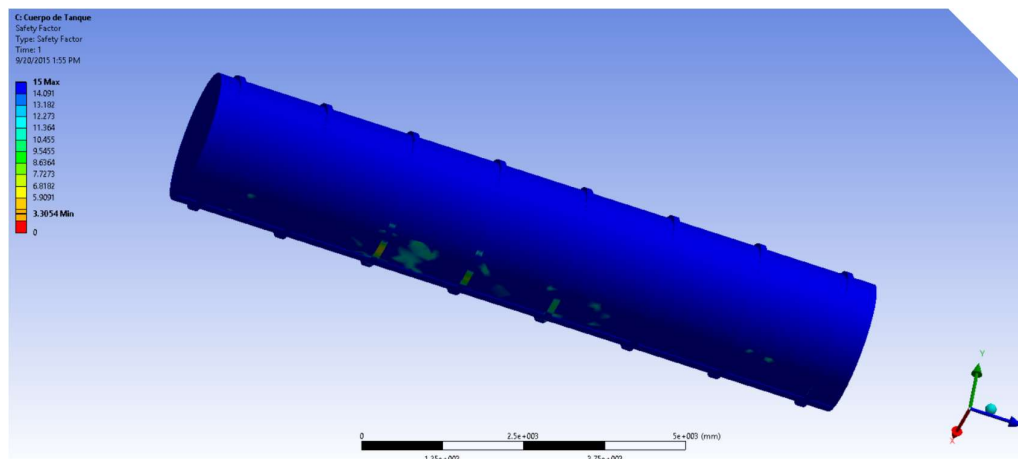


Figura 44: Factor de Seguridad en el Cuerpo del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

3.2.10. Diseño de las cabezas del Tanque

La norma NFPA 385 establece que para el diseño de tanques atmosféricos los espesores de las tapas del tanque pueden ser iguales al espesor del cuerpo del tanque, pero por razones de seguridad se ha seleccionado un espesor de 6 milímetros.

$$t_{cabezas} = 6 \text{ mm.}$$

3.2.10.1. Análisis de Esfuerzo, Deformación y Factor de Seguridad en las cabezas del Auto Tanque

En cuerpo soportará las siguientes cargas:

- $F_{rs} = 17 \quad .27 \text{ N}$ = Carga por riesgo de accidente
- $F_{rs} = 2493.50 \text{ N}$ = Carga de aceleración y frenado

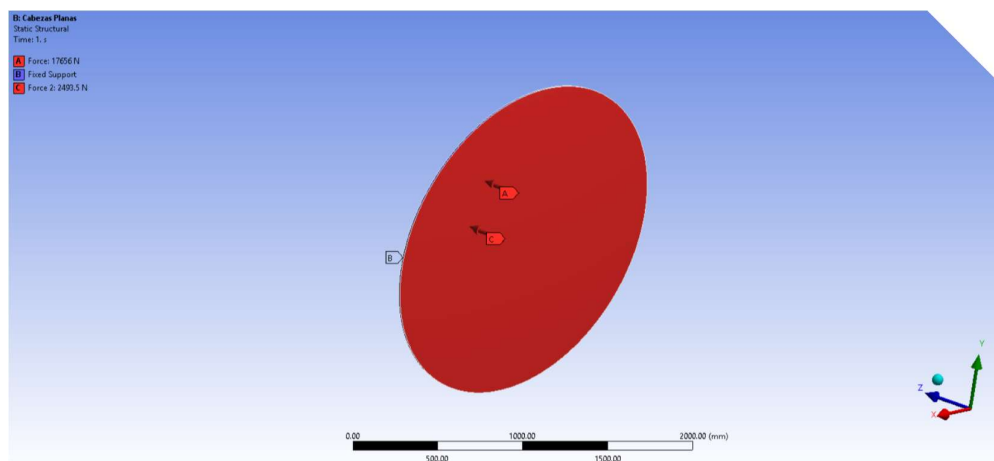


Figura 45: Cargas Sometidas a las Cabezas del Tanque Simulada en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Análisis de esfuerzos

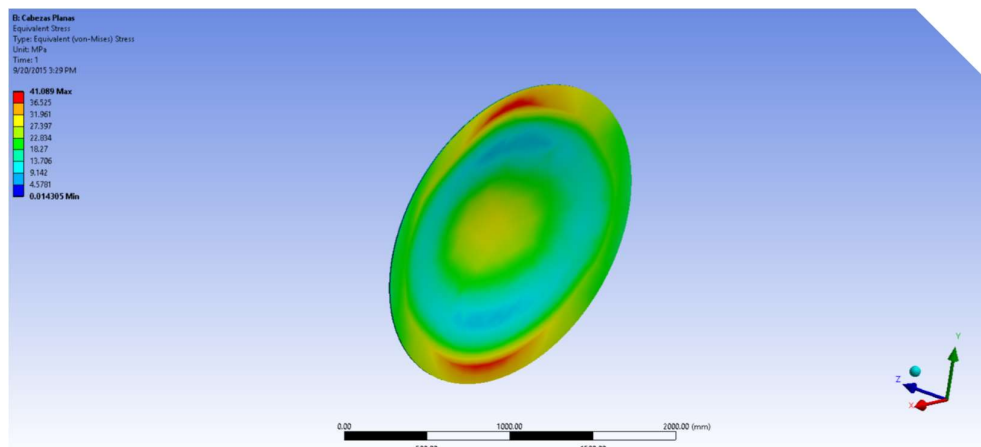


Figura 46: Esfuerzos en las Cabezas del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Análisis de deformaciones

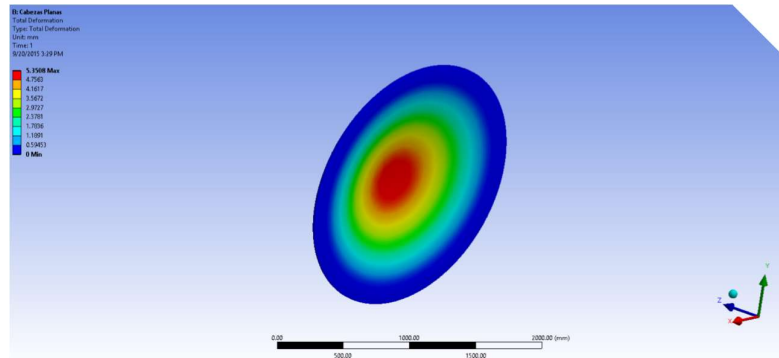


Figura 47: Deformaciones en las Cabezas del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

Esta deformación máxima de 5.35 mm es generada en el caso más crítico en el que se puede encontrar el tanque, que es en caso de un accidente por impacto ya que se toma en cuenta la carga de riesgo de accidente por impacto. En este caso no se tomaría en cuenta como una carga de fatiga ya que no son las condiciones normales de operación del auto tanque.

- Factor de Seguridad

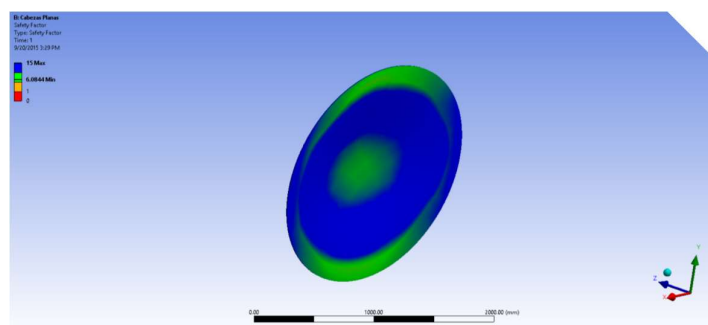


Figura 48: Factor de Seguridad en las Cabezas del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

3.2.11. Diseño de espejos deflectores

La norma NFPA 385 establece que para el diseño de tanques atmosféricos el espesor de los espejos o baffles pueden ser iguales al espesor del cuerpo del tanque.

$$t_{\text{espejos}} = 4 \text{ mm.}$$

3.2.11.1. Análisis de Esfuerzo, Deformación y Factor de Seguridad en los espejos del Auto Tanque

En cuerpo soportará las siguientes cargas:

- $F_{TS} = 1765.27 \text{ N}$ = Carga por riesgo de accidente
- $F_{TS} = 2493.50 \text{ N}$ = Carga de aceleración y frenado

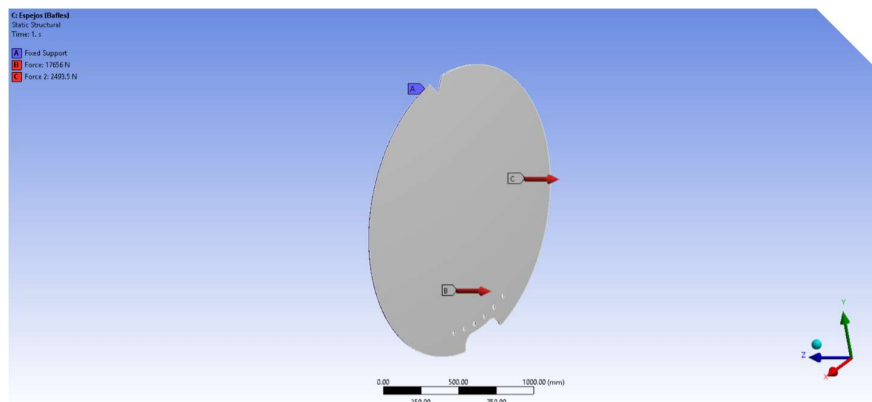


Figura 49: Cargas Sometidas a los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Análisis de esfuerzos

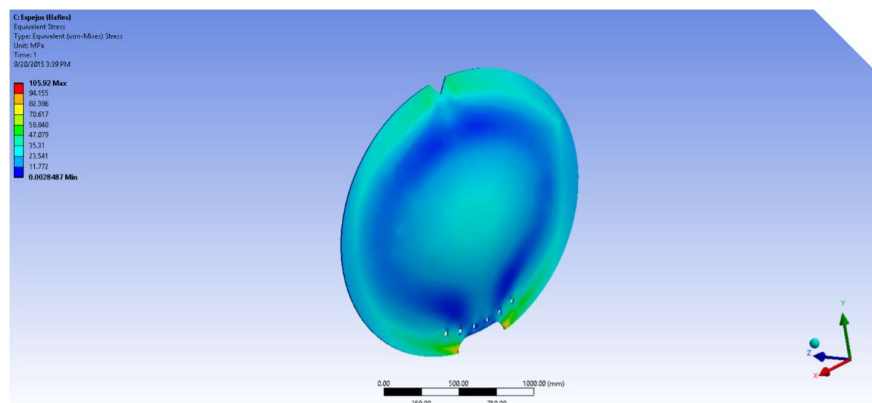


Figura 50: Esfuerzos en los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Análisis de deformaciones

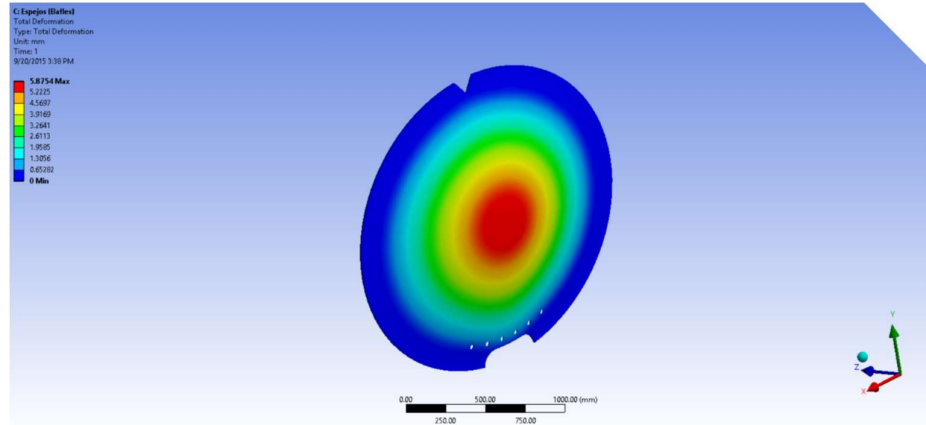


Figura 51: Deformaciones en los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

Esta deformación máxima de 5.35 mm es generada en el caso más crítico en el que se puede encontrar el tanque, que es en caso de un accidente por impacto ya que se toma en cuenta la carga de riesgo de accidente por impacto. En este caso no se tomaría en cuenta como una carga de fatiga ya que no son las condiciones normales de operación del auto tanque.

- Factor de Seguridad

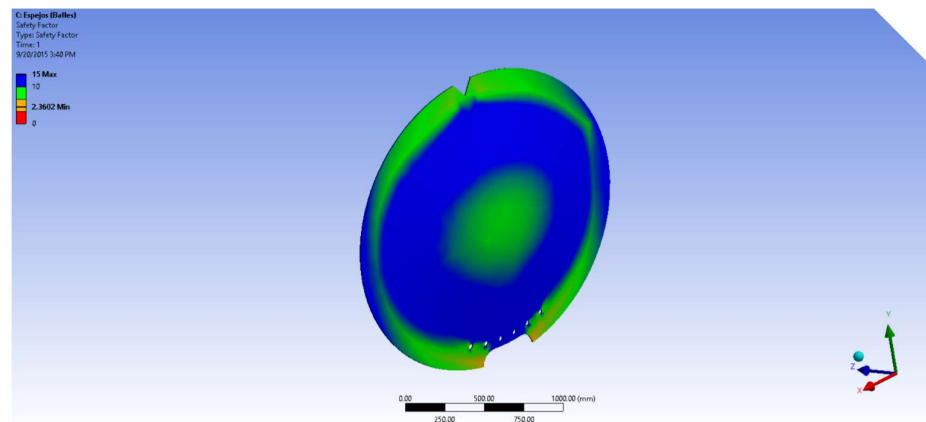


Figura 52: Factor de Seguridad en los Espejos Deflectores del Tanque Simulado en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

3.2.12. Diseño del chasis

El análisis de esfuerzos que soportará del chasis dependerá de las cargas ejercidas por el peso del fluido y del tanque con todos sus elementos transmitidas mediante las sillas. El Sistema de Rodamiento (Tándem), va a soportar las cargas por aceleración y frenado, por lo que se puede despreciar este tipo de cargas para este diseño. Por otro lado, el chasis debe estar diseñado para soportar cargas de riesgo de accidente como baches en carreteras en mal estado.

La estructura del chasis está compuesta por diferentes elementos de distintos espesores, que se detallan a continuación (Ver Anexo B4):

- Laterales y puentes = 6 mm.
- Parte inferior de laterales = 150 mm por 15mm.
- 12 mm Para base de quinta rueda.
- Distancia entre vigas = 932 mm.

La distancia entre las almas de las vigas es la máxima posible para asegurar el cumplimiento de los requisitos dimensionales del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, y brindar un mejor soporte y sujeción entre el cuerpo del tanque y la estructura del chasis. Mediante estas consideraciones se busca bajar el centro de gravedad del auto tanque y evitar desplazamientos inesperados durante el transporte del producto.

3.2.12.1. Cálculo estructural de la viga principal del chasis

El diseño del chasis fue proporcionado previamente por la empresa, lo que se va a realizar a continuación es la comprobación del diseño propuesto, y corroborar que este cumpla con las especificaciones requeridas para construcción de auto tanques.

Consideramos como puntos de apoyo las uniones de las ballestas de la suspensión, con lo que se obtienen 4 reacciones en la zona de los ejes y

una reacción para la quinta rueda, sobre la viga se coloca una carga distribuida que representa el peso del tanque cargado.

Debido a que el diseño del chasis es simétrico, se verificará la resistencia del material en una sola viga, por lo que todas las cargas que soporta esta estructura deben ser divididas para dos.

En chasis soportará las siguientes cargas:

- $P_{fluido} = 37.85 \text{ m}^3 \cdot 952 \cdot \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 353485.69 \text{ N} = \text{Peso del Asfalto.}$
- $P_{cuerpo} = 3660 \text{ Kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 35900 \text{ N} = \text{Peso del Cuerpo (Figura 53)}$
- $F_{rs} = 882 \text{ .34 N} = \text{Carga por riesgo de accidente en salto.}$

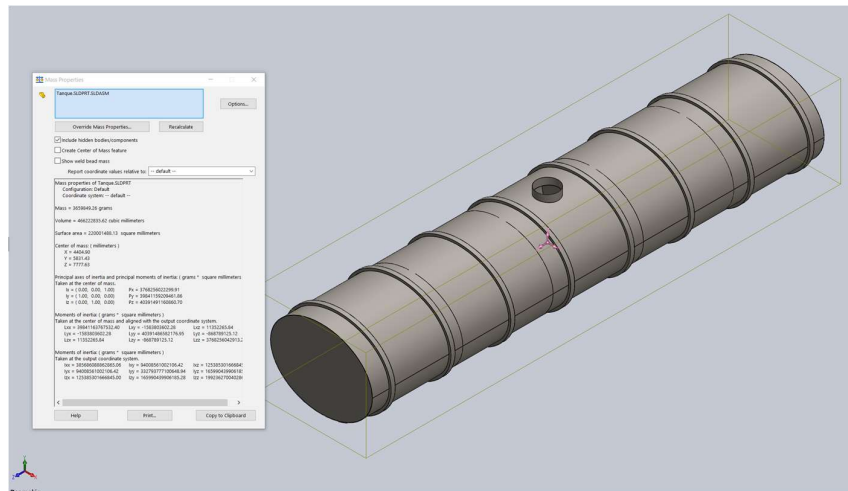


Figura 53: Peso del tanque con los anillos de refuerzo y los espejos deflectores modelados en Software CAD/CAE

Fuente: Propia

- Diagramas de Cuerpo Libre de una viga del chasis

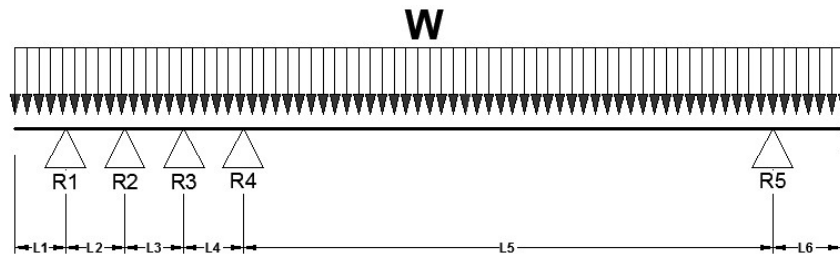


Figura 54: Diagrama de Cuerpo Libre de una Viga del Chasis

Fuente: Propia

Donde:

- R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 = Reacciones en los apoyes del chasis. (N).
- $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$ = Distancias entre reacciones en los apoyes del chasis. (m).
- W = Carga distribuida sobre el chasis (N/m).

$$L_1 = 1 \text{ m}$$

$$L_3 = 1.4 \text{ m}$$

$$L_5 = 4.2 \text{ m}$$

$$L_2 = 1.2 \text{ m}$$

$$L_4 = 1.3 \text{ m}$$

$$L_6 = 2.4 \text{ m}$$

- **Carga Distribuida en una viga del Chasis**

$$W = \frac{P_T}{2 \cdot L_T} \quad \text{Ec. 3-17}$$

Donde:

- P_T = Carga total sobre el chasis. (N).
- $L_T = 11.5 \text{ m}$ = Longitud total de la viga del chasis (m).

$$P_T = P_{\text{cuerpo}} + P_{\text{fluido}} + F_{rs} \quad \text{Ec. 3-18}$$

$$P_T = 353485.69 + 35900 + 88281.34 = 477667.03 \text{ N}$$

$$W = \frac{477667.03}{2 \cdot 11.5} = 20768.13 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

- **Método de los tres momentos**

Este método se utiliza para encontrar las reacciones en vigas continuas sometidas a diferentes cargas. La ecuación 3-19 modela matemáticamente este método y con la ayuda de la figura 55 se definen las variables expresadas.

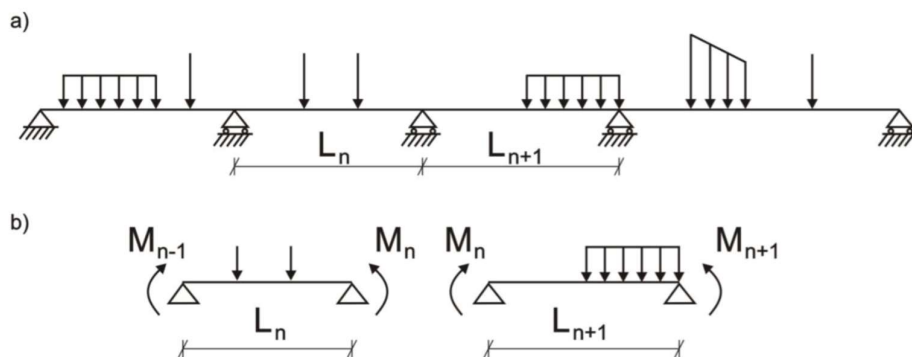


Figura 55: Diagrama de Cuerpo Libre de una Viga del Chasis

Fuente: (Resistencia de Materiales, Genner V.)

$$M_{n-1}L_1 + 2M_n(L_n + L_{n-1}) + M_{n+1}L_{n+1} = -6(\alpha_d)_n - 6(\alpha_i)_{n+1} \quad \text{Ec. 3-19}$$

Donde los valores de alfa dependen del tipo de carga aplicada, y pueden ser obtenidos de la tabla 7.1 del libro de Resistencia de Materiales del Dr. Genner Villareal.

En el caso de la viga del chasis del auto tanque, se tiene una carga distribuida a todo lo largo, por lo que el valor de alfa es:

$$\alpha_{d,i} = \frac{w \cdot L^3}{24}$$

Donde:

- W = Carga distribuida sobre el chasis (N/m).
- L = Longitud entre apoyos (m). (Figura 3-35)

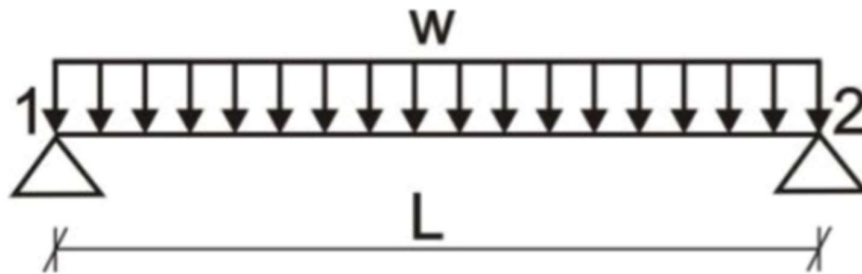


Figura 56: Diagrama de Cuerpo Libre de una Viga del Chasis

Fuente: (Resistencia de Materiales, Genner V.)

- **Cálculo de momentos**

TRAMO 1

En la Figura 57 se muestra el diagrama de cuerpo libre del tramo 1.

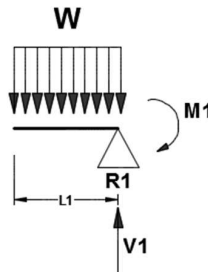


Figura 57: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 1

Fuente: Propia

$$V_1 = -W \cdot L_1 = -20768.13 \cdot 1 = -20768.13 \text{ N}$$

$$M_1 = -W \cdot \frac{L_1^2}{2} = -20768.13 \cdot \frac{1^2}{2} = -10284.065 \text{ N} \cdot \text{m}$$

TRAMO 5

En la Figura 58 se muestra el diagrama de cuerpo libre del tramo 5.

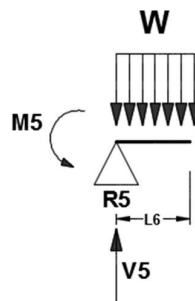


Figura 58: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 5

Fuente: Propia

$$V_5 = -W \cdot L_6 = -20768.13 \cdot 2.4 = -498 \quad .51 \text{ N}$$

$$M_5 = -W \cdot \frac{L_6^2}{2} = -20768.13 \cdot \frac{2.4^2}{2} = -59812.21 \text{ N} \cdot \text{m}$$

TRAMO 1-2-3

En la Figura 59 se muestra el diagrama de cuerpo libre del tramo 1-2-

3.

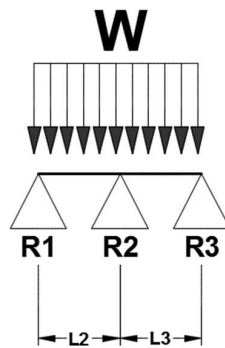


Figura 59: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 1-2-3

Fuente: Propia

$$L_2 M_1 + 2M_2(L_2 + L_3) + L_3 M_3 = -\frac{6}{24} W \cdot (L_2^3 + L_3^3)$$

$$1.2M_1 + 2M_2(1.2 + 1.4) + 1.4M_3 = -\frac{6}{24} \cdot 20768.13 \cdot (1.2^3 + 1.4^3)$$

$$5.2M_2 + 1.4M_3 = -10757.891$$

Ec. 3-20

TRAMO 2-3-4

En la Figura 60 se muestra el diagrama de cuerpo libre del tramo 2-3-4.

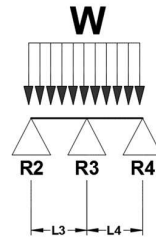


Figura 60: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 2-3-4

Fuente: Propia

$$L_3M_2 + 2M_3(L_3 + L_4) + L_4M_4 = -\frac{6}{24}W \cdot (L_3^3 + L_4^3)$$

$$1.4M_2 + 2M_3(1.4 + 1.3) + 1.3M_4 = -\frac{6}{24} \cdot 20768.13 \cdot (1.4^3 + 1.3^3)$$

$$1.2M_2 + 5.4M_3 + 1.4M_4 = -25653.83$$

Ec. 3-21

TRAMO 3-4-5

En la Figura 61 se muestra el diagrama de cuerpo libre del tramo 3-4-5.

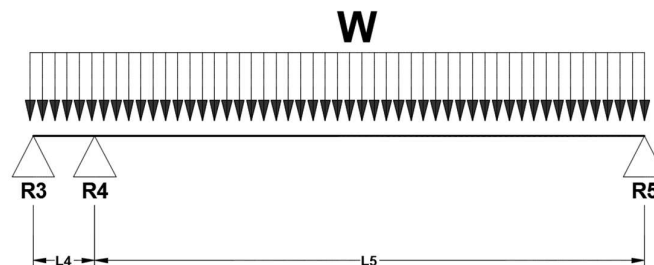


Figura 61: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 3-4-5

Fuente: Propia

$$L_4 M_3 + 2M_4(L_4 + L_5) + L_5 M_5 = -\frac{6}{24} W \cdot (L_4^3 + L_5^3)$$

$$1.3M_1 + 2M_2(1.3 + 4.2) + 4.2M_3 = -\frac{6}{24} \cdot 20768.13 \cdot (1.3^3 + 4.2^3)$$

$$1.3M_3 + 11M_4 = -144862.9$$

Ec. 3-22

Mediante sistema de ecuaciones entre Ec. 20, 21 y 22 obtenemos los momentos de M2, M3 y M4:

$$\begin{array}{lll} M_2 & M_3 & M_4 \\ = -1757.14 \text{ Nm} & = -1157.69 \text{ Nm} & = -13032.5 \text{ Nm} \end{array}$$

• **Cálculo de reacciones**

TRAMO 1-2

En la Figura 62 se muestra los momentos y fuerzas cortantes actuantes en el tramo 1-2.

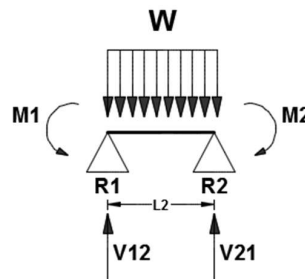


Figura 62: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 1-2

Fuente: Propia

$$\sum M_1 = 0 \quad \rightarrow \quad V_{21}L_2 - W \cdot \frac{L_2^2}{2} + M_1 - M_2 = 0$$

$$1.2V_{21} - 20768.13 \cdot \frac{1.2^2}{2} + 10384.065 - 1757.14 = 0$$

$$V_{21} = 52 \quad .774 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad V_{12} + V_{21} - W \cdot L_2 = 0$$

$$V_{12} + 5271.774 - 20768.13 \cdot 1.2 = 0$$

$$\mathbf{V_{12} = 19649.98 N}$$

TRAMO 2-3

En la Figura 63 se muestra los momentos y fuerzas cortantes actuantes en el tramo 2-3.

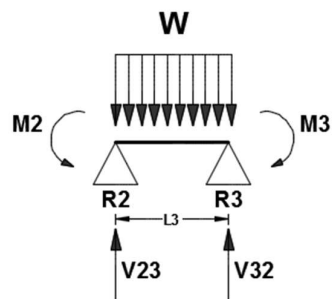


Figura 63: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 2-3

Fuente: Propia

$$\sum M_1 = 0 \quad \rightarrow \quad V_{32}L_3 - W \cdot \frac{L_3^2}{2} + M_2 - M_3 = 0$$

$$1.4V_{32} - 20768.13 \cdot \frac{1.4^2}{2} + 1757.14 - 1157.69 = 0$$

$$\mathbf{V_{32} = 1410.51 N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad V_{23} + V_{32} - W \cdot L_3 = 0$$

$$V_{23} + 14109.51 - 20768.13 \cdot 1.4 = 0$$

$$\mathbf{V_{23} = 149.87 N}$$

TRAMO 3-4

En la Figura 64 se muestra los momentos y fuerzas cortantes actuantes en el tramo 3-4.

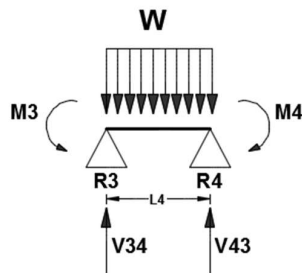


Figura 64: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 3-4

Fuente: Propia

$$\sum M_1 = 0 \quad \rightarrow \quad V_{43}L_4 - W \cdot \frac{L_4^2}{2} + M_3 - M_4 = 0$$

$$1.3V_{43} - 20768.13 \cdot \frac{1.3^2}{2} + 1157.69 - 13032.5 = 0$$

$$\mathbf{V_{43} = 22633.75 \text{ N}}$$

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad V_{34} + V_{43} - W \cdot L_4 = 0$$

$$V_{34} + 22633.75 - 20768.13 \cdot 1.3 = 0$$

$$\mathbf{V_{34} = 4364.82 \text{ N}}$$

TRAMO 4-5

En la Figura 65 se muestra los momentos y fuerzas cortantes actuantes en el tramo 4-5.

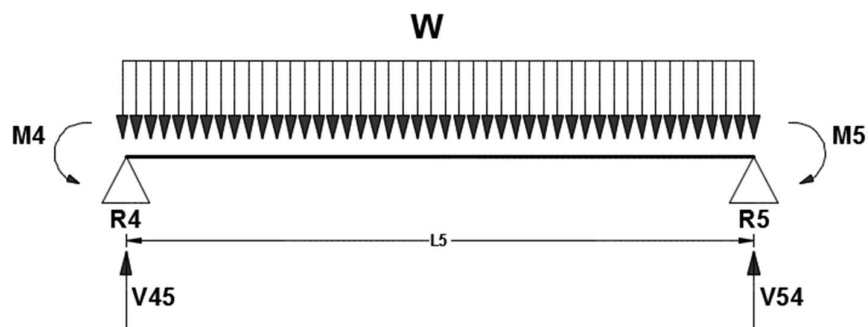


Figura 65: Diagrama de Cuerpo Libre Tramo 4-5

Fuente: Propia

$$\sum M_1 = 0 \quad \rightarrow \quad V_{54}L_5 - W \cdot \frac{L_5^2}{2} + M_4 - M_5 = 0$$

$$4.2V_{54} - 20768.13 \cdot \frac{4.2^2}{2} + 13032.5 - 59812.21 = 0$$

$$V_{54} = \mathbf{46440.41 \text{ N}}$$

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad V_{45} + V_{54} - W \cdot L_5 = 0$$

$$V_{45} + 46440.41 - 20768.13 \cdot 4.2 = 0$$

$$V_{45} = \mathbf{40785.74 \text{ N}}$$

Por lo tanto:

$$R_1 = V_1 + V_{12} = 20768.13 + 19649.98 = \mathbf{40418.112 \text{ N}}$$

$$R_2 = V_{21} + V_{23} = 5271.77 + 14965.87 = \mathbf{20237.64 \text{ N}}$$

$$R_3 = V_{32} + V_{34} = 14109.51 + 4364.81 = \mathbf{18474.33 \text{ N}}$$

$$R_4 = V_{43} + V_{45} = 22633.75 + 40785.74 = \mathbf{63419.49 \text{ N}}$$

$$R_5 = V_{54} + V_5 = 46440.41 + 49843.51 = \mathbf{96283.92 \text{ N}}$$

- **Cálculo de esfuerzos y Factor de Seguridad**

Se realiza un corte en la sección crítica, en este caso en el cambio de sección de la viga lateral del chasis, como se muestra en la Figura 66.

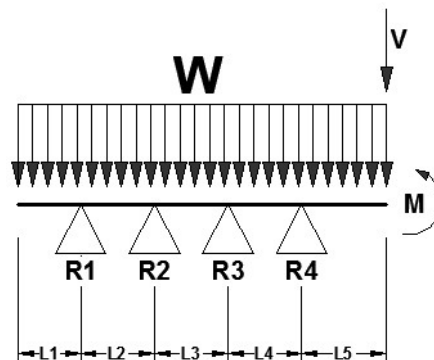


Figura 66: Corte de la viga en la sección de análisis

Fuente: Propia

Donde

$$L1 = 1 \text{ m}$$

$$L2 = 1.2 \text{ m}$$

$$L3 = 1.4 \text{ m}$$

$$L4 = 1.3 \text{ m}$$

$$L5 = 0.102 \text{ m}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

- Momento Cortante

$$\sum M_{cortante} = 0$$

$$-R4 \cdot L5 - (L5 + L4) \cdot R3 + W \cdot \frac{L^2}{2} - (L5 + L4 + L3) \cdot R2 \\ - (L5 + L4 + L3 + L2) \cdot R1 + M = 0$$

$$M = 5.601 \text{ kNm}$$

Basados en las dimensiones de la viga mostradas en la Figura 67 anteriormente mencionada tenemos los valores

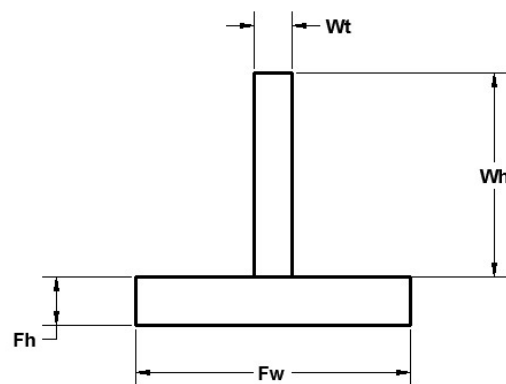


Figura 67: Sección transversal de la viga

Fuente: Propia

$$Wt = 6 \text{ mm} \quad Wh = 528 \text{ mm} \quad Fh = 15 \text{ mm} \quad Fw = 150 \text{ mm}$$

- Centro de Gravedad

	A	\bar{y}
1	3168 mm^2	264 mm
2	2250 mm^2	7.5 mm

$$\bar{y} = \frac{\sum A\bar{y}}{\sum A} \quad \text{Ec. 3-23}$$

$$\bar{y} = \frac{(3168 \text{ mm}^2 \cdot 264 \text{ mm}) + (2250 \text{ mm}^2 \cdot 7.5 \text{ mm})}{3168 \text{ mm}^2 + 2250 \text{ mm}^2}$$

$$\bar{y} = 157 \text{ mm}$$

- Momento de inercia de la sección

$$I_x = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + Ad^2 \quad \text{Ec. 3-24}$$

$$I_x = \frac{1}{12} (6 \text{ mm})(528 \text{ mm})^3 + (3168 \text{ mm}^2)(122 \text{ mm})^2 \\ + \frac{1}{12} (150 \text{ mm})(15 \text{ mm})^3 + (2250 \text{ mm}^2)(150 \text{ mm})^2$$

$$I_x = 1.71 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Se observa que el extremo más lejano del centro de gravedad es el de la parte superior, por tanto

$$c = 368 \text{ mm}$$

- Cálculo de esfuerzo en la viga

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_x} \quad \text{Ec. 3-25}$$

$$\sigma = \frac{5.601 \text{ kNm} \cdot 368 \text{ mm}}{1.71 \times 10^8 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 12.686 \text{ MPa}$$

- **Cálculo del factor de seguridad**

$$FS = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{aplicado}} \quad \text{Ec. 3-26}$$

$$FS = \frac{250 \text{ MPa}}{12.686 \text{ MPa}}$$

$$FS = 19.7$$

Por lo tanto, se concluye que esta sección es suficientemente resistente para la carga aplicada

Ahora se calcula para la sección más pequeña (Referirse a la Figura 67)

Donde:

$$L1 = 1 \text{ m}$$

$$L2 = 1.2 \text{ m}$$

$$L3 = 1.4 \text{ m}$$

$$L4 = 1.3 \text{ m}$$

$$L5 = 0.352 \text{ m}$$

$$L = 5.25 \text{ m}$$

- **Momento Cortante**

$$\sum M_{cortante} = 0$$

$$-R4 \cdot L5 - (L5 + L4) \cdot R3 + \frac{L}{2} \cdot F_{eq} - (L5 + L4 + L3) \cdot R2 \\ - (L5 + L4 + L3 + L2) \cdot R1 + M = 0$$

$$M = 11.606 \text{ kNm}$$

Basados en las dimensiones de la viga mostradas en la Figura 67 anteriormente mencionada tenemos los valores

$$Wt = 6 \text{ mm} \quad Wh = 236 \text{ mm} \quad Fh = 15 \text{ mm} \quad Fw = 150 \text{ mm}$$

- **Centro de gravedad**

	A	\bar{y}
1	1416 mm^2	118 mm
2	2250 mm^2	7.5 mm

$$\bar{y} = \frac{\sum A\bar{y}}{\sum A}$$

$$\bar{y} = \frac{(1416 \text{ mm}^2 \cdot 118 \text{ mm}) + (2250 \text{ mm}^2 \cdot 7.5 \text{ mm})}{1416 \text{ mm}^2 + 2250 \text{ mm}^2}$$

$$\bar{y} = 50.18 \text{ mm}$$

- Momento de inercia de la sección

$$I_x = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + Ad^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} (6 \text{ mm})(236 \text{ mm})^3 + (1416 \text{ mm}^2)(122 \text{ mm})^2$$

$$+ \frac{1}{12} (150 \text{ mm})(15 \text{ mm})^3 + (2250 \text{ mm}^2)(150 \text{ mm})^2$$

$$I_x = 2.043 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Se observa que el extremo más lejano del centro de gravedad es el de la parte superior, por tanto

$$c = 201 \text{ mm}$$

- Cálculo de esfuerzo en la viga

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I_x}$$

$$\sigma = \frac{5.601 \text{ kNm} \cdot 368 \text{ mm}}{1.71 \times 10^8 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 114.105 \text{ MPa}$$

- Cálculo del factor de seguridad

$$FS = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{aplicado}}$$

$$FS = \frac{250 \text{ MPa}}{114.106 \text{ MPa}}$$

$$FS = 2.191$$

Por tanto, la sección más pequeña también soporta la carga, y se obtiene un valor de factor de seguridad similar al obtenido en los cálculos mediante Software CAD/CAE.

3.2.12.2. Análisis de Esfuerzo, Deformación y Factor de Seguridad en Software CAD/CAE en el chasis del Auto Tanque

A continuación, se va a comprobar si los cálculos obtenidos por el análisis de vigas realizados anteriormente convergen con los resultados obtenidos por medio de un Software CAD/CAE.

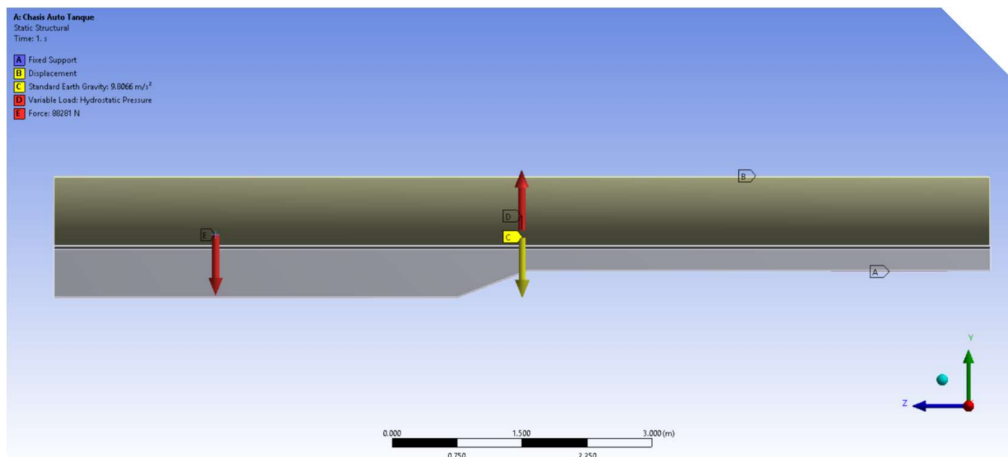


Figura 68: Cargas Sometidas al Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE.

Vista Lateral

Fuente: Propia

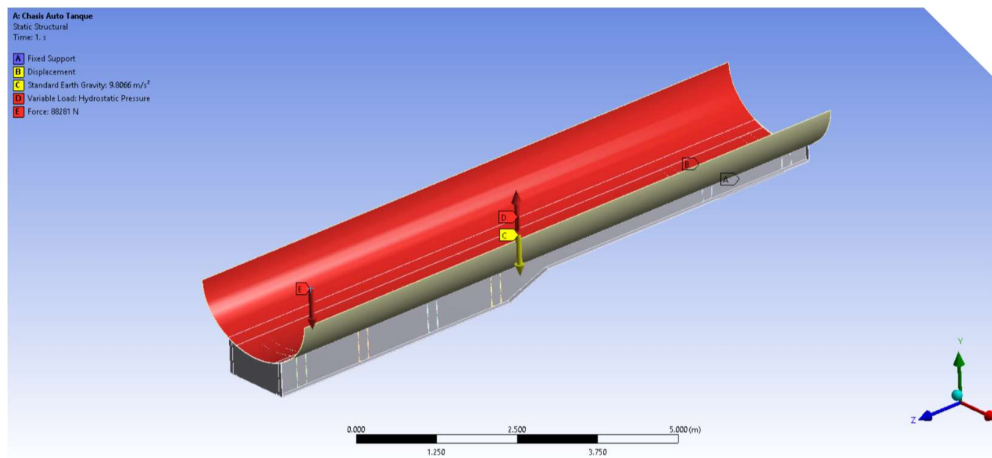


Figura 69: Cargas Sometidas al Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE.

Fuente: Propia

- Análisis de esfuerzos

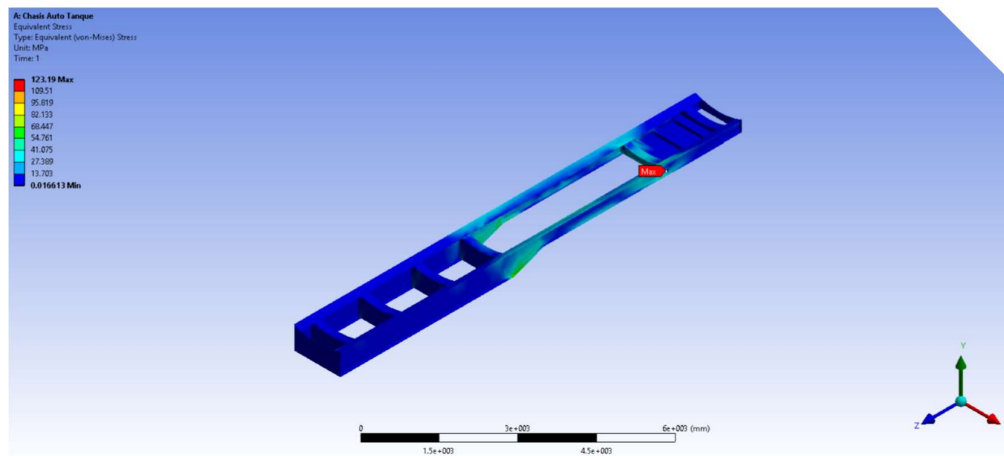


Figura 70: Esfuerzos en el Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE.

Fuente: Propia

- Análisis de deformaciones

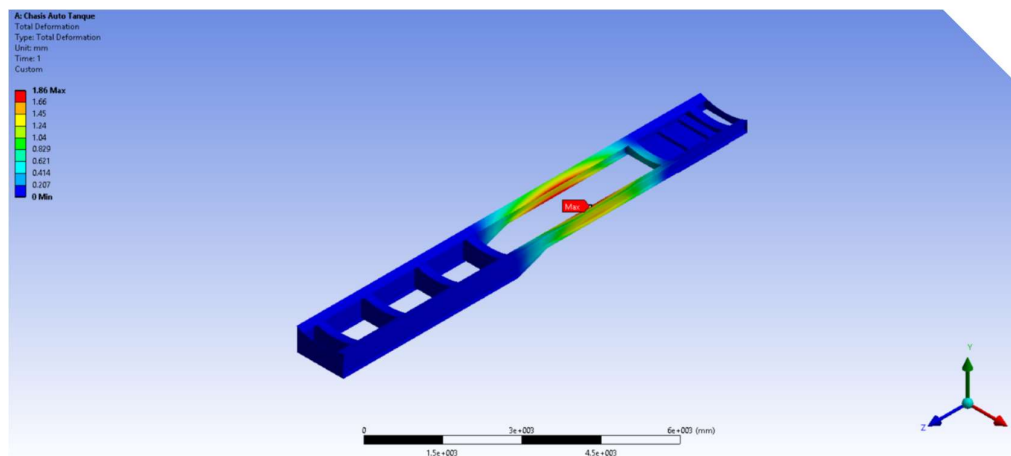


Figura 71: Deformaciones en el Chasis del Auto Tanque Simulado en SOFTWARE CAD/CAE

Fuente: Propia

- Factor de Seguridad

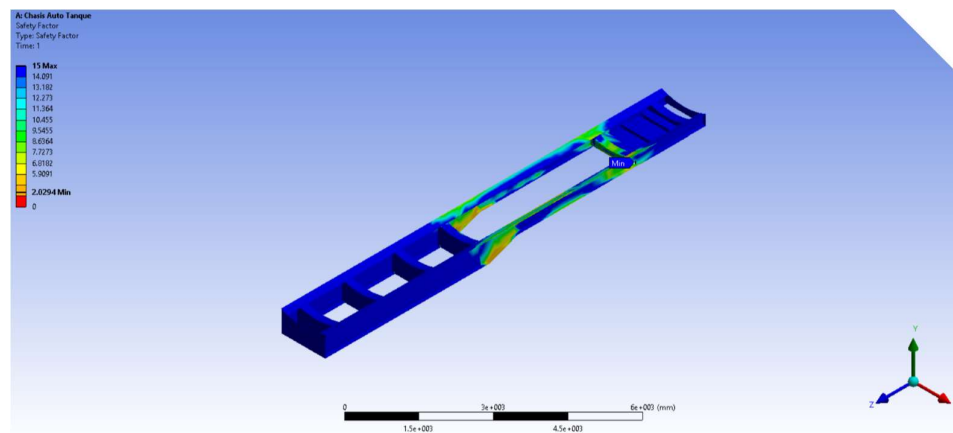


Figura 72: Factor de Seguridad en el Chasis del Auto Tanque Simulado en Software CAD/CAE.

Fuente: Propia

3.3. DISEÑO SOLDADURAS

Las soldaduras como proceso de construcción de estructuras y piezas de maquina tiene una gran importancia debido que permite obtener elementos livianos, resistentes, económicos y seguros. Esto es posible solamente si el diseño y la construcción se los lleva a cabo de acuerdo con los procedimientos y requerimiento de normas certificadas conjuntamente con criterios técnicos

de ingeniería. 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, con la ayuda de un soldador calificado.

El proceso de soldadura que se usará es de arco eléctrico con electrodo revestido SMAW, combinado con proceso SAW, ya que son los métodos más utilizados en nuestro medio, donde se facilitan los procesos de fabricación, mantenimiento y reparación.

La geometría del auto-tanque, dificulta la aplicabilidad de un código de soldadura. Si bien es cierto la norma NFPA 385 nombra el cálculo de la soldadura según es ASME SECCIÓN IX; estos no son totalmente aplicables, y serán utilizados en la medida posible. Adicionalmente se utilizará un software específico para de diseño de soldadura.

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

- Cuerpo del Tanque
- Cabezas del Tanque
- Espejos Deflectores
- Chasis del Auto Tanque

3.3.1. 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 D1.1, 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 ASTM A-36. Se ha seleccionado para el cordón, raíz y posteriores, según el código, electrodo electrodos E60-11, E60-13, E7018 y ER-70S (Tabla 3.1 de AWS D1.1).

3.3.2. Tipo y Reparación de Juntas

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

El diseño requiere de dos tipos de soldadura: A tope, de filete y a traslape. Todas las juntas a tope para este diseño serán realizadas con bisel en “V”, de los requerimientos según AWS.

Según el código AWS, los requerimientos de diseño de soldadura son: Penetración completa y tensión generada en las juntas en forma normal al área efectiva de la soldadura.

En la figura 73 se detallan los tipos de juntas que se utilizarán en la construcción del auto-tanque.

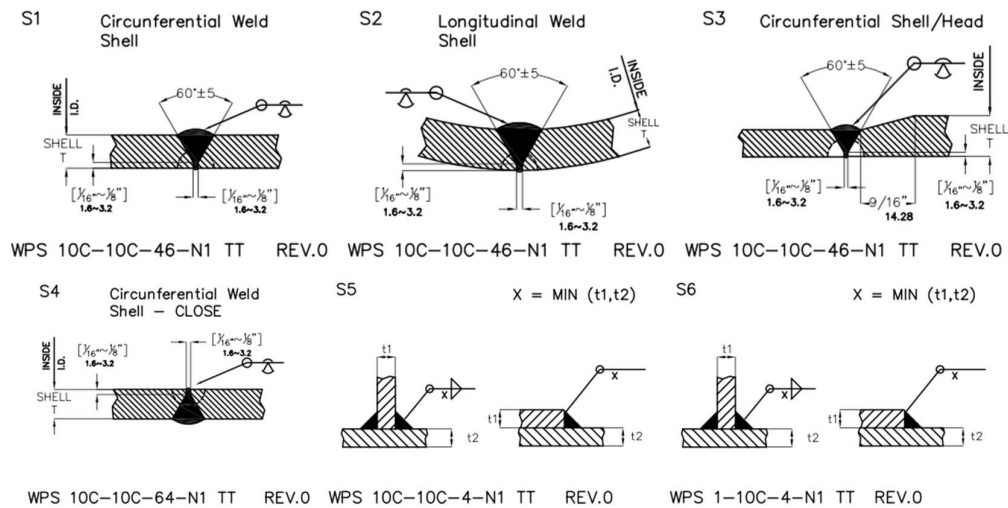


Figura 73: Esquemas de Tipos de Soldadura Aplicables a la Construcción del Auto Tanque

Fuente: Propia

3.3.3. Soldadura en el Cuerpo del Tanque

El cuerpo del tanque está compuesto por cinco planchas de acero a las que se las conformará en sección elíptica, por lo que se realizarán cordones de soldadura transversales y longitudinales al cuerpo.

3.3.3.1. Análisis de Esfuerzo y Factor de Seguridad en Soldadura en el Cuerpo del Auto Tanque

El siguiente análisis se lo realiza bajo condiciones de fatiga en el material de aporte en la soldadura.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot S_e' \quad \text{Ec. 3-27}$$

Donde:

- S_e = Limite de Resistencia a la Fatiga (MPa)
- S_e' = Limite de Resistencia a la Fatiga sin Corrección (MPa)
- k_a = Factor de Acabado Superficial
- k_b = Factor de Tamaño
- k_c = Factor de Confiabilidad
- k_d = Factor de Temperatura
- Factor de Acabado Superficial

$$k_a = A \cdot S_y^B \quad \text{Shigley. Ed 8va. Pag. 280} \quad \text{Ec. 3-28}$$

Donde:

- $S_y = 250 \text{ MPa}$ = Limite de resistencia a la fluencia del material ASTM A-36 (MPa)
- A = Factor de Acabado Superficial
- B = Factor exponencial de Acabado Superficial

Tabla 31

Factores de Acabado Superficial

Acabado de la superficie	Factor A		Factor B
	Sut' kpsi	Sut' MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado lo laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en Caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la Forja	39.9	272	-0.995

Fuente: (Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, R. Budynas, 2008)

$$ka = 4.51 \cdot 250^{-0.265} = 1.051$$

- Factor de Tamaño

$$kb = 1.24 \cdot h^{-0.107} - 2.79 < h \leq 51 \text{ mm} \quad \text{Shigley. Ed 8va. Pag. 280} \quad \text{Ec. 3 - 29}$$

Donde:

- $h = 4 \text{ mm}$ = Garganta de Soldadura en el cuerpo (mm)

$$kb = 1.24 \cdot 4^{-0.107} = 1.07$$

- Factor de Confiabilidad

$$kc = 0.897 - 90\% \text{ de Conf.} \quad \text{Shigley. Ed 8va. Tabla 6 - 5} \quad \text{Ec. 3-30}$$

- Factor de Temperatura

$$kd = 1.025 - 160 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Shigley. Ed 8va. Tabla 6 - 4} \quad \text{Ec. 3-31}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga sin corregir

$$S_e' = 0.5 \cdot S_u - S_u < 1400 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 3-32}$$

Donde:

- $S_u = 460 \text{ MPa}$ = Limite de resistencia ultima del material ASTM A-36 (MPa)

$$S_e' = 0.5 \cdot 460 = 230 \text{ MPa}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga

$$S_e = 1.051 \cdot 1.07 \cdot 0.897 \cdot 1.025 \cdot 230 = 237.31 \text{ MPa}$$

Los valores máximos y mínimos de esfuerzo a los que se somete el cuerpo, son obtenidos de los resultados de la simulación en SOFTWARE CAD/CAE (Tabla 32), con los cuales se calcula el factor de seguridad según “Solderberg”:

Tabla 32

Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en el Cuerpo

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results		
Object Name	Total Deformation	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0. m	4538.8 Pa
Maximum	3.0251e-004 m	7.5635e+007 Pa
Minimum Occurs On	Part 1	Part 11
Maximum Occurs On	Part 3	
Minimum Value Over Time		
Minimum	0. m	4538.8 Pa
Maximum	0. m	4538.8 Pa
Maximum Value Over Time		
Minimum	3.0251e-004 m	7.5635e+007 Pa
Maximum	3.0251e-004 m	7.5635e+007 Pa
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

Fuente: (Software CAD/CAE, 2015)

- Esfuerzo Máximo

$$\sigma_{max} = 75.63 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo Mínimo

$$\sigma_{min} = 0.0045 \text{ MPa}$$

- Factor de Seguridad

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_m + \frac{S_y}{S_e} \cdot \sigma_a} \quad \text{Ec. 3-33}$$

Donde:

- σ_m = Esfuerzo medio (MPa)
- σ_a = Amplitud de variación de esfuerzo (MPa)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{75.63 + 0.0045}{2} = 37.81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{75.63 - 0.0045}{2} = 37.81 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{250}{37.81 + \frac{250}{237.31} \cdot 37.81}$$

$$FS = 3.22$$

- Resistencia del cordón de soldadura

La longitud mínima del cordón de soldadura en el cuerpo del tanque es de 1424 mm, que es la distancia entre anillos de refuerzo.

$$F = 0.62 \cdot l \quad \text{Ec. 3-34}$$

$$F = 0.62 \cdot 1424 = 882.82 \text{ MPa}$$

882.82 MPa > 37.81 MPa ∴ El material de aporte es correcto

3.3.4. Soldadura en las Cabezas del Tanque

Las cabezas del tanque están compuestas por unas planchas de acero manufacturado de forma elíptica, por lo que se realizará un cordón de soldadura continuo para la unión con el cuerpo del tanque.

Se tomará en cuenta las mismas consideraciones realizadas para la soldadura del cuerpo del tanque.

3.3.4.1. Análisis de Esfuerzo y Factor de Seguridad en Soldadura en las cabezas del Auto Tanque

El siguiente análisis se lo realiza bajo condiciones de fatiga en el material de aporte en la soldadura.

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

- Factor de Acabado Superficial

$$k_a = A \cdot S_y^B = 4.51 \cdot 250^{-0.265} = 1.051$$

- Factor de Tamaño

$$k_b = 1.24 \cdot h^{-0.107}$$

Donde:

- $h = 4 \text{ mm}$ = Garganta de Soldadura en las cabezas (mm)

$$k_b = 1.24 \cdot 4^{-0.107} = 1.07$$

- Factor de Confiabilidad

$$k_c = 0.897 - 90\% \text{ de Conf.}$$

- Factor de Temperatura

$$k_d = 1.025 - 160^\circ \text{C}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga sin corregir

$$S_e' = 0.5 \cdot S_u = 0.5 \cdot 460 = 230 \text{ MPa}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga

$$S_e = 1.051 \cdot 1.07 \cdot 0.897 \cdot 1.025 \cdot 230 = 237.31 \text{ MPa}$$

Los valores máximos y mínimos de esfuerzo a los que se someten las cabezas, son obtenidos de los resultados entregados por la simulación en Software CAD/CAE (Tabla 33), con los cuales se calcula el factor de seguridad según “Solderberg”:

Tabla 33

Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en las Cabezas

Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results		
Object Name	Total Deformation	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0. m	14305 Pa
Maximum	5.3508e-003 m	4.1089e+007 Pa
Minimum Value Over Time		
Minimum	0. m	14305 Pa
Maximum	0. m	14305 Pa
Maximum Value Over Time		
Minimum	5.3508e-003 m	4.1089e+007 Pa
Maximum	5.3508e-003 m	4.1089e+007 Pa
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

Fuente: (Software CAD/CAE S, 2015)

- Esfuerzo Máximo

$$\sigma_{max} = 41.09 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo Mínimo

$$\sigma_{min} = 0.0143 \text{ MPa}$$

- Factor de Seguridad

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

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{42.09 + 0.0143}{2} = 21.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{42.09 - 0.0143}{2} = 21.03 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{250}{21.05 + \frac{250}{237.31} \cdot 21.03}$$

$$FS = 5.78$$

- Resistencia del cordón de soldadura

La longitud del cordón de soldadura entre el cuerpo y las cabezas del tanque es la totalidad de la sección elíptica del tanque. (Ver Anexo B2)

$$F = 0.62 \cdot l$$

$$l = \text{Perimetro de elipse}$$

Ec. 3-35

$$\approx \pi \left[3(r_1 + r_2) - \sqrt{(3r_1 + r_2) \cdot (r_1 + 3r_2)} \right]$$

$$r_1 = 1214 \text{ mm}$$

$$r_2 = 931 \text{ mm}$$

$$l \approx \pi \left[3(1214 + 931) - \sqrt{(3 \cdot 1214 + 931) \cdot (1214 + 3 \cdot 931)} \right] = 6768.07 \text{ mm}$$

$$F = 0.62 \cdot 6768.07 = 4196.20 \text{ MPa}$$

4196.20 MPa > 37.81MPa ∴ El material de aporte es correcto

3.3.5. Soldadura en Espejos Deflectores del Tanque

Las cabezas del tanque están compuestas por unas planchas de acero manufacturado de forma elíptica, por lo que se realizará un cordón de soldadura continuo para la unión con el cuerpo del tanque.

Se tomará en cuenta la misma consideración realizadas para la soldadura del cuerpo del tanque.

3.3.5.1. Análisis de Esfuerzo y Factor de Seguridad en Soldadura en los espejos deflectores del Auto Tanque

El siguiente análisis se lo realiza bajo condiciones de fatiga en el material de aporte en la soldadura.

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

- Factor de Acabado Superficial

$$k_a = A \cdot S_y^B = 4.51 \cdot 250^{-0.265} = 1.051$$

- Factor de Tamaño

$$k_b = 1.24 \cdot h^{-0.107}$$

Donde:

- $h = 4 \text{ mm}$ = Garganta de Soldadura entre los espejos y el tanque (mm)

$$k_b = 1.24 \cdot 4^{-0.107} = 1.07$$

- Factor de Confiabilidad

$$k_c = 0.897 - 90\% \text{ de Conf.}$$

- Factor de Temperatura

$$k_d = 1.025 - 160^\circ\text{C}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga sin corregir

$$S_e' = 0.5 \cdot S_u = 0.5 \cdot 460 = 230 \text{ MPa}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga

$$S_e = 1.051 \cdot 1.07 \cdot 0.897 \cdot 1.025 \cdot 230 = 237.31 \text{ MPa}$$

Los valores máximos y mínimos de esfuerzo a los que se someten los espejos deflectores, son obtenidos de los resultados entregados por la simulación en SOFTWARE CAD/CAE (Tabla 34), con los cuales se calcula el factor de seguridad según “Solderberg”:

Tabla 34

Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en los Espejos Deflectores

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results		
Object Name	Total Deformation	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0. m	2848.6 Pa
Maximum	5.8754e-003 m	1.0592e+008 Pa
Minimum Value Over Time		
Minimum	0. m	2848.6 Pa
Maximum	0. m	2848.6 Pa
Maximum Value Over Time		
Minimum	5.8754e-003 m	1.0592e+008 Pa
Maximum	5.8754e-003 m	1.0592e+008 Pa
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

Fuente: (Software CAD/CAE, 2015)

- Esfuerzo Máximo

$$\sigma_{max} = 105.92 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo Mínimo

$$\sigma_{min} = 0.0028 \text{ MPa}$$

- Factor de Seguridad

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

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{105.92 + 0.0028}{2} = 52.96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{105.92 - 0.0028}{2} = 52.96 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{250}{52.96 + \frac{250}{237.31} \cdot 52.96}$$

$$FS = 2.30$$

- Resistencia del cordón de soldadura

La longitud del cordón de soldadura entre el cuerpo y los espejos deflectores del tanque es la mitad de la sección elíptica del espejo menos una porción de 2 agujeros destinados para la conexión entre compartimentos del auto tanque. (Ver Anexo B5)

$$F = 0.62 \cdot l$$

$$l = \frac{\text{Perimetro de elipse}}{2} \approx \frac{\pi}{2} \left[3(r_1 + r_2) - \sqrt{(3r_1 + r_2) \cdot (r_1 + 3r_2)} \right] - \pi \cdot \frac{15}{180} \cdot r_2$$

Ec. 3-36

$$r_1 = 1197 \text{ mm}$$

$$r_2 = 916 \text{ mm}$$

$$l \approx \frac{\pi}{2} \left[3(1197 + 916) - \sqrt{(3 \cdot 1197 + 916) \cdot (1197 + 3 \cdot 916)} \right] - \pi \cdot \frac{15}{180} \cdot 916$$

$$l \approx 3093.97 \text{ mm}$$

$$F = 0.62 \cdot 3093.97 = 1918.26 \text{ MPa}$$

1918.26 MPa > 105.92MPa ∴ El material de aporte es correcto

3.3.6. Soldadura en el Chasis del Auto Tanque

El chasis está compuesto por varios elementos de acero que serán unidos mediante soldadura, por lo que se realizarán cordones de soldadura continuos para la unión con el cuerpo del tanque y entre sus elementos.

Se tomará en cuenta las mismas consideraciones realizadas para la soldadura del cuerpo del tanque.

3.3.6.1. Análisis de Esfuerzo y Factor de Seguridad en Soldadura en Chasis del Auto Tanque

El siguiente análisis se lo realiza bajo condiciones de fatiga en el material de aporte en la soldadura.

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

- Factor de Acabado Superficial

$$k_a = A \cdot S_y^B = 4.51 \cdot 250^{-0.265} = 1.051$$

- Factor de Tamaño

$$k_b = 1.24 \cdot h^{-0.107}$$

Donde:

- $h = 6 \text{ mm}$ = Garganta de Soldadura mínima entre los elementos del chasis (mm)

$$k_b = 1.24 \cdot 6^{-0.107} = 1.024$$

- Factor de Confiabilidad

$$k_c = 0.897 - 90\% \text{ de Conf.}$$

- Factor de Temperatura

$$k_d = 1.025 - 160^\circ\text{C}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga sin corregir

$$S_e' = 0.5 \cdot S_u = 0.5 \cdot 460 = 230 \text{ MPa}$$

- Límite de la resistencia a la fatiga

$$S_e = 1.051 \cdot 1.024 \cdot 0.897 \cdot 1.025 \cdot 230 = 227.59 \text{ MPa}$$

Los valores máximos y mínimos de esfuerzo a los que se somete el cuerpo, son obtenidos de los resultados entregados por la simulación en SOFTWARE CAD/CAE (Tabla 35), con los cuales se calcula el factor de seguridad según “Solderberg”:

Tabla 35

Resultados de Esfuerzos Máximos y Mínimos en el Chasis

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results		
Object Name	Total Deformation	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0. m	16613 Pa
Maximum	3.2972e-003 m	1.2319e+008 Pa
Minimum Occurs On	Chasis	Puente Chasis 1
Maximum Occurs On	Chasis	
Minimum Value Over Time		
Minimum	0. m	16613 Pa
Maximum	0. m	16613 Pa
Maximum Value Over Time		
Minimum	3.2972e-003 m	1.2319e+008 Pa
Maximum	3.2972e-003 m	1.2319e+008 Pa
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	

Fuente: (Software CAD/CAE, 2015)

- Esfuerzo Máximo

$$\sigma_{max} = 123.19 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo Mínimo

$$\sigma_{min} = 0.0166 \text{ MPa}$$

- Factor de Seguridad

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

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{123.19 + 0.0166}{2} = 61.60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{123.19 - 0.0166}{2} = 61.58 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{250}{61.60 + \frac{250}{227.59} \cdot 61.58}$$

$$FS = 1.93$$

- Resistencia del cordón de soldadura

La longitud del cordón de soldadura mínima entre los distintos de los elementos del chasis es de 537 mm, cordón de soldadura entre las sillas y las vigas laterales del chasis. (Ver Anexo B4)

$$F = 0.62 \cdot l = 0.62 \cdot 537 = 332.94 \text{ MPa}$$

334.94 MPa > 123.19 MPa ∴ El material de aporte es correcto

3.3.7. Otras Soldaduras

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

3.4. DISEÑO TÉRMICO

En esta sección del capítulo se ha considerado el diseño del aislamiento térmico que debe tener la totalidad del tanque, y el dimensionamiento de la tubería dentro del tanque, que tendrá la función de calentar el asfalto mediante el flujo de aceite térmico.

3.4.1. Generalidades y definiciones previas

Los parámetros de diseños de temperatura son considerados de acuerdo a las condiciones críticas de trabajo del auto-tanque, y se muestran a continuación (Ver Anexo B1):

- $T_d = 160 \text{ °C}$ = Temperatura de diseño.

Ya que el auto tanque transporta asfalto a alta temperatura se debe implementar un recubrimiento como aislante térmico, con el fin de conservar la temperatura del asfalto dentro para facilitar la posterior descarga, y por prevención de accidentes por quemaduras si la piel entra en contacto con la superficie del tanque.

3.4.2. Dimensionamiento del Material Aislante

Como material aislante se ha seleccionado la lana de vidrio, ya que es un material de bajo peso, bajo costo, no toxico, incombustible, durable, confiable y de fácil instalación, por otro lado es un material de bastante comercialización en el país.

Para este análisis se han tomado radios medio ya que la sección de tanque es elíptica.

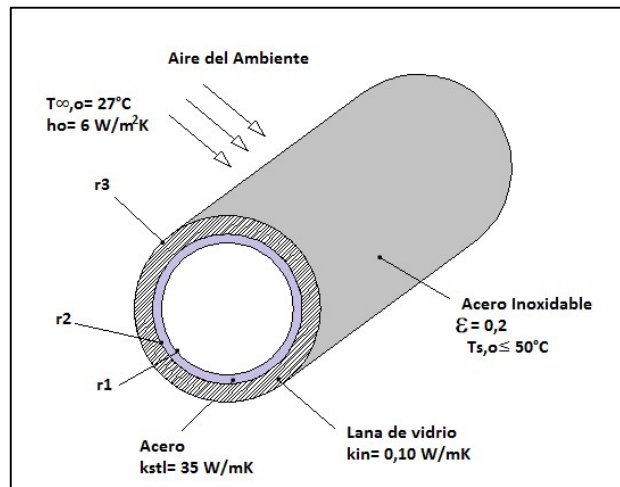


Figura 74: Transferencia de Calor en el Auto Tanque
Fuente: Propia

Realizando un balance de energía

$$E_{\text{Entra}} = E_{\text{Sale}} \tag{Ec. 3-37}$$

$$q' = q'_{\text{conv},o} + q'_{\text{rad}} \tag{Ec. 3-38}$$

$$q'_{\text{conv},o} = 2\pi r_3 h_o (T_{s,o} - T_{\infty,o}) \tag{Ec. 3-39}$$

$$q'_{\text{rad}} = 2\pi r_3 \epsilon \sigma (T_{s,o}^4 - T_{\text{sur}}^4) \tag{Ec. 3-40}$$

Mediante el uso de un circuito térmico equivalente se determinará el espesor de la lana de vidrio como material aislante.

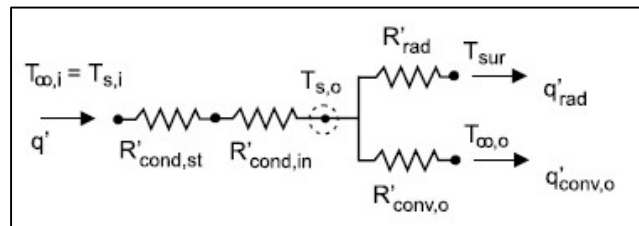


Figura 75: Circuito Térmico del Auto Tanque
Fuente: Propia

$$q' = \frac{T_{s,i} - T_{s,o}}{R'_{\text{cond},st} + R'_{\text{cond},ins}} \tag{Ec. 3-41}$$

$$R'_{\text{cond,st}} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi k_{\text{st}}} \quad \text{Ec. 3-42}$$

$$R'_{\text{cond,ins}} = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi k_{\text{ins}}} \quad \text{Ec. 3-43}$$

Donde:

- q' = Transferencia de calor del fluido hacia el material aislante
- $q'_{\text{conv},o}$ = Transferencia de calor por convección del ambiente hacia el auto tanque
- q'_{rad} = Transferencia de calor por radiación del ambiente hacia el auto tanque
- r_1 = Radio interior del tanque
- r_2 = Radio interior del material aislante
- r_3 = Radio interior del recubrimiento de acero inoxidable del tanque
- h_o = Coeficiente de convección exterior del medio ambiente
- k_{st} = Conductividad térmica del acero (tanque)
- k_{ins} = Conductividad térmica del material aislante
- ε = Emisividad del acero inoxidable
- σ = Contante de Stefan-Boltzmann
- $T_{\infty,o}$ = Temperatura del ambiente
- $T_{s,o}$ = Temperatura exterior de material aislante
- T_{sur} = Temperatura de la superficie del acero inoxidable
- $T_{s,i}$ = Temperatura en el interior de tanque
- $R'_{\text{cond,st}}$ = Resistencia por conducción en el acero (tanque)
- $R'_{\text{cond,ins}}$ = Resistencia por conducción en el materia aislante (lana de vidrio)

$$r_1 = 1068.5 \text{ mm}$$

$$r_2 = 1072.5 \text{ mm}$$

$$T_{\infty,1} = 160^\circ\text{C}$$

$$T_{s,o} \leq 50^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon = 0,2$$

$$k_{\text{ins}} = \text{Fibra de vidrio} = 0,062 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$T_{\infty,o} = 27^\circ\text{C} \rightarrow h_o = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Reemplazando en la ecuación 3-28:

$$q' = q'_{\text{conv},o} + q'_{\text{rad}}$$

$$\frac{T_{s,i} - T_{s,o}}{R'_{\text{cond,st}} + R'_{\text{cond,ins}}} = 2\pi r_3 h_o (T_{s,o} - T_{\infty,o}) + 2\pi r_3 \varepsilon \sigma (T_{s,o}^4 - T_{\text{sur}}^4)$$

$$\frac{2\pi (T_{s,i} - T_{s,o})}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_{\text{st}}} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{k_{\text{ins}}}} = 2\pi r_3 [h_o (T_{s,o} - T_{\infty,o}) + \varepsilon \sigma (T_{s,o}^4 - T_{\text{sur}}^4)]$$

$$\frac{(433 - 323)}{\frac{\ln \frac{1,072}{1,068}}{35} + \frac{\ln \frac{r_3}{1,072}}{0,062}} = r_3 [6(323 - 300) + 0,2 * 5,67 \times 10^{-8} (323^4 - 300^4)]$$

$$\frac{220\pi}{0,000106809 + \frac{\ln \frac{r_3}{1,072}}{0,062}} = 1065,481744r_3$$

$$r_3 = 1,11149 \text{ m}$$

Por lo tanto el espesor del aislante térmico teórico es de

$$t_{\text{ins}} = r_3 - r_2 = 1,11149 - 1,0725 = 0,039 \text{ m} = \mathbf{39 \text{ mm}}$$

En base al catálogo de la empresa ecuatoriana DISETEC, se ha seleccionado como material aislante al producto "Fibra de Vidrio Lana AW" con espesor de 50 mm en rollos de 15 m x 1.22 m, que soporta temperaturas de hasta 540 °C.

$$t_{\text{Aislamiento}} = \mathbf{50 \text{ mm}}$$

3.4.3. Diseño del Sistema de Calentamiento

El sistema de calentamiento es un sistema fundamental cuando de tanques de transporte de sustancias viscosas se trata, en este caso el sistema de calentamiento implementado es un sistema de calentamiento que consta de un serpentín que permitirá precalentar el asfalto a una temperatura adecuada para el bombeo de descarga. Con el siguiente cálculo definimos la longitud requerida para un serpentín de calentamiento. En base a datos obtenidos en los centros de descarga se determinó el dato del flujo másico de aceite térmico que circula por el serpentín.

$$\dot{m}_{AT} = 0.04227 \frac{kg}{s}$$

Ya teniendo esto, se requiere de la entalpía del fluido, en este caso el aceite térmico. Este ingresa a una temperatura de 210°C

$$h_{AT} = 324.2 \frac{kJ}{kg}$$

Con esto podemos obtener el calor generado por el flujo de aceite térmico

$$Q = \dot{m}_{AT} \cdot h_{AT}$$

$$Q = 0.04227 \frac{kg}{s} \cdot 324.4 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = 13.71 \text{ KW}$$

Posterior a esto necesitaríamos el calor aportado por metro por una línea de tubería que transporta fluido caliente, para simplificar el cálculo nos referimos a la siguiente tabla que nos indica el calor producido por líneas de traceado como una aproximación considerable para el cálculo.

Tabla 36

Transmisión de Calor de las Líneas de Traceado a la Línea de Productos

Presión vapor	Acero (Diámetro de paso)								Cobre (Diámetro exterior)								
	3 bar r		5 bar r		7 bar r		9 bar r		3 bar r		5 bar r		7 bar r		9 bar r		
Diámetro traceado	15 mm	20 mm	15 mm	20 mm	15 mm	20 mm	15 mm	20 mm	15 mm	20 mm	15 mm	20 mm	15 mm	20 mm	15 mm	20 mm	
Temperatura del producto en °C	10	113	145	125	161	135	174	143	184	80	107	89	119	96	129	102	135
	50	79	101	92	118	101	130	109	141	56	75	65	87	72	97	78	104
	75	58	74	71	91	80	103	88	114	41	55	50	67	57	77	63	84
	100	37	47	50	64	59	76	67	86	26	35	35	47	42	56	48	64
	150	-	-	8	10	17	22	25	32	-	-	5	7	12	16	18	24

Fuente: (Spirax Sarco, 2010)

Mediante interpolación obtenemos los datos para nuestro tipo de tubería, que es de 1½ pulgadas y para una presión de trabajo de 1 bar. Por lo que obtenemos

$$Q_{transmitido} = 230.36 \frac{W}{m}$$

Por tanto en base a la relación del requerimiento y el calor aportado por una línea de transferencia de calor podemos obtener la longitud necesaria para el serpentín.

$$L = \frac{Q_{req}}{Q_{ap}} = \frac{13.71 \text{ kW}}{230.36 \frac{W}{m}} = 59.51 \text{ m}$$

Por lo que decimos que la longitud de nuestro serpentín debe ser mínimo 59.51 metros.

Ante lo cual diseñamos un serpentín que recorre toda la longitud del tanque según el siguiente diseño.

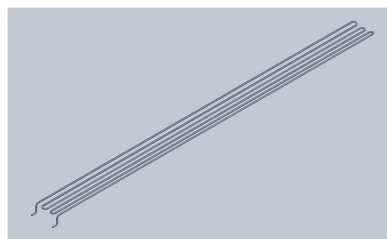


Figura 76: Tubería de Aceite Térmico

Fuente: Propia

Dando como total una longitud de 63 metros que es suficiente para los requerimientos anteriormente calculados.

Se debe considerar también que, ya que la tubería va a estar expuesta a condiciones de alta temperatura, esta se va a expandir y contraer cuando el fluido de trabajo circule por esta. Nos basamos en la figura 77. Basada en la norma ASME B31.1 sobre tuberías de trabajo para obtener un coeficiente de expansión térmica y así determinar el alargamiento que sufrirá la tubería.

Material	Coefficiente	70 (21)	200 (93)	300 (149)	400 (205)	500 (260)	600 (316)	700 (371)	800 (427)	900 (482)	1000 (538)	1100 (593)	1200 (649)	1300 (705)	1400 (760)
Acero de carbon: acero carbon-moly y cromo-bajo (hasta 3% Cr)	A		6.38	6.60	6.82	7.02	7.23	7.44	7.65	7.84	7.97	8.12	8.19	8.26	8.38
	B	0	0.99	1.62	2.70	3.62	4.90	5.63	6.70	7.81	8.89	10.04	11.10	12.22	13.34
Aceros de aleación de Intermetiaste 5 Cr Mo-9 Cr Mo	A		6.04	6.19	6.34	6.50	6.66	6.80	6.96	7.10	7.22	7.32	7.41	7.49	7.55
	B	0	0.94	1.71	3.50	3.35	4.24	5.14	6.10	7.07	8.06	9.05	10.00	11.06	12.05
Acero inoxidable austenítico	A		9.34	9.47	9.59	9.70	9.82	9.92	10.05	10.16	10.29	10.39	10.48	10.54	10.60
	B	0	1.46	2.61	3.80	5.01	6.24	7.50	8.80	10.12	11.48	12.94	14.20	15.56	16.82
Aceros inoxidables de cromo 12 Cr, 17 Cr, y 27 Cr	A		5.50	5.66	5.81	5.96	6.13	6.26	6.39	6.52	6.63	6.72	6.78	6.85	6.90
	B	0	0.86	1.56	2.30	3.08	3.90	4.73	5.60	6.49	7.40	8.30	9.20	10.11	11.01
25 Cr-20 Ni	A		7.76	7.92	8.06	8.22	8.38	8.52	8.66	8.81	8.92	9.00	9.06	9.12	9.18
	B	0	1.21	2.18	3.20	4.24	5.33	6.44	7.60	8.78	9.95	11.12	12.31	13.46	14.65
Monel 67: Ni-30 Cu	A		7.84	8.02	8.20	8.40	8.58	8.78	8.96	9.16	9.34	9.52	9.70	9.88	10.04
	B	0	1.22	2.21	3.25	4.33	5.46	6.64	7.85	9.12	10.42	11.77	13.15	14.58	16.02
Monel 66: Ni-29 CuAl	A		7.48	7.68	7.90	8.09	8.30	8.50	8.70	8.90	9.10	9.30	9.50	9.70	9.89
	B	0	1.17	2.12	3.13	4.17	5.28	6.43	7.62	8.86	10.16	11.50	13.00	14.32	15.78
Aluminio	A		12.95	13.28	13.60	13.90	14.20								
	B	0	2.00	3.65	5.39	7.17	9.03								
Hierro fundido gris	A		5.75	5.93	6.10	6.26	6.47	6.65	6.83	7.00	7.19				
	B	0	0.90	1.64	2.42	3.24	4.11	5.03	5.98	6.97	8.02				
Bronce	A		10.03	10.12	10.23	10.32	10.44	10.52	10.62	10.72	10.80	10.90	11.00		
	B	0	1.56	2.79	4.05	5.33	6.64	7.95	9.30	10.68	12.05	13.47	14.92		
Latón	A		9.76	10.0	10.23	10.47	10.69	10.92	11.16	11.40	11.63	11.85	12.09		
	B	0	1.52	2.76	4.05	5.40	6.80	8.26	9.78	11.35	12.98	14.65	16.39		
Hierro forjado	A		7.32	7.48	7.61	7.73	7.88	8.01	8.13	8.29	8.39				
	B	0	1.14	2.06	3.01	3.99	5.01	6.08	7.12	8.26	9.36				
Cobre-Niquel	A		8.54	8.71	8.90										
	B	0	1.33	2.40	3.52										

Figura 77: Tabla de coeficientes de expansión térmica

Fuente: (ASME B31.1. 2007)

Donde

- A = coeficiente promedio de la expansión térmica $\times 10^6$, pulg/pulg/ $^{\circ}$ F yendo de 70° F (21° C) a la temperatura indicada.
Multiplicar los valores de A por 1.8 para obtener el coeficiente de expansión en cm/cm/ $^{\circ}$ C.

- B = la expansión térmica lineal, pulg/100 pies yendo de 70°F (21°C) a la temperatura indicada.

Multiplicar los valores de B por 8.33 para obtener la expansión lineal en cm por 100 m.

$$T_{\text{fluido}} = 210^{\circ}\text{C}$$

Interpolando en la tabla obtenemos el valor de B para 210°C.

$$B = 2.608 \frac{\text{pulg}}{100 \text{ pies}}$$

Aplicando el factor de conversión

$$B = 21.72 \frac{\text{cm}}{100 \text{ m}}$$

Teniendo en cuenta que la longitud de la tubería del serpentín es de 10.3 m, multiplicamos por el factor.

$$\text{expansión}_{@210^{\circ}\text{C}} = 21.72 \frac{\text{cm}}{100 \text{ m}} \cdot 10.3 \text{ m} = 2.24 \text{ cm}$$

Considerando que el espacio entre el extremo del doblez del serpentín y la tapa posterior del tanque es de 23 cm podemos decir que longitudinalmente la tubería va a tener espacio suficiente para expandirse debido a la temperatura.

Para la expansión del diámetro de la tubería utilizamos la expansión superficial utilizando la sección de la tubería de 1 ½" Cédula 40.

$$\text{Area sección} = A_{ex} - A_{in}$$

$$\text{Area sección} = \frac{\pi}{4} d_{ex}^2 - \frac{\pi}{4} d_{in}^2$$

$$\text{Area sección} = \frac{\pi}{4} (1.9 \text{ pulg})^2 - \frac{\pi}{4} (1.755 \text{ pulg})^2$$

$$\text{Area sección} = 0.416 \text{ pulg}^2$$

Usando la fórmula de expansión térmica superficial.

$$\Delta A = 2 \alpha A_0 \Delta T$$

$$\Delta A = 2(13 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1})(0.416 \text{ pulg}^2)(210 - 21)^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta A = 0.002 \text{ pul}^2$$

Teniendo la diferencia de área generada por la expansión térmica sumamos esta al área de la sección inicial

$$A_f = \Delta A + \text{Area sección}$$

$$A_f = 0.002 \text{ pul}^2 + 0.416 \text{ pul}^2$$

$$A_f = 0.418 \text{ pul}^2$$

Manteniendo el diámetro interno fijo calculamos el nuevo diámetro exterior.

$$A_f = \frac{\pi}{4} d_{ex}^2 - \frac{\pi}{4} d_{in}^2$$

$$0.418 = \frac{\pi}{4} d_{ex}^2 - \frac{\pi}{4} (1.755 \text{ pulg})^2$$

$$d_{ex} = 1.9005 \text{ pulg}$$

Lo que nos dice que la tubería tiene una expansión radial poco considerable, sin embargo considerando que si existe expansión y que por las uniones de los tubos puede existir un movimiento de la tubería generada por la expansión lineal de la misma, se decide que los agujeros de los espejos en los que irá asentada la tubería del serpentín debe ser de 2 pulgadas.

3.4.4. Sistema de recirculación

El sistema de recirculación funciona de una manera sencilla, mediante la acción de una bomba hacer recircular el fluido constantemente dentro del tanque, para esto debemos calcular la potencia de la bomba que se va a requerir

$$P_B = \frac{Q \cdot g \cdot H \cdot \rho}{\eta_B \cdot \eta_{Me}} \quad \text{Ec. 3-44}$$

Donde:

- P_B = Potencia de la Bomba (W)

- Q = Caudal a suministrar (m^3/s)
- $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ = Aceleración de la Gravedad (m/s^2)
- H = Altura de bombeo (m)
- $\rho = 952 \frac{Kg}{m^3}$ = Densidad del fluido (Asfalto a 140 °C) (Kg/m^3)
- $\eta_B = 0.65$ = Eficiencia de la bomba
- $\eta_{Me} = 0.9$ = Eficiencia mecánica

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 3-45}$$

Donde:

- $V = 10000 \text{ Galones} = 37.85 m^3$ = Volumen de fluido a bombear (m^3)

Se considera que el total de la capacidad del auto tanque debe ser recirculado.

- $t = 5 \text{ horas} = 18000 \text{ seg}$ Tiempo de bombeo (s)

El tiempo promedio en generar asentamiento en el asfalto y natillas es de 5 horas.

$$Q = \frac{37.85}{18000} = 2.103 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$H = H_g + H_{pac} \quad \text{Ec. 3-46}$$

Donde:

- $H_g = 2 m$ = Altura máxima de bombeo (m)
- H_{pac} = Altura por pérdida en accesorios (m)

Se debe considerar la pérdida de potencia por accesorios, donde se añaden 5 metros por cada codo a 90 grados y 10 metros por cada válvula. El sistema de recirculación contará con 2 codos y una válvula.

$$H_{pac} = 20 m$$

$$H = 2 + 20 = 22 m$$

- Potencia de la bomba

$$P_B = \frac{2.103 \times 10^{-3} \cdot 9.81 \cdot 22 \cdot 952}{0.65 \cdot 0.9} = 738.53 \text{ W} \approx 1 \text{ hp}$$

Por lo que se necesitará de una bomba de mínimo 1 hp de potencia, sin embargo, hay que considerar que se debe utilizar una bomba de engranes helicoidales de desplazamiento positivo para asfalto, la cual se selecciona en la sección 3.9.4.

3.5. SELECCIÓN DE LA SUSPENSIÓN

La suspensión de un remolque que soporta un tanque debe ser seleccionada tomando en cuenta lo siguiente:

- Carga vertical que genera el tanque y su respectiva carga
- Cargas longitudinales provocadas por aceleración y frenado
- Absorción de movimientos del chasis
- Debe mantener la alineación de los neumáticos
- Proveer estabilidad

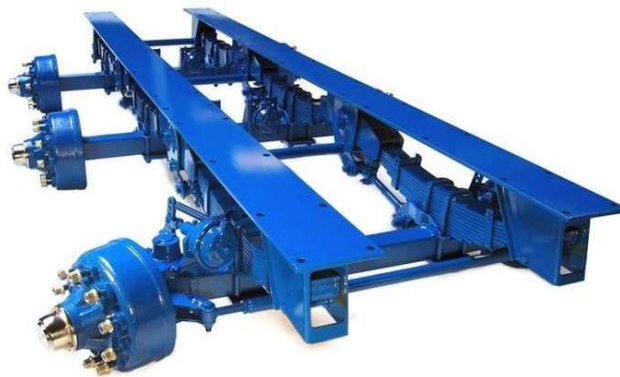


Figura 78: Sistema de suspensión mecánica de tres ejes

Fuente: (Repuesto Agrícola S.A., 2014)

Para la selección de una suspensión adecuada hay que tomar en cuenta la sustancia que se va a transportar, ya que algunos materiales requieren que el movimiento en el transporte sea mínimo, y otros debido a su peligrosidad no pueden tener reacciones que generen un vuelco del remolque.

Por lo tanto se deben conocer las condiciones del camino que va a recorrer el auto tanque.

Tomando en cuenta lo último tenemos que reconocer que los caminos por los que transitará un auto tanque en este país no son totalmente planos, existe la gran posibilidad de que los caminos no se encuentren en las mejores condiciones, y otro factor a considerar es que existe una gran cantidad de curvas.

Esto nos indica que el sistema de suspensión debe tener un nivel de flexibilidad extra para evitar vuelcos y para que esta absorba los golpes o saltos que puedan ser provocados por el estado del camino.

Los sistemas de suspensión para tráileres que se pueden encontrar en el mercado son sistemas neumáticos y sistemas mecánicos, los sistemas neumáticos se utilizan para requerimientos especiales, para materiales que requieran un mínimo movimiento al momento de su transporte, por lo que para nuestro proyecto hemos seleccionado un sistema de suspensión mecánico que es uno de los de aplicación más común en el ámbito de transporte de hidrocarburos.

El catálogo de la compañía REYCO nos ofrece diferentes tipos de sistemas de suspensión, en nuestro caso una suspensión mecánica que pueda resistir la carga producida por el tanque con carga y el chasis. De ahí seleccionamos una suspensión modelo 21 B, de tres ejes de una capacidad máxima de 26000 libras por eje.

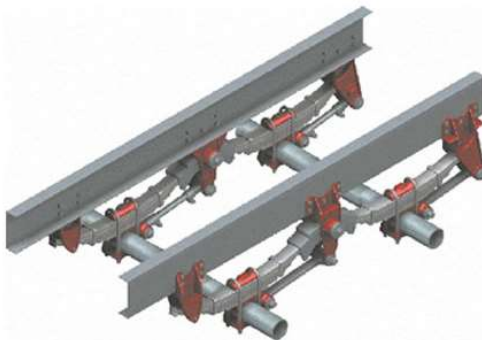


Figura 79: Suspensión REYCO Modelo 21 B CAST

Fuente: (REYCO S.A., 2014)

Finalmente se ordena una suspensión 21-0-B-3-25-WB-14-C-50-T3564-5R.
Según la figura 80.

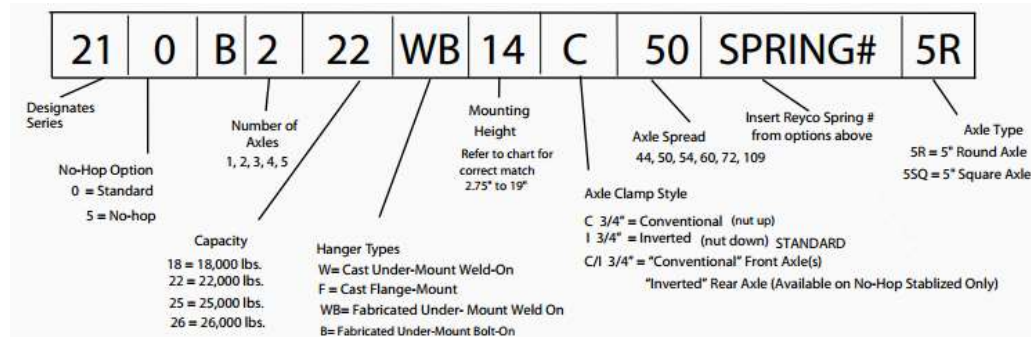


Figura 80: Especificaciones de cómo ordenar el tipo de suspensión

Fuente: (REYCO S.A., 2014)

3.6. SELECCIÓN DE LOS EJES

Según las reacciones obtenidas para cada uno de los ejes, la carga máxima que estos van a soportar es de 22000 libras, por lo tanto se debe seleccionar un eje diseñado para este tipo de requerimiento de carga.

Por tanto se seleccionan unos ejes redondos con capacidad de carga de 25000 lbs, con un conjunto de disco para servicio pesado.

Finalmente se selecciona un eje HN (D22) para suspensión de muelle mecánico de eje redondo de 5" y una pared nominal de 5/8" que da como resultado una capacidad de carga de hasta 25000 lb



Figura 81: Esquema del eje

Fuente: (HENDRICKSON, 2014)

3.7. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS

La selección del sistema de frenos básicamente está basada en nuestra selección de ejes, la cual incluye un sistema de tambores y bombas de frenos de aire.

Por tanto lo último que queda es seleccionar un conjunto que permita la activación del sistema antes mencionado, por tanto se selecciona un set de plomería de aire para frenos de tráiler que se detalla en la figura 82.

Este sistema viene listo para la instalación y conexión al sistema central de frenos del camión, con el sistema de frenos incorporado en los ejes adquiridos.

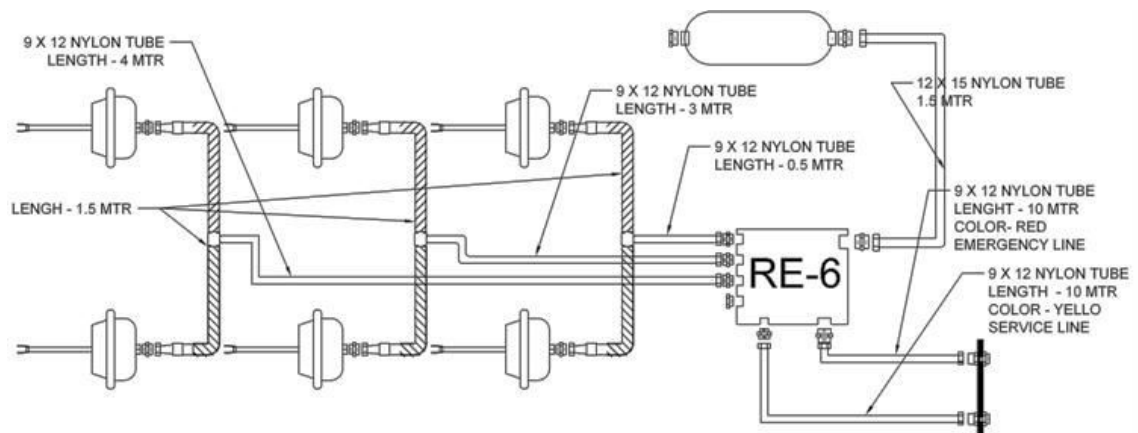


Figura 82: Esquema del sistema de frenos

Fuente: (AS PROCUREMENTS PVT, 2010)

3.8. SELECCIÓN DEL SISTEMA ELECTRICO

El tanque que se va a construir requiere contar con un Sistema de señalización para circular sobre la vía. Para este fin es necesario adquirir un kit de conexiones que permita la activación de la señalización.

El sistema eléctrico controla la señalización según la DOT, por lo tanto el cumplimiento de estos requerimientos se vuelve obligatorio, y la conexión se debe realizar mediante conexiones universales para que se pueda conectar el cabezal a la señalización del remolque.

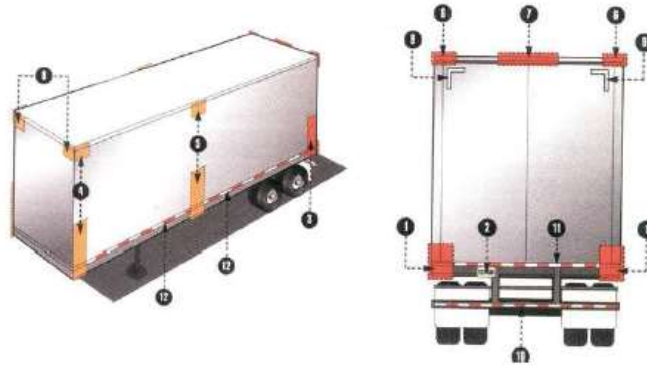


Figura 83: Ubicación de los accesorios de señalización

Fuente: (Department Of Transportation of USA, 2008)

Tabla 37

Referencia de requerimientos eléctricos

Requerimiento eléctrico	
1	Luces de cola, Luces de freno, Reflectivos, Luces de reversa y direccionales
2	Luz para matrícula
3	Luces demarcadoras laterales fotométricas, Luces reflectivas
4	Luces demarcadoras frontales, Luces reflectivas
5	Luces intermedias, Luces reflectivas
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: (Catalogo de accesorios eléctricos según DOT, 2008)

Para cumplir con todo esto se requiere un conector de 7 vías Way Tráiler END.

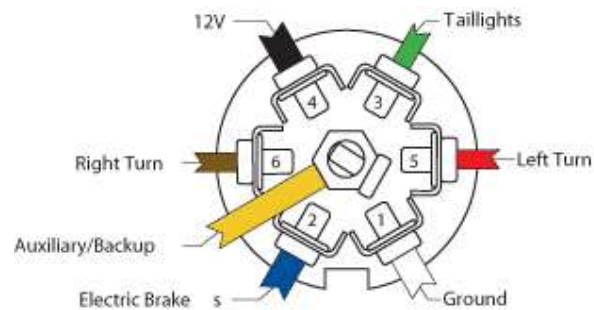


Figura 84: Diagrama del conector de accesorios eléctricos

Fuente: (Carmate Trailers INC, 2009)

Finalmente el cableado se realiza según la figura 85.

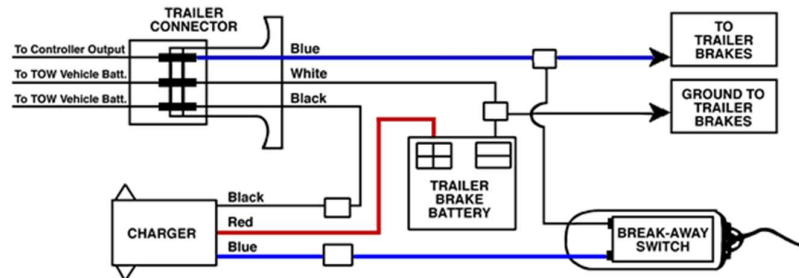


Figura 85: Diagrama de cableado de conexión de accesorios eléctricos

Fuente: (Carmate Trailers INC, 2009)

3.9. SELECCIÓN DE ACCESORIOS

3.9.1. Válvulas

El auto tanque de este proceso cuenta con válvulas para dos propósitos, para la descarga y para el sistema de recirculación.

Válvula de descarga y recirculación posterior: Válvula de tres vías de 3"

Dos válvulas de alivio: Válvula de globo de 2 1/2"

Válvula para serpentín: Válvula de globo de 1 1/2"

3.9.2. Kingpin

El kingpin es un elemento muy importante en un remolque porque va a soportar cierto nivel de carga, y va a ser el elemento que conecte el cabezal con el remolque. Este tipo de elementos no requiere de una selección exhaustiva.



Figura 86: Kingpin

Fuente: (CUYMAR S.A., 2015)

En este caso se seleccionó un modelo Kingpin 90 JOST de 3" Mushroom Series Model KZ 1416. La razón principal de la selección es que este se encuentra fácilmente en el mercado local.

3.9.3. Barras Telescópicas

Este elemento es utilizado en el auto tanque, cuando este no está conectado al cabezal. De igual forma las barras telescópicas se seleccionan según el peso que tiene el tanque.



Figura 87: Barras Telescópicas

Fuente: (JOST S.A., 2015)

El modelo de barra telescópica seleccionado es el modelo JOST SD0702700.

3.9.4. Bomba de Recirculación de Asfalto

Considerando que se necesita una bomba para el desplazamiento del asfalto, más no generar altas presiones a la salida de la bomba, se selecciona una bomba de engranes helicoidales de desplazamiento positivo. Por tal razón el diámetro de entrada de la bomba es igual al diámetro de salida.

Como antes pudimos determinar, la potencia de la bomba para mover el caudal que se necesita es de 1 HP, sin embargo se debe considerar también que la entrada de la bomba va a ser de 2 pulgadas y que para una entrada de estas dimensiones se requerirá de una mayor potencia para generar el mismo caudal obtenido previamente de $2.103 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que acudimos al catálogo de la marca GIORDANO S.A. para seleccionar una bomba de engranes helicoidales adecuada. (Ver Figura 87).

GRAFICO DE CAUDALES Y PRESIONES DE TRABAJO								
MODELO N.P. 12	SAE 30 20°C	ATMOSFERAS						R.P.M.
Medida		1	2	4	6	8	10	
3/4"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	0,75 2.800	1 2.600	1,5 2.400	2,5 2.100	3,5 1.900	4 1.700	1.400
1"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	1 3.600	1,25 3.400	1,5 3.200	2,5 3.200	3,5 2.750	4,5 2.500	1.400
1,1/4"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	1,5 5.500	2 5.200	2,5 4.900	3,5 4.600	4 4.300	5 4.000	1.400
1,1/2"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	2 6.100	2,5 5.800	3,5 5.500	4,5 5.200	5,5 4.900	6,5 4.500	1.400
2"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	3 9.500	3,5 9.000	4 8.000	5 6.900	6 6.000	7,5 5.000	1.400
2,1/2"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	4 18.000	5 17.000	6,5 15.400	8 13.500	9 12.000	10 10.000	1.400
3"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	6 28.000	8 26.500	10 24.500	12 22.500	15 20.200	20 18.000	900

Figura 88: Gráfico de Caudales y Presiones de Trabajo GIORDANO MODELO N.P. 12

Fuente: (Catálogo GIORDANO S.A., 2015)

Por lo tanto para nuestra aplicación requeriremos de una bomba Modelo N.P. 12 de entrada de 2 pulgadas con un motor de una potencia de 1 HP funcionando a 1400 RPM, para garantizar la presión de operación realizada en los cálculos anteriormente. Las características y rendimientos de la bomba se indican en el anexo D.

4. CAPITULO IV: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1. TECNOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de las partes del tanque se las realizó en los talleres de la empresa Industria Acero delos Andes S.A., en la siguiente tabla se muestran las máquinas y equipos utilizados en la construcción

Tabla 38

Máquinas y Equipos Utilizados en la Construcción

Designación	Máquina/Equipo	Características
M1	Roladora Allis-Chalmers	40 HP
M2	Soldadora Lincoln	GMAW FCAW Voltaje entrada \pm 10% :15 – 110 VCD Amperaje de entrada: 4A Salida nominal a 40°C: Capacidad nominal del 60%: 450 V Capacidad nominal del 100%: 325 V
M3	Soldadora Lincoln Invertec V350 –PRO 60/50 Hz	Voltaje de CA de entrada: 200/208 – 230/380 – 400/415 – 460/575 Salida Nominal 350 A / 34V / 60%
M4	Amoladora Bosch GWS 24 - 180	Potencia absorbida 2400 W Velocidad de giro en vacío 8500 RPM Ø de disco 8500 RPM
M5	Cortadora Computarizada CNC Plasma Hypetherm Powermax	Amperaje de Salida: 130 A Voltaje de Salida: 50 – 150 DC ISO 9001:2000 Certificado

Fuente: Propia

Tabla 39

Herramientas y Accesorios Auxiliares

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

Fuente: Propia

4.2. OPERACIONES TECNOLÓGICAS

Tabla 40

Operaciones Tecnológicas

Número de Operación	Descripción
1	Corte del material
2	Medición y trazado
3	Doblado
4	Rolado
5	Soldadura SMAW/MIG
6	Ensamblaje
7	Esmerilado y cepillado
8	Montaje
9	Pintura

Fuente: Propia

4.3. CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

La construcción requiere de herramientas que ayuden a la organización y entendimiento del procedimiento a realizar.

El diagrama de flujo es una herramienta que representa las operaciones tecnológicas que se siguen en las etapas de construcción del tanque. Las operaciones no tienen un orden de seguimiento estricto, se ejecutan conforme la necesidad de avance de la construcción.

Se cuenta con la siguiente simbología.

Tabla 41

Simbología del diagrama de Flujo

Símbolo	Significado
○	Operación Tecnológica
□	Inspección
➔	Traslado o transporte
△	Almacenamiento
D	Espera

Fuente: Talavera, 1999

4.3.1. Diagrama de Flujo de Construcción del Cuerpo

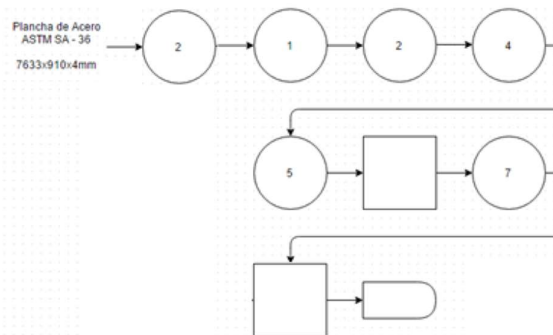


Figura 89: Diagrama de Flujo para la Construcción del Cuerpo del Tanque

Fuente: Propia

4.3.2. Diagrama de Flujo de Construcción de las Cabezas

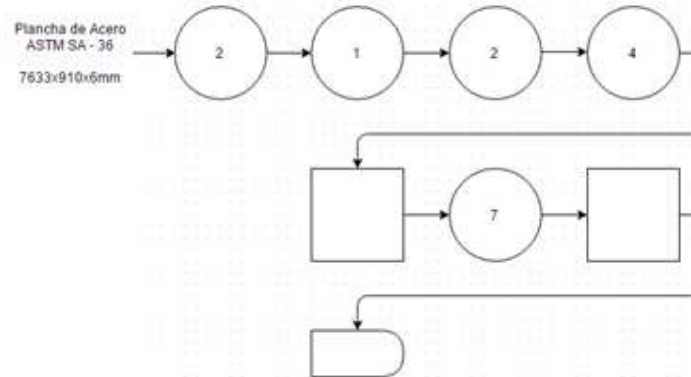


Figura 90: Diagrama de Flujo para la Construcción de las Cabezas del Taque

Fuente: Propia

4.4. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Al ser el asfalto un fluido altamente viscoso se requiere que este esté caliente para que sea manejable, por esto, los tanques para asfalto requieren un sistema de calentamiento mediante serpentín, por el que circule ya sea aceite térmico o vapor para que el asfalto se caliente y disminuya su viscosidad ya sea para la carga o la descarga del mismo.

4.4.1. Diagrama de flujo de construcción del sistema de calentamiento

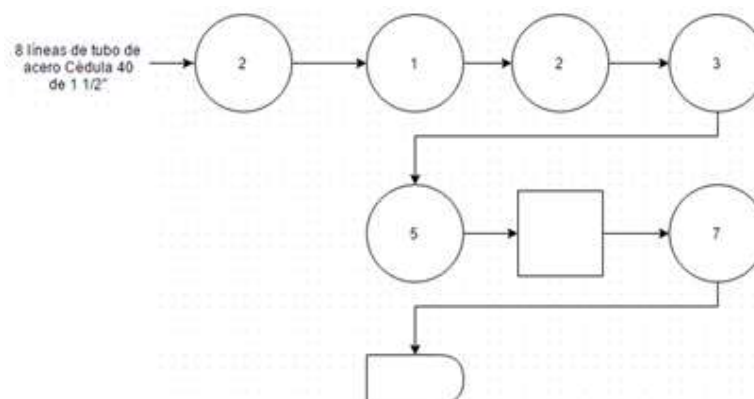


Figura 91: Diagrama de Flujo para la Construcción del Sistema de Calentamiento

Fuente: Propia

4.5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

El sistema de recirculación cuenta con una bomba de recirculación conectada a la base del tanque, que conduce el fluido a la parte superior del mismo haciendo que este recircule.

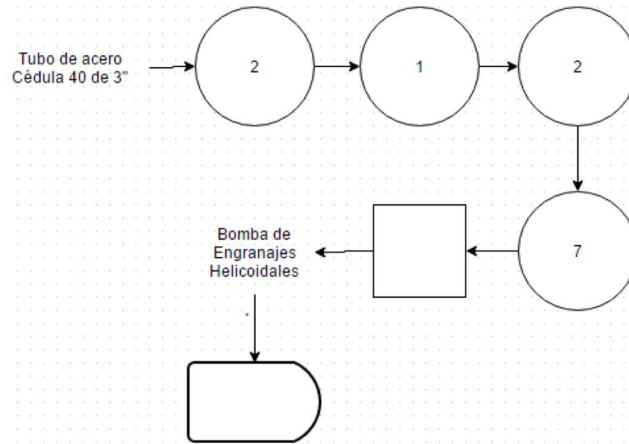


Figura 92: Diagrama de Flujo para la Construcción del Sistema de Recirculación

Fuente: Propia

4.6. OPERACIONES DE MONTAJE

Tabla 42

Operaciones de Montaje

Operaciones	Identificación
Montaje de cabezas	OM1
Montaje de espejos	OM2
Montaje de cuerpo del tanque	OM3
Montaje de la base del tanque	OM4
Montaje al chasis	OM5
Montaje de refuerzos del tanque	OM6
Montaje de elementos de accesibilidad	OM7
Montaje de accesorios del tanque	OM8
Pintura	OM9

Fuente: Propia

4.6.1. Diagrama de flujo de montaje

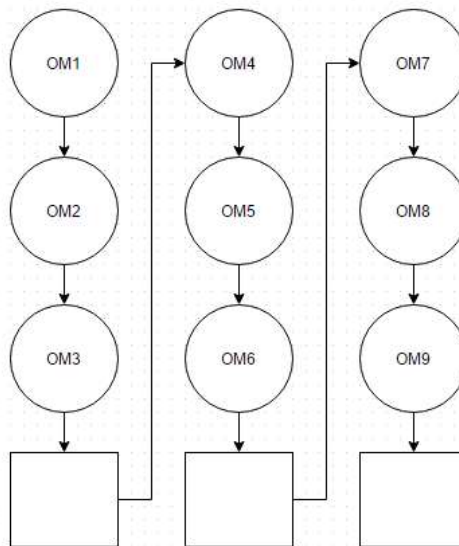


Figura 93: Diagrama de Flujo de Montaje

Fuente: Propia

4.7. MAPA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

Un proceso es un conjunto de actividades y recursos interrelacionados que transforman elementos de entrada en elementos de salida aportando valor añadido para el cliente o usuario. Los recursos pueden incluir: personal, finanzas, instalaciones, equipos técnicos, métodos, etc. (Roure, 2007)

El mapa de procesos es una herramienta gráfica que ayuda a representar y visualizar los procesos que intervienen en la construcción del tanque.

La norma ISO 9001:2008 en el apartado 4.1 establece que la empresa debe:

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

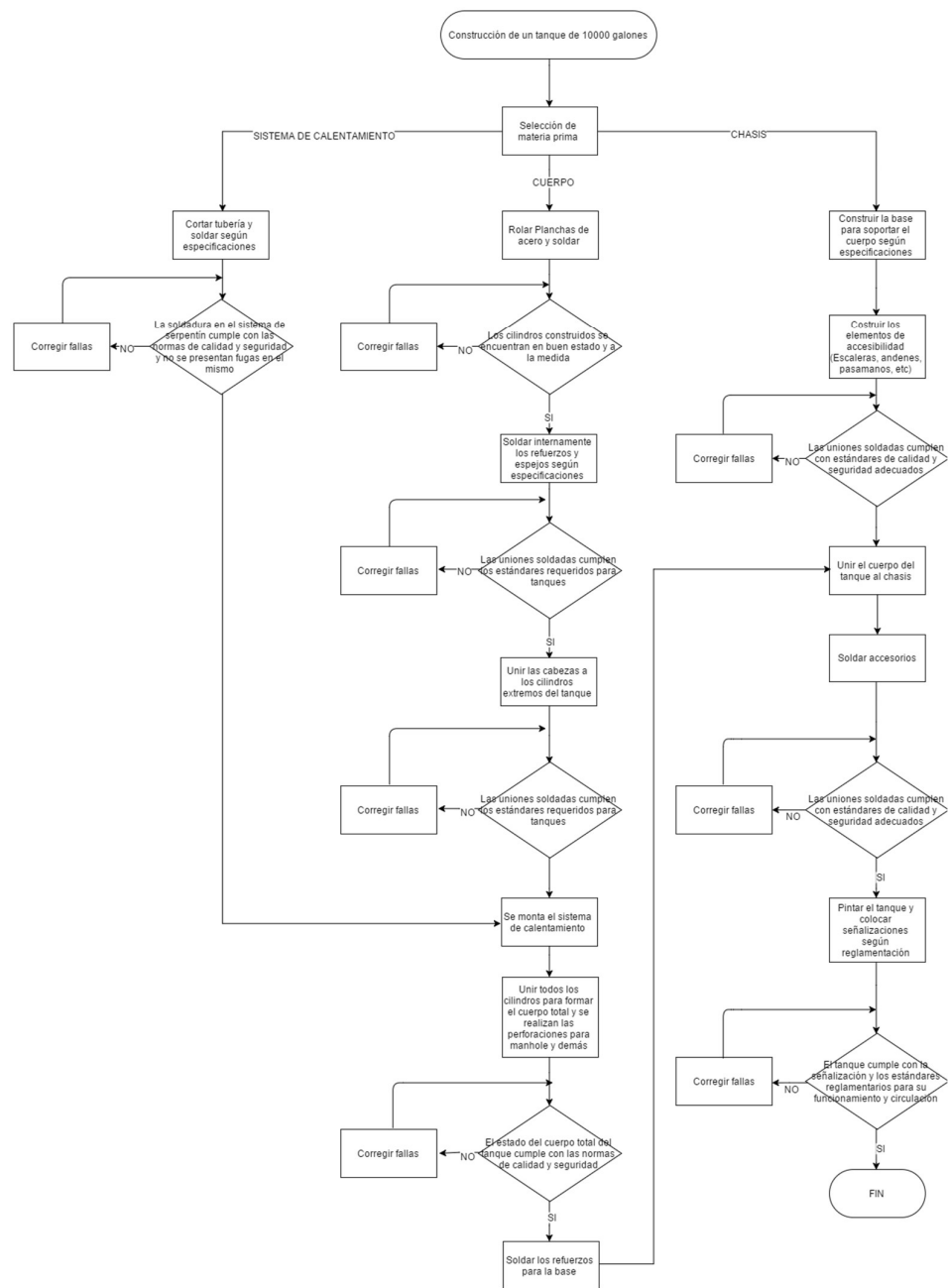


Figura 94: Mapa de procesos de construcción y ensamblaje

Fuente: Propia

5. CAPITULO V: ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

5.1. COSTOS DIRECTOS

5.1.1. Materiales

ORDEN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO(USD)	VALOR TOTAL (USD)
1	Planchas de Acero SA-36	5500 kg	0.85 \$/Kg	4675.00
2	Tubería de acero negro, Cédula 40, 1 ½ pulgadas	65 m	13.96 \$/m	907.40
3	Tubería de acero negro, Cédula 40, 2 pulgadas	1 m	18.14 \$/m	18.14
4	Tubería de acero negro, Cédula 40, 4 pulgadas	2 m	23.11 \$/m	46.22
5	Planchas de Acero Inoxidable 430 de 0.7 mm	433 kg	1.30 \$/kg	577.00
6	Lana de vidrio 15 m x 1.20 m x 2"	4	105.00	420.00
7	Bomba de Recirculación de asfalto	1	2800.00	2800.00
8	Pernos	-	-	100.00
9	Tuercas	-	-	100.00
10	Válvulas	5	-	1500.00
11	Consumibles de soldadura	1 caja	100.60	100.60
12	Tanque de gas CO ₂	1	22.32	22.32
13	Tanque de gas O ₂	1	18.75	18.75
14	Manhole 20" acero inoxidable	1	320.00	320.00
15	Material Eléctrico	-	650.00	650.00
16	Pintura	-	2000.00	2000.00

TOTAL:	14255.43
---------------	-----------------

5.1.2. Mano de obra

ORDEN	ESPECIALIDAD	Cantidad	TIEMPO MEDIO(H)	SALARIO-HORA	TOTAL USD
1	Soldadores	2	60	4.43	531.60
2	Conformado y Rolado	1	120	3.18	381.60
3	Corte de Planchas	1	40	3.18	127.20
4	Inspección	1	120	6.82	818.40
5	Pintura	2	40	3.64	291.20
6	Jefe de producción	1	80	11.93	954.40
7	Supervisor	1	120	4.83	579.60
	Ayudantes	3	120	2.10	756.00
TOTAL:					4440.00

5.2. COSTOS INDIRECTOS

	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (USD)
Misceláneos	Suministros de oficina	30.00
	Internet	40.00
	Transporte	100.00
	Impresiones	20.00
	Copias	10.00
	Suministros varios	40.00
Asesoramiento Profesional	Ing. Miguel Cedeño	2160.00
Ingeniería	Andrés Pozo	2000.00
	Sebastián Valencia	2000.00
	Director de Proyecto	864.00
TOTAL:		7264.00

Costos Directos	USD 18695.43
-----------------	--------------

Costos Indirectos	USD 7264.00
Total	USD 25959.43
Imprevistos (10%)	USD 2595.94
TOTAL PROYECTO	USD 28555.37

Después de realizado el análisis económico se observó que el sistema de recirculación representa a nivel de costos aproximadamente un 20% del precio de los materiales y casi un 10% en el costo total del auto tanque, lo que lleva a concluir que el costo-beneficio que esto genera no es el suficiente para considerar la construcción del mismo, debido a que actualmente las empresas que utilizan asfalto se encargan ellas mismas de procesar el asfalto cuando este no cuenta con las condiciones necesarias para trabajar con el mismo.

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

En el proceso de diseño del auto tanque de 10000 galones para asfalto se consideraron cuatro principales parámetros que dieron la orientación para la selección de la norma que se aplicó como directriz, los cuales fueron: el material a transportar; el asfalto que es un líquido inflamable, la presión de diseño; atmosférico, la temperatura de operación máxima; 160 °C, y el factor de seguridad; que una vez elegida la norma americana NFPA 385, establece que para transportar materiales de alto riesgo como es el asfalto debe tener un factor de cuatro.

Se ha desarrollado un diseño mecánico y estructural tomando en cuenta los riesgos de accidente a los que está expuesto el auto tanque a la hora de ser operado, obteniendo un factor de seguridad en el diseño mecánico del tanque de almacenamiento de 3.31, y en el diseño estructural del chasis de 2.03.

Realizado el análisis estructural del diseño de chasis proporcionado por la empresa se determinó que este cumple con los requerimientos de resistencia, además también de comprobar la convergencia entre los resultados arrojados por el software CAD/CAE y los cálculos mediante análisis de vigas.

El tanque construido cumple con la norma NFPA 385 Standard for Tank Vehicles for Flammable and Combustible Liquids 2007 Edition. Basados en la consideración 1.1.1* que incluye en esta norma a los tanques de transporte de asfalto, considerado un líquido Clase III cuyo punto de ignición está por encima de los 200°F (93°C), el diseño cumple con el capítulo 5 de esta norma, con consideraciones estructurales sugeridas por la norma ASME Sec. VII, cumpliendo también los estándares de bafles, soldadura, refuerzos, anclaje y diseño de tuberías. También cumpliendo con el capítulo 6 que específicamente habla de los tanques de transporte de asfalto. Y finalmente

tomando en cuenta los requerimientos del capítulo 9 sobre operación para la elaboración del manual de operación.

La sección elíptica del cuerpo del auto tanque otorga ventajas como mayor estabilidad durante el transporte debido a que tiene un centro de gravedad más bajo que las otras secciones consideradas.

6.2. RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar más estudios en cuanto al diseño del auto tanque para poder llegar a un factor de seguridad igual o mayor a lo establecido en la norma americana NFPA 385, que de un valor de cuatro, sin afectar el peso total del auto tanque y el valor económico.

Se recomienda documentar las actividades y procesos realizados de tal manera que sean soporte para futuros proyectos y poder retomar proceso de construcción ya que hubo varias demoras dentro del proceso, ya que la empresa debía atender otras responsabilidades.

Implementar una roladora de alta tecnología capaz de modificar los radios de doblado con mayor facilidad y logra obtener cilindros de sección elíptica de alta precisión.

Se recomienda la implementación del sistema de recirculación, puesto que lograría la homogeneización del asfalto almacenado, brindando un producto listo para ser procesado, y sin realizar un precalentamiento de la válvula en el momento de la descarga, ya que la constante recirculación de asfalto caliente que pasa por esta válvula reemplaza a dicho proceso.

Para el diseño estructural del chasis se recomienda añadir una mesa transversal para evitar exceso de esfuerzos en la zona media del chasis.

BIBLIOGRAFÍA

NFPA 385. (2007). *Standard for Tank Vehicles for Flammable and Combustible Liquids*. Quincy, MA, Estados Unidos.

NFPA 30. (2003). *Flammable and Combustible Liquids Code*. Quincy, MA, Estados Unidos.

NFPA 704. (2007). *Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response*. Quincy, MA, Estados Unidos.

ASME Seccion VIII. (2010). *Rules for Construction of Pressure Vessels*. New York, NY, Estados Unidos.

NTE INEN 2266. (2010). *Transporte, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos. Requisitos*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 2341. (2003). *Derivados del Petroleo. Productos Relacionados con el Petroleo y Afines. Definiciones*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 0439. (1984). *Señales y Símbolos de Seguridad*. Quito, Ecuador.

CFR Subpart J. (2010). *Code of Federal Regulations*. Washington DC, Estados Unidos.

Keppler, S., Buth, E., Quade, W., & Kohutck, T. (1996). *Guide for Structural Evaluation of Cargo Tank*. Washington D.C., Estados Unidos.

The Asphalt Institute. (1982). *Asphalt Manual*, Estados Unidos.

Méndez, B. (1999). *Condiciones de Seguridad en la Carga y Descarga de Camiones Cisterna: Líquidos Inflamables (I)*. España

ASCE 7. (2013). *Minimum Design Loads for Buildings and other Structures*. Virginia, Estados Unidos.

Chamorro, A. (2013). *El Petróleo en el Ecuador la Nueva Era*. Quito, Ecuador.

Shigley, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México D.F.

Villareal, G. (2010). *Resistencia de Materiales*. Peru.

Incropera, F., Bergman, T., Lavine, A., & Dewitt, D. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Estados Unidos.

Ribas, C. (Enero 2002). *Diseño Concurrente*. España.

Pérez, R. (2006). *Algunos enfoques de diseño en la ingeniería Mecánica*. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Cuba.

Dipac Manta S.A. (Noviembre de 2015). *Catálogo de especificaciones Planchas de Acero*. Ecuador.

Acero de los Andes S.A. (Mayo de 2015). *Industria Acero de los Andes. Sistema de la Gestión de la Calidad*. Ecuador.

Acero de los Andes S.A. (Mayo de 2015). *Industria Acero de los Andes*. Obtenido de: <http://www.aceroandes.com>

Giordano S.A. (Noviembre de 2015). Catálogo Giordano S.A. Obtenido de: <http://www.giordanosa.com.ar/bomba-N.P.12.html>

E-Asfalto. (Junio de 2015). *Unidad Móvil de Almacenaje y Calentamiento de Asfalto*. Obtenido de: <http://www.e-asfalto.com/fracchia/tanque.htm>

Triaso S.A. (Junio 2015). *TRIASO S.A.* Obtenido de: http://www.triaso.com.mx/pla_caracteristicas.html

Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. (Junio de 2015). *Dirección de Regulación y Normativas*. Obtenido de: <http://www.arch.gob.ec/index.php/servicios/direccion-de-regulacion-y-normativa.html>

Pozo, E. (27 de Mayo de 2015). Situación Actual. (Pozo A., Entrevistador)

ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍA DE CONSTRUCCIÓN

Fotografías del Proceso de Construcción del Auto Tanque



Fotografía 1 Calificación de la Soldadura



Fotografía 2 Calificación de Soldadura



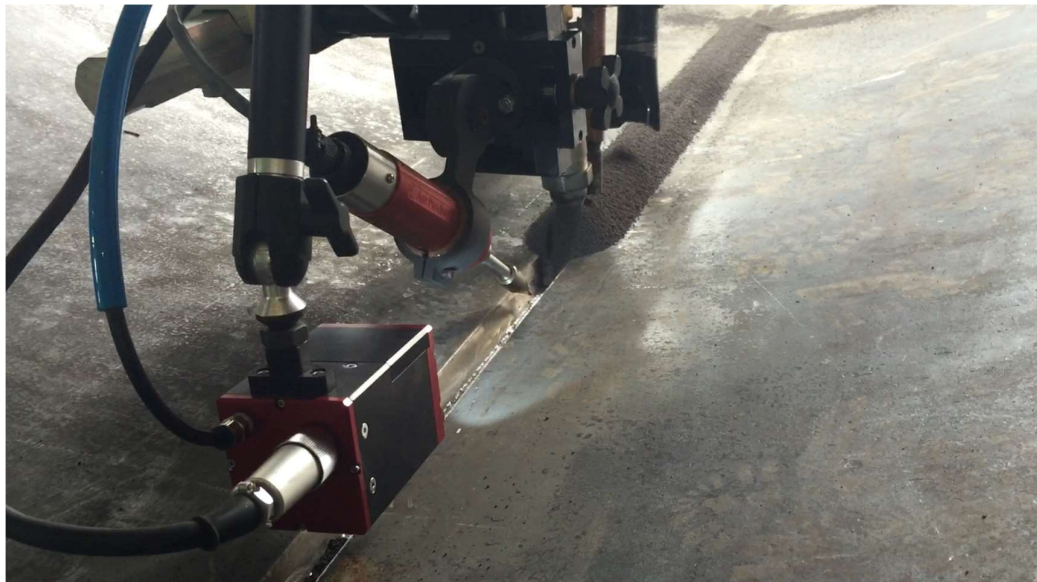
Fotografía 3 Rolado de Plancha de Acero A-36



Fotografía 4 Conformación del Cuerpo del Auto Tanque



Fotografía 5 Refuerzos en Soldadura del Cuerpo del Auto Tanque



Fotografía 6 Soldadura en el Cuerpo del Auto Tanque



Fotografía 7 Soldadura de Raíz en el Cuerpo del Auto Tanque



Fotografía 8 Cordón de relleno en el Cuerpo del Auto Tanque

ANEXO B: PLANOS DE DETALLE

- ANEXO B1: PLANO GENERAL
- ANEXO B2: CUERPO Y CABEZAS
- ANEXO B3: BOQUILLAS, TUBERÍA Y ACCESORIOS
- ANEXO B4: DETALLE DE CHASIS
- ANEXO B5: DEFLECTORES
- ANEXO B6: ACCESOS Y ACCESORIOS

ANEXO C: MANUAL DE OPERACIÓN Y SEGURIDAD

ANEXO D: CATALOGO BOMBA PARA ASFALTO

BOMBA DE ENGRANES HELICOIDALES – MODELO NP – 12

MARCA: GIORDANO



APLICACIONES:

Bomba a engranajes helicoidales y bihelicoidales (segun modelo) pudiendo ser rectos a pedido, para todo tipo de productos liquidos que por su naturaleza sean lubricantes. EJ.: petroleo y todos sus derivados, pinturas, pulpas, melazas livianas, grasas, aceites comestibles, dulces, pastas de panaderia, productos quimicos y de laboratorio como shampoo, detergentes, etc.

Esta bomba permite invertir el sentido de impulsión del producto con solo invertir el giro del motor.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS:

- Cuerpo de hierro fundido, engranajes y ejes de acero SAE 1040.
- Cuerpo y engranajes de bronce antiácido SAE 65, ejes de acero inoxidable.
- Cuerpo, engranaje superior y ejes de acero inoxidable AISI 316 con tratamientos antiengrane. Engranaje inferior de teflón.

Y las variantes posibles empleando los materiales indicados.

ACCIONAMIENTO:

Directo por medio de manchón a motor eléctrico de 1000 ó 1500 rpm, a explosión, toma de fuerza de camión, etc.

OPCIONALES:

Tapa de calefacción, tapa de by-pass, válvula de alivio exterior, tratamientos térmicos, bujes especiales, etc., entrega de bombas punta de eje libre o acoplado sobre bastidor standard o especial de acuerdo a sus requerimientos.

DIMENSIONES:

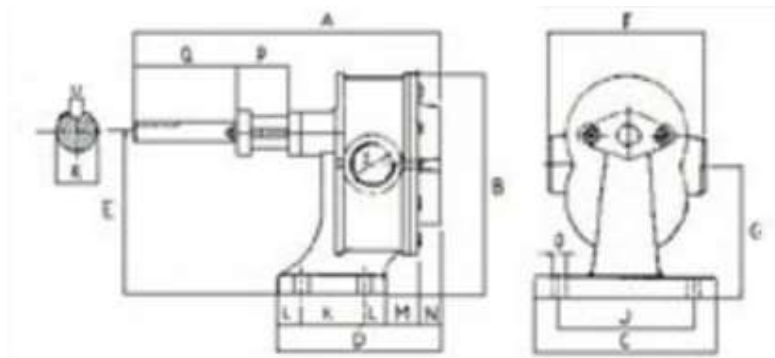


TABLA DE DIMENSIONES APROXIMADAS - Medidas en mm																			
MODELO N.P. 12	PRINCIPALES								SECUNDARIAS							PUNTA DE EJE		PESO	
Medida	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	U	Kg.
3/4"	250	151	125	160	108	95	95	19	90	55	18	45	25	10	30	70	18	4	9
1"	255	152	125	160	108	100	87	25	90	55	18	45	25	10	30	70	18	4	10
1,1/4"	290	180	180	200	130	125	110	32	130	80	24	30	35	12	38	75	20	5,5	14
1,1/2"	300	182	180	200	130	130	110	38	130	80	24	30	35	12	38	75	20	5,5	16
2"	380	215	200	230	155	145	128	52	145	105	26	32	40	13	45	100	25	6	23
2,1/2"	420	215	200	260	155	145	128	65	150	105	26	60	40	13	48	100	25	6	27
3"	510	230	215	300	160	175	130	76	170	110	25	75	55	13	50	140	30	8	36

TABLAS Y GRÁFICOS

GRAFICO DE CAUDALES Y PRESIONES DE TRABAJO								
MODELO N.P. 12	SAE 30 20°C	ATMOSFERAS						
Medida		1	2	4	6	8	10	R.P.M.
3/4"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	0,75 2.800	1 2.600	1,5 2.400	2,5 2.100	3,5 1.900	4 1.700	1.400
1"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	1 3.600	1,25 3.400	1,5 3.200	2,5 3.200	3,5 2.750	4,5 2.500	1.400
1,1/4"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	1,5 5.500	2 5.200	2,5 4.900	3,5 4.600	4 4.300	5 4.000	1.400
1,1/2"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	2 6.100	2,5 5.800	3,5 5.500	4,5 5.200	5,5 4.900	6,5 4.500	1.400
2"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	3 9.500	3,5 9.000	4 8.000	5 6.900	6 6.000	7,5 5.000	1.400
2,1/2"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	4 18.000	5 17.000	6,5 15.400	8 13.500	9 12.000	10 10.000	1.400
3"	Pot. Absorb. H.P. Litros Hora	6 28.000	8 26.500	10 24.500	12 22.500	15 20.200	20 18.000	900

