



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Propuesta de Normativa para la Fabricación de Autotanques  
destinados al Transporte de Combustibles en el Ecuador.**

**Wilson Javier Herrera Zuleta**

**Cristian Efraín Ulloa Molina**

*Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero*

*Mecánico*

Quito, Mayo del 2009

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Propuesta de Normativa para la Fabricación de Autotanques destinados al Transporte de  
Combustibles en el Ecuador.

**Wilson Javier Herrera Zuleta**

**Cristian Efraín Ulloa Molina**

Edison Bonifaz, Ph.D

Director de Tesis

Miembro del comité de Tesis

\_\_\_\_\_

Laurent Sass, Ph.D

Miembro del comité de Tesis

\_\_\_\_\_

Ing. Fernando Romo P., M.Sc.

Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

\_\_\_\_\_

Quito, Mayo 2009

© Derechos de autor

Wilson Javier Herrera Zuleta

Cristian Efraín Ulloa Molina

2009

## **Agradecimientos**

A nuestros padres, quienes fueron los que iniciaron a forjar nuestro destino a través de su sabiduría, enrumbaron nuestras vidas para que logremos ser personas de bien, no solo para nuestro beneficio sino también para un beneficio común con la sociedad.

A mi esposa, Gaby, y a mi hija, Briana, por acompañarme y ser la razón de mi vida, por su completo amor, comprensión y apoyo.

WH.

A nuestros profesores, Edison, Laurent, Víctor, por su enseñanza, apoyo, paciencia y amistad.

A todos los distinguidos miembros de FEFA, por su incondicional apoyo en los momentos más difíciles, y su noble sabiduría durante nuestra estancia en la universidad.

Amigos, hermanos de aulas, compañeros de estudio, que colaboraron a crear de la vida universitaria un recuerdo imborrable.

## RESUMEN

El transporte de combustibles en el Ecuador se realiza de manera mayoritaria en autotanques (tanques remolcados por un camión). Combustibles líquidos como el Diesel y la Gasolina son de uso fundamental para distintos sectores productivos del país, y contar con un apropiado abastecimiento de combustibles en el Ecuador se ha transformado en una prioridad.

A través de la red vial del Ecuador, cientos de autotanques recorren kilómetros para abastecerse del necesario combustible y transportarlo a ciudades y centros de acopio para la distribución y comercialización del mismo. El transporte de combustibles, al ser una operación continua, requiere de parámetros y estándares que garanticen la seguridad e integridad de las personas que operan los autotanques, además de las personas y entorno por el cual se movilizan los camiones.

En el país no existe algún tipo de normativa que regule la construcción de estos dispositivos de almacenaje y transporte, lo cual deja vulnerable a los autotanques a sufrir cualquier tipo de accidentes que involucran vidas humanas. El transporte de GLP (Gas Licuado de Petróleo), combustible gaseoso de importante consumo para los ecuatorianos, si se encuentra regulado en el Ecuador, de manera que se establecen requisitos mínimos de diseño, construcción y seguridad para garantizar el correcto transporte del combustible. De manera similar al transporte de GLP, se considera necesaria una normativa que regule los requerimientos mínimos de construcción y diseño a las empresas metalmecánicas del país y extranjeras que construyen autotanques para el transporte de combustibles líquidos en el Ecuador.

Esta tesis presenta una propuesta de norma técnica, bajo los parámetros de la entidad responsable en el Ecuador (INEN), utilizando conceptos de ingeniería mecánica,

diseño mecánico y procesos de manufactura, acordes a las tecnologías vigentes en el Ecuador.

## ABSTRACT

Cargo tank trucks are responsible for the majority delivery of fuel by highways in Ecuador. Liquid fuels as Diesel and Gasoline are fundamental for different productive sectors of the country, and to count with an appropriate fuel supplying system in Ecuador is nowadays a priority.

Through Ecuadorian highways, hundreds of Cargo Tanks cross kilometers for the distribution and commercialization of the necessary fuel. The fuel transportation, as an everyday continuous operation, requires parameters and standards that guarantee the security and integrity of the people who operate the Cargo Tanks and its environment.

In our country there are currently no Standards that regulate the construction of Cargo Tanks, which lets vulnerable to the tankers to undergo any type of accidents that involves human lives. The LPG (Liquefied Petroleum Gas) transport, gaseous fuel of important consumption, is regulated in Ecuador; therefore the minimum requirements of design, construction and security are established to guarantee the correct transport of the gas fuel. Similar to LPG transport, the development of technical standards and regulations for liquids fuel transportation in Ecuador is needed.

This dissertation presents a proposal of technical standard, through parameters of the responsible organization of Standards in Ecuador (INEN), using concepts of mechanical engineering, mechanical design and manufacturing processes, chords to the effective technologies in Ecuador.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	1
<b>1.2. Qué es el INEN</b> .....	2
<b>1.3. Definición y Beneficios de una Norma Técnica</b> .....	3
<b>1.4. Viabilidad y Fiabilidad del proyecto</b> .....	4
<b>2. CONCEPTOS BÁSICOS INGENIERILES</b> .....	6
<b>2.1. Simbología y Definiciones</b> .....	6
<b>2.2. Métodos de construcción</b> .....	10
<b>2.3. Códigos, Estándares y Normas</b> .....	17
<b>2.3.1. ASME</b> .....	17
<b>2.3.2. ASTM</b> .....	17
<b>2.3.3. AWS</b> .....	18
<b>2.3.4. API</b> .....	18
<b>3. SELECCIÓN DE FORMA DEL AUTOTANQUE</b> .....	19
<b>4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b> .....	24
<b>4.1. Presión de Diseño</b> .....	24
<b>4.2. Selección del Material bajo consideraciones de diseño mecánico</b> .....	27
<b>4.2.1. Materiales ASTM/CSA/ISO</b> .....	28
<b>4.2.2. Aleaciones de Aluminio</b> .....	29
<b>4.2.3. Aceros DOT 406</b> .....	29
<b>4.2.4. Acero MC 306</b> .....	30
<b>4.3. Espesores de lámina del autotanque</b> .....	30
<b>4.4. Integridad Estructural</b> .....	32
<b>4.4.1. Requerimientos generales</b> .....	32
<b>4.4.2. Código de diseño y construcción ASME</b> .....	32
<b>4.4.3. Diseño del cuerpo</b> .....	33
<b>4.4.4. Aditamentos</b> .....	38
<b>4.5. Refuerzo circunferencial</b> .....	40
<b>4.6. Método de unión (SOLDADURA)</b> .....	42
<b>4.7. Protección contra accidentes</b> .....	47
<b>4.8. Accesorios</b> .....	52
<b>4.8.1. Manholes</b> .....	52
<b>4.8.2. Válvulas de venteo y vacío</b> .....	53
<b>4.8.3. Señalística</b> .....	54
<b>5. Propuesta de NORMA INEN</b> .....	55
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	83
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	85
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	86
<b>9. ANEXOS Y PLANOS</b> .....	87

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Presión de diseño .....	7
Ecuación 2: Presión Estática del Tanque.....	26
Ecuación 3: Esfuerzo principal en cualquier punto (bajo carga estática).....	33
Ecuación 4: Esfuerzo principal en cualquier punto (bajo carga dinámica).....	36
Ecuación 5: Sección modular para acero.....	41
Ecuación 6: Sección modular para aluminio .....	41
Ecuación 7: Esfuerzo Permisible (Condición de Ruptura).....	45
Ecuación 8: Factor de Seguridad del diseño de Junta .....	46

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Fabricación de Autotanques (Esquema General).....	11
Figura 2: Fabricación de Autotanques (Diseño).....	12
Figura 3: Fabricación de Autotanques (Construcción).....	13
Figura 4: Fabricación de Autotanques (Pruebas y Ensayos).....	14
Figura 5: Fabricación de Autotanques (Terminado).....	15
Figura 6: Fabricación de Autotanques (Inspección Final).....	16
Figura 7: Centros de Gravedad.....	19
Figura 8: Superposición de Centros de Gravedad Volumen Cilíndrico, Volumen Prismático y Volumen Elíptico .....	20
Figura 9: Formas de tanques estudiados a) Cilíndrica, b) Elíptica, c) Genérica .....	22
Figura 10: Diagrama de cuerpo libre del autotanque elíptico. ....	25
Figura 11: Diagrama de cuerpo libre de media elipse .....	25
Figura 12: Probeta para prueba a tensión de soldadura [3] .....	44
Figura 13: Diseño de Junta para Probeta de Prueba .....	45

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Materiales ASTM aprobados por el código ASME .....	28
Tabla 2: Aleaciones de aluminio ASTM aprobados por el código ASME .....	29
Tabla 3: Aceros ASTM aprobados por la norma DOT 406 .....	29
Tabla 4: Requisitos mínimos de propiedades para la selección de material de construcción. Norma MC 306 .....	30
Tabla 5: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (MC 306).....	30
Tabla 6: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (DOT 406).....	31
Tabla 7: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (MC 306).....	31
Tabla 8: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (DOT 406).....	32
Tabla 9: Propiedades mínimas del material de aporte .....	42
Tabla 10: Esfuerzos permisibles por el código AISC para metal de aporte .....	43
Tabla 11: Factores de concentración de esfuerzos $K_{fs}$ .....	43
Tabla 12: Venteo mínimo de emergencia.....	53

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Antecedentes**

En la actualidad, el Ecuador no cuenta con una norma que regule la construcción de tanques para el transporte de combustible. La entidad encargada en el Ecuador de promover una normativa de esta índole es el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

El crecimiento del parque automotor en la región es considerable, por consiguiente la demanda del consumo de hidrocarburos y de autotanques destinados a su transporte. Otra razón más para regular la construcción de los autotanques es que estos deben cumplir con todas las normas de seguridad que se requieren para poder realizar una descarga segura del combustible en los centros de acopio y expendio, con el fin de evitar cualquier incidente en el lugar y poner en riesgo la integridad de seres humanos y bienes materiales.

El índice de accidentes ocasionados no solo por una falla del conductor, sino por una falla en el diseño o construcción de los autotanques es considerable en el país. Esto se debe a que el diseño y construcción no se encuentran certificados bajo ningún tipo de normativa que garantice la integridad estructural del autotanque, la correcta unión de su estructura por soldadura, el adecuado uso de válvulas y accesorios especialmente diseñados para el transporte y distribución de combustibles. Todos estos parámetros que no se los toma muy en cuenta en la industria ecuatoriana, hacen que los autotanques fabricados de manera irregular sean un riesgo para la seguridad de sus operarios y en si para el entorno en general.

Debido a la falta de una norma técnica Ecuatoriana (NTE Norma Técnica Ecuatoriana), el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) no puede controlar el

proceso de fabricación de autotanques para el transporte de hidrocarburos, permitiendo así a las empresas constructoras de este tipo de recipientes a realizar diseños que son incorrectos y fabricación con procesos que no son los adecuados.

Por estas razones la presente tesis tiene como objetivo fundamental crear una propuesta de norma técnica INEN para el diseño y construcción de autotanques destinados al transporte de combustibles, excepto Gas Licuado de Petróleo (GLP), basándose en códigos internacionales vigentes para el diseño y la construcción de elementos mecánicos. Normas tales como: ASME, ASTM, AWS, API y otras ya establecidas en Estados Unidos y México para el diseño y construcción de tanques de combustible, tal como la norma americana NTTC (Cargo Tank Hazardous Material Regulation) y la norma Mexicana PEMEX.

## **1.2. Qué es el INEN**

El INEN es el Instituto Ecuatoriano de Normalización, organismo nacional, que trabaja para fomentar la normalización, la certificación, la metrología y la gestión de la calidad en el Ecuador.

En el campo de la normalización, la misión del INEN es promover, desarrollar y guiar la aplicación de Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) y otros documentos normativos, con el fin de alcanzar el mejoramiento de la calidad y también facilitar las relaciones cliente-proveedor, en el ámbito empresarial nacional y/o internacional.

El INEN como organismo de normalización representa al Ecuador ante organismos de normalización internacional y regional como la Organización Internacional de Normalización (ISO). [1]

### **1.3. Definición y Beneficios de una Norma Técnica**

Una norma técnica es el conjunto de especificaciones para partes, materiales o procesos establecidos a fin de lograr uniformidad, eficiencia y una cantidad específica, recopiladas en un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que suministra, para uso común y repetido, reglas, directrices y características para las actividades o sus resultados, encaminadas al logro del grado óptimo de orden en un contexto dado. Las normas técnicas se deben basar en los resultados consolidados de la ciencia, la tecnología y la experiencia y sus objetivos deben ser los beneficios óptimos para la comunidad. [2]

La implementación de una norma técnica INEN en el país garantiza que cualquier producto que se realice bajo esta norma tenga un proceso de construcción definido bajo ciertos parámetros que certifican que dicho producto cumpla con los estándares de calidad y seguridad que exige el Instituto Ecuatoriano de Normalización, así como también lo requieren las entidades internacionales encargadas de normalizar en el caso de que el producto a realizarse se comercialice fuera del país.

Para los fines consiguientes, la creación de una propuesta de normativa para el diseño y construcción de tanques para el transporte de combustibles busca establecer una serie de parámetros basados en aspectos técnicos y conceptuales de la ingeniería mecánica, con el fin mejorar los procesos en la construcción de los autotanques, obteniendo como beneficio un estándar de calidad para todos los constructores que se apeguen a esta norma.

Con la creación de esta norma técnica, el beneficio no solo va a ser para el contratante de un autotanque, sino también para el constructor y para país en general, ya que ésta garantiza una calidad en el producto, haciendo que éste tenga una

competitividad no solo a nivel nacional sino también a nivel internacional, elevando con esto los estándares de calidad y la tecnificación de la mano de obra del país.

Otro beneficio de la implementación de esta norma es la optimización en los procesos de construcción, ya que el fabricante va a tener una guía de cómo diseñar y construir el autotanque, reduciendo pérdidas por errores en fabricación y disminuir el tiempo de manufactura debido a estos errores, por no tener una guía que seguir para su realización, además de garantizar la seguridad del mismo.

Implementar esta norma en la construcción de tanques en el país, garantizará además, que los constructores no solo construyan un producto que se ajuste a las especificaciones de diseño y construcción que solicita el país, sino también se ajustará a las normas internacionales utilizadas por muchos países para la construcción de autotanques para el transporte de hidrocarburos, ya que esta propuesta de normativa se basa en normas internacionales tales como ASME, ASTM, AWS, etc.

#### **1.4. Viabilidad y Fiabilidad del proyecto**

##### **Viabilidad**

La posibilidad de llevar a cabo la implementación de esta norma en el país como una norma NTE INEN será determinada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, dependiendo de los factores que rijan y se encuentren vigentes en el tiempo que esta propuesta llegue a ser analizada por la institución para llegar a ser una norma certificada por el INEN.

##### **Fiabilidad**

La probabilidad de implementación de esta propuesta de normativa para el diseño y construcción de tanques de combustible es muy buena, ya que garantiza que

los procesos con los que los constructores fabrican los autotanques sea homogénea para todo el país, incentivando así una competitividad alta no solo a nivel nacional, sino que estos productos podrán comercializarse en el extranjero cumpliendo los estándares de calidad y de seguridad internacionales.

Cabe recalcar que esta norma propuesta está destinada para el diseño y construcción de tanques de almacenaje de hidrocarburos tales como la gasolina y el diesel que presentan similares condiciones para su transporte. Por esta razón, al momento de destinar esta propuesta al INEN, está solo servirá para desarrollar la función para la que fue diseñada.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS INGENIERILES

### 2.1. Simbología y Definiciones

#### Simbología:

- cm: Centímetro
- m: Metro
- in: Pulgadas
- cm<sup>2</sup>: Centímetro cuadrado
- m<sup>2</sup>: Metro cuadrado
- in<sup>2</sup>: Pulgada cuadrada
- in<sup>3</sup>: Pulgada cubica
- gal: Galones
- psi: Libras por pulgada cuadrada (Lb/in<sup>2</sup>)
- psig: Presión manométrica en Libras por pulgada cuadrada (Lb/in<sup>2</sup>)
- psia: Presión atmosférica en Libras por pulgada cuadrada (Lb/in<sup>2</sup>)
- lb: Libras
- kg: Kilogramos
- lbf: Libras fuerza
- kgf: Kilogramos fuerza
- lb/gal: Libras por galón
- °C: Grados centígrados

#### Definiciones:

- **Accesorio:** Cualquier aditamento del tanque que no tiene relación con la carga o función de contención y no provee soporte estructural.
- **Autotanque:** Unidad vehicular, tipo tanque, de especificaciones especiales destinado para el transporte de materiales y residuos peligrosos, en forma líquida o gas principalmente, incluye accesorios y refuerzos. Puede estar o no unido permanentemente a un vehículo motorizado. (Ver Plano 3)

- **Conexión a Tierra:** Instalación que permita descargar a tierra la electricidad estática acumulada o producida en el autotanque, sin emitir arco o chispa.
- **Cuerpo del tanque:** Recipiente metálico cerrado utilizado para almacenar combustibles líquidos. (Ver Plano 6)
- **Hidrocarburos líquidos:** Sustancias orgánicas en estado líquido compuestas principalmente de hidrógeno y carbono.
- **Mampara:** elemento aparte de la estructura del cuerpo del tanque, que tiene como propósito dividir el autotanques en compartimientos. (Ver Plano 9)
- **Manholes:** Accesorios instalados en la parte superior de cada compartimiento del tanque el cual permite el acceso para la inspección y mantenimiento y también llenado del compartimiento. (Ver Plano 12)
- **Presión de diseño:** es la presión a la que se diseña el autotanque y esta presión no debe ser menor a la presión de servicio. La presión de diseño se la define como:

$$P = \frac{hd}{115} + 3 \quad (\text{Ec 1})$$

Donde:

P = la presión de diseño en psig.

h = Altura interior del tanque.

d = Máxima densidad aceptable en libras por galón.

115 = Numero de pulgadas cubicas en un galón (231) dividido por un factor de seguridad de dos. [3]

- **Presión de prueba:** es la presión que el tanque debe ser capaz de mantener bajo la prueba hidrostática por al menos cinco minutos 1.5 veces la presión de diseño, o al menos solo la presión de diseño, sin tener fugas detectables o deformaciones permanentes significativas. Esta presión debe ser medida en la parte superior del tanque. Para realizar esta medición todos los dispositivos de cierre deben ser bloqueados excepto los agujeros en donde van a ir los calibradores de presión.
- **Presión máxima de servicio:** Es aquella presión manométrica desarrollada por el fluido a la máxima temperatura de servicio.
- **Probeta:** Es una muestra del material y suelda utilizados para la construcción del tanque, preparado para los ensayos mecánicos correspondientes. (Ver Figura 12)
- **Protección contra accidentes:** Estructura acoplada al chasis y al cuerpo del tanque, destinada a proteger la integridad del tanque y mantener su hermeticidad en caso de algún incidente. (Ver Plano 1, 2, 3)
- **Protección anti vuelcos:** Estructura acoplada a la parte superior del cuerpo del tanque diseñada para proteger los Manholes y válvulas de venteo en caso de que el vehículo sufra un accidente con volcadura. (Ver Plano 2, 3)
- **Protección Lateral:** Estructura acoplada en los costados del chasis para salvaguardar la integridad estructural del cuerpo del tanque en caso de sufrir un accidente lateral del mismo. (Ver Plano 7)

- **Protección Trasera:** Estructura acoplada al chasis en su parte posterior especialmente diseñada para resistir choques frontales, sin involucrar la integridad estructural del resto de componentes del autotanque. (Ver Plano 8)
- **Refuerzos circunferenciales:** Elementos que sirven para reforzar las uniones que van entre las tapas, rompeolas, mamparas y el cuerpo del tanque alrededor del mismo. (Ver Plano 10)
- **Rompeolas:** Elemento aparte de la estructura del cuerpo del tanque ubicado entre las mamparas que evitan la formación de oleaje dentro de los compartimientos de combustible. (Ver Plano 10)
- **Tapas:** Elemento que cierra el cuerpo del tanque en la parte frontal y posterior del mismo. (Ver Plano 4)
- **Válvula de descarga:** Dispositivo que controla o detiene el flujo del producto. (Ver Plano 11)

## **2.2. Métodos de construcción**

El proceso de construcción de autotankes en el país se lo ha venido realizando a través de conocimientos adquiridos de distinta manera. El tecnicismo, la capacitación, el trabajo diario, conocimiento empírico, son algunas de las formas en que los constructores Ecuatorianos han llegado a establecer sus procesos de fabricación de autotankes. Desafortunadamente, no todos estos procesos son validados a través de un criterio ingenieril basado en la investigación y análisis, lo que genera que la fabricación de los autotankes no sea la más apropiada.

Sin importar si la fabricación es realizada de manera artesanal o completamente tecnificada, el proceso de fabricación del autotankes se basa de manera general acorde al diagrama presentado en la Figura 1. Este esquema sirve de guía para la creación de un estándar de diseño y construcción de autotankes, que será desarrollado en el Capítulo 4.

Desde la Figura 2 hasta Figura 6 se presenta una forma generalizada del proceso de fabricación del autotankes, iniciando con el requerimiento del cliente, pasando por el diseño y fabricación, y culminando con la entrega del autotankes terminado.

## FABRICACIÓN DE AUTOTANQUES PARA TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE ESQUEMA GENERAL

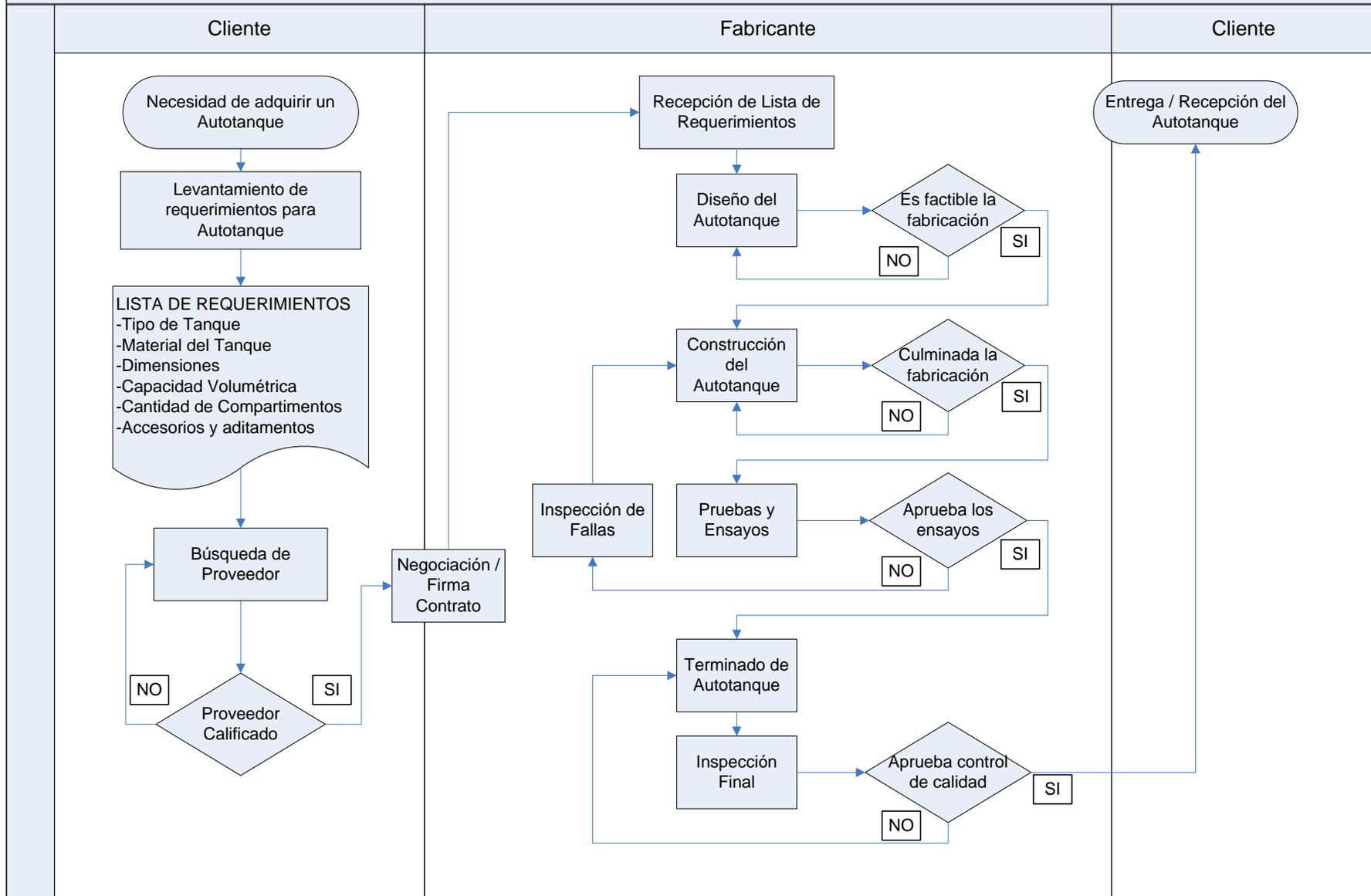


Figura 1: Fabricación de Autotanques (Esquema General)

## FABRICACIÓN DE AUTOTANQUES DE COMBUSTIBLE (1) DISEÑO

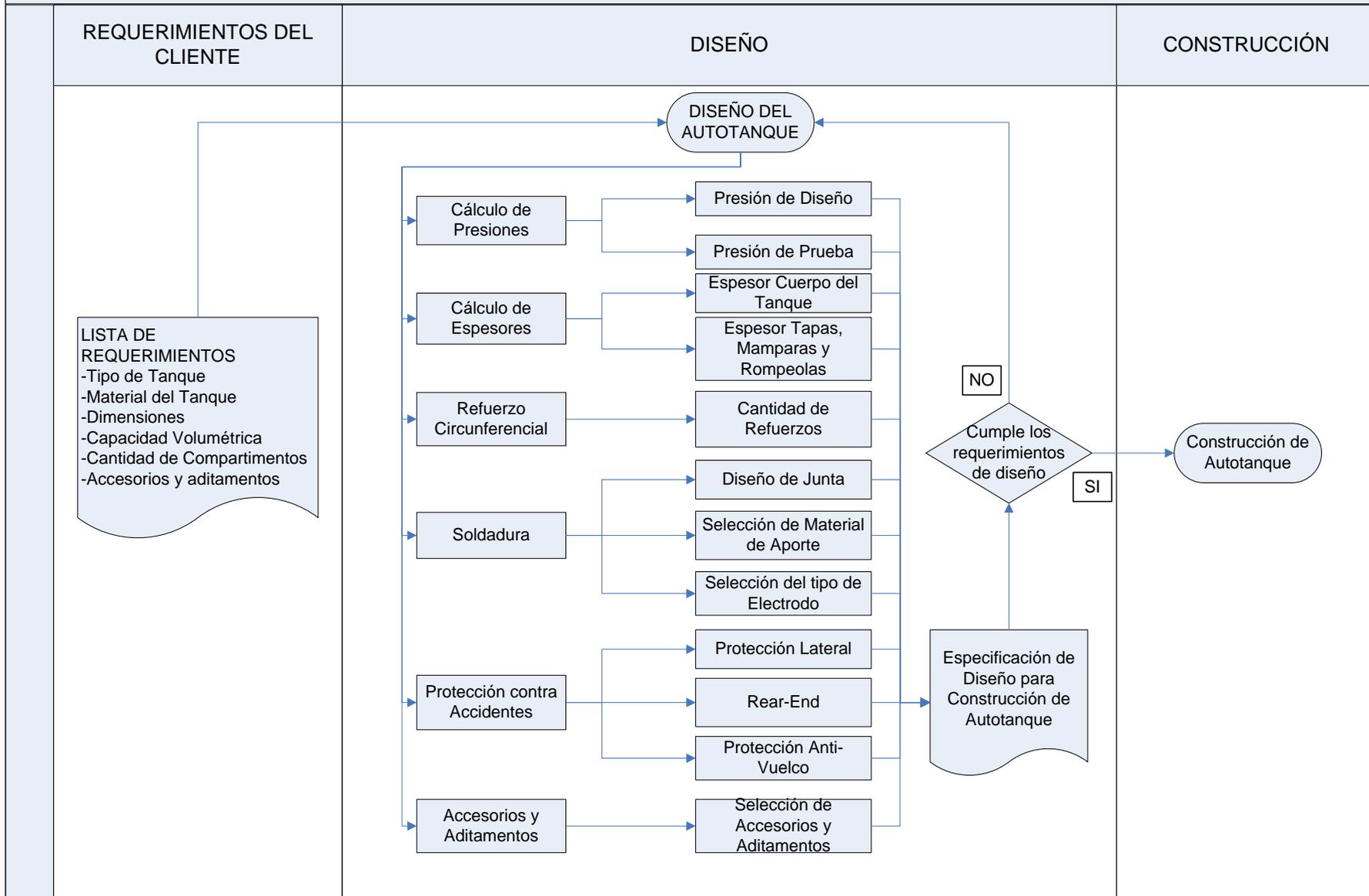


Figura 2: Fabricación de Autotanques (Diseño)

## FABRICACIÓN DE AUTOTANQUES DE COMBUSTIBLE (2) CONSTRUCCIÓN

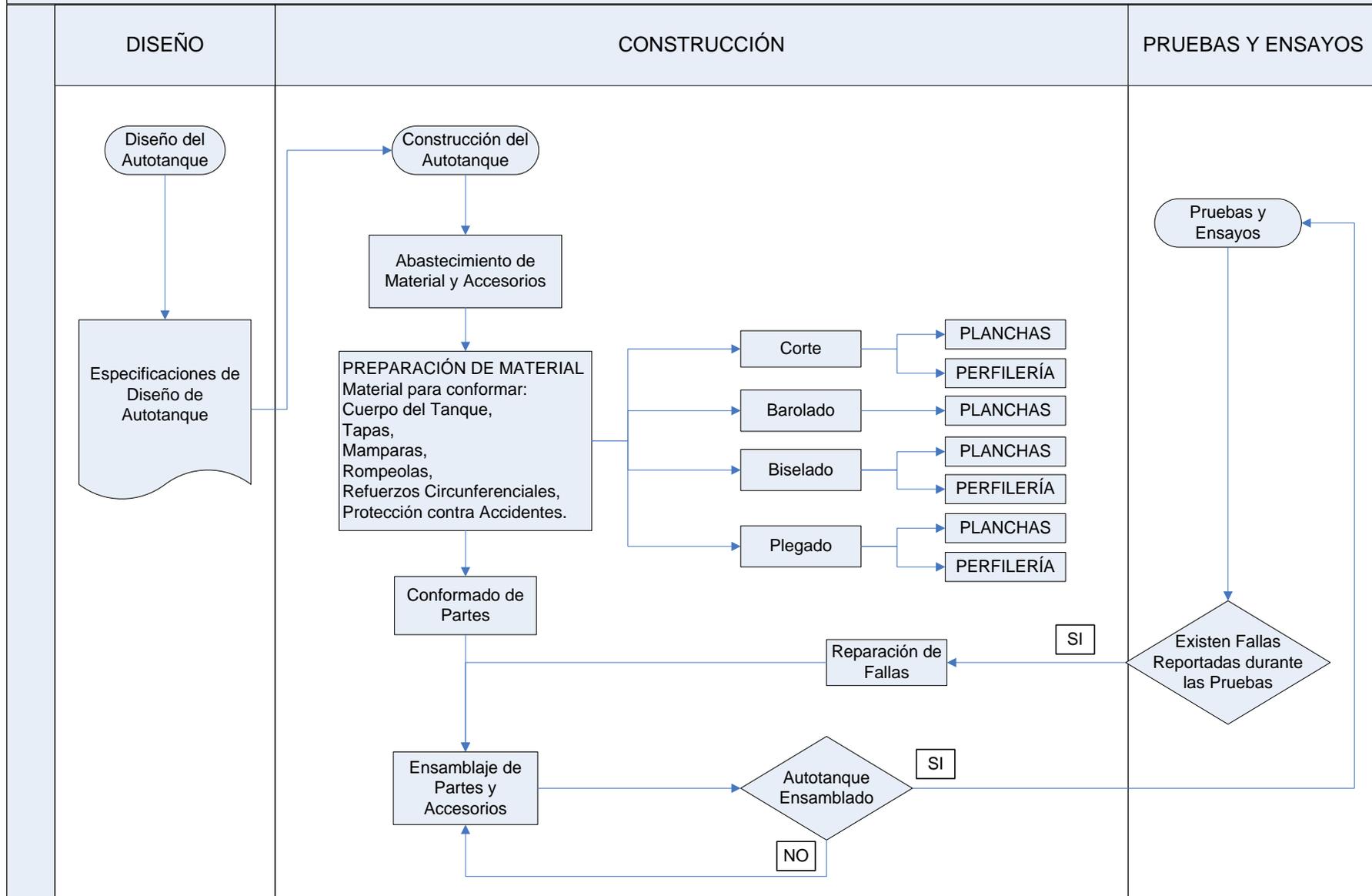


Figura 3: Fabricación de Autotanques (Construcción)

FABRICACIÓN DE AUTOTANQUES DE COMBUSTIBLE  
(3) PRUEBAS Y ENSAYOS

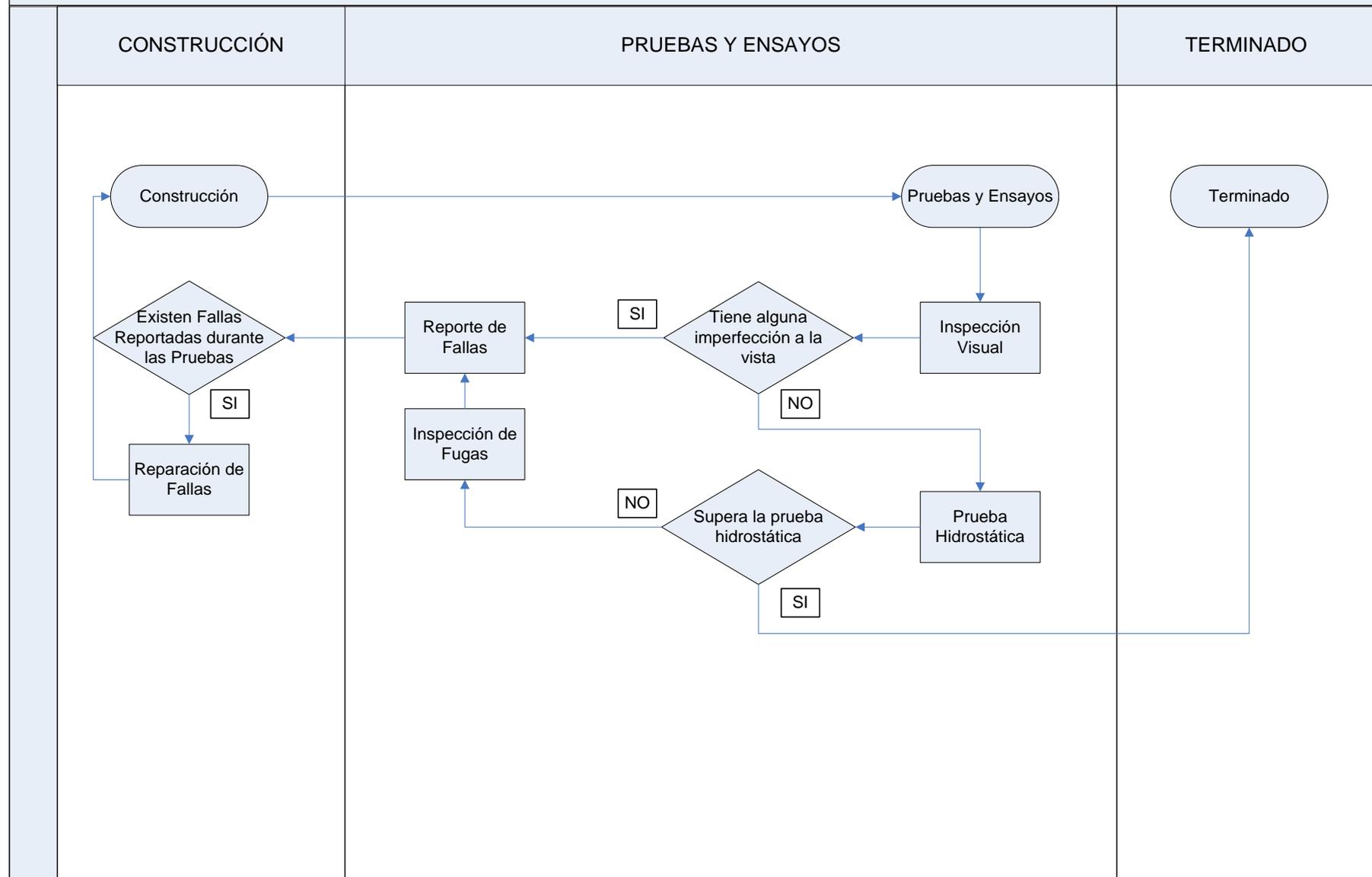


Figura 4: Fabricación de Autotanques (Pruebas y Ensayos)

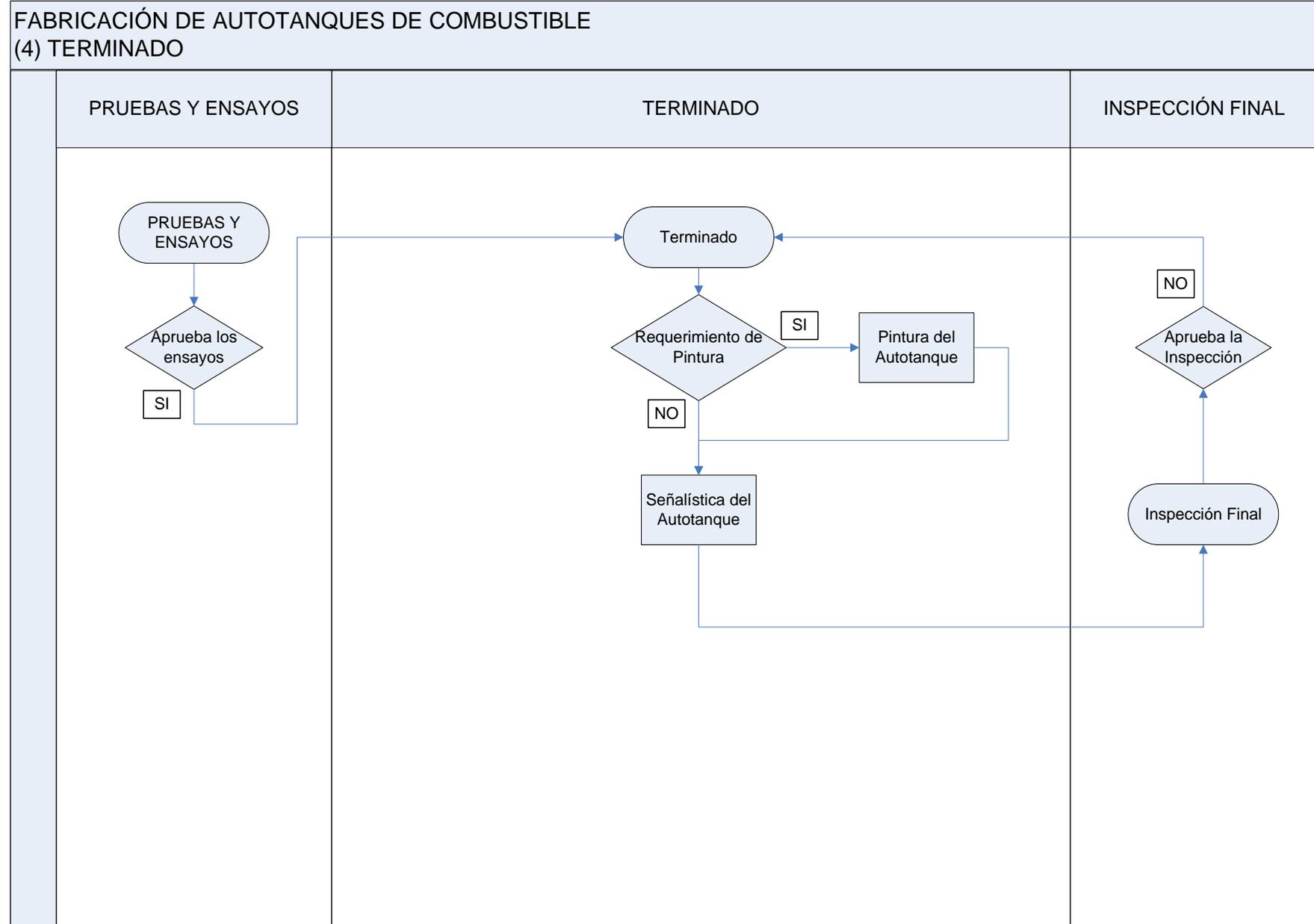


Figura 5: Fabricación de Autotanques (Terminado)

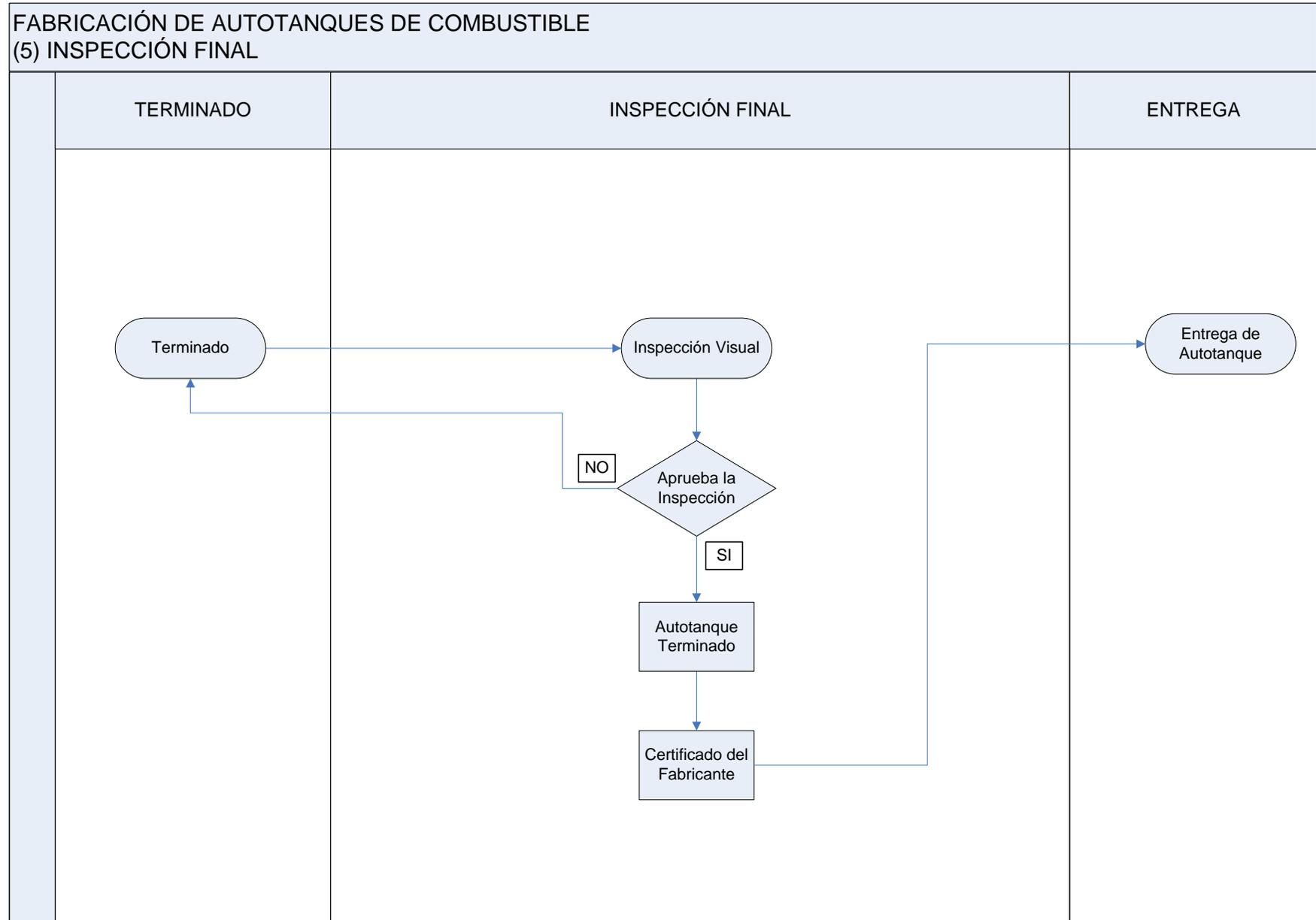


Figura 6: Fabricación de Autotanques (Inspección Final)

### **2.3. Códigos, Estándares y Normas.**

Como se mencionó en la sección introductoria, las normas técnicas juegan un papel importante para la seguridad, calidad y control para determinados procesos industriales. A nivel mundial existen instituciones dedicadas al mejoramiento continuo y a la generación de estándares de ramas ingenieriles específicas. Para objeto de este proyecto en particular, los organismos y/o asociaciones internacionales involucradas de manera directa o indirecta, además de normas técnicas establecidas por las mismas, son las siguientes:

#### **2.3.1. ASME**

ASME son las siglas en inglés para la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers). ASME es una asociación fundada en 1880, que tiene como objetivos promover y reforzar la competencia técnica principalmente en disciplinas relacionadas a la Ingeniería Mecánica. Desde sus inicios, ASME ha promocionado el desarrollo de estándares industriales técnicos para el diseño, fabricación e inspección de dispositivos ingenieriles [4]. El conjunto de normas de interés ASME para la presente tesis son: *ASME CODE, Section II; ASME CODE Section VIII, Division 1, Subsection A, B, and C.*

#### **2.3.2. ASTM.**

ASTM son las siglas en inglés para la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials). ASTM fue establecida en el año de 1898, y en la actualidad es uno de los mayores colaboradores técnicos de ISO (International Standard Organization), además mantiene el liderazgo a nivel internacional en la

definición de materiales y los métodos de prueba de los mismos en casi todas las industrias. [5]

### **2.3.3. AWS**

AWS son las siglas en Inglés de la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society), organización dedicada al desarrollo e investigación de la ciencia, tecnología y aplicaciones de la soldadura, además de los procesos de corte y unión de materiales. La AWS fue fundada en el año de 1919, y desde entonces ha estado a cargo de generar documentos técnicos que ayudan al desarrollo y mejoramiento de aplicaciones de soldadura en la industria mundial. [6]

### **2.3.4. API**

API son las siglas en inglés para el Instituto Americano de Petróleo (American Petroleum Institute), principal asociación para la industria de Gas y Petróleo. Entre sus principales funciones, API establece y certifica los estándares de todos los procesos involucrados en la industria petrolera, además de la investigación de los efectos económicos, toxicológicos y ambientales que se generan durante la exploración, explotación y comercialización del combustible fósil. El conjunto de normas de interés API para la presente tesis son *API 620*. [7]

### 3. SELECCIÓN DE FORMA DEL AUTOTANQUE

Para la determinación de la forma del cuerpo del tanque hay que tener en claro algunos factores decisivos al momento de elegir la forma del cuerpo del tanque:

- Garantizar la estabilidad del autotanque cuando este se encuentre en movimiento.
- Minimizar al máximo el oleaje del combustible producido por el movimiento del vehículo remolque.
- Garantizar que el cuerpo del tanque tenga una apariencia de un sólido regular y perfectamente simétrico.

El primer punto es encontrar un sólido regular para el cuerpo del tanque, que presente la mejor posición de su centro de gravedad con respecto al piso, para garantizar que el autotanque tenga una estabilidad lo suficientemente buena como para no provocar que este sufra algún accidente. En la actualidad los constructores de este tipo de autotanques optan por tanques elípticos, cilíndricos, o alguna forma prismática.

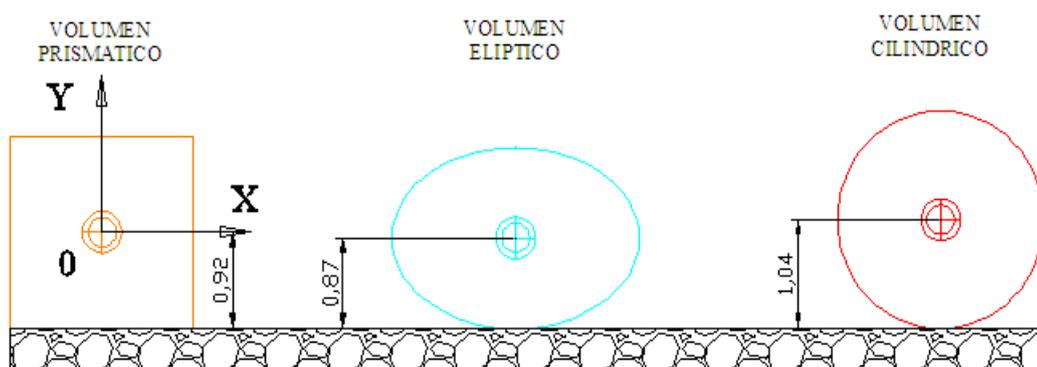


Figura 7: Centros de Gravedad

Tomando como referencia un volumen y longitud constante de recipiente, y variando la sección transversal del autotanque en forma de círculo, cuadrado y elipse, se obtiene la diferenciación de centros de gravedad mostrados en la Figura 7.

Analizando en una superposición los centros de gravedad de las secciones transversales de los sólidos regulares escogidos como posibles cuerpos del tanque, se determinó también que la mejor posición donde se encuentra el centro de gravedad resulta ser la del volumen elíptico (ver Figura 8). Con esta referencia se tiene una posible elección para el cuerpo del tanque.

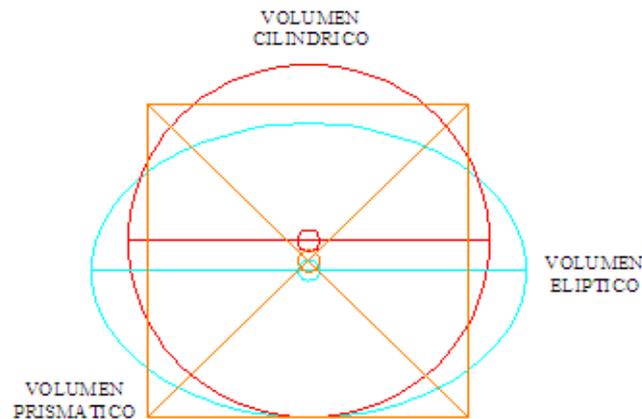


Figura 8: Superposición de Centros de Gravedad Volumen Cilíndrico, Volumen Prismático y Volumen Elíptico

El segundo punto que se analiza es que en el transporte de sustancias líquidas en carreteras presentan diversas características particulares, las cuáles se deben al movimiento de los fluidos que son transportados y los efectos que estos ejercen en la estabilidad y conducción de los vehículos. Una de las principales prácticas utilizadas por los transportistas para minimizar estos efectos es evitar que los contenedores estén cargados parcialmente. Con niveles de llenado aproximados al máximo de la capacidad en los contenedores permite que el potencial oleaje de los fluidos sea mínimo a comparación de los niveles parciales de llenado.

Pero esta “solución” no resulta muy conveniente en aplicaciones donde se realizan repartos o recolecciones de productos líquidos en diversos lugares, como por ejemplo un tanquero que tiene que abastecer a diversas estaciones de gasolina en una

ruta determinada. Conforme se avanza con la distribución o recolección del producto, el llenado parcial en el contenedor permite que el oleaje del fluido afecte de manera más significativa a la estabilidad de los vehículos.

Para solucionar esta problemática se han ideado numerosas soluciones y artefactos, entre ellas estudiar la forma que debe tener el recipiente contenedor del fluido y utilizar aditamentos como “rompeolas” que impiden el movimiento del fluido dentro del contenedor.

De un estudio estadístico realizado en Estados Unidos [8] se encontró que los autotanques, cargados parcial o totalmente, tienden a sufrir volcaduras. De cada 30 accidentes reportados, 22 estuvieron relacionados a volcaduras causadas por el oleaje del fluido contenido, representando un 73% de los accidentes; en otros tipos de vehículos que sufrieron percances, 47 de 87 accidentes reportados sufrieron volcaduras, representando un 54% de los accidentes, un porcentaje menor comparado con los accidentes sufridos en los vehículos que transportan fluidos.

La peligrosidad del transporte de fluidos se vuelve crítica en el caso de productos inflamables y/o volátiles, ya que pueden representar daños significativos para los operarios (conductores), personas, medio ambiente, bienes materiales y el entorno en general. Este motivo es el principal incentivo para buscar soluciones que minimicen el riesgo de posibles percances ocasionados por el comportamiento del fluido dentro de los compartimientos en los que son transportados.

La práctica y la experiencia en la construcción de tanques para el transporte de fluidos han determinado dos tipos de formas a utilizarse, cilíndrica y elíptica. Utilizar otros tipos de formas, como un prisma rectangular, no es muy funcional para el tipo la aplicación del transporte de fluidos. De manera general se limita la sección transversal con las que pueden ser construidos los tanques teniendo como variables la

funcionalidad, la facilidad de manufactura, y la experiencia de los constructores de este tipo de dispositivos.

En un estudio técnico realizado por el Instituto Mexicano de Transporte [9] como parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, referente a la “Caracterización Experimental del Oleaje en Tanques”, se presenta una aproximación experimental al oleaje en tres formas distintas de tanques, además de los efectos que ejercen en cada uno de los diseños presentados.

En la Figura 9 se pueden observar las distintas formas de tanques utilizados en este estudio técnico.

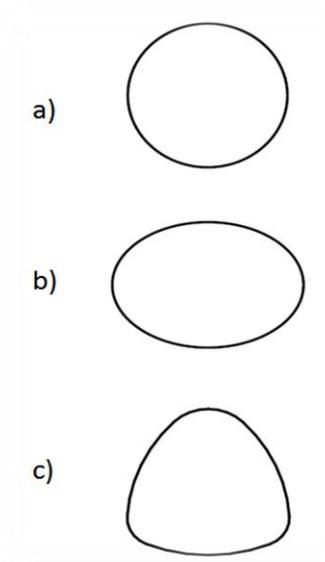


Figura 9: Formas de tanques estudiados a) Cilíndrica, b) Elíptica, c) Genérica

Las dos primeras formas de tanques son las comúnmente utilizadas para la fabricación de tanques; la figura c) es una forma alterna propuesta por investigadores de la Universidad de Concordia en Canadá [10] con el propósito de reducir la altura del centro de gravedad de los toneles de los autotanques y consecuentemente el oleaje en los mismos producido por el fluido contenido.

Para efectos de este proyecto, el resultado del estudio que proporciona información referente de las fuerzas de oleaje y los efectos de las mismas es el que

interesa de manera particular. La conclusión referente al tema de interés de este estudio es la siguiente:

“En relación con las pruebas a un alto nivel de llenado, **el contenedor elíptico** reveló un mejor comportamiento, al desarrollar en general fuerzas menores a las obtenidas con las otras formas de recipientes” [9]

De esta manera, al comparar entre dos de las formas de sección transversal más utilizadas para la construcción de autotanques y un diseño genérico propuesto analíticamente, se recomienda utilizar la forma de sección transversal elíptica por presentar una mejor respuesta a las fuerzas de oleaje.

De lo tratado hasta ahora, se puede identificar las ventajas de utilizar la sección transversal elíptica para la construcción de autotanques. La experiencia de los constructores y estudios analíticos realizados por entidades técnicas internacionales son fundamentales al momento de elegir un diseño “base” y presentar una propuesta de normativa para los requisitos de diseño y construcción de autotanques de combustible. Por estas razones, el presente proyecto será en base a autotanques con forma de sección transversal elíptica.

## **4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTOTANQUE DE COMBUSTIBLE**

El diseño mecánico consiste en la formulación de un plan para la satisfacción de una necesidad específica. Si este plan propicia la creación de algo que tiene una realidad física, entonces el producto generado debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que sea de fácil construcción de fácil comercialización, y además que se pueda adecuar a las normas y códigos aplicables.

En el diseño mecánico, el diseñador debe tener en cuenta de que existe la posibilidad de tener más de una solución satisfactoria. Está en su habilidad y capacidad por lo tanto, distinguir cual es la solución que cumpla con los requisitos que más se ajusten a la necesidad y de tener presente de que una solución tiene dependencia de tiempo, porque lo que puede resultar fiable hoy quizá no lo sea mañana y viceversa. [2]

Considerando esto, además de tener en cuenta el esquema general de fabricación tratado en el Capítulo 2, se puede generar un estándar de diseño y fabricación de autotanques lógico y ordenado que será desarrollado en el presente Capítulo.

### **4.1. Presión de Diseño**

Para iniciar el diseño de un autotanque destinado al transporte de combustible se debe determinar la presión estática del combustible que este ejerce sobre el tanque cuando se encuentra totalmente lleno (Ver Figura 10 y Figura 11).

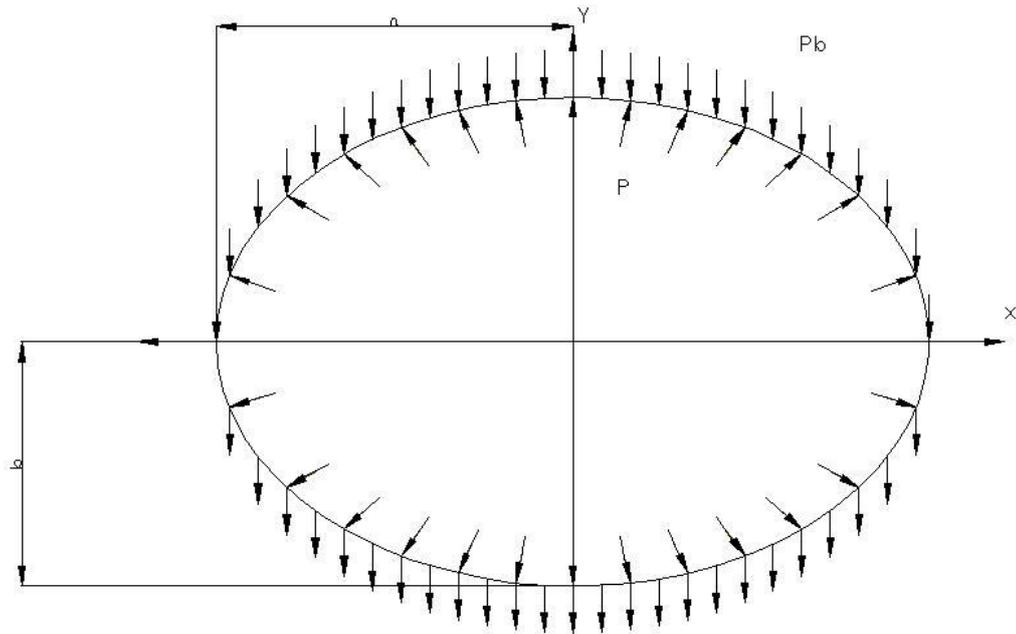


Figura 10: Diagrama de cuerpo libre del autotanque elíptico.

$a$  = Radio Mayor de la elipse

$b$  = Radio Menor de le elipse

$P$  = Presión interna distribuida sobre las paredes del autotanque ejercida por el fluido contenido.

$P_b$  = Presión externa (atmosférica) ejercida sobre el cuerpo del tanque.

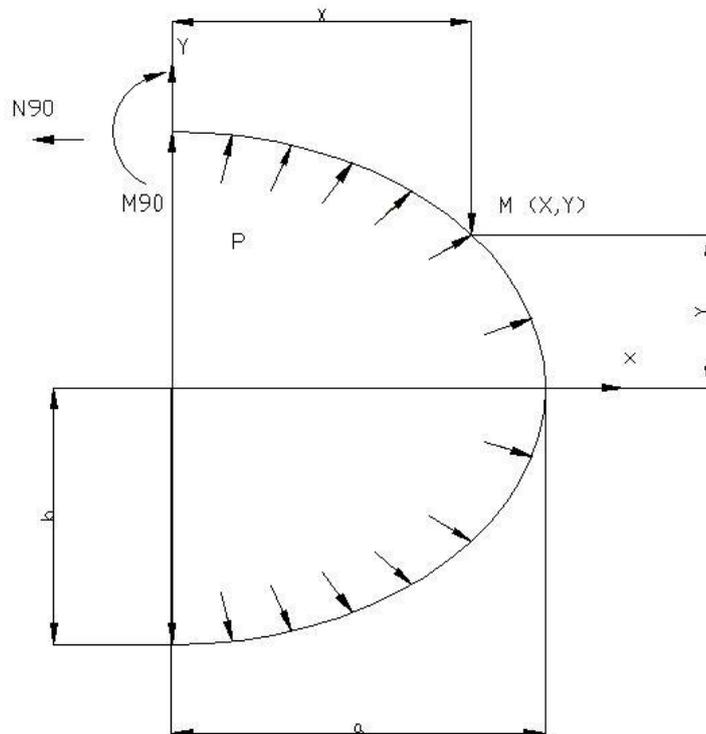


Figura 11: Diagrama de cuerpo libre de media elipse

$P$  = Presión interna

$M$  = Momento flector en cualquier coordenada  $(X, Y)$

$M_{90}$  = Momento flector a  $90^\circ$  con respecto al eje  $X$ .

$N_{90}$  = Fuerza normal a  $90^\circ$  con respecto al eje  $X$ .

Esta presión de carga estática se determina de la siguiente manera:

El peso del combustible a transportarse, con una densidad máxima de 0,86 kilogramos por litro (0,86 Kg/L) [11], de acuerdo a la especificación DOT 406 (Especificación técnica del Departamento de Transporte de los Estados Unidos referente al almacenaje y transporte de productos peligrosos), ejerce una fuerza sobre el área del tanque contenedor.

Para calcular la presión estática debido al peso que ejerce el combustible sobre la superficie media del volumen elíptico, la siguiente ecuación obtenida de la referencia [12] es utilizada:

$$Pe = \frac{F_{gasolina}}{area\ media\ eliptica} \quad (Ec\ 2)$$

Aquí,

*F gasolina = Masa de los 10.000 gal de gasolina multiplicada por la gravedad*

$$F\ gasolina = 32477.21\ Kg \times 9.8\ m/s^2$$

$$F\ gasolina = 318276,658\ N$$

$$F\ gasolina = 71551.44\ Lbf$$

*Área media elíptica = Área sobre la que se encuentra en reposo el combustible.*

$$Área\ media\ elíptica = \frac{(Radio\ mayor + radio\ menor) \times \pi}{2} \times Longitud\ del\ tanque$$

$$Área\ media\ elíptica = \frac{(R + r) \times \pi}{2} \times l$$

$$Área\ media\ elíptica = \frac{(49,005\ in + 31,673\ in) \times \pi}{2} \times 455,118\ in$$

$$Área\ media\ elíptica = 57712,26\ in^2$$

$$P_e = \frac{71551.44 \text{ Lbf}}{57712,26 \text{ in}^2}$$

$$P_e = 1.23 \text{ psi}$$

El cálculo de la presión de diseño viene dado por la Ecuación 1:

$$P = \frac{hd}{115} + 3 \quad (\text{Ec 1})$$

Donde:

P = la presión de diseño en psig.

h = Altura interior del tanque (para un tanque de 10000 gal la altura es 1.609m).

d = Máxima densidad aceptable en libras por galón (la densidad de la gasolina utilizada en el país 7.16 libras/gal).

115 = Numero de pulgadas cubicas en un galón 231, dividido por un factor de seguridad de dos.

$$P = \frac{hd}{115} + 3$$

$$P = \frac{63.34 \text{ in} \times 7.16 \text{ lb/gal}}{115 \text{ in}^3/\text{gal}} + 3$$

$$P = 3.94 \text{ psig} + 3$$

$$P = 6.94 \text{ psig}$$

Esta presión de prueba se puede comparar con valores referenciales de presiones a las que puede estar sometida el tanque, como por ejemplo:

- Presión de vapor de gasolina 14.94 psi
- Presión atmosférica 14.69 psi

#### 4.2. Selección del Material bajo consideraciones de diseño mecánico

Para la construcción de autotanques de combustible se utilizan láminas de distintos materiales metálicos, cuya selección depende de aspectos determinados por las

características de cada material, el costo, la disponibilidad en el mercado, la tecnología de manufactura y el tipo de aplicación y entorno de trabajo al que estará destinado el autotanque.

ASTM, [3] a través de las normas expuestas por el comité técnico A01, encargado de normalizar la utilización de los aceros, aceros inoxidable y aleaciones relacionadas, el código ASME y API para la construcción de recipientes de presión, y las especificaciones técnicas DOT 406 y MC 306 determinan que los materiales que pueden ser utilizados para la construcción de recipientes destinados al almacenamiento y transporte de combustibles, excepto GLP (Gas Licuado de Petróleo), son los siguientes:

#### 4.2.1. Materiales ASTM/CSA/ISO

Los materiales ASTM aprobados según el código ASME, Sección II, Parte A y B, para la construcción de autotanques de combustible son:

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

Tabla 1: Materiales ASTM aprobados por el código ASME para la construcción de autotanques de combustible [3]

#### 4.2.2. Aleaciones de Aluminio

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

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

Tabla 2: Aleaciones de aluminio ASTM aprobados por el código ASME [3]

Las aleaciones de aluminio no son tan comunes en el Ecuador (cuando comparadas con los aceros), sin embargo se las puede considerar como material para los autotanques si los constructores tienen acceso a este tipo de aleaciones.

#### 4.2.3. Aceros DOT 406

De igual manera, los aceros que se deben utilizar para la fabricación de autotanques deben poder soldarse por fusión. Los posibles tipos de acero que son permitidos, además de las descritas en el código ASME, Sección II, Parte A y B, son las siguientes:

<b>Aceros ASTM aprobados por la norma DOT</b>
ASTM A 569
ASTM A 570
ASTM A 572
ASTM A 607
ASTM A 656
ASTM A 715

Tabla 3: Aceros ASTM aprobados por la norma DOT 406 [3]

#### 4.2.4. Acero MC 306

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

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

Tabla 4: Requisitos mínimos de propiedades para la selección de material de construcción. Norma MC 306 [3]

#### 4.3. Espesores de lámina del autotankue

El espesor mínimo del material a utilizarse para la construcción del autotankue de combustible, establecido en la sección 4.2, no debe ser menor al indicado en las tablas de las especificaciones técnicas MC 306 y DOT 406 referentes al espesor de material a utilizarse para la fabricación del autotankue y las para las cabezas, mamparas, rompeolas y refuerzos.

### ESPECIFICACIÓN MC 306

MATERIAL ESPESOR (mm)	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm											
	38 O MENOS			DE 38 A 53			DE 53 A 68			MAS DE 68		
	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL
	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835

Tabla 5: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (MC 306). Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL). [3]

### ESPECIFICACIÓN DOT 406

CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm									
53 O MENOS			DE 53 A 87			MAS DE 87			
MATERIAL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL
ESPESOR (mm)	2,54	2,54	4,064	2,921	2,921	4,3942	3,2766	3,2766	4,7498

Tabla 6: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (DOT 406). Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL). [3]

### ESPECIFICACIÓN MC 306

		DISTANCIA ENTRE ROMPEOLAS, MAMPARAS, DEFLECTORES O ANILLOS DE REFUERZO	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm											
			38 O MENOS			DE 38 A 53			DE 53 A 68			MÁS DE 68		
			AC	AARB A / AIA	AL	AC	AARB A / AIA	AL	AC	AARB A / AIA	AL	AC	AARB A / AIA	AL
<b>RADIO MÁXIMO DEL CUERPO</b>	hasta 1780 mm	hasta 914 mm	1,897	1,519	2,210	1,897	1,519	2,210	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769
		de 914 mm a 1370 mm	1,897	1,519	2,210	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302
		de 1370 mm a 1524 mm	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835
	desde 1780 mm a 2290 mm	hasta 914 mm	1,897	1,519	2,210	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302
		de 914 mm a 1370 mm	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835
		de 1370 mm a 1524 mm	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394
	desde 2290 mm a 3170 mm	hasta 914 mm	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835
		de 914 mm a 1370 mm	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394
		de 1370 mm a 1524 mm	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394	3,797	3,416	4,928
	desde 3170 mm o más	hasta 914 mm	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394
		de 914 mm a 1370 mm	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394	3,797	3,416	4,928
		de 1370 mm a 1524 mm	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394	3,797	3,416	4,928	4,176	3,797	5,486

Tabla 7: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (MC 306). Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL). [3]

## ESPECIFICACIÓN DOT 406

CAPACIDAD DEL TANQUE (LITROS)	MATERIAL		
	AC	AARBA / AIA	AL
Hasta 17000	2,540	2,540	3,835
de 17000 a 31000	2,921	2,540	4,064
de 31000 a 53000	3,277	3,277	4,394
más de 53000	3,632	3,632	4,750

Tabla 8: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (DOT 406)  
Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL). [3]

### 4.4. Integridad Estructural

Para el diseño y construcción de autotanques de combustibles se debe considerar los siguientes requerimientos y criterios:

#### 4.4.1. Requerimientos generales

- 1) El valor máximo de esfuerzo de diseño calculado en cualquier punto en las paredes del tanque no deberá sobrepasar el 25% de la resistencia a tensión del material usado para la construcción, establecido en la sección 4.2., o de los valores permitidos por el Código ASME en la sección VIII. [3]
- 2) Las propiedades físicas relevantes de los materiales en la construcción de cada autotanque debe estar establecida por un reporte de prueba certificada por el proveedor del material, o por pruebas en conformidad a estándares internacionales para materiales (ejemplo: ASME o ASTM).

#### 4.4.2. Código de diseño y construcción ASME

El diseño estático y construcción de cada autotanque debe estar acorde a la Sección VIII, división 1 del código ASME. El diseño del tanque debe incluir el cálculo de los esfuerzos generados por la presión máxima permisible de trabajo (MAWP Maximum Allowable Working Pressure), el peso del producto a transportar, el peso de los

accesorios soportados por el tanque, y los gradientes de temperatura resultantes por la temperatura ambiental.

- 1) La concentración de esfuerzos en tensión, flexión y torsión que ocurren en los soportes del cuerpo del autotanque deben ser considerados acorde al Apéndice G de la Sección VIII, División 1 del Código ASME.
- 2) El esfuerzo a compresión longitudinal para un recipiente certificado ASME debe calcularse usando el párrafo UG 23 (b), de la Sección VIII, División 1 del código ASME.

#### 4.4.3. Diseño del cuerpo

Los esfuerzos del cuerpo del autotanque resultantes de cargas estáticas o dinámicas, o una combinación de las dos, no son uniformes en todo el vehículo. Las cargas normales de operación vertical, longitudinal y lateral pueden ocurrir simultáneamente y deben ser combinadas. Las cargas dinámicas vertical, longitudinal y lateral ocurren de manera individual y no necesitan ser combinadas.

- 1) Cargas normales: el siguiente procedimiento añade tensiones en el cuerpo del tanque, resultantes de cargas normales de operación. El esfuerzo efectivo (esfuerzo principal en cualquier punto) debe ser determinado por la siguiente fórmula [3] :

$$S = 0.5 (S_Y + S_X) \pm [0.25 (S_Y - S_X)^2 + S_S^2]^{0.5} \quad (\text{Ec } 3)$$

Donde:

S = Es el esfuerzo efectivo en cualquier punto dado sujeto a la combinación de cargas estáticas y normales que pueden ocurrir simultáneamente en psi.

$S_Y$  = es el esfuerzo circunferencial generado por la Presión de Trabajo Máxima Permisible (MAWP) y la presión externa en psi.

$S_x$  = es el esfuerzo longitudinal neto generado por las siguientes condiciones de carga estática y normal en psi:

- a) El esfuerzo longitudinal resultante de la MAWP y de la presión externa (cuando aplica), en combinación con el esfuerzo flector generado por el peso estático de un tanque completamente lleno, todos los elementos estructurales y equipamiento soportado por las paredes del autotanque.
- b) El esfuerzo a tensión o compresión resultante de la aceleración o desaceleración longitudinal normal. En cada caso, las fuerzas aplicadas deben ser 0,35 veces la reacción vertical en la suspensión ensamblada, aplicada a la superficie de la vía, y transmitida a la pared del autotanque a través de la suspensión del vehículo durante la desaceleración; o en el pivote horizontal (quinta rueda) durante aceleración, o a los elementos de soporte y anclaje del camión durante aceleración y desaceleración, según aplica.

La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque cargado completamente, todos los elementos estructurales y equipos soportados por las paredes del autotanque. Las siguientes cargas deben ser incluidas:

- Carga axial generada por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.
- Momento flector generado por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.

El esfuerzo a tensión o compresión generado por el momento flector resultante de una fuerza de aceleración igual a 0,35 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler, o en el pivote horizontal (quinta rueda), o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical

debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.

$S_s$  = Es el esfuerzo cortante generado por las siguientes condiciones de carga estática y normal en psi:

- a) El esfuerzo cortante resultante de la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal o quinta rueda; o en los elementos de anclaje y soporte. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.
- b) El esfuerzo cortante vertical generado por una fuerza de aceleración igual a 0,35 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.
- c) El esfuerzo cortante lateral generado por una fuerza de aceleración lateral igual a 0,2 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque. Y,
- d) El esfuerzo cortante a torsión generado por las mismas fuerzas laterales descritas en el punto anterior.

- 2) Cargas dinámicas: el siguiente procedimiento añade tensiones en el cuerpo del tanque, resultantes de cargas dinámicas. El esfuerzo efectivo (esfuerzo principal en cualquier punto) debe ser determinado por la siguiente fórmula [3]:

$$S = 0.5 (S_Y + S_X) \pm [0.25 (S_Y - S_X)^2 + S_S^2]^{0.5} \quad (\text{Ec } 4)$$

Donde:

S = es el esfuerzo efectivo en cualquier punto dado sujeto a la combinación de cargas estáticas y dinámicas que pueden ocurrir simultáneamente en psi.

$S_Y$  = es el esfuerzo circunferencial generado por la Presión de Trabajo Máxima Permisible (MAWP) y la presión externa en psi.

$S_X$  = es el esfuerzo longitudinal neto generado por las siguientes condiciones de carga estática y dinámica en psi:

- a) El esfuerzo longitudinal resultante de la MAWP y de la presión externa (cuando aplica), en combinación con el esfuerzo flector generado por el peso estático de un tanque completamente lleno, todos los elementos estructurales y equipamiento soportado por las paredes del autotanque.
- b) El esfuerzo a tensión o compresión resultante de la aceleración o desaceleración longitudinal. En cada caso, las fuerzas aplicadas deben ser 0,7 veces la reacción vertical en la suspensión ensamblada, aplicada a la superficie de la vía, y transmitida a la pared del autotanque a través de la suspensión del vehículo durante la desaceleración; o en el pivote horizontal (quinta rueda) durante aceleración, o a los elementos de soporte y anclaje del camión durante aceleración y desaceleración, según aplica.
- c) La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque cargado completamente, todos los elementos estructurales y equipos soportados por las paredes del autotanque.

Las siguientes cargas deben ser incluidas:

- Carga axial generada por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.
- Momento flector generado por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.

El esfuerzo a tensión o compresión generado por el momento flector resultante de una fuerza de aceleración igual a 0,7 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotank completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotank.

$S_S$  = Es el esfuerzo cortante generado por las siguientes condiciones de carga estática y dinámica en psi:

- a) El esfuerzo cortante resultante de la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal o quinta rueda; o en los elementos de anclaje y soporte. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotank completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotank.
- b) El esfuerzo cortante vertical generado por una fuerza de aceleración igual a 0,7 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del

autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.

- c) El esfuerzo cortante lateral generado por una fuerza de aceleración lateral igual a 0,4 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque. Y,
- d) El esfuerzo cortante a torsión generado por las mismas fuerzas laterales descritas en el punto anterior.

#### **4.4.4. Aditamentos**

El diseño, construcción e instalación de cualquier aditamento, elemento de soporte estructural, o componentes de suspensión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- 1) Los elementos estructurales, la protección contra accidentes y los refuerzos circunferenciales externos deben ser usados como lugares para sujetar y ensamblar accesorios del autotanque cuando sea requerido.
- 2) Aditamentos livianos del autotanque como la base para las lámparas de seguridad, la estructura de los faldones, soportes para líneas de tubería, deben tener una resistencia menor que la de las paredes del autotanque y no deben ser mayores que el 72% del espesor del material al cual es añadido.

Estos aditamentos deben ser ensamblados de una manera tal que si son dañados estos no afecten la integridad del autotanque para la retención del combustible.

Cada aditamento debe estar asegurado al cuerpo del autotanque o cabezas por un

cordón de soldadura continuo o de tal manera que se evite la formación de puntos propensos a corrosión.

- 3) Con excepción a lo descrito en los párrafos 1) y 2) de esta sección, la soldadura de cualquier aditamento a las paredes del autotank deben ser añadidas a una base de montaje tal que no existan efectos adversos en la integridad de la retención del combustible en el autotank si cualquier fuerza menor a las descritas en el párrafo 1 del numeral 4.4.2 de esta sección es aplicada desde cualquier dirección. El espesor de la base de montaje no debe ser menor que el del cuerpo del autotank o de las cabezas a la cual es añadido, y no mayor a 1,5 veces el espesor del cuerpo o cabezas. Sin embargo, una base de montaje con un espesor mínimo de 4,75 milímetros debe ser usado cuando el espesor del cuerpo o cabeza es mayor a 4,75 milímetros. Cada base de montaje debe:
  - a) Ser fabricada de un material que sea compatible para la soldadura tanto con el autotank como con el material del aditamento o elemento de soporte estructural. La determinación de compatibilidad se realizará de acuerdo a las propiedades físicas y químicas de los materiales, y el diseño de filete debe ser acorde a los requerimientos del código ASME.
  - b) Extenderse al menos 25 milímetros en todas direcciones desde cualquier punto de sujeción de cualquier aditamento o elemento estructural de soporte. Esta dimensión debe ser medida desde el centro del elemento estructural adicionado.
  - c) Tener esquinas redondeadas, o formadas de tal manera que se reduzca la concentración de esfuerzos en el cuerpo o en las cabezas.

- d) Ser sujeta por un cordón continuo de soldadura. Cualquier discontinuidad debe ser solo con el propósito de prever una intersección entre el filete de suelda y una costura de suelda del tanque.

#### **4.5. Refuerzo circunferencial**

Para el diseño del refuerzo circunferencial, se debe tener presente lo siguiente [3]:

- 1) Los tanques con espesores menores a 9,5 milímetros (3/8 pulg) en el cuerpo, deben reforzarse circunferencialmente además de las cabezas, ya sea con rompeolas, mamparas o anillos. Está permitido usar cualquier combinación de los elementos mencionados anteriormente para la construcción de un autotanque. Dichos elementos de refuerzo deben ser ubicados de tal manera que la porción sin refuerzo del cuerpo del tanque debe ser como lo indica la Tabla 7, y por ningún motivo mayor a 60 pulgadas. Adicionalmente el refuerzo circunferencial debe estar ubicado a una distancia no mayor de 1 pulgada (25,4 milímetros) de los puntos donde una discontinuidad en el cuerpo exceda de 10 grados, a menos que se refuerce de alguna otra manera con elementos estructurales capaces de mantener los niveles de tensión en el cuerpo del tanque permitidos en el párrafo 1 de la sección 4.4.1.
- 2) Rompeolas, mamparas o anillos, si se utilizan como elementos de refuerzo deben ser soldados circunferencialmente al cuerpo del tanque. La longitud de la soldadura nunca debe ser menor al 50% del perímetro del contorno del tanque y el máximo espacio sin soldadura sobre esta unión no debe exceder el límite de 40 veces el espesor de la lámina del cuerpo del tanque.

- 3) Cuando se utilice un anillo como refuerzo circunferencial, interno o externo, el refuerzo debe ser continuo alrededor del cuerpo del autotank; además debe ser acorde a lo siguiente:

La sección modular (I/C) sobre el eje neutral de la sección del anillo (Ver Plano 9) paralelo al cuerpo del tanque debe ser por lo menos igual a la siguiente ecuación para el Acero:

$$\frac{I}{c} (\text{Min}) = 0.00027xWxL \quad (\text{Ec } 5)$$

Y para el Aluminio:

$$\frac{I}{c} (\text{Min}) = 0.000467xWxL \quad (\text{Ec } 6)$$

Donde:

I/C = Módulo de sección (pulg<sup>3</sup>).

W = diámetro del tanque (pulg).

L = espacio entre anillos (pulg).

Si el anillo es soldado al cuerpo del tanque, una porción del cuerpo debe ser considerada como parte de la sección del anillo para propósitos de cálculo del módulo de sección. La porción máxima del cuerpo del tanque a ser usada en estos cálculos es la siguiente:

Número de anillos de refuerzos circunferencial	Distancia entre los anillos de refuerzo	Sección del cuerpo
1	--	20t
2	Menor que 20t	20t + J
2	20t o más	40t

Donde:

t = Espesor de la lámina del cuerpo del tanque (pulgadas).

J = Distancia longitudinal entre anillos de refuerzo soldados al cuerpo del tanque (pulgadas)

#### 4.6. Método de unión (SOLDADURA)

Por lo general el equiparar las propiedades de los electrodos con las del metal base no es tan importante como la rapidez y habilidad del operador y la apariencia de la unión terminada. En general existen diversas clases de electrodos con diferente función, pero los más comunes se listan en la siguiente tabla con algunas propiedades mínimas:

Numero de electrodo AWS	Resistencia de tensión (MPa)	Limite elástico Kpsi (MPa)	Elongación (%)
E60xx	62 (427)	50 (345)	17 - 25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14 - 17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13 - 16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Tabla 9: Propiedades mínimas del material de aporte [2]

Para el diseño de juntas se debe tener en cuenta ciertos factores decisivos al momento de elegir el tipo de soldadura a realizar, uno de estos parámetros es el esfuerzo permisible que se basa netamente en el límite elástico del material, en vez de la resistencia ultima. Asimismo, el código AWS permite usar una serie de aceros estructurales ASTM, con límites elásticos que varían de 33 a 50 Kpsi. A condición que la carga sea la misma, el código permite el mismo esfuerzo en el material de aporte y en el metal base. Para el cálculo del esfuerzo permisible para el material de aporte según el código AISC (American Institute of Steel Construction) con diferentes tipos de junta se puede ver en la siguiente tabla:

Tipo de Carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	$0.60 S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90 S_y$	1.11
Aplastamiento	A tope	$0.60 - 0.66 S_y$	1.52 - 1.67
Compresión simple	A tope	$0.60 S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30 S_{ut}^{**}$	--

Tabla 10: Esfuerzos permisibles por el código AISC para metal de aporte [2]

\* El factor de seguridad  $n$  se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión

\*\* El esfuerzo cortante en el metal de aporte no debe exceder  $0.40 S_y$  del metal base

Este código también sugiere que se tome en cuenta un factor de concentración de esfuerzos de fatiga listado en la Tabla 11. Estos factores deben emplearse tanto para el metal base como para el material de aporte. En el Anexo 1 (Tabla 9.7) [2], se proporciona información y los tamaños mínimos de los filetes.

Tipo de soldadura	$K_{fs}$
A tope reforzada	1.2
De filete transversal, en la punta	1.5
De filetes paralelos, en el extremo	2.7
A tope en T, con esquinas agudas	2.0

Tabla 11: Factores de concentración de esfuerzos  $K_{fs}$  [2]

Para la construcción del autotank, todas las juntas entre el cuerpo del tanque, cabezas, mamparas, rompeolas, refuerzos, deben ser soldados acorde con los requerimientos contenidos a continuación basados en la referencia [3]:

- 1) Resistencia de juntas (Aleaciones de Aluminio AL). Todas las juntas soldadas de aluminio deben ser realizadas acorde con una reconocida buena práctica de soldadura. La eficiencia de la junta no debe ser menor de 85% de las propiedades mecánicas del material adyacente. Las aleaciones de aluminio deben ser soldadas con un proceso de soldadura de arco con gas inerte usando un tipo de material de aporte de aluminio-magnesio.

- 2) Resistencia de juntas en los Aceros: AC, ARBA, AIA. Todas las juntas soldadas de acero deben ser realizadas acorde con una reconocida buena práctica de soldadura. La eficiencia de la junta no debe ser menor del 85% de las propiedades mecánicas del material adyacente.
- a) Combinaciones entre los Aceros AC, ARBA, y AIA, pueden realizarse para la construcción de un tanque y deben cumplir con los mínimos requerimientos descritos en la sección 4.2. Cuando se utilicen láminas de acero inoxidable en combinación con otros tipos de acero, las juntas soldadas deben realizarse con electrodos o material de aporte de acero inoxidable, o material de aporte que sean compatibles para su uso con el grado de acero inoxidable utilizado para la construcción del tanque.
- 3) Prueba de resistencia de la soldadura: conforme con los párrafos 1 y 2 de la sección 4.6, se deben preparar dos probetas de prueba, acordes con la Figura 12 con los tipos de materiales y procesos de soldadura que se utilizarán para la fabricación del autotanque. Estas probetas se deben someter a pruebas de falla por tensión, y deberán ser conservadas por un período de tiempo de al menos seis meses después de realizada la prueba.

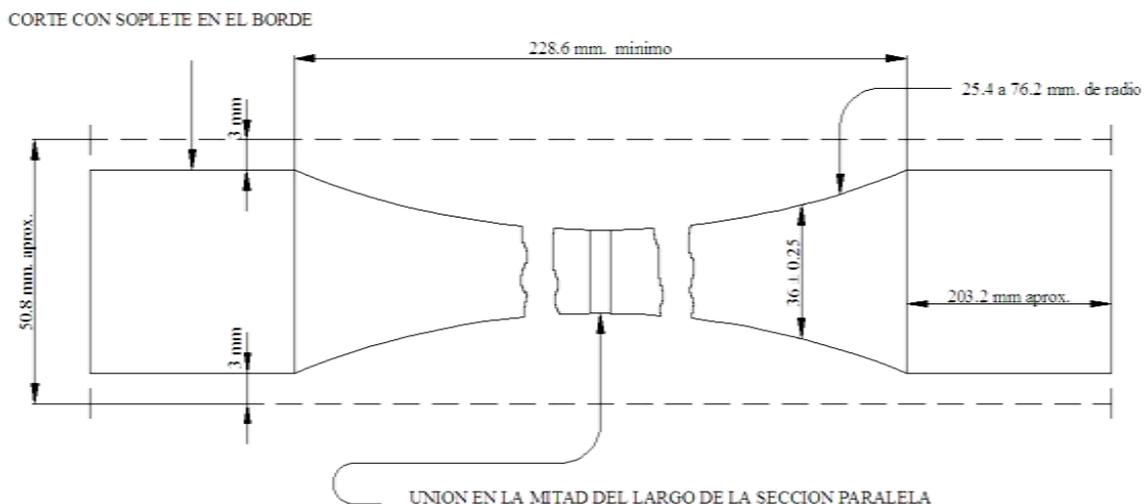


Figura 12: Probeta para prueba a tensión de soldadura [3]

Como ejemplo práctico del diseño de junta, se calcula la resistencia de la soldadura a tope en un espécimen (Acero A36) de 6mm de espesor con una garganta de 36 mm.

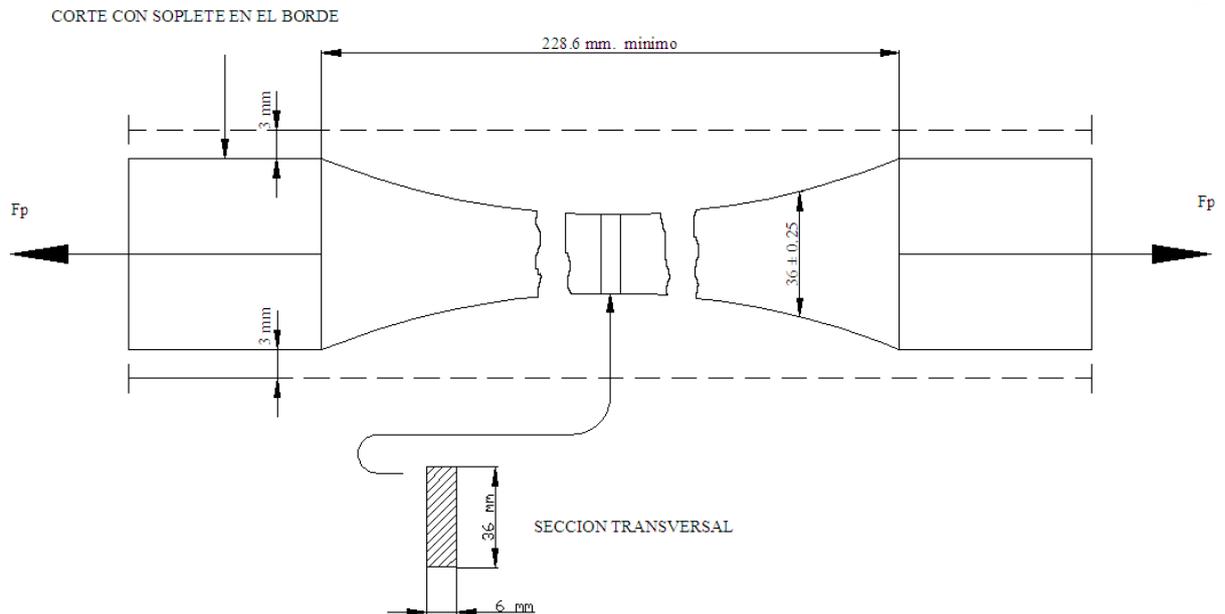


Figura 13: Diseño de Junta para Probeta de Prueba

Fuerza permisible ( $F_p$ ) para el material ASTM A-36

Límite de Fluencia  $S_y = 36 \text{ Ksi}$

Límite de Ruptura  $S_u = 60 \text{ Ksi}$

Despejando de la Ecuación 7 [2], se calcula la Fuerza permisible a la cual se da el material en la prueba de tensión.

$$S_u = \frac{F_p}{Area_{st}} \quad (\text{Ec 7})$$

Area seccion transversal =  $l \times h$

Area de la seccion transversal =  $6 \text{ mm} \times 36 \text{ mm} = 216 \text{ mm}^2 = 0.334 \text{ in}^2$

$$F_p = S_u \times Area_{st}$$

$$F_p = 36000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0.334 \text{ in}^2$$

$$F_p = 12024 \text{ lb}$$

Ahora, de manera similar se realiza el cálculo para la junta. Fuerza permisible ( $F_p$ ) para el material de aporte E 60-XX

Límite de Fluencia  $S_y = 50 \text{ Ksi}$

Límite de Ruptura  $S_u = 62 \text{ ksi}$

$$S_u = \frac{F_p}{Area_{st}}$$

$$F_p = S_u \times Area_{st}$$

$$F_p = 60000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0.334 \text{ in}^2$$

$$F_p = 20040 \text{ lb}$$

Con estos datos obtenidos se comprueba que la fuerza permisible que el material base tiene es mucho menor a la fuerza que se requiere para que el material de aporte falle por tensión.

El factor de seguridad se lo puede calcular de la siguiente forma [2]:

$$n^* = \frac{F_{p \text{ material de aporte}}}{F_{p \text{ material base}}} \quad (\text{Ec } 8)$$

$$n^* = \frac{20040}{12024}$$

$$n^* = 1.67$$

Con esto constatamos que el factor de seguridad cumple con los parámetros que establece el código AISC citados en la Tabla 11.

#### 4.7. Protección contra accidentes

Cada autotanque debe ser diseñado y construido de acuerdo con los requerimientos de esta sección para minimizar el potencial de pérdida de carga del autotanque debido a un accidente [3].

1) General.

- a) Cada protector de domos, sumideros, que encuentran en las paredes del tanque para retener la carga en cualquier posición que el tanque se encuentre; debe ser tan fuerte y/o tenas como las paredes del tanque y tener a espesor como mínimo igual a lo especificado por las propias especificaciones del cuerpo del tanque. Este tipo de protecciones ubicadas a  $1/3$  de la parte baja de la circunferencia del tanque que se extiende más de la mitad de su diámetro justo en el punto de fijación de la cisterna o (cuerpo del tanque) o a su vez mas de 4 pulgadas de la pared del tanque o localizado en la parte superior del mismo a dos tercios de la circunferencia del tanque que se extiende más de  $1/4$  de su diámetro o más 2 pulgadas del frente de su punto de fijación del tanque, deben tener dispositivo de protección en caso de accidentes que son 125% tan fuerte como los requisitos de los dispositivos de protección en accidentes.
- b) Aberturas, válvulas, cierres, tuberías, o cualquier dispositivo que se pueda afectar en caso de un accidente, ocasionando pérdidas de combustible debe contar con dispositivos de protección en caso de accidentes.
- c) Los dispositivos de protección en caso de accidentes fijados en la pared del tanque deben ser capaces de soportar o desviar todas las cargas especificadas en esta sección. Estas deberán estar diseñadas, construidas e instaladas con el

fin de aprovechar al máximo la distribución de cargas generadas en la pared del tanque y minimizando al máximo la posibilidad de consecuencias negativas para la integridad en la retención del combustible. Los accidentes inducen a tensiones resultantes de estos mismos dispositivos en combinación con las tensiones originadas por la MAWP pero que no resultan tensiones más grandes que el esfuerzo último a la tensión que tiene el material del cual está fabricado usando un factor de seguridad de 1.3. [3]

- d) Cada tubería que se extiende más allá de los dispositivos de seguridad en caso de accidentes deben estar equipadas con una válvula de cierre y un dispositivo de sacrificio con una sección de corte. El dispositivo de sacrificio debe estar ubicado en el sistema de tuberías por afuera de la válvula de cierre y en el dispositivo de protección contra accidentes para evitar cualquier pérdida de combustible. El dispositivo debe romperse a no más del 70% [3] de la carga necesaria para ocasionar la falla del dispositivo de retención de combustible, partes o paredes del tanque. La falla del dispositivo de sacrificio debe dejar al dispositivo de retención de combustible y su sujeción intacta y capaz de retener el combustible.

## 2) Aditamentos.

- a) El diseño, construcción e instalación de cualquier aditamento al cuerpo o cabeza del tanque debe ser de tal forma que minimice la posibilidad de daño o falla que puedan afectar la integridad de retención de producto del tanque.
- b) Los elementos estructurales, tales como la suspensión, protectores contra volcaduras, deben ser utilizados para el ensamblaje de cualquier aditamento o algún otro accesorio necesario para el tanque.

- c) Excepto lo prescrito en el párrafo 2(e) de la sección 4.7, la soldadura de cualquier aditamento al cuerpo o cabezas debe ser realizado sobre una placa de montura. El espesor de esta placa no debe ser menor del espesor del cuerpo o cabeza del tanque al cual será adicionado. Esta placa debe extenderse al menos 2 pulgadas (5 cm) en cada dirección desde cualquier punto de sujeción del aditamento. Las placas deben tener las esquinas redondeadas o tener una forma tal para reducir la concentración de esfuerzos en el cuerpo o en el tanque.
  - d) El aditamento debe ser sujetado a la placa de montura para que no exista efectos adversos sobre la integridad de la retención de producto del tanque si cualquier fuerza es aplicada al aditamento, en cualquier dirección, excepto en dirección normal al tanque, o con 45° con respecto a la normal.
  - e) Para los aditamentos de peso ligero tal como los faldones, los sujetadores de conductos y sujetadores de la línea de frenos y similares pueden ser soldados directamente al cuerpo del tanque siempre y cuando el espesor del metal sea menos fuerte pero no más del 72% del espesor del cuerpo del tanque. Estos aditamentos ligeros deben ser diseñados e instalados de tal manera que no afecten la integridad de retención de producto del tanque. Estos aditamentos deben ser soldados de forma continua o de tal manera que no se formen discontinuidades que podrían llegar a ser sitios de corrosión.
- 3) Protección Trasera. Cada tanque debe estar provisto de una protección de accidentes trasera que proteja al tanque y sus tuberías en caso de un accidente por la parte posterior del autotanque, para que reducir la probabilidad de daño en su integridad estructural y que no exista pérdida de combustible. La protección

trasera debe tener la forma de un parachoques o de una protección trasera cumpliendo con lo siguiente

- a) El parachoques debe estar ubicado al menos 6 pulgadas (15,24 cm) de cualquier componentes del vehículo usado para carga y/o descarga o que puede contener fluido cuando el vehículo se encuentra en tránsito.
  - b) La estructura del parachoques deberá estar diseñada para soportar, sin fugas de combustible, el impacto del vehículo con una carga nominal y soportando una desaceleración de 2 “g” usando un factor de seguridad de dos veces el esfuerzo ultimo del material con el que está hecho el parachoques. Estos impactos deben considerarse como uniformemente distribuidos aplicados horizontalmente (paralelo al piso) o hasta un ángulo de 30 grados en el eje longitudinal del vehiculó.
- 4) Protección contra vuelcos
- a) Cada cierre utilizado en las aperturas del tanque, incluyendo pero no limitando a los manholes, para llenado o aperturas de inspección y para cada válvula, acople, válvulas de alivio, válvulas de venteo y acoples para la retención de combustible que se encuentren localizados en la parte superior del tanque al menos  $\frac{2}{3}$  de la circunferencia, deben situarse en la parte interior o en partes adyacentes del dispositivo de protección contra vuelcos o siendo 125% del esfuerzo de cualquiera de los otros dispositivos de protección contra accidentes.
  - b) Un dispositivo de protección contra vuelcos sobre un autotanque debe estar diseñado e instalado para resistir cargas iguales a dos veces el peso de la carga del tanque aplicadas de la siguiente forma: normal al cuerpo del tanque

(perpendicular a la superficie del tanque); y tangencial (perpendicular a la carga normal) en cualquier dirección. Esta fuerza no debe exceder al esfuerzo último a la tensión del material de construcción. Estas cargas de diseño se pueden considerar como uniformemente distribuidas e independientemente aplicadas. Si más de una protección contra vuelcos es usada en el tanque, cada una de estas debe ser capaz de soportar una parte proporcional de las cargas y en cada caso al menos la cuarta parte de la carga tangencial total. Este diseño debe ser capaz de soportar los requisitos de cargas de los cálculos, de los test o de la combinación de ambos.

- c) Un dispositivo de protección contra vuelcos que puede permitir la acumulación de líquidos en la parte superior del tanque, debe estar provisto de un sistema de drenaje que dirija el líquido a un punto seguro de descarga lejos de cualquier componente estructural del tanque.
- 5) Tuberías. Las tuberías de descarga de combustible deben estar provistas con una protección de tal manera que asegure la contención del combustible en caso de un accidente. Esta protección debe ser dada por:
- a) Una sección de corte localizada afuera de cada base de las válvulas de emergencia y a 4 pulgadas del recipiente debe romperse bajo una fuerza y separarse del asiento de la válvula de emergencia que está fijada en el recipiente, dejándola intacta y capaz de retener el combustible. La sección de corte debe ser mecanizada de tal manera que se reducirá de forma significativa el espesor del material de las tuberías adyacentes (o válvulas) en por lo menos un 20 %.

- b) Las tuberías deben ser capaces de absorber una fuerza horizontal concentrada de al menos 8000 libras aplicadas en cualquier dirección horizontal, sin tener daños en la tubería de descarga que pueden afectar negativamente a la retención del combustible en la válvula de descarga.

#### **4.8. Accesorios**

##### **4.8.1. Manholes**

- En un autotank por cada compartimento que pase de los 400 galones de carga debe tener un manhole instalado de al menos unas 15 pulgadas de diámetro.
- Cada manhole o abertura de llenado, debe ser estructuralmente capaz de resistir, fuera de fugas o deformaciones permanentes, una presión estática interna de al menos 36 psig o a su vez la presión de prueba.
- Los manholes o aperturas de llenado deben ser probados teniendo en cuenta que las válvulas de venteo se encuentren bloqueadas. Cada fuga o deformación que pueda afectar a la capacidad de retención del producto debe ser considerada como una falla.
- Cada manhole o apertura de llenado debe estar provisto con un dispositivo de seguridad que prevenga q se abra la tapa del manhole cuando exista una presión interna.
- Cada manhole y tapa de llenado debe estar asegurado con pernos para prevenir que se abran las tapas como resultado de vibraciones producidas por condiciones normales de transporte.
- Todos los accesorios y dispositivos montados sobre la tapa de los manholes, que están en contacto con la combustible deben resistir la misma presión que se requiere para las tapas de los manholes. Estos accesorios y dispositivos deben

ser verificados usando la misma presión estática interna que se usa para la comprobación de los manholes (36 psig).

#### 4.8.2. Válvulas de venteo y vacío

- Cada compartimento de autotanque debe estar provisto con válvulas de venteo y vacío, las cuales deben estar especialmente diseñadas para funcionar en el caso de que la presión debida al vapor de gasolina rebase el 1 psi de presión interna, activando así la válvula de alivio de presión o venteo, y en el caso de la presión de vacío 0.4 psi, activando la válvula de vacío.
- Cada válvula de venteo y vacío debe estar diseñada para mantener la hermeticidad del tanque en caso que este sufra algún accidente o volcadura.

##### 1) Capacidad de venteo en caso de Incendios

- La capacidad de venteo debe estar definida en m<sup>3</sup>/h para cada compartimento del tanque y no debe ser menor a la determinada en la siguiente tabla:

Área expuesta		Aire libre por hora		Área expuesta		Aire libre por hora	
m <sup>2</sup>	Pie <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Pie <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	Pie <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Pie <sup>3</sup>
1.858	20	447.4	15800	25.548	275	6068	214300
2.787	30	671.1	23700	27.870	300	6374	225100
3.716	40	894.8	31600	32.516	350	6957	245700
4.645	50	1118.5	39500	37.161	400	7504	265000
5.574	60	1342.2	47400	41.806	450	8019	283200
6.503	70	1566	55300	46.451	500	8512	300600
7.432	80	1792.4	63300	51.096	550	8985	317300
8.361	90	2016	71200	55.741	600	9438	333300
9.290	100	2239.8	79100	60.386	650	9877	348800
11.148	120	2687.2	94900	65.032	700	10270	362700
13.006	140	3134.7	110700	69.667	750	10709	378200
14.864	160	3582	126500	74.322	800	11106	392200
16.722	180	4029.5	142300	78.967	850	11494	405900
18.580	200	4477	158100	83.612	900	11873	419300
20.903	225	5417	191300	88.257	950	12241	432300
23.225	250	5751	203100	92.903	1000	12601	445000

Tabla 12: Venteo mínimo de emergencia (14.7 psia a 15.6 °C)

- Cada tanque debe de estar equipado con venteos o sistemas de alivio de presión que se encuentren calibrados para abrir a una presión de 3 psi y cerrarse cuando la presión baje de esta misma presión. La capacidad mínima de venteo de las válvulas de presión debe ser de 170 m<sup>3</sup>/h de aire libre de un tanque a una presión de 5psi. Estos dispositivos o válvulas accionados bajo presión deben estar diseñados de tal manera que prevengan fugas del liquido a través del dispositivo en caso de un aumento brusco de la presión o movimiento irregular del vehículo.

#### **4.8.3. Señalística**

Para el transporte de sustancias peligrosas el INEN consta con Normas Técnicas que regulan la señalística y nomenclatura que los recipientes deben portar. Para el caso del transporte de combustibles líquidos, a los que refiere la presente tesis, esta norma también es aplicable. Las normas técnicas en mención son la NTE INEN 2266-00 y NTE INEN 0439-84. [1]

## **5. Propuesta de NORMA INEN**

En base a lo tratado hasta ahora en los capítulos anteriores, la generación de una propuesta de Norma Técnica Ecuatoriana para la FABRICACIÓN DE AUTOTANQUES DESTINADOS AL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES EN EL ECUADOR es viable. Se dispone de información técnica, Normas, Códigos y Estándares internacionales, todo referente a información ingenieril que permite la generación de una propuesta de Norma Técnica para cumplir el objetivo del presente proyecto.

Basándose en la Norma NTE INEN 0000:90 [1], norma que estandariza el formato de todas las Normas Técnicas que el INEN publica y establece para regulación en el Ecuador, la propuesta de normativa es la siguiente:

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito – Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

---

**AUTOTANQUES PARA TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES, (EXCEPTO  
GLP), REQUISITOS DE FABRICACIÓN**

**Primer Borrador**

## **1. OBJETO**

**1.1.** Esta norma establece los requisitos para la fabricación de autotanques destinados al transporte de combustibles, además de los requisitos mínimos de los accesorios que deben tener para control y seguridad.

## **2. ALCANCE**

**2.1.** Esta norma se aplica a los vehículos que se utilicen en las actividades del transporte terrestre de hidrocarburos líquidos, exceptuando GLP.

## **3. DEFINICIONES**

**3.1.** Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

**3.1.1.** Accesorio: Cualquier aditamento del tanque que no tiene relación con la carga o función de contención y no provee soporte estructural.

**3.1.2.** Autotanque: Unidad vehicular, tipo tanque, de especificaciones especiales destinado para el transporte de materiales y residuos peligrosos, en forma líquida o gas principalmente, incluye accesorios y refuerzos. Puede estar o no unido permanentemente a un vehículo motorizado.

**3.1.3.** Conexión a Tierra: Instalación que permita descargar a tierra la electricidad estática acumulada o producida en el autotanque, sin emitir arco o chispa.

**3.1.4.** Cuerpo del tanque: Recipiente metálico cerrado utilizado para almacenar combustibles líquidos.

**3.1.5.** Hidrocarburos líquidos: Sustancias orgánicas en estado líquido compuestas principalmente de hidrógeno y carbono.

- 3.1.6.** Mampara: elemento aparte de la estructura del cuerpo del tanque, que tiene como propósito dividir el autotanques en compartimientos.
- 3.1.7.** Manholes: Accesorios instalados en la parte superior de cada compartimiento del tanque el cual permite el acceso y llenado del compartimento.
- 3.1.8.** Presión de diseño: Es función de la máxima presión de servicio.
- 3.1.9.** Presión de prueba: Presión hidrostática o neumática a la cual debe ser sometido el tanque a fin de comprobar su integridad estructural y hermeticidad.
- 3.1.10.** Presión máxima de servicio: Es aquella presión manométrica desarrollada por el fluido a la máxima temperatura de servicio.
- 3.1.11.** Probeta: Es una muestra del material y suelda utilizado para la construcción del tanque, preparado para los ensayos mecánicos correspondientes.
- 3.1.12.** Protección contra accidentes: Estructura acoplada al chasis y al cuerpo del tanque, destinada a proteger la integridad del tanque y mantener su hermeticidad en caso de algún incidente.
- 3.1.13.** Refuerzos circunferenciales: Elementos que sirven para reforzar las uniones que van entre las tapas, rompeolas, mamparas y el cuerpo del tanque alrededor del mismo.
- 3.1.14.** Rompeolas: Elemento aparte de la estructura del cuerpo del tanque ubicado entre las mamparas que evitan la formación de oleaje dentro de los compartimientos de combustible.
- 3.1.15.** Tapas: Elemento que cierra el cuerpo del tanque en la parte frontal y posterior del mismo.
- 3.1.16.** Válvula de descarga: Dispositivo que controla o detiene el flujo del producto.

## **4. DISPOSICIONES GENERALES**

**4.1.** Los autotanques para almacenar y transportar combustible, que se fabriquen, modifiquen o reparen deben ser diseñados, construidos y ensayados de acuerdo con esta norma.

**4.2.** La iluminación permitida para el vehículo es la proveniente del sistema eléctrico normal, de acuerdo a la Norma Técnica NTE INEN 1 155

**4.3.** En los autotanques es obligatorio el accesorio para la instalación de la “Conexión a Tierra”.

**4.4.** Señalización: Los tanques para combustible deberán tener las siguiente señales:

**4.4.1.** Señales de seguridad, mediante la simbología especificada en la Norma Técnica NTE INEN 2266:00 y NTE INEN 0439:84, con la leyenda “CUIDADO, PELIGRO DE FUEGO” y “LÍQUIDO INFLAMABLE”.

**4.4.2.** Otras señales requeridas por reglamentos, leyes o normas vigentes, relacionadas con el tema.

## **5. REQUISITOS DEL TANQUE**

### **5.1. Material**

Para la construcción del cuerpo del tanque, las cabezas, mamparas y rompeolas de los autotanques, los materiales a utilizarse deben cumplir con los requisitos siguientes.

**5.1.1.** Materiales ASTM/CSA/ISO: Los materiales aprobados según el código ASME, Sección II, Parte A y B, para la construcción de autotanques de combustible son:

<b>Materiales ASTM aprobados por el código ASME</b>
ASTM A 20
ASTM A 36
ASTM A 131
ASTM A 283 (solamente Grados C y D, con un espesor nominal máximo de ¾ de pulgada.
ASTM A 285 (Solamente Grado C, con un espesor nominal máximo de ¾ de pulgada.
ASTM A 516
ASTM A 537 (Solamente Clase 1 y 2)
ASTM A 573
ASTM A 633 (Solamente Grado C y D)
ASTM A 662 (Solamente Grado B y C)
ASTM A 678 (Solamente Grado A y B)
ASTM A 737 (Solamente Grado B)
ASTM A 841 (Solamente Clase 1)
CSA G40.21-M (Solamente Grado 260W, 300W y 350W)
ISO 630 (Solamente Grado E275 y E355, en Calidad C y D)

Tabla 1: Materiales ASTM aprobados por el código ASME para la construcción de autotankes de combustible

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

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

Tabla 2: Aleaciones de aluminio ASTM aprobados por el código ASME

**5.1.3.** Aceros DOT 406: De igual manera, los aceros que se deben utilizar para la fabricación de autotankes deben poder soldarse por fusión. Los posibles tipos de acero que son permitidos, además de las descritas en el código ASME, Sección II, Parte A y B, son las siguientes:

<b>Aceros ASTM aprobados por la norma DOT</b>
ASTM A 569
ASTM A 570
ASTM A 572
ASTM A 607
ASTM A 656
ASTM A 715

Tabla 3: Aceros ASTM aprobados por la norma DOT 406

**5.1.4.** Acero MC 306: Los aceros a utilizarse en la construcción de autotankes de combustibles deben cumplir con los requerimientos descritos en la siguiente tabla.

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

Tabla 4: Requisitos mínimos de propiedades para la selección de material de construcción. Norma MC 306

## 5.2. Espesores de lámina del autotankes

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

### ESPECIFICACIÓN MC 306

	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm											
	38 O MENOS			DE 38 A 53			DE 53 A 68			MAS DE 68		
	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL
<b>MATERIAL</b>												
<b>ESPESOR (mm)</b>	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835

Tabla 5: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (MC 306). Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL).

### ESPECIFICACIÓN DOT 406

CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm									
	53 O MENOS			DE 53 A 87			MAS DE 87		
MATERIAL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL	AC	AARBA / AIA	AL
ESPESOR (mm)	2,54	2,54	4,064	2,921	2,921	4,3942	3,2766	3,2766	4,7498

Tabla 6: Espesor mínimo para cabezas, mamparas y rompeolas (DOT 406). Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL).

### ESPECIFICACIÓN MC 306

		DISTANCIA ENTRE ROMPEOLAS, MAMPARAS, DEFLECTORES O ANILLOS DE REFUERZO	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA EN LITROS POR CADA 25,4 mm											
			38 O MENOS			DE 38 A 53			DE 53 A 68			MÁS DE 68		
			AC	AARB A / AIA	AL	AC	AARB A / AIA	AL	AC	AARB A / AIA	AL	AC	AARB A / AIA	AL
<b>RADIO MÁXIMO DEL CUERPO</b>	hasta 1780 mm	hasta 914 mm	1,897	1,519	2,210	1,897	1,519	2,210	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769
		de 914 mm a 1370 mm	1,897	1,519	2,210	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302
		de 1370 mm a 1524 mm	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835
	desde 1780 mm a 2290 mm	hasta 914 mm	1,897	1,519	2,210	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302
		de 914 mm a 1370 mm	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835
		de 1370 mm a 1524 mm	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394
	desde 2290 mm a 3170 mm	hasta 914 mm	1,897	1,709	2,438	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835
		de 914 mm a 1370 mm	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394
		de 1370 mm a 1524 mm	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394	3,797	3,416	4,928
	desde 3170 mm o más	hasta 914 mm	2,278	1,897	2,769	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394
		de 914 mm a 1370 mm	2,657	2,278	3,302	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394	3,797	3,416	4,928
		de 1370 mm a 1524 mm	3,038	2,657	3,835	3,416	3,038	4,394	3,797	3,416	4,928	4,176	3,797	5,486

Tabla 7: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (MC 306). Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL).

## ESPECIFICACIÓN DOT 406

CAPACIDAD DEL TANQUE (LITROS)	MATERIAL		
	AC	AARBA / AIA	AL
Hasta 17000	2,540	2,540	3,835
de 17000 a 31000	2,921	2,540	4,064
de 31000 a 53000	3,277	3,277	4,394
más de 53000	3,632	3,632	4,750

Tabla 8: Espesor mínimo del cuerpo del tanque (DOT 406)  
Acero al Carbono (AC), Acero de Alta Resistencia de Baja Aleación (AARBA), Acero  
Inoxidable Austenítico (AIA), Aleación de Aluminio (AL).

### 5.3. Integridad Estructural

Para el diseño y construcción de autotanques de combustibles se debe considerar los siguientes requerimientos y criterios:

#### 5.3.1. Requerimientos generales

- 1) El valor máximo de esfuerzo de diseño calculado en cualquier punto en las paredes del tanque no deberá sobrepasar el 25% de la resistencia a tensión del material usado para la construcción, establecido en la sección 4.2., o de los valores permitidos por el Código ASME en la sección VIII.
- 2) Las propiedades físicas relevantes de los materiales en la construcción de cada autotanque debe estar establecida por un reporte de prueba certificada por el proveedor del material, o por pruebas en conformidad a estándares internacionales para materiales (ejemplo: ASME o ASTM).

#### 5.3.2. Código de diseño y construcción ASME

El diseño estático y construcción de cada autotanque debe estar acorde a la Sección VIII, división 1 del código ASME. El diseño del tanque debe incluir el cálculo de los esfuerzos generados por la presión máxima permisible de trabajo (MAWP Maximum Allowable Working Pressure), el peso del producto a transportar, el peso de los

accesorios soportados por el tanque, y los gradientes de temperatura resultantes por la temperatura ambiental.

- 1) La concentración de esfuerzos en tensión, flexión y torsión que ocurren en los soportes del cuerpo del autotank deben ser considerados acorde al Apéndice G de la Sección VIII, División 1 del Código ASME.
- 2) El esfuerzo a compresión longitudinal para un recipiente certificado ASME debe calcularse usando el párrafo UG 23 (b), de la Sección VIII, División 1 del código ASME.

### 5.3.3. Diseño del cuerpo

Los esfuerzos del cuerpo del autotank resultantes de cargas estáticas o dinámicas, o una combinación de las dos, no son uniformes en todo el vehículo. Las cargas normales de operación vertical, longitudinal y lateral pueden ocurrir simultáneamente y deben ser combinadas. Las cargas dinámicas vertical, longitudinal y lateral ocurren de manera individual y no necesitan ser combinadas.

- 1) Cargas normales: el siguiente procedimiento añade tensiones en el cuerpo del tanque, resultantes de cargas normales de operación. El esfuerzo efectivo (esfuerzo principal en cualquier punto) debe ser determinado por la siguiente fórmula:

$$S = 0.5 (S_Y + S_X) \pm [0.25 (S_Y - S_X)^2 + S_S^2]^{0.5}$$

Donde:

S = Es el esfuerzo efectivo en cualquier punto dado sujeto a la combinación de cargas estáticas y normales que pueden ocurrir simultáneamente en psi.

$S_Y$  = es el esfuerzo circunferencial generado por la Presión de Trabajo Máxima Permisible (MAWP) y la presión externa en psi.

$S_x$  = es el esfuerzo longitudinal neto generado por las siguientes condiciones de carga estática y normal en psi:

- a) El esfuerzo longitudinal resultante de la MAWP y de la presión externa (cuando aplica), en combinación con el esfuerzo flector generado por el peso estático de un tanque completamente lleno, todos los elementos estructurales y equipamiento soportado por las paredes del autotanque.
- b) El esfuerzo a tensión o compresión resultante de la aceleración o desaceleración longitudinal normal. En cada caso, las fuerzas aplicadas deben ser 0,35 veces la reacción vertical en la suspensión ensamblada, aplicada a la superficie de la vía, y transmitida a la pared del autotanque a través de la suspensión del vehículo durante la desaceleración; o en el pivote horizontal (quinta rueda) durante aceleración, o a los elementos de soporte y anclaje del camión durante aceleración y desaceleración, según aplica.

La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque cargado completamente, todos los elementos estructurales y equipos soportados por las paredes del autotanque. Las siguientes cargas deben ser incluidas:

- Carga axial generada por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.
- Momento flector generado por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.

El esfuerzo a tensión o compresión generado por el momento flector resultante de una fuerza de aceleración igual a 0,35 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler, o en el pivote horizontal (quinta rueda), o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical

debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.

$S_s$  = Es el esfuerzo cortante generado por las siguientes condiciones de carga estática y normal en psi:

- a) El esfuerzo cortante resultante de la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal o quinta rueda; o en los elementos de anclaje y soporte. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.
- b) El esfuerzo cortante vertical generado por una fuerza de aceleración igual a 0,35 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.
- c) El esfuerzo cortante lateral generado por una fuerza de aceleración lateral igual a 0,2 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque. Y,
- d) El esfuerzo cortante a torsión generado por las mismas fuerzas laterales descritas en el punto anterior.

- 2) Cargas dinámicas: el siguiente procedimiento añade tensiones en el cuerpo del tanque, resultantes de cargas dinámicas. El esfuerzo efectivo (esfuerzo principal en cualquier punto) debe ser determinado por la siguiente fórmula:

$$S = 0.5 (S_Y + S_X) \pm [0.25 (S_Y - S_X)^2 + S_S^2]^{0.5}$$

Donde:

S = es el esfuerzo efectivo en cualquier punto dado sujeto a la combinación de cargas estáticas y dinámicas que pueden ocurrir simultáneamente en psi.

$S_Y$  = es el esfuerzo circunferencial generado por la Presión de Trabajo Máxima Permisible (MAWP) y la presión externa en psi.

$S_X$  = es el esfuerzo longitudinal neto generado por las siguientes condiciones de carga estática y dinámica en psi:

- a) El esfuerzo longitudinal resultante de la MAWP y de la presión externa (cuando aplica), en combinación con el esfuerzo flector generado por el peso estático de un tanque completamente lleno, todos los elementos estructurales y equipamiento soportado por las paredes del autotanque.
- b) El esfuerzo a tensión o compresión resultante de la aceleración o desaceleración longitudinal. En cada caso, las fuerzas aplicadas deben ser 0,7 veces la reacción vertical en la suspensión ensamblada, aplicada a la superficie de la vía, y transmitida a la pared del autotanque a través de la suspensión del vehículo durante la desaceleración; o en el pivote horizontal (quinta rueda) durante aceleración, o a los elementos de soporte y anclaje del camión durante aceleración y desaceleración, según aplica.
- c) La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque cargado completamente, todos los elementos estructurales y equipos soportados por las paredes del autotanque.

Las siguientes cargas deben ser incluidas:

- Carga axial generada por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.
- Momento flector generado por una fuerza de aceleración y/o desaceleración.

El esfuerzo a tensión o compresión generado por el momento flector resultante de una fuerza de aceleración igual a 0,7 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotank completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotank.

$S_S$  = Es el esfuerzo cortante generado por las siguientes condiciones de carga estática y dinámica en psi:

- a) El esfuerzo cortante resultante de la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal o quinta rueda; o en los elementos de anclaje y soporte. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotank completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotank.
- b) El esfuerzo cortante vertical generado por una fuerza de aceleración igual a 0,7 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del

autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque.

- c) El esfuerzo cortante lateral generado por una fuerza de aceleración lateral igual a 0,4 veces la reacción vertical en la suspensión del tráiler; o en el pivote horizontal (quinta rueda); o en los elementos de anclaje y soporte, según aplica. La reacción vertical debe ser calculada basada en el peso estático del autotanque completamente lleno, todos los elementos estructurales, y equipos soportados por las paredes del autotanque. Y,
- d) El esfuerzo cortante a torsión generado por las mismas fuerzas laterales descritas en el punto anterior.

#### **5.3.4. Aditamentos**

El diseño, construcción e instalación de cualquier aditamento, elemento de soporte estructural, o componentes de suspensión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- 1) Los elementos estructurales, la protección contra accidentes y los refuerzos circunferenciales externos deben ser usados como lugares para sujetar y ensamblar accesorios del autotanque cuando sea requerido.
- 2) Aditamentos livianos del autotanque como la base para las lámparas de seguridad, la estructura de los faldones, soportes para líneas de tubería, deben tener una resistencia menor que la de las paredes del autotanque y no deben ser mayores que el 72% del espesor del material al cual es añadido.

Estos aditamentos deben ser ensamblados de una manera tal que si son dañados estos no afecten a integridad del autotanque para la retención del combustible.

Cada aditamento debe estar asegurado al cuerpo del autotanque o cabezas por un

cordón de soldadura continuo o de tal manera que se evite la formación de puntos propensos a corrosión.

- 3) Con excepción a lo descrito en los párrafos 1) y 2) de esta sección, la soldadura de cualquier aditamento a las paredes del autotank deben ser añadidas a una base de montaje tal que no existan efectos adversos en la integridad de la retención del combustible en el autotank si cualquier fuerza menor a las descritas en el párrafo 1 del numeral 5.3.2 de esta sección es aplicada desde cualquier dirección. El espesor de la base de montaje no debe ser menor que el del cuerpo del autotank o de las cabezas a la cual es añadido, y no mayor a 1,5 veces el espesor del cuerpo o cabezas. Sin embargo, una base de montaje con un espesor mínimo de 4,75 milímetros debe ser usado cuando el espesor del cuerpo o cabeza es mayor a 4,75 milímetros. Cada base de montaje debe:
  - a) Ser fabricada de un material que sea compatible para la soldadura tanto con el autotank como con el material del aditamento o elemento de soporte estructural. La determinación de compatibilidad se realizará de acuerdo a las propiedades físicas y químicas de los materiales, y el diseño de filete debe ser acorde a los requerimientos del código ASME.
  - b) Extenderse al menos 25 milímetros en todas direcciones desde cualquier punto de sujeción de cualquier aditamento o elemento estructural de soporte. Esta dimensión debe ser medida desde el centro del elemento estructural adicionado.
  - c) Tener esquinas redondeadas, o formadas de tal manera que se reduzca la concentración de esfuerzos en el cuerpo o en las cabezas.

- d) Ser sujeta por un cordón continuo de soldadura. Cualquier discontinuidad debe ser solo con el propósito de prever una intersección entre el filete de suelda y una costura de suelda del tanque.

#### **5.4. Refuerzo circunferencial**

Para el diseño del refuerzo circunferencial, se debe tener presente lo siguiente [3]:

- 1) Los tanques con espesores menores a 9,5 milímetros (3/8 pulg) en el cuerpo, deben reforzarse circunferencialmente además de las cabezas, ya sea con rompeolas, mamparas o anillos. Está permitido usar cualquier combinación de los elementos mencionados anteriormente para la construcción de un autotanque. Dichos elementos de refuerzo deben ser ubicados de tal manera que la porción sin refuerzo del cuerpo del tanque debe ser como lo indica la Tabla 7, y por ningún motivo mayor a 60 pulgadas. Adicionalmente el refuerzo circunferencial debe estar ubicado a una distancia no mayor de 1 pulgada (25,4 milímetros) de los puntos donde una discontinuidad en el cuerpo exceda de 10 grados, a menos que se refuerce de alguna otra manera con elementos estructurales capaces de mantener los niveles de tensión en el cuerpo del tanque permitidos en el párrafo 1 de la sección 5.3.1
- 2) Rompeolas, mamparas o anillos, si se utilizan como elementos de refuerzo deben ser soldados circunferencialmente al cuerpo del tanque. La longitud de la soldadura nunca debe ser menor al 50% del perímetro del contorno del tanque y el máximo espacio sin soldadura sobre esta unión no debe exceder el límite de 40 veces el espesor de la lámina del cuerpo del tanque.

- 3) Cuando se utilice un anillo como refuerzo circunferencial, interno o externo, el refuerzo debe ser continuo alrededor del cuerpo del autotank; además debe ser acorde a lo siguiente:

La sección modular ( $I/C$ ) sobre el eje neutral de la sección del anillo paralelo al cuerpo del tanque debe ser por lo menos igual a la siguiente ecuación para el Acero:

$$\frac{I}{C} (\text{Min}) = 0.00027xWxL$$

Y para el Aluminio:

$$\frac{I}{C} (\text{Min}) = 0.000467xWxL$$

Donde:

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

$W$  = diámetro del tanque ( $\text{pulg}$ ).

$L$  = espacio entre anillos ( $\text{pulg}$ ).

Si el anillo es soldado al cuerpo del tanque, una porción del cuerpo debe ser considerada como parte de la sección del anillo para propósitos de cálculo del módulo de sección. La porción máxima del cuerpo del tanque a ser usada en estos cálculos es la siguiente:

Número de anillos de refuerzos circunferencial	Distancia entre los anillos de refuerzo	Sección del cuerpo
1	--	20t
2	Menor que 20t	20t + J
2	20t o más	40t

Donde:

$t$  = Espesor de la lámina del cuerpo del tanque ( $\text{pulgadas}$ ).

$J$  = Distancia longitudinal entre anillos de refuerzo soldados al cuerpo del tanque ( $\text{pulgadas}$ )

### 5.5. Método de unión

Para la construcción del autotanque, todas las juntas entre el cuerpo del tanque, cabezas, mamparas, rompeolas, refuerzos, deben ser soldados acorde con los requerimientos contenidos a continuación:

- 1) Resistencia de juntas (Aleaciones de Aluminio AL). Todas las juntas soldadas de aluminio deben ser realizadas acorde con una reconocida buena práctica de soldadura. La eficiencia de la junta no debe ser menor de 85% de las propiedades mecánicas del material adyacente. Las aleaciones de aluminio deben ser soldadas con un proceso de soldadura de arco con gas inerte usando un tipo de material de aporte de aluminio-magnesio.
- 2) Resistencia de juntas en los Aceros: AC, ARBA, AIA. Todas las juntas soldadas de acero deben ser realizadas acorde con una reconocida buena práctica de soldadura. La eficiencia de la junta no debe ser menor del 85% de las propiedades mecánicas del material adyacente.
  - a) Combinaciones entre los Aceros AC, ARBA, y AIA, pueden realizarse para la construcción de un tanque y deben cumplir con los mínimos requerimientos descritos en la sección 4.2. Cuando se utilicen láminas de acero inoxidable en combinación con otros tipos de acero, las juntas soldadas deben realizarse con electrodos o material de aporte de acero inoxidable, o material de aporte que sean compatibles para su uso con el grado de acero inoxidable utilizado para la construcción del tanque.
- 3) Prueba de resistencia de la soldadura: conforme con los párrafos 1 y 2 de la sección 5.5, se deben preparar dos probetas de prueba, acordes con la Figura 12 con los tipos de materiales y procesos de soldadura que se utilizarán para la fabricación del autotanque. Estas probetas se deben someter a pruebas de falla

por tensión, y deberán ser conservadas por un período de tiempo de al menos seis meses después de realizada la prueba.

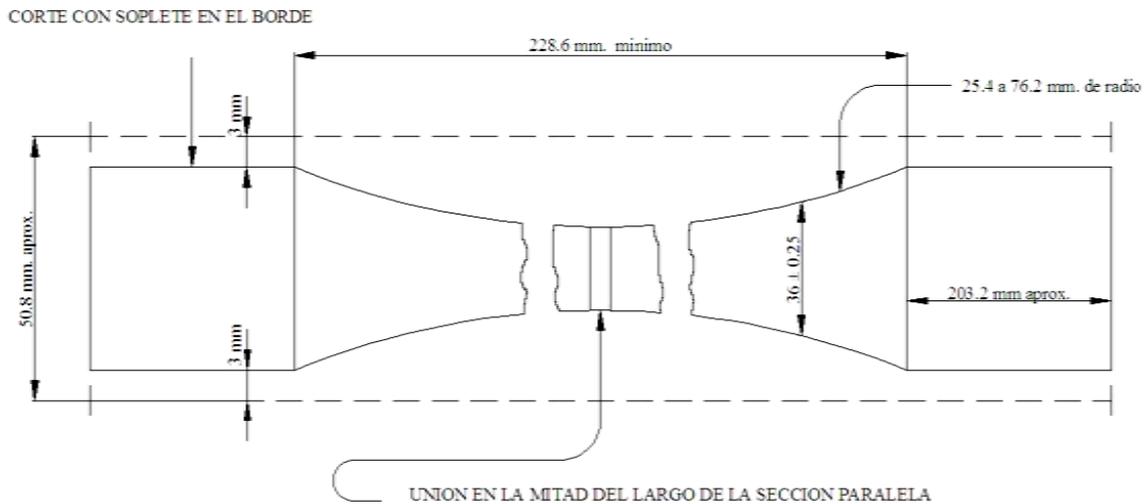


Figura 1: Probeta para prueba a tensión de soldadura

## 5.6. Protección contra accidentes

Cada autotank debe ser diseñado y construido de acuerdo con los requerimientos de esta sección para minimizar el potencial de pérdida de carga del autotank debido a un accidente.

### 1) General.

- a) Cada protector de domos, sumideros, que encuentran en las paredes del tanque para retener la carga en cualquier posición que el tanque se encuentre; debe ser tan fuerte y/o tenas como las paredes del tanque y tener a espesor como mínimo igual a lo especificado por las propias especificaciones del cuerpo del tanque. Este tipo de protecciones ubicadas a 1/3 de la parte baja de la circunferencia del tanque que se extiende más de la mitad de su diámetro justo en el punto de fijación de la cisterna o (cuerpo del tanque) o a su vez mas de 4 pulgadas de la pared del tanque o localizado en la parte superior del mismo a dos tercios de la circunferencia del tanque que se

extiende más de  $1/4$  de su diámetro o más 2 pulgadas del frente de su punto de fijación del tanque, deben tener dispositivo de protección en caso de accidentes que son 125% tan fuerte como los requisitos de los dispositivos de protección en accidentes.

- b) Aberturas, válvulas, cierres, tuberías, o cualquier dispositivo que se pueda afectar en caso de un accidente, ocasionando pérdidas de combustible debe contar con dispositivos de protección en caso de accidentes.
- c) Los dispositivos de protección en caso de accidentes fijados en la pared del tanque deben ser capaces de soportar o desviar todas las cargas especificadas en esta sección. Estas deberán estar diseñadas, construidas e instaladas con el fin de aprovechar al máximo la distribución de cargas generadas en la pared del tanque y minimizando al máximo la posibilidad de consecuencias negativas para la integridad en la retención del combustible. Los accidentes inducen a tensiones resultantes de estos mismos dispositivos en combinación con las tensiones originadas por la MAWP pero que no resultan tensiones más grandes que el esfuerzo último a la tensión que tiene el material del cual está fabricado usando un factor de seguridad de 1.3.
- d) Cada tubería que se extiende más allá de los dispositivos de seguridad en caso de accidentes deben estar equipadas con una válvula de cierre y un dispositivo de sacrificio con una sección de corte. El dispositivo de sacrificio debe estar ubicado en el sistema de tuberías por afuera de la válvula de cierre y en el dispositivo de protección contra accidentes para evitar cualquier pérdida de combustible. El dispositivo debe romperse a no más del 70% [3] de la carga necesaria para ocasionar la falla del dispositivo de retención de combustible, partes o paredes del tanque. La falla del dispositivo de

sacrificio debe dejar al dispositivo de retención de combustible y su sujeción intacta y capaz de retener el combustible.

2) Aditamentos.

- a) El diseño, construcción e instalación de cualquier aditamento al cuerpo o cabeza del tanque debe ser de tal forma que minimice la posibilidad de daño o falla que puedan afectar la integridad de retención de producto del tanque.
- b) Los elementos estructurales, tales como la suspensión, protectores contra volcaduras, deben ser utilizados para el ensamblaje de cualquier aditamento o algún otro accesorio necesario para el tanque.
- c) Excepto lo prescrito en el párrafo 2 (e) de la sección 5.6, la soldadura de cualquier aditamento al cuerpo o cabezas debe ser realizado sobre una placa de montura. El espesor de esta placa no debe ser menor del espesor del cuerpo o cabeza del tanque al cual será adicionado. Esta placa debe extenderse al menos 2 pulgadas (5 cm) en cada dirección desde cualquier punto de sujeción del aditamento. Las placas deben tener las esquinas redondeadas o tener una forma tal para reducir la concentración de esfuerzos en el cuerpo o en el tanque.
- d) El aditamento debe ser sujetado a la placa de montura para que no exista efectos adversos sobre la integridad de la retención de producto del tanque si cualquier fuerza es aplicada al aditamento, en cualquier dirección, excepto en dirección normal al tanque, o con  $45^\circ$  con respecto a la normal.
- e) Para los aditamentos de peso ligero tal como los faldones, los sujetadores de conductos y sujetadores de la línea de frenos y similares pueden ser soldados directamente al cuerpo del tanque siempre y cuando el espesor del metal sea menos fuerte pero no más del 72% del espesor del cuerpo del tanque. Estos

aditamentos ligeros deben ser diseñados e instalados de tal manera que no afecten la integridad de retención de producto del tanque. Estos aditamentos deben ser soldados de forma continua o de tal manera que no se formen discontinuidades que podrían llegar a ser sitios de corrosión.

- 3) Protección Trasera. Cada tanque debe estar provisto de una protección de accidentes trasera que proteja al tanque y sus tuberías en caso de un accidente por la parte posterior del autotanque, para que reduzca la probabilidad de daño en su integridad estructural y que no exista pérdida de combustible. La protección trasera debe tener la forma de un parachoques o de una protección trasera cumpliendo con lo siguiente
  - a) El parachoques debe estar ubicado al menos 6 pulgadas (15,24 cm) de cualquier componente del vehículo usado para carga y/o descarga o que puede contener fluido cuando el vehículo se encuentra en tránsito.
  - b) La estructura del parachoques deberá estar diseñada para soportar, sin fugas de combustible, el impacto del vehículo con una carga nominal y soportando una desaceleración de 2 “g” usando un factor de seguridad de dos veces el esfuerzo último del material con el que está hecho el parachoques. Estos impactos deben considerarse como uniformemente distribuidos aplicados horizontalmente (paralelo al piso) o hasta un ángulo de 30 grados en el eje longitudinal del vehículo.
- 4) Protección contra vuelcos
  - a) Cada cierre utilizado en las aperturas del tanque, incluyendo pero no limitando a los manholes, para llenado o aperturas de inspección y para cada válvula, acople, válvulas de alivio, válvulas de venteo y acoples para la

retención de combustible que se encuentren localizados en la parte superior del tanque al menos  $2/3$  de la circunferencia, deben situarse en la parte interior o en partes adyacentes del dispositivo de protección contra vuelcos o siendo 125% del esfuerzo de cualquiera de los otros dispositivos de protección contra accidentes.

- b) Un dispositivo de protección contra vuelcos sobre un autotanque debe estar diseñado e instalado para resistir cargas iguales a dos veces el peso de la carga del tanque aplicadas de la siguiente forma: normal al cuerpo del tanque (perpendicular a la superficie del tanque); y tangencial (perpendicular a la carga normal) en cualquier dirección. Esta fuerza no debe exceder al esfuerzo último a la tensión del material de construcción. Estas cargas de diseño se pueden considerar como uniformemente distribuidas e independientemente aplicadas. Si más de una protección contra vuelcos es usada en el tanque, cada una de estas debe ser capaz de soportar una parte proporcional de las cargas y en cada caso al menos la cuarta parte de la carga tangencial total. Este diseño debe ser capaz de soportar los requisitos de cargas de los cálculos, de los test o de la combinación de ambos.
  - c) Un dispositivo de protección contra vuelcos que puede permitir la acumulación de líquidos en la parte superior del tanque, debe estar provisto de un sistema de drenaje que dirija el líquido a un punto seguro de descarga lejos de cualquier componente estructural del tanque.
- 5) Tuberías. Las tuberías de descarga de combustible deben estar provistas con una protección de tal manera que asegure la contención del combustible en caso de un accidente. Esta protección debe ser dada por:

- a) Una sección de corte localizada afuera de cada base de las válvulas de emergencia y a 4 pulgadas del recipiente debe romperse bajo una fuerza y separarse del asiento de la válvula de emergencia que está fijada en el recipiente, dejándola intacta y capaz de retener el combustible. La sección de corte debe ser mecanizada de tal manera que se reducirá de forma significativa el espesor del material de las tuberías adyacentes (o válvulas) en por lo menos un 20 %.
- b) Las tuberías deben ser capaces de absorber una fuerza horizontal concentrada de al menos 8000 libras aplicadas en cualquier dirección horizontal, sin tener daños en la tubería de descarga que pueden afectar negativamente a la retención del combustible en la válvula de descarga.

## **5.7. Accesorios**

### **5.7.1. Manholes**

- En un autotank por cada compartimento que pase de los 400 galones de carga debe tener un manhole instalado de al menos unas 15 pulgadas de diámetro.
- Cada manhole o abertura de llenado, debe ser estructuralmente capaz de resistir, fuera de fugas o deformaciones permanentes, una presión estática interna de al menos 36 psig o a su vez la presión de prueba.
- Los manholes o aberturas de llenado deben ser probados teniendo en cuenta que las válvulas de venteo se encuentren bloqueadas. Cada fuga o deformación que pueda afectar a la capacidad de retención del producto debe ser considerada como una falla.

- Cada manhole o apertura de llenado debe estar provisto con un dispositivo de seguridad que prevenga q se abra la tapa del manhole cuando exista una presión interna.
- Cada manhole y tapa de llenado debe estar asegurado con pernos para prevenir que se abran las tapas como resultado de vibraciones producidas por condiciones normales de transporte.
- Todos los accesorios y dispositivos montados sobre la tapa de los manholes, que están en contacto con la combustible deben resistir la misma presión que se requiere para las tapas de los manholes. Estos accesorios y dispositivos deben ser verificados usando la misma presión estática interna que se usa para la comprobación de los manholes (36 psig).

#### 5.7.2. Válvulas de venteo y vacío

- Cada compartimento de autotanque debe estar provisto con válvulas de venteo y vacío, las cuales deben estar especialmente diseñadas para funcionar en el caso de que la presión debida al vapor de gasolina rebase el 1 psi de presión interna, activando así la válvula de alivio de presión o venteo, y en el caso de la presión de vacío 0.4 psi, activando la válvula de vacío.
- Cada válvula de venteo y vacío debe estar diseñada para mantener la hermeticidad del tanque en caso que este sufra algún accidente o volcadura.

#### 2) Capacidad de venteo en caso de Incendios

- La capacidad de venteo debe estar definida en  $m^3/h$  para cada compartimento del tanque y no debe ser menor a la determinada en la siguiente tabla:

Área expuesta		Aire libre por hora		Área expuesta		Aire libre por hora	
m <sup>2</sup>	Pie <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Pie <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	Pie <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Pie <sup>3</sup>
1.858	20	447.4	15800	25.548	275	6068	214300
2.787	30	671.1	23700	27.870	300	6374	225100
3.716	40	894.8	31600	32.516	350	6957	245700
4.645	50	1118.5	39500	37.161	400	7504	265000
5.574	60	1342.2	47400	41.806	450	8019	283200
6.503	70	1566	55300	46.451	500	8512	300600
7.432	80	1792.4	63300	51.096	550	8985	317300
8.361	90	2016	71200	55.741	600	9438	333300
9.290	100	2239.8	79100	60.386	650	9877	348800
11.148	120	2687.2	94900	65.032	700	10270	362700
13.006	140	3134.7	110700	69.667	750	10709	378200
14.864	160	3582	126500	74.322	800	11106	392200
16.722	180	4029.5	142300	78.967	850	11494	405900
18.580	200	4477	158100	83.612	900	11873	419300
20.903	225	5417	191300	88.257	950	12241	432300
23.225	250	5751	203100	92.903	1000	12601	445000

Tabla 12: Venteo mínimo de emergencia (14.7 psia a 15.6 °C)

- Cada tanque debe de estar equipado con venteos o sistemas de alivio de presión que se encuentren calibrados para abrir a una presión de 3 psi y cerrarse cuando la presión baje de esta misma presión. La capacidad mínima de venteo de las válvulas de presión debe ser de 170 m<sup>3</sup>/h de aire libre de un tanque a una presión de 5psi. Estos dispositivos o válvulas accionados bajo presión deben estar diseñados de tal manera que prevengan fugas del liquido a través del dispositivo en caso de un aumento brusco de la presión o movimiento irregular del vehículo.



## 6. CONCLUSIONES

- La presente propuesta de normativa para el diseño y construcción de autotanques destinados al transporte de combustibles, tiene como objetivo principal el poder implementar parámetros tanto de diseño como de construcción a todo el sector metalmecánico dedicado a la manufactura de este tipo de tanques, para que estos puedan garantizar un producto bajo todos los estándares de calidad y sobre todo de seguridad.
- Esta propuesta para su realización se basó en normas internacionales dedicadas al estudio de todos los parámetros de diseño y construcción en la ingeniería mecánica, normas tales como: la ASME, ASTM, AWS, API, normas que son muy utilizadas a nivel mundial, garantizando así que la construcción de autotanques en el país pueda llegar a ser competitiva no solo a nivel nacional sino también a nivel internacional.
- Otro de los objetivos de esta propuesta es el llegar a ser implementada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, entidad encargada de regular normas y estándares en el país, para que por medio de esta se exija el cumplimiento de la presente propuesta, con el único fin de garantizar tanto a constructores como compradores del producto, seguridad y calidad.
- La implementación de esta propuesta como norma INEN en el país puede ser factible ya que las empresas dedicadas a la manufactura de autotanques cuentan con la tecnología y herramientas necesarias para construir los autotanques bajo esta propuesta de norma.
- Esta propuesta está destinada netamente para la construcción de tanques de combustible a baja presión; de ninguna forma se la puede tomar como referencia

para la construcción de tanques de alta presión, como sería el caso del transporte del gas licuado GLP.

- Accesorios tales como manholes, válvulas de venteo y vacío, válvulas de seguridad mencionadas en el presente escrito, se pueden conseguir en el mercado nacional fácilmente, solo se debe asegurar de que estos sean fabricados bajo la norma ASME.
- Los materiales mencionados para la construcción del cuerpo del tanque, tapas, mamparas, protecciones contra accidentes, también son de fácil adquisición en el país, en especial el material ASTM A 36 (acero al carbono) uno de los mas distribuidos en el ecuador, y que se ajusta a las características necesarias para la construcción de autotanques destinados al transporte de hidrocarburos.

## 7. RECOMENDACIONES

- Como complemento del presente trabajo, sería muy importante establecer los criterios para realizar inspecciones y pruebas a los autotanques una vez que son construidos, o cuando son sometidos a mantenimiento. Se pueden realizar las siguientes inspecciones y pruebas:
  - Inspección visual externa: tiene como fin buscar áreas corroídas, abolladuras, golpes, soldaduras defectuosas, en todo el exterior del autotanque, incluyendo accesorios y aditamentos.
  - Inspección visual interna: tiene como fin buscar áreas corroídas, abolladuras, golpes, soldaduras defectuosas, en el interior del autotanque, incluyendo accesorios y aditamentos.
  - Prueba de presión y hermeticidad: se puede realizar una prueba de presión hidrostática o neumática en el autotanque. Este tipo de pruebas tiene como objetivo identificar cualquier tipo de fuga o defecto en la superficie del autotanque.
  - Prueba de espesores: utilizando un calibrador ultrasónico, se determina el espesor que tiene las paredes del cuerpo del tanque. Esta prueba permite conocer en puntos clave y críticos (soldadura, refuerzos, sujeción de accesorios) el espesor del material y garantizar que el tanque cumple con los requisitos de diseño estipulado con el espesor mínimo requerido.
- Es necesario considerar que con el transcurso del tiempo los procesos y tecnologías que utilizamos hoy en día pueden ser muy distintas. De ser implementada la propuesta de norma técnica, se recomienda realizar revisiones periódicas al documento ya que la información, procesos, materiales y tecnología actual pueden no ser indicados para un futuro.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. INEN. Página Oficial INEN. [En línea] 12 de 02 de 2009. [Citado el: 12 de 02 de 2009.] [www.inen.gov.ec](http://www.inen.gov.ec).
- [2]. Shigley, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. México: McGraw-Hill, 2005.
- [3]. NTTC. Cargo Tank Hazardous Material Regulations. Alexandria,VA : George F. Mead, 2003.
- [4]. ASME. Página Oficial ASME. [En línea] 12 de 02 de 2009. [Citado el: 12 de 02 de 2009.] [www.asme.org](http://www.asme.org).
- [5]. ASTM. Página Oficial ASTM. [En línea] 12 de 02 de 2009. [Citado el: 12 de 02 de 2009.] [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [6]. AWS. Página Oficial AWS. [En línea] 12 de 02 de 2009. [Citado el: 12 de 02 de 2009.] [www.aws.org](http://www.aws.org).
- [7]. API. Página Oficial API. [En línea] 12 de 02 de 2009. [Citado el: 12 de 02 de 2009.] [www.api.org](http://www.api.org).
- [8]. Ervin, R D. Liquid Cargo Shifting and the Stability of Cargo Tank-Trucks. Michigan: University of Michigan Transportation Research Institute, 1985.
- [9]. IMT. Procedimientos de prueba y operación. Manuales de Usuario. México: s.n., 1998.
- [10]. Kang, X. Rakheja, S. Tank Shape Optimization for Enhancement of Roll Stability of Partially-filled Tank Vehicles in Steady Turning. Florida: s.n., 2000.
- [11]. Weast, Robert C. Handbook of Chemistry and Physics. Ohio: 55, 1974.
- [12]. Gere, James. Mecánica de Materiales. México, D.F: Thomson Editores, 2003.

## 9. ANEXOS Y PLANOS

- Tablas
  1. Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete
- Planos
  1. Isometría del tanque
  2. Isometría anclaje
  3. Isometría en corte lateral
  4. Isometría en corte posterior
  5. Vistas
  6. Cuerpo del tanque
  7. Protecciones laterales
  8. Guardachoques
  9. Mamparas
  10. Rompeolas
  11. Válvulas de descarga
  12. Manholes

**Tabla 9-7**

Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete								Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, $h$	
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)									
	60*	70*	80	90*	100	110*	120		
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca de penetración parcial									
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0		
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal									
$^{\dagger}f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h		
Tamaño del cateto $h$ , pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal								
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45		
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27		
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09		
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91		
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73		
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14		
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54		
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95		
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36		
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77		
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18		
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59		
								Espeor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
								*Hasta 1/4 inclusive	1/8
								Mayor que 1/4	A 1/2
								Mayor que 1/2	A 3/4
								$^{\dagger}$ Mayor que 3/4	A 1 1/2
								Mayor que 1 1/2	A 2 1/4
								Mayor que 2 1/4	A 6
								Mayor que 6	5/8
No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.									
$^{\dagger}$ Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no va más allá de soldadura de filete de 5/16 pulg por cada 3/4 pulg de material.									
* El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no va más allá de 3/16 pulg.									

\* Las soldaduras de filete en realidad se ensayaron por el AISC-AWS Task Committee.

 $^{\dagger} f = 0.707h \tau_{perm}$ Fuente: Adaptada de Omer W. Blodgett (ed.), *Stress Allowables Weldment Design*, D412, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, mayo, 1991, p. 3.