



# POSGRADOS

---

## MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA CON MENCIÓN EN DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS EN OBRAS CIVILES E INDUSTRIALES

RPC-SO-24-NO.540-2020

### OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON  
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN  
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

### TEMA:

DISEÑO DE TECHOS PARA UN TANQUE  
VERTICAL ATMOSFÉRICO DE 100000  
BARRILES DE CAPACIDAD, PARA  
ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES  
LÍQUIDOS, SEGÚN NORMATIVA API\_650.

### AUTOR:

PABLO SERAFÍN VILLAVICENCIO BARRERA

### DIRECTOR:

PAUL BOLÍVAR TORRES JARA

CUENCA – ECUADOR  
2024

**Autor:****Pablo Serafín Villavicencio Barrera**

Ingeniero Mecánico.

Candidato a Magíster en Ingeniería Mecánica con mención en Diseño De Estructuras Metálicas En Obras Civiles E Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

[pvillavicenciob@est.ups.edu.ec](mailto:pvillavicenciob@est.ups.edu.ec)

**Dirigido por:****Paul Bolívar Torres Jara**

Ingeniero Mecánico.

Magister en Ingeniería Mecánica.

[ptorresj@ups.edu.ec](mailto:ptorresj@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

2024 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

PABLO SERAFÍN VILLAVICENCIO BARRERA

Diseño de techos para un tanque vertical atmosférico de 100000 barriles de capacidad, para almacenamiento de combustibles líquidos, según normativa API\_650.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto, y el esfuerzo que conllevó, se lo dedico a quienes, sin saberlo, fueron la motivación diaria para su culminación.

A Pablo Isaac y Valecita, mis hijos amados, todos nuestros sueños los podremos hacer realidad con esfuerzo, entrega, constancia y sobre todo amor.

## **AGRADECIMIENTO**

A papito Dios por sobre todas las cosas, porque me cuida, me guía y me da oportunidades como esta, de ser una mejor versión de mí, y el poder demostrarme que siempre hay tiempo para crecer y superarse en todo sentido.

A mis padres por estar a mi lado desde siempre, apoyándome y confiando en mí, son mi ejemplo de fortaleza y del amor incondicional, los amo.

Al tutor de esta tesis, el Ing. Paul Torres Jara, por su guía, su confianza y apoyo para la culminación del proyecto. Fue gratificante compartir criterios con usted, mil gracias.

Un agradecimiento particular a mis compañeros, docentes, y directores de esta maestría en Ingeniería Mecánica, que superó ampliamente mis expectativas y me demostró un nivel increíble de profesionalismo en todos sus niveles.

# TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	11
Abstract.....	12
1. Introducción.....	13
2. Determinación del Problema .....	15
3. Marco teórico.....	20
3.1 Objetivo.....	20
3.2 Alcance .....	21
3.3 Normativas aplicables.....	21
3.4 Características de Diseño.....	22
3.5 Materiales principales.....	22
3.6 Cargas de Diseño.....	23
3.7 Diseño general del tanque.....	26
3.8 Aplicaciones y uso común de los tipos de techos.....	32
4. Modelamiento y diseño de recipientes. ....	34
4.1 Procedimiento.....	34
4.2 Ingreso de datos en software especializado Ametank.....	36
5. Análisis de los tipos de techos.....	47
5.1 Techo fijo cónico soportado. ....	47
5.2 Techo fijo cónico auto soportado. ....	56
5.3 Techo Domo Geodésico. ....	58
5.4 Techos Flotantes. ....	72
6. Análisis de Resultados.....	87
6.1 Tanques con techo cónico fijo soportado.....	87
6.2 Tanque con techo cónico fijo auto soportado.....	88
6.3 Tanque con techo tipo domo geodésico. ....	88
6.4 Tanque con techo flotante interno.....	88
7. Conclusiones.....	94
Referencias .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Características generales del diseño.</i> .....	22
<b>Tabla 2.</b> <i>Perfil de tipo de suelo.</i> .....	25
<b>Tabla 3.</b> <i>Formatos comerciales de planchas de Acero al carbono.</i> .....	28
<b>Tabla 4.</b> <i>Selección de techos según aplicación.</i> .....	33
<b>Tabla 5.</b> <i>Materiales de techos según aplicación.</i> .....	48
<b>Tabla 6.</b> <i>Resumen de pesos. Tanque diseñado con techo cónico con 1 columna.</i> .....	49
<b>Tabla 7.</b> <i>Resumen de pesos. Tanque diseñado con techo cónico con 6 columnas.</i> .....	52
<b>Tabla 8.</b> <i>Resumen de pesos. Tanque diseñado con techo cónico fijo auto soportado.</i> 57	
<b>Tabla 9.</b> <i>Resumen de pesos para el tanque diseñado con techo domo geodésico.</i> .....	71
<b>Tabla 10.</b> <i>Resumen de pesos para el tanque diseñado con techo interno flotante.</i> .....	86
<b>Tabla 11.</b> <i>Cuadro comparativo de pesos.</i> .....	90
<b>Tabla 12.</b> <i>Comparación entre techos fijos soportados.</i> .....	91
<b>Tabla 13.</b> <i>Combinación de domo y techo flotante interno.</i> .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	<i>Techos comunes para hidrocarburos.....</i>	14
<b>Figura 2.</b>	<i>Riesgos de evaporación en tanques con techo fijo.....</i>	17
<b>Figura 3.</b>	<i>Sistema requerido de drenaje de agua sobre techo flotante externo.....</i>	17
<b>Figura 4.</b>	<i>Techo Domo y sabana flotante interna.....</i>	18
<b>Figura 5.</b>	<i>Condiciones de sitio.....</i>	24
<b>Figura 6.</b>	<i>Volúmenes de los tanques según API 650.....</i>	27
<b>Figura 7.</b>	<i>Capacidades y alturas del tanque analizado.....</i>	29
<b>Figura 8.</b>	<i>Software licenciado por la empresa TechnoSoft.....</i>	34
<b>Figura 9.</b>	<i>Imagen de ingreso de datos.....</i>	36
<b>Figura 10.</b>	<i>Imagen de ingreso de datos.....</i>	37
<b>Figura 11.</b>	<i>Imagen de ingreso de datos.....</i>	38
<b>Figura 12.</b>	<i>Distribución de placas sobre el techo del tanque.....</i>	39
<b>Figura 13.</b>	<i>Tipos de arreglo de anillo permitidos.....</i>	40
<b>Figura 14.</b>	<i>Imagen de ingreso de datos.....</i>	41
<b>Figura 15.</b>	<i>Imagen de ingreso de datos.....</i>	42
<b>Figura 16.</b>	<i>Imagen de ingreso de datos.....</i>	43
<b>Figura 17.</b>	<i>Imagen de ingreso de datos.....</i>	44
<b>Figura 18.</b>	<i>Dimensiones de sumideros según API_650.....</i>	45
<b>Figura 19.</b>	<i>Modelado de tanque atmosférico de 100,000 barriles con accesorios.....</i>	46
<b>Figura 20.</b>	<i>Techo fijo cónico.....</i>	47
<b>Figura 21.</b>	<i>Estructura para techo fijo cónico con una columna central y Rafters.....</i>	49
<b>Figura 22.</b>	<i>Información técnica de los 58 Rafters y 01 Columna.....</i>	50
<b>Figura 23.</b>	<i>Elementos de la estructura para techo fijo cónico con columnas, Rafters y Girders.....</i>	51
<b>Figura 24.</b>	<i>Información técnica de Rafters, Girders y Columnas.....</i>	53
<b>Figura 25.</b>	<i>Detalles de placa base de columnas para techo.....</i>	54
<b>Figura 26.</b>	<i>Uniones tipo clip empernadas de la estructura principal.....</i>	55
<b>Figura 27.</b>	<i>Arreglo estructural de rafters y bracings.....</i>	56
<b>Figura 28.</b>	<i>Alerta de diseño a corregir por sobreesfuerzo.....</i>	57
<b>Figura 29.</b>	<i>Ensamble de un techo Domo.....</i>	65
<b>Figura 30.</b>	<i>Bastidor de un Domo ATECO.....</i>	66
<b>Figura 31.</b>	<i>Izaje de techo tipo Domo ATECO.....</i>	66

<b>Figura 32.</b> <i>Unión techo-casco para un Domo ATECO.</i> .....	67
<b>Figura 33.</b> <i>Estimación de superficie de domo geodésico.</i> .....	68
<b>Figura 34.</b> <i>Relación de peso de domos según material y diámetro de tanque (Ateco Tank).</i> ....	69
<b>Figura 35.</b> <i>Ingreso de data a software.</i> .....	69
<b>Figura 36.</b> <i>Configuración estructural del techo Domo.</i> .....	70
<b>Figura 37.</b> <i>Techo tipo Domo.</i> .....	71
<b>Figura 38.</b> <i>Comparación estimada de Emisiones de vapores anual por tipo de techo.</i> .....	72
<b>Figura 39.</b> <i>Comparación de evaporación entre techo fijo y techo flotante interno [m3/año] ...</i>	74
<b>Figura 40.</b> <i>Techo Flotante Interno</i> .....	74
<b>Figura 41.</b> <i>Patatas de soporte para un techo flotante interno</i> .....	79
<b>Figura 42.</b> <i>(a) Sello simple. (b) Sello doble.</i> .....	80
<b>Figura 43.</b> <i>Soportes ajustables.</i> .....	81
<b>Figura 44.</b> <i>Accesorios del techo flotante interno</i> .....	83
<b>Figura 45.</b> <i>Modelamiento con techo abierto.</i> .....	84
<b>Figura 46.</b> <i>Esquema gráfico de un techo flotante interno.</i> .....	84
<b>Figura 47.</b> <i>Modelamiento de tanque con techo flotante interno.</i> .....	85

DISEÑO DE TECHOS  
PARA UN TANQUE  
VERTICAL  
ATMOSFÉRICO DE  
100,000 BARRILES DE  
CAPACIDAD, PARA  
ALMACENAMIENTO DE  
COMBUSTIBLES  
LÍQUIDOS, SEGÚN  
NORMATIVA API\_650

AUTOR:

# PABLO SERAFÍN VILLAVICENCIO BARRERA

## RESUMEN

---

A continuación se mostrará el diseño convencional de un tanque vertical atmosférico de 100,000 Barriles de capacidad, para almacenamiento de combustibles líquidos, basados en la Normativa Internacional API\_650; y a partir de este diseño, se evaluará de manera específica, los distintos tipos de techo que pudiesen ser implementados en dicho tanque, con el objetivo de ayudar al ingeniero diseñador o al especialista constructor, a seleccionar el techo óptimo dependiendo de los criterios de diseño y de servicio que se pueden presentar en la industria, sobre todo de los hidrocarburos. Se evaluarán cuatro (04) tipos de techos: techo fijo cónico soportado, techo fijo cónico auto soportado, techo tipo domo geodésico y techo flotante. Estos techos serán analizados según su aplicación en productos comúnmente usados en las refinerías, como es el Diésel B5, Diésel B20 y las Gasolinas 91, 95 y 98, para finalmente validar el diseño desde una perspectiva de constructibilidad y costo.

**Palabras claves:** Norma API\_650, techo soportado, techo auto soportado, techo tipo domo geodésico, techo flotante.

---

## ABSTRACT

---

Below we will show the conventional design of an atmospheric vertical tank with a capacity of 100,000 Barrels, for storage of liquid fuels, according to the latest edition of the Standard “American Petroleum Institute” API\_650 Regulations. From this design, the different types of roofs that could be implemented in said tank were specifically evaluated, to help the designer engineer or construction specialist select the optimal roof depending on the design and service criteria that can be presented in the different industries, especially hydrocarbons. Four (04) types of roofs will be evaluated: fixed conical roof supported, self-supporting conical fixed roof, geodesic dome ceiling, and floating roofs. These roofs were analyzed according to their application in products commonly used in refineries, such as Diesel DB5, Diesel B20, Gasoline 91, Gasoline 95, and Gasoline 98, to finally validate the design from a point of view of construction and cost.

**Keywords:** Standard API\_650, supported roof, self-supporting roof, geodesic dome roof, floating roof.

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Dentro de la industria en general, el hecho de almacenar las materias primas, los productos terminados, fluidos importantes como agua, aditivos, hidrocarburos, etc., siempre será una ventaja al momento de administrar, reservar y/o dosificar estos productos dentro del proceso industrial.

Existen varias alternativas de almacenamiento, tanques de concreto, reservorios, tanques soterrados, tanques aéreos, silos y demás. Nuestro análisis se va a enfocar específicamente en almacenamiento de hidrocarburos dentro de un tanque de almacenamiento de acero, aéreo, vertical y atmosférico.

Las industrias de hidrocarburos exigen que sus tanques de almacenamiento sean diseñados y certificados siguiendo los lineamientos y recomendaciones estipuladas en la norma API 650, por lo tanto, nuestro diseño del tanque matriz será apegado a la última versión de dicha normativa (API 650, 2021; León, 1994; Rodríguez, 1980 ).

A lo largo de los años, la normativa API\_650 se encarga de recopilar las experiencias de varios profesionales dedicados al rubro del almacenamiento de hidrocarburos mediante tanques atmosféricos, también recopilan los diseños sostenibles en el tiempo debido a las buenas prácticas en la ingeniería y sobre todo aquellos que experimentaron eventos desastrosos ocasionados por diseños deficientes. La recopilación y análisis de dichos diseños proporcionaron información que permitió mejorar y prever diseños seguros y eficientes (Megyesy, 2015; Brawnell y Young, 1959).

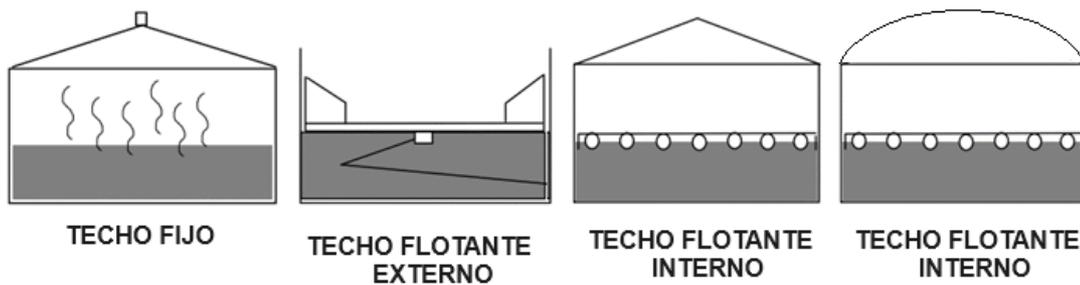
Existen varios estudios y análisis de tipos de techos normados por API\_650, la mayoría de manera específica en un tipo de techo o sometidos a cargas también específicas. Por ejemplo, el “Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo tipo techo flotante de 100,000 barriles de capacidad para la empresa TESCA Ingeniería del Ecuador”, Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, (De la Cadena Ramos y Larrea Esparza, 2012). O el análisis de un techo , cónico fijo y su estabilidad sometidos a un incendio y a cargas comunes y no tan

comunes (Calabro et al., 2014), también hay análisis de techos flotantes frente a acciones térmicas. (Calabro et al., 2014), o diseños y cálculos de tanques con techo tipo domo con fluidos de alta temperatura (Gonzalez, 2018).

La mayoría de los análisis publicados, se enfocan a un diseño específico de tanque y en muchos casos, son tanques con características similares a tanques ya existentes en la planta industrial que requiere el análisis, sin embargo el ingeniero diseñador, no siempre encontrará un tanque a replicar dentro de una industria. Cuando el diseño sea con distintas condiciones a las típicas de dicha planta, el ingeniero deberá discernir entre cual es el techo adecuado para las condiciones que se plantean al momento de diseñar.

### Figura 1

*Techos comunes para hidrocarburos.*



*Nota.* Autoría propia.

La idea principal de esta tesis es proporcionar un criterio para la selección adecuada y óptima del tipo de techo que aplique sobre el producto, y las condiciones a las cuales está sometido.

## 2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

---

Ante la pregunta, ¿Es posible diseñar distintos de tipos de techos para un tanque vertical atmosférico de 100,000 barriles de capacidad, para almacenamiento de combustibles líquidos, según normativa API\_650?, podemos basarnos en la misma normativa para encontrar que existen varios tipos de techos para tanques atmosféricos, los cuales podemos clasificar en techos fijos y flotantes. Los techos fijos se dividen en techos fijos soportados, techos fijos auto soportados (mediante columnas, rafters y girders), y techos tipo domo.

Rafters, es la denominación que se le da a los perfiles estructurales que se colocan en el techo de manera radial que servirá para asentar las placas de acero que conforman el techo (Marquina, 2006).

Girders, son los perfiles estructurales que se colocan en el techo de manera circunferencial que servirá para asentar las placas de acero que conforman el techo (León, 1994).

Los techos flotantes se clasifican en techos flotantes internos y techos flotantes externos.

La selección del tipo de techo puede variar según los parámetros y criterios de diseño establecidos, el factor económico y de constructibilidad son restricciones que ayudarán finalmente a la selección óptima del techo.

La Norma NFPA 30, establece los requerimientos para almacenamiento seguro y adecuado de líquidos combustibles e inflamable con relación a los aspectos de diseño, construcción, capacidad de venteo, sistemas de seguridad, protección contra incendio, corrosión, espaciamiento, diques o contenedores, control de fuentes de ignición, inspección, operación y mantenimiento.

De acuerdo con la clasificación de los productos líquidos combustibles o inflamables según NFPA 30, 1.7.3, se pueden almacenar como sigue:

En techo fijo:

- Líquidos combustible clase IIIA: líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 60°C.
- Líquidos combustible clase IIIB: líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 93.3°C.

En techo flotante:

- Líquidos combustibles clase II: líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 37.8°C y menor que 60°C.
- Líquidos inflamables clase I: líquidos con punto de inflamación menor que 37.8°C.

Este criterio o clasificación inicial según el tipo de producto a almacenar, es muy importante ya que se enfoca en las pérdidas que podrían tener los productos combustibles debido a la evaporación.

#### **Perdidas por evaporación en tanques atmosféricos en techos fijos:**

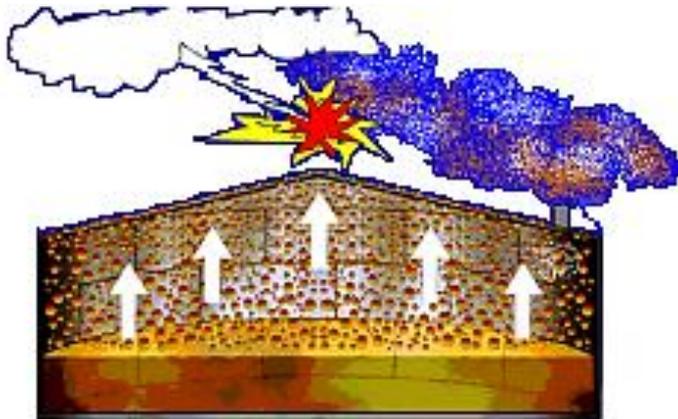
Para el caso particular de tanques de techo fijo, siempre el espacio interior, sobre la superficie libre de líquido, es ocupada por vapores del producto, y fundamentalmente por las fracciones más livianas de este. Esto trae como consecuencia dos tipos de pérdidas por evaporación:

- Por Movimiento: por la operación de llenado y vaciado.
- Por Respiración: por cambios de temperatura.

Dependiendo del diámetro del tanque se tendrá mayor o menor pérdidas por evaporación que conlleva el incremento de la contaminación ambiental, pérdidas económicas y riesgos de incendio.

**Figura 2**

*Riesgos de evaporación en tanques con techo fijo.*



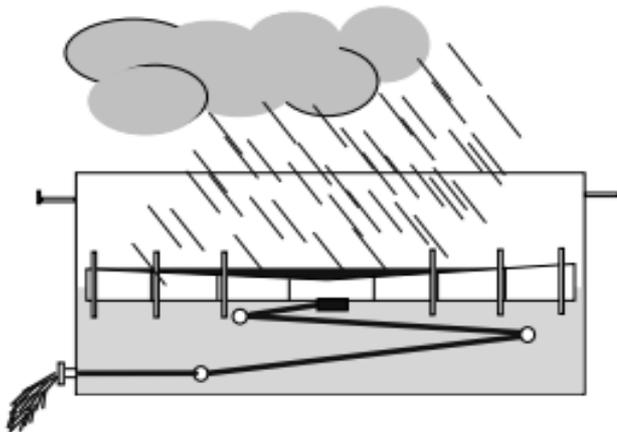
*Nota. Autoría propia.*

### **Perdidas por evaporación en tanques atmosféricos en techos flotantes externo:**

Para controlar las pérdidas por evaporación cerca de los años 30 se inventaron los tanques de techo flotante de tope abierto. La evaporación disminuye al eliminar la superficie libre de líquido, al estar ésta en contacto directo con el techo flotante. Este tipo de techo presenta algunos inconvenientes por estar expuestos a la intemperie. Las mermas en este tipo de tanque dependen entre otros factores del tipo de sello y de la velocidad predominante del viento.

**Figura 3**

*Sistema requerido de drenaje de agua sobre techo flotante externo.*



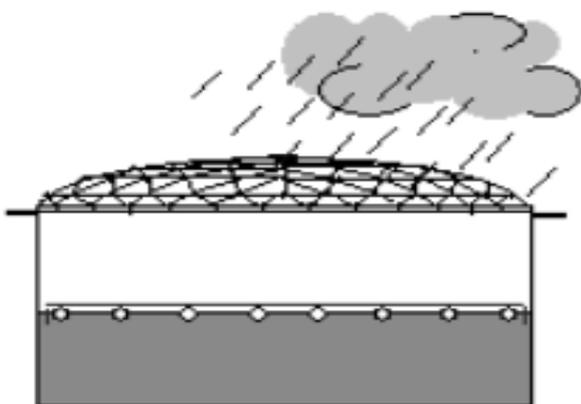
*Nota. Autoría propia.*

### Perdidas por evaporación en tanques atmosféricos en techos flotantes internos:

Dado los inconvenientes operacionales de los tanques de techo flotante de tope abierto en los años 60 se inventan los techos flotantes internos, de esta manera se obtienen estructuras más livianas que logran disminuir las evaporaciones de los tanques de techo fijo hasta en 95%. Las pérdidas son menores que en el caso de los tanques de techo flotante de tope abierto dado que no existe en efecto de vacío producido por el viento en el tope del tanque.

#### Figura 4

*Techo Domo y sabana flotante interna.*



*Nota.* Autoría propia.

Otro análisis importante de cada tipo de techo es la constructibilidad y el mantenimiento que representará el techo seleccionado.

Un índice de estimación para la constructibilidad es el precio del acero construido, por lo tanto, el ingeniero diseñador debe enfocarse en reducir el peso de los elementos del tanque a fin de disminuir los costos de construcción, reducir el tiempo de horas hombre y el tiempo de uso de equipos o máquinas de montaje y construcción. Las medidas del tanque, como el diámetro y la altura, pueden ser ajustados considerando el formato de planchas comerciales en la localidad y utilizando de preferencia el formato completo, evitando la generación de retazos y cortes innecesarios en las dimensiones estándares de fábrica.

Es importante siempre considerar la cantidad de elementos que tendrá el techo y su estructura, ya que las superficies de estas generarán un impacto significativo al momento de realizar limpiezas, recubrimientos, pintura, y soldaduras de

mantenimiento cuando se requiera, menor cantidad de elementos y plantear la menor cantidad de desperdicios, disminuye los costos constructibilidad del tanque y su techo.

Para el caso de los techos especiales, sean estos tipos domo, tipo flotante externo o interno, es siempre mejor considerarlos como un accesorio a ser diseñado por empresas que proveen de estos techos y pueden garantizar la calidad, el diseño conforme a norma y demás características que el diseñador exija al elemento siempre apegado a la normativa vigente.

## 3. MARCO TEÓRICO.

Para el desarrollo de nuestro estudio, empezaremos definiendo las condiciones y criterios de diseño que rodean a nuestro tanque a diseñar.

- **Objetivo del diseño.** Conociendo la problemática establecida, podemos definir cuál es el objetivo general de esta investigación y del diseño a plantearse.
- **Alcance.** Se debe definir claramente todas las actividades que se realizarán para el análisis del tanque y los tipos de techos.
- **Normativas aplicables.** Se deben definir los reglamentos nacionales e internacionales a los cuales nos debemos regir para soportar nuestro diseño.
- **Características del diseño.** Son los parámetros del sitio o la localidad física donde se construirá el tanque, se requieren datos del suelo, de las condiciones climatológicas predominantes en la zona, como sismo, viento, nieve etc.
- **Materiales del tanque.** Es un factor importante al momento de diseñar, la selección de los materiales y sus especificaciones técnicas, ya vienen enmarcados en el API\_650.
- **Cargas de diseño.** Determinación de las cargas a las cuales estará sometido nuestro tanque según las bases de diseño.
- **Diseño general del tanque.** Cálculo y diseño de cada uno de los elementos del tanque, considerando las recomendaciones de las normativas aplicables vigentes.

### 3.1 OBJETIVO

El objetivo principal del presente documento es diseñar distintos tipos de techos y sus elementos estructurales idóneos, para un (01) tanque atmosférico de almacenamiento de hidrocarburos, según la normativa API-650, con el propósito de dar alternativas al Ingeniero diseñador y sobre todo brindarles una herramienta técnica que le permita discernir entre un tipo de techo versus otros tipos de techos analizados, a los menores costos y maximizando tiempos en la constructibilidad del tanque.

## 3.2 ALCANCE

Este estudio se enfocará en diseñar un tanque vertical de almacenamiento atmosféricos bajo la norma API 650 a operar en la ciudad de Guayaquil – Ecuador. Se definirá la configuración óptima para el tanque, los espesores del fondo, casco, techo, estructura interna y accesorios.

Se evaluarán cuatro (04) tipos de techos:

- Techo fijo cónico soportado
- Techo fijo cónico auto soportado
- Techo tipo domo geodésico
- Techo flotante interno

Estos tipos de techo serán analizados según su aplicación en productos comúnmente usados en las refinerías, como son los Diéseles y las Gasolinas.

## 3.3 NORMATIVAS APLICABLES.

Para la evaluación del desempeño estructural de los elementos del tanque, relativo a las cargas de diseño a las que se someterá la estructura proyectada, se utilizarán las siguientes normas, reglamentos y legislación nacional aplicable:

- American Institute of Steel Construction (AISC)

AISC-ASD - 1989	Allowable Stress Design (ASD).
-----------------	--------------------------------

- American Petroleum Institute (API)

API Standard 650 - 2021	Welded tanks for oil storage. 13 <sup>th</sup> Edition
API Standard 653 - 2014	Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction.

- American Welding Society (AWS)

D1.1/D1.1M – 2020	Structural Welding Code – Steel.
-------------------	----------------------------------

- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

NEC – SE – 2015	Diseño Sismo Resistente
-----------------	-------------------------

- American Society for Testing and Materials (ASTM)

A36/A36M - 2019	Standard Specification for Carbon Structural Steel.
-----------------	---

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

Las características del tanque serán determinadas por el ingeniero diseñador y por el cliente o usuario final, sin embargo, para este análisis asumiremos algunas condiciones que son necesarias tener claras y definidas para empezar el diseño, por otro lado, tendremos las características que deben ir abrazadas a las normativas nacionales e internacionales aplicables al diseño del tanque y sus elementos, estas normas fueron indicadas en la subunidad anterior 3.3.

**Tabla 1**

*Características generales del diseño.*

Parámetros	Tanque	
<b>Estándar aplicable</b>	API - 650	
<b>Tipo de Tanque</b>	Atmosférico vertical de acero	
<b>Volumen</b>	100,000 barriles	
<b>Producto por almacenar</b>	Diesel DB5 y D20	Gasolinas 91, 95 y 98
<b>Densidad del fluido</b>	850 kg/m <sup>3</sup>	720 kg/m <sup>3</sup>
<b>Ubicación de Tanque</b>	Guayaquil - Ecuador	
<b>Factor Sísmico Z</b>	0.4	
<b>Diámetro</b>	A definir	
<b>Altura</b>	A definir	
<b>Tipos de techo</b>	Techo fijo cónico soportado Techo fijo cónico auto soportado Techo tipo domo geodésico Techos flotantes	

*Nota:* Autoría propia

### 3.5 MATERIALES PRINCIPALES

Los materiales de los elementos que conforman la estructura del tanque deberán cumplir con las siguientes normas:

- Perfiles Estructurales: ASTM A-36,  $F_y = 2,531 \text{ kg/cm}^2$
- Placas Estructurales: ASTM A-36,  $F_y = 2,531 \text{ kg/cm}^2$
- Soldadura: De acuerdo con AWS D 1.1

Los materiales de las planchas del techo, casco y fondo en general estarán acordes con la sección 4, tabla 4.4a del código API 650.

Los perfiles estructurales serán de acero al carbono acorde con el numeral 4.4 del código API 650.

Tuberías y accesorios acorde con la sección 4 del código API 650.

El sobre espesor de corrosión a considerar para los materiales, considerando el sitio donde se instalará el tanque, en este caso para la ciudad de Guayaquil, será como mínimo, para las planchas de fondo y casco 1.58 mm (1/16”), para las planchas de la placa anular se considerará 3.175 mm (1/8”).

## 3.6 CARGAS DE DISEÑO.

Se considerarán la totalidad de cargas y su combinación según los criterios establecidos en la Norma API 650, y en particular las siguientes:

- Cargas de viento, según norma NEC-SE-CG de la NEC.
- Cargas de sismo, según norma NEC-SE-DS de la NEC.
- Cargas vivas más otras cargas tales como granizo, arena en función de la normativa o legislación aplicable.

### 3.6.1 CARGA DE VIENTO.

La normativa NEC-SE-CG en su acápite 3.2.4 nos indica: “La velocidad de diseño para viento hasta 10 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, pero no menor a 21m/s (75 km/h).”

En caso tengamos una mayor altura, se utilizará la velocidad corregida del viento indicada en la normativa nacional.

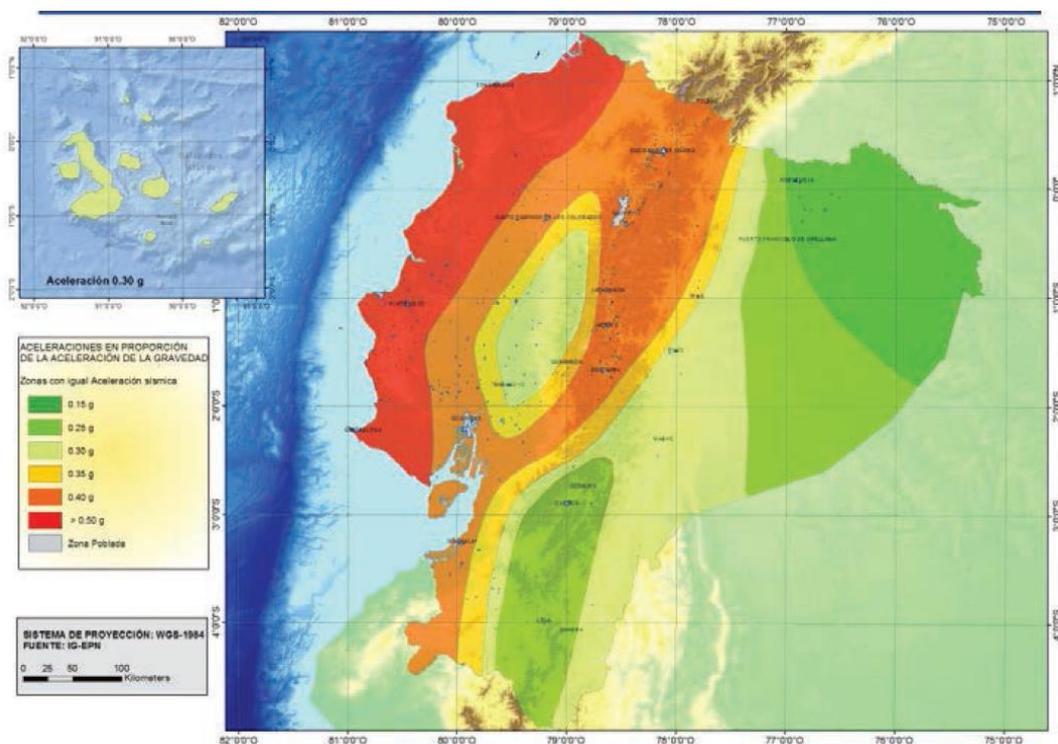
### 3.6.2 CARGA DE SISMO.

El tanque se ubicará en la ciudad de Guayaquil. Con el fin de determinar las características sísmicas y los parámetros de diseño para el tanque, se asumirán como un tipo de suelo denso o roca blanda, asumiendo valores de SPT de 55. De las tablas técnicas que presenta la NEC, podemos determinar los siguientes datos para nuestro diseño.

- Lugar : Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Zona Sísmica: Zona Sísmica V, Peligro sísmico Alto. **Z = 0.40**

**Figura 5**

*Condiciones de sitio.*



ELOY ALFARO	ELOY ALFARO (DURAN)	DURAN	GUAYAS	0.40
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

*Nota.* Fuente NEC-SE-DS.

Para determinar el tipo de suelo asumiremos perfil de suelo muy denso o roca blanda  $N=55$  SPT, el cual según la Tabla 2 de la normativa NEC es el perfil “C”.

**Tabla 2**

*Perfil de tipo de suelo.*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa

*Nota.* Fuente NEC-SE-DS.

A continuación, seleccionamos los coeficientes más determinantes de las diferentes tablas que tiene la normativa NEC para encontrar el factor sísmico predominante.

- $F_a$  : **1.25** Coeficiente de aceleración. (Tabla 3. NEC)
- $F_d$  : **1.19** Coeficiente de desplazamiento. (Tabla 4. NEC)
- $F_s$  : **1.02** Coeficiente de comportamiento del subsuelo (Tabla 5. NEC)
- $\eta$  : **1.80** Provincias de la Costa Ecuatoriana
- $r$  : **1.0** Para todos los suelos (excepto el suelo tipo E)
- $I$  : **1.0** Tanques. Coeficiente de importancia (Tabla 6. NEC)
- $R$  : **8.0** Factor de Reducción. (Tabla 15. NEC)
- $\phi_p$  : **1.0** Coeficiente de regularidad en planta (Tabla 11. NEC)
- $\phi_e$  : **1.0** Coeficiente de regularidad en elevación (Tabla 11. NEC)

Con estos parámetros podemos definir el coeficiente de aceleración sísmica  $S_p$  (g) a considerarse como carga sísmica en el tanque según el apéndice P del estándar API-650. Este factor la NEC la conoce como coeficiente Sísmico  $C_s$ :

$$C_s = \frac{I \cdot S_a(T_a)}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_e}$$

$$Sp(g) = Cs \quad (3 - 1)$$

$$Sp(g) = \frac{I \times S_a(T_a)}{R \times \emptyset_P \times \emptyset_E} \quad (3 - 2)$$

$$Sp(g) = \frac{1.0 \times 0.87}{8 \times 1 \times 1}$$

$$Sp(g) = 0.10875 \quad (3 - 3)$$

### 3.7 DISEÑO GENERAL DEL TANQUE.

Al momento de diseñar un tanque vertical atmosférico, los primeros parámetros que debemos conocer son: La capacidad a almacenar (volumen), el tipo de líquido a contener (producto), y las condiciones físicas (espacio, viento, zona sísmica, etc.) del lugar donde será instalado el tanque. Una vez claros estos aspectos podemos definir la geometría adecuada según las recomendaciones de las buenas prácticas de construcción, como es la relación del diámetro (D) del tanque versus la altura (H) del tanque, la cual es conveniente aproximar al valor de  $H/D < 0,5$ . Finalmente, podemos seleccionar el tipo de techo a implementar en el tanque (Corrales, 2019; Marquina, 2006).

Si bien es cierto que un tanque con mayor diámetro que altura, se vuelve más estable y efectivo al momento de diseñarlo contra volteo, un mayor diámetro implica una mayor área a cubrir por el techo. De esta manera, el techo puede ser la parte más complicada del diseño cuando el tanque tiene un diámetro grande y este debe mantenerse en el lugar mediante apoyos de acero para evitar que colapse.

El tanque para almacenamiento de Biodiésel o Gasolina debe contener un volumen neto establecido de 100,000 barriles ( $15,900 \text{ m}^3$ ) por lo que definiremos el diámetro y el alto del tanque en función a ese valor y con la recomendación del estándar a procurar una relación de Altura vs Diámetro, en el rango  $0.5 < H/D < 0.75$ .

$$V = 15,900 \text{ m}^3$$

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} * H \quad (3 - 4)$$

Si asumimos que  $H = 0.5 \cdot D$

$$V = \frac{\pi \cdot (D)^2}{4} \cdot 0.5 \cdot D \tag{3-5}$$

Conocemos el volumen, despejamos  $D$  y resolvemos la altura y el diámetro preliminar:

$$D = \left( \frac{4V}{\pi \cdot 0.5} \right)^{1/3} = 34.4 \text{ m} \tag{3-6}$$

Por lo tanto:

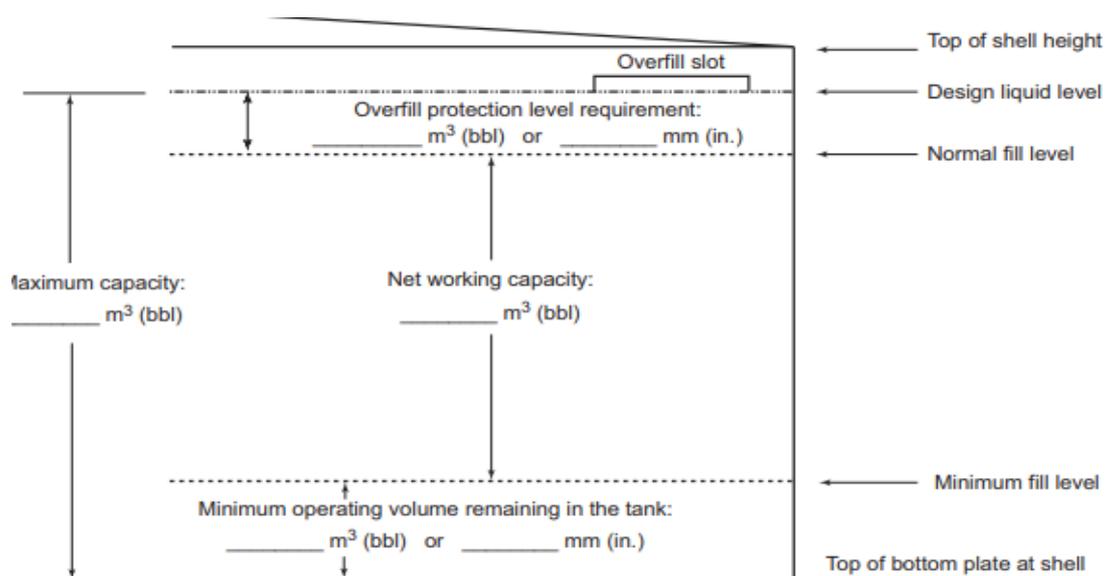
$$H = 0.5 \cdot D = 17.7 \text{ m} \tag{3-7}$$

Según la normativa API 650, acápite 5.2.5, la máxima capacidad del tanque debe considerar la capacidad neta de trabajo más un volumen de sobre llenado o nivel de protección. En este caso el sobre llenado lo definiremos por el tamaño de la posible ola que se generaría en caso de sismo, más conocido como francobordo.

En la siguiente figura se puede ver con mayor claridad las alturas a considerar en el diseño:

**Figura 6**

*Volúmenes de los tanques según API 650.*



*Nota.* Tomado del Estándar API\_650, acápite 5.3.2.2.

Las planchas de acero estructural, que comercialmente se pueden encontrar en Ecuador son de formatos en mm y en pulgadas, y varían según su espesor:

**Tabla 3**

*Formatos comerciales de planchas de Acero al carbono.*

Espesor en mm [pulg.]	Formato 1		Formato 2	
	Largo metros [pies]	Ancho metros [pies]	Largo metros [pies]	Ancho metros [pies]
4.75 [3/16]	2.44 [8.0]	1.22 [4.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
5.0 [3/16]	2.44 [8.0]	1.22 [4.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
6.0 [1/4]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
6.35 [1/4]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
8.0 [5/16]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
9.0 [3/8]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
12 [1/2]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
15 [5/8]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
16 [5/8]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
18 [3/4]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]
19 [3/4]	3.00 [10.0]	1.50 [5.0]	6.00 [20.0]	1.80 [6.0]

*Nota.* Autoría propia.

Consideraremos planchas de ancho 1.80 m, y evitaremos retazos en el material o cortes innecesarios, por lo cual pondremos 10 anillos de altura 1.80 m, que formarán la altura final del casco ( $H_f = 18.0$  m).

De igual manera para el diámetro final del tanque, calculamos el perímetro mínimo requerido, y estimaremos el perímetro sin desperdicio de material con el formato comercial de 6.0 m. en los distintos espesores. El perímetro mínimo inicial es  $P_i = \pi \cdot D = 108.07$  m. para evitar retazos en el material o cortes innecesarios, podemos usar un perímetro final múltiplo de 6.0 m. quedando un perímetro final de 108.00 que corresponde a 18 planchas de 6.0 m de largo.

Diámetro final del tanque  $D_f = 34.38$  metros.

$$H / D = 0.523$$

$$(3 - 8)$$

El nivel de diseño máximo del líquido es aproximadamente un 95% del volumen bruto por que podemos definir los siguientes valores:

Volumen Máximo Neto  $V_F = 105,102$  Bbls. ( $16,710 \text{ m}^3$ ) @ 18.0 metros

Volumen Máximo de Diseño  $V_F = 100,000$  Bbls. ( $15,900 \text{ m}^3$ ) @ 17.125 metros

Volumen Útil de trabajo  $V_U = 98,100$  Bbls. ( $15,595 \text{ m}^3$ ) @ 17.0 metros

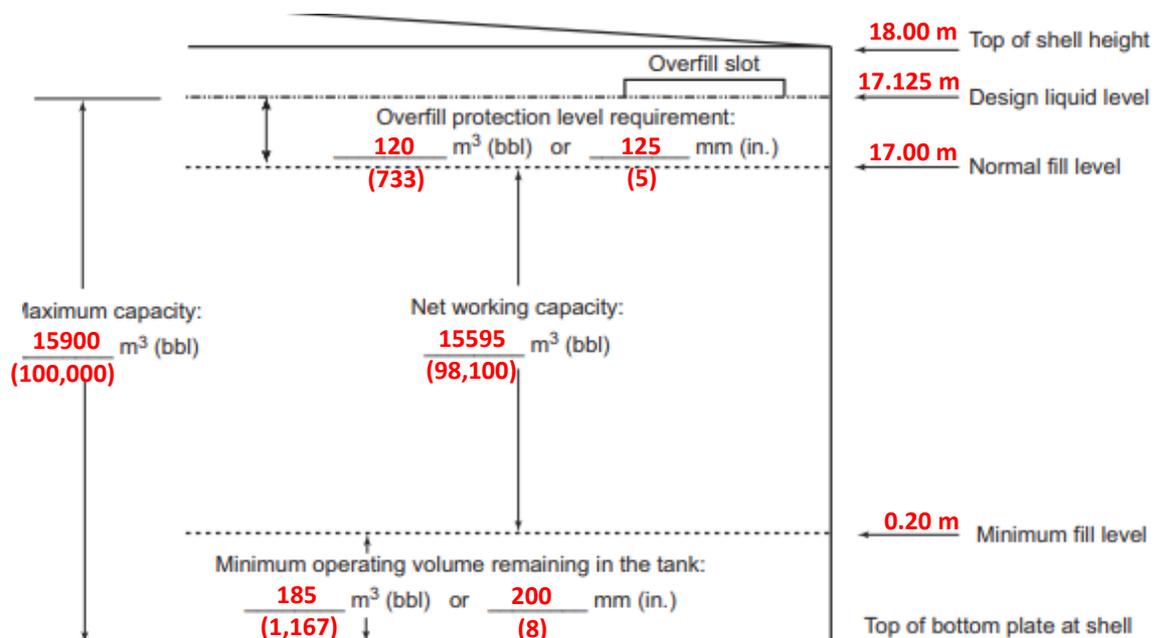
El Volumen Útil lo podemos definir físicamente con las alturas de los sensores de nivel bajo y alto para garantizar la capacidad solicitada por el cliente.

El francobordo por considerar debe ser mayor a la altura de la ola que se produce al momento de un sismo (dato a calcular).

A continuación, podemos representar gráficamente los volúmenes y las alturas que cumplen con lo requerido:

**Figura 7**

*Capacidades y alturas del tanque analizado.*



*Nota.* Tomado del Estándar API\_650, acápite 5.3.2.2.

### 3.7.1 DISEÑO DEL CASCO

El cálculo de espesores de planchas del casco se realizará con el método “One Foot” acorde con el numeral 5.6.3 del código API\_650.

El criterio de apilado de anillos de casco será; alineadas al ras interno, es decir el tanque tendrá el mismo diámetro interno en todos sus anillos.

### 3.7.2 DISEÑO DEL FONDO

La pendiente mínima del fondo será 1:120 de tipo cónico con punto alto en el centro del tanque.

El fondo del tanque considerará placa anular perimetral, debido a la alta corrosión del ambiente y la probable presencia de agua en el producto. El sumidero de agua para el fondo será de acuerdo con el apéndice 5.8.7 del API\_650.

### 3.7.3 DISEÑO DE LA ESCALERA DE ACCESO

Las plataformas, pasillos y escaleras deben estar de acuerdo con la Tabla 5.17 y la Tabla 5.18 del código API 650 y OSHA 1910.25 a menos que las normas de seguridad nacionales aplicables para la ubicación proporcionen reglas más exigentes.

Los tanques que requieren inspección medición o muestreo desde el techo dispondrán de una escalera en espiral, y plataforma para dichas operaciones.

Las escaleras, exceptuando las denominadas de servicio, no podrán tener un ancho menor de 0.90 m con un declive máximo de 45º y mínimo de 20º con una altura libre vertical en cualquier punto de ellas de 2.03 m (80”). y sus escalones excluyendo salientes, no tendrán menos de 0.23 m de paso.

Los peldaños de las escaleras y pisos de plataformas serán de tipo rejilla antideslizante 30x30x30x3 (Grating).

### 3.7.4 DISEÑO DE TECHOS SOPORTADO Y AUTO SOPORTADO

Los techos de tipo soportado y auto soportado serán de forma cónica, y según aplique, será soportado por columnas internas y vigas (girders y rafters) según el numeral 5.10 de la normativa API\_650.

La pendiente mínima del techo será 1:16 (3.6°) de tipo cónico con punto alto en el centro del tanque. Recomendación del numeral 5.10.4.

Debido al diámetro del tanque, el techo tendrá junta frágil en la unión techo-casco, dado por 5.10.2.6 del API\_650.

### 3.7.5 DISEÑO DE TECHO TIPO DOMO

El techo de tipo domo será diseñado basado en el anexo G de la normativa API\_650 “Structurally-Supported Aluminium Dome Roofs”, donde el material a utilizar es el aluminio y prevalecen todos los requerimientos de la normativa salvo que la máxima temperatura de diseño no debe exceder los 90 °C (200 °F).

Un techo domo debe tener un radio constructivo de máximo 1.2 veces el radio del tanque, y mínimo 0.8 veces de este, por recomendación de la normativa. Cuando consideramos techo tipo domo, el tanque debe diseñarse como tanque abierto, es decir, requiriendo anillos de refuerzo en el casco y con el peso del domo de aluminio por sobre el tanque, esto aporta estabilidad del tanque ante sismos.

### 3.7.6 DISEÑO DE TECHO FLOTANTE

Los techos de tipo flotante pueden ser del tipo Flotante Interno, o del tipo Flotante Externo. Este tipo de techos será basado en la normativa API\_650 por el anexo C “External Floating Roofs, y por el anexo H “Internal Floating Roof”.

## 3.8 APLICACIONES Y USO COMÚN DE LOS TIPOS DE TECHOS

Al momento de seleccionar el tipo de techo a instalarse sobre los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, es necesario considerar algunos factores importantes.

Los productos flamables e inflamables tienen características físicas y químicas particulares que deben ser considerados al momento de ser contenidos, por lo tanto, un factor determinante es el desprendimiento de vapores que tiene el producto en recipientes abiertos.

Para las gasolinas, la tensión de vapor es bastante elevada cuando se encuentra a temperaturas ambientes ( $18^{\circ}\text{C}$  -  $20^{\circ}\text{C}$ ) siendo de alrededor de  $0.7 \text{ kg/cm}^2$ . Comparativamente, el agua obtiene ese valor a los  $90^{\circ}\text{C}$ .

Esta condición hace que las gasolinas sean volátiles y tengan una notable y continua evaporación.

Para los Diésel es la tensión de vapor no es tan severa a temperatura ambiente por lo que a  $20^{\circ}\text{C}$  no alcanza evaporación, o su concentración nociva en el aire se alcanza muy lentamente.

Los techos más adecuados para evitar la evaporación son aquellos que aíslan el producto del ambiente. Para las gasolinas es conveniente utilizar techos tipo flotante ya que el cuerpo del techo sube y baja con el nivel del líquido, evitando la acumulación de vapores dentro del tanque, y dependiendo del consumidor, las legislaciones locales, o costos de construcción, se puede optar por colocar un techo flotante interno, flotante externo, o domo.

Con estos criterios y recomendaciones de la normativa, podemos elegir el tipo de techo para las gasolinas; los techos flotantes ya sean internos o externos son muy confiables y serán utilizados en nuestro estudio.

Por otro lado, los techos fijos cónicos son ideales para productos que no generen gran cantidad de gases al momento de ser almacenados. Los techos cónicos fijos por siempre han sido los óptimos, económicos, y seguros para instalar y contener los productos líquidos dentro de la industria de los hidrocarburos. Según el diámetro del tanque se puede optar por un techo auto soportado, el cual no requiere columnas internas, ya que se apoya directamente sobre la periferia del casco del tanque, y según vaya aumentando el diámetro se pueden colocar una columna central, o varias columnas de apoyo en la parte interior, pasando a ser un techo soportado.

**Tabla 4**

*Selección de techos según aplicación.*

PRODUCTOS	PRESION DE VAPOR / EVAPORACIÓN	TECHO ÓPTIMO	ALTERNATIVA
<b>DIESEL DB5</b>	0.405 KPa @ 37.8°C <b>BAJA</b>	FIJO CÓNICO	Fijo Cónico Auto-Soportado
<b>DIESEL D20</b>	< 0.1 KPa @ 40°C <b>BAJA</b>	FIJO CÓNICO	Fijo Cónico Soportado
<b>GASOLINA 90</b>	73.09 KPa @ 20°C <b>ELEVADA</b>	FLOTANTE	Tipo Domo
<b>GASOLINA 95</b>	68.64 KPa @ 20°C <b>ELEVADA</b>	FLOTANTE	Flotante Interno
<b>GASOLINA 91</b>	71.87 KPa @ 20°C <b>ELEVADA</b>	FLOTANTE	Flotante Externo

*Nota:* Autoría propia.

## 4. MODELAMIENTO Y DISEÑO DE RECIPIENTES.

### 4.1 PROCEDIMIENTO

El modelamiento, análisis y diseño mecánico se realizará haciendo uso del software especializado de ingeniería para Tanques Atmosféricos, AMETANK en su versión 15.2.16.

#### Figura 8

*Software licenciado por la empresa TechnoSoft.*



AMETank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

This computer program is protected by copyright law and international treaties. Unauthorized reproduction or distribution of this program or a portion of it may result in severe civil and criminal penalties, and will be prosecuted to the maximum extent allowable under the law.

TechnoSoft disclaims all warranties, expressed or implied, including but not limited to implied warranties of merchantability and fitness of this application software for a particular purpose with respect to any defects or errors in the application, documentation, outputs, calculations, reports, and the license granted herein in particular, and without limiting operation of the license with respect to any particular application, use, or purpose. In no event shall TechnoSoft be liable for any loss of profit or any other commercial damage, including but not limited to special, incidental, consequential, or other damages resulting from the direct or indirect use of the license or related services associated with the use of the license.

AMETank Support  
E-MAIL: [ametank\\_support@technosoft.com](mailto:ametank_support@technosoft.com)  
WEB: <http://www.ametank.com/>  
PHONE: (513) 985-9877

OK

Abort

*Nota.* Imagen tomada de Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft

Utilizando la herramienta AMETANK, la cual cuenta con la programación automática de contrastación con la norma API 650, se procedió a la modelación y cálculo de la siguiente forma:

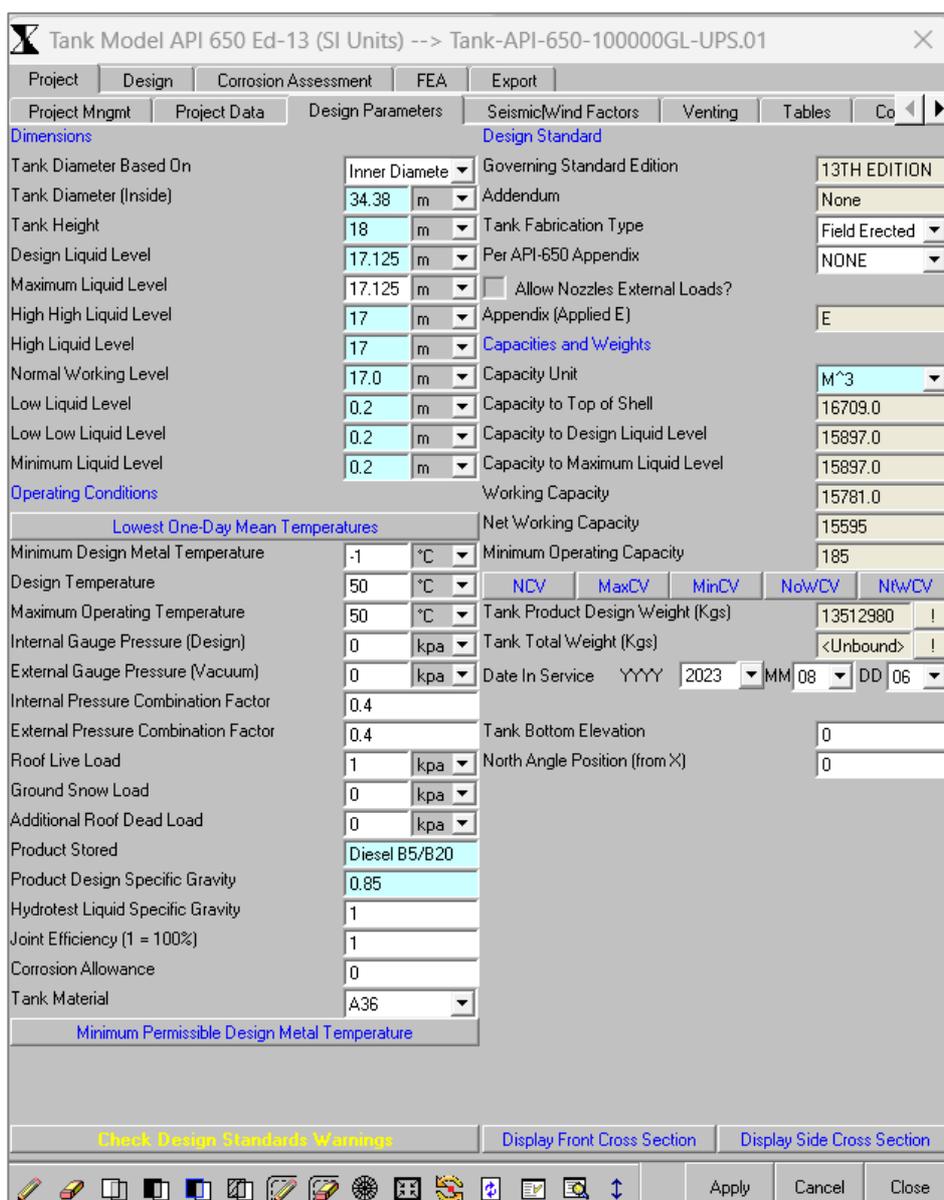
- Se ingresaron las dimensiones y características de los materiales de todos los elementos que conforman el Tanque en evaluación.
- El análisis mecánico de las planchas del casco preseleccionadas se realizó de manera interactiva, verificando si estas se encuentran correctamente seleccionadas, de no ser así, se procederá a incrementar los espesores de las planchas del casco, teniendo en cuenta que los espesores de plancha de los anillos inferiores no deben ser menores que el anillo superior, de tal manera que se obtenga espesores que soporten los esfuerzos hidrostáticos y las cargas aplicadas al casco del Tanque.
- Se procedió a realizar el análisis por efectos de las cargas de viento, para la verificación de los espesores seleccionados en la primera fase del diseño mecánico, además de verificar si es necesario o no la instalación de rigidizadores al cilindro y de anclajes mecánicos, se procederá a diseñarlos de acuerdo con los requerimientos establecidos por la norma API\_650.
- Se procedió a realizar el análisis por efectos de cargas sísmicas de acuerdo a los requerimientos establecidos en la norma API 650, según lo indicado en el apéndice E, donde se pudieron revisar si los espesores seleccionados para las planchas del casco pueden soportar las cargas sísmicas, además de verificar si es necesario o no la instalación de anclajes mecánicos en la base del tanque para que sea correctamente estable; de ser necesario la instalación de anclajes mecánicos, se procederá a diseñarlos de acuerdo a los requerimientos establecidos por la norma.
- De necesitarse la instalación de anclajes mecánicos, se seleccionarán los que cubran las solicitudes de resistencia, que demandan las cargas estimadas según los análisis realizados en los puntos anteriores.

## 4.2 INGRESO DE DATOS EN SOFTWARE ESPECIALIZADO AMETANK

En la pestaña de parámetros de diseño ingresamos las dimensiones y las condiciones de operación ya definidas, y el software calcula inmediatamente las capacidades del tanque. Como se observa, los valores calculados previamente son conformes según las alturas indicadas en la siguiente figura.

**Figura 9**

*Imagen de ingreso de datos.*



The screenshot shows the 'Design Parameters' tab of the AMETANK software. The window title is 'Tank Model API 650 Ed-13 (SI Units) --> Tank-API-650-100000GL-UPS.01'. The interface is divided into several sections:

- Dimensions:**
  - Tank Diameter Based On: Inner Diameter
  - Tank Diameter (Inside): 34.38 m
  - Tank Height: 18 m
  - Design Liquid Level: 17.125 m
  - Maximum Liquid Level: 17.125 m
  - High High Liquid Level: 17 m
  - High Liquid Level: 17 m
  - Normal Working Level: 17.0 m
  - Low Liquid Level: 0.2 m
  - Low Low Liquid Level: 0.2 m
  - Minimum Liquid Level: 0.2 m
- Design Standard:**
  - Governing Standard Edition: 13TH EDITION
  - Addendum: None
  - Tank Fabrication Type: Field Erected
  - Per API-650 Appendix: NONE
  - Allow Nozzles External Loads?:
  - Appendix (Applied E): E
- Capacities and Weights:**
  - Capacity Unit: M<sup>3</sup>
  - Capacity to Top of Shell: 16709.0
  - Capacity to Design Liquid Level: 15897.0
  - Capacity to Maximum Liquid Level: 15897.0
  - Working Capacity: 15781.0
  - Net Working Capacity: 15595
  - Minimum Operating Capacity: 185
- Operating Conditions:**
  - Lowest One-Day Mean Temperatures:
    - Minimum Design Metal Temperature: -1 °C
    - Design Temperature: 50 °C
    - Maximum Operating Temperature: 50 °C
  - Internal Gauge Pressure (Design): 0 kpa
  - External Gauge Pressure (Vacuum): 0 kpa
  - Internal Pressure Combination Factor: 0.4
  - External Pressure Combination Factor: 0.4
  - Roof Live Load: 1 kpa
  - Ground Snow Load: 0 kpa
  - Additional Roof Dead Load: 0 kpa
  - Product Stored: Diesel B5/B20
  - Product Design Specific Gravity: 0.85
  - Hydrotest Liquid Specific Gravity: 1
  - Joint Efficiency (1 = 100%): 1
  - Corrosion Allowance: 0
  - Tank Material: A36
- Other Parameters:**
  - Tank Product Design Weight (Kgs): 13512980
  - Tank Total Weight (Kgs): <Unbound>
  - Date In Service: YYYY 2023 MM 08 DD 06
  - Tank Bottom Elevation: 0
  - North Angle Position (from X): 0

At the bottom, there are buttons for 'Check Design Standards Warnings', 'Display Front Cross Section', and 'Display Side Cross Section'. A toolbar with various icons and 'Apply', 'Cancel', and 'Close' buttons is also visible.

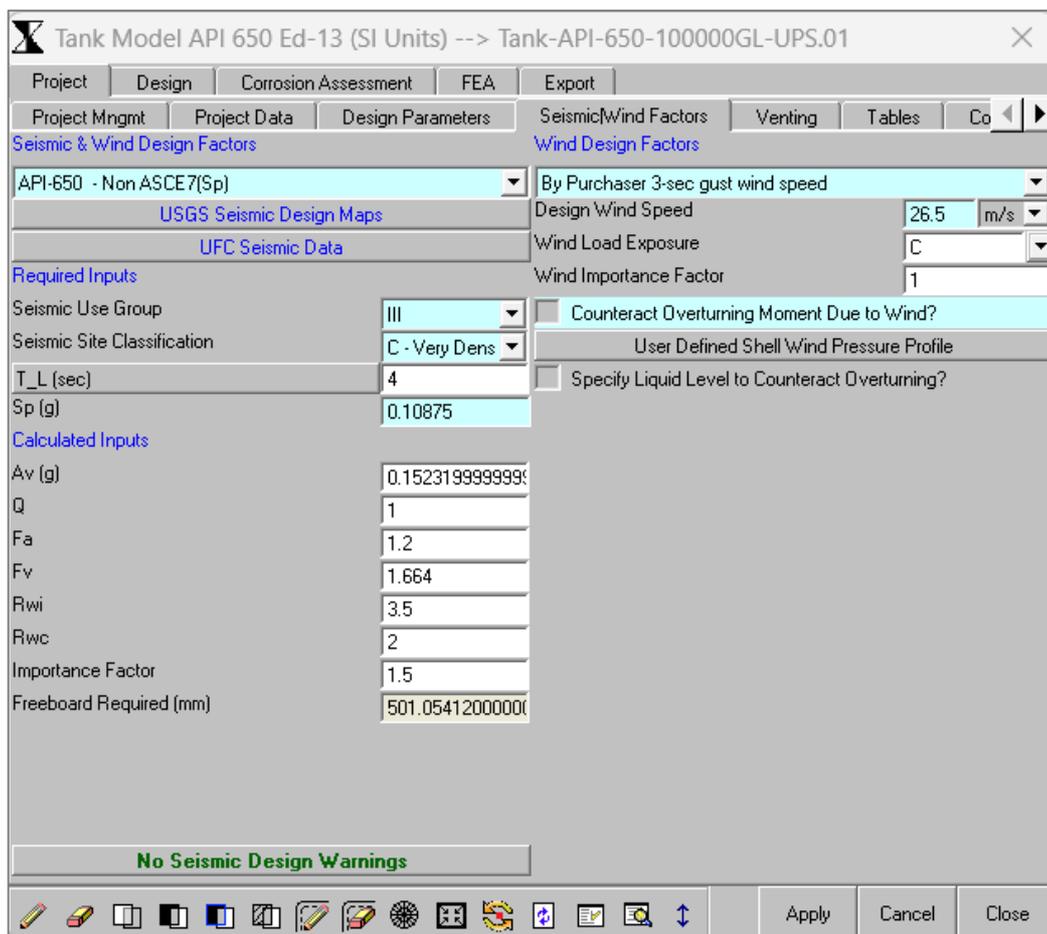
Fuente. Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft

En la pestaña de factores sísmicos, se selecciona la opción Non ASCE7 (Sp) ya que el tanque está ubicado fuera de los EE. UU. y según el API\_650 aplica esta opción, y para este caso, el valor de (Sp=0.10875) calculado según la normativa NEC. Podemos ver que el Francobordo requerido es de 501 mm por lo que el diseño es conforme físicamente para soportar una ola interna en caso de sismo.

En la pestaña del factor de viento, colocamos la velocidad corregida en la normativa NEC-CG donde nos indica según la altura de la estructura (18 m) en condiciones despejadas, una velocidad aproximada de 26.5 m/s y un factor de Importancia 1.

### Figura 10

Imagen de ingreso de datos.

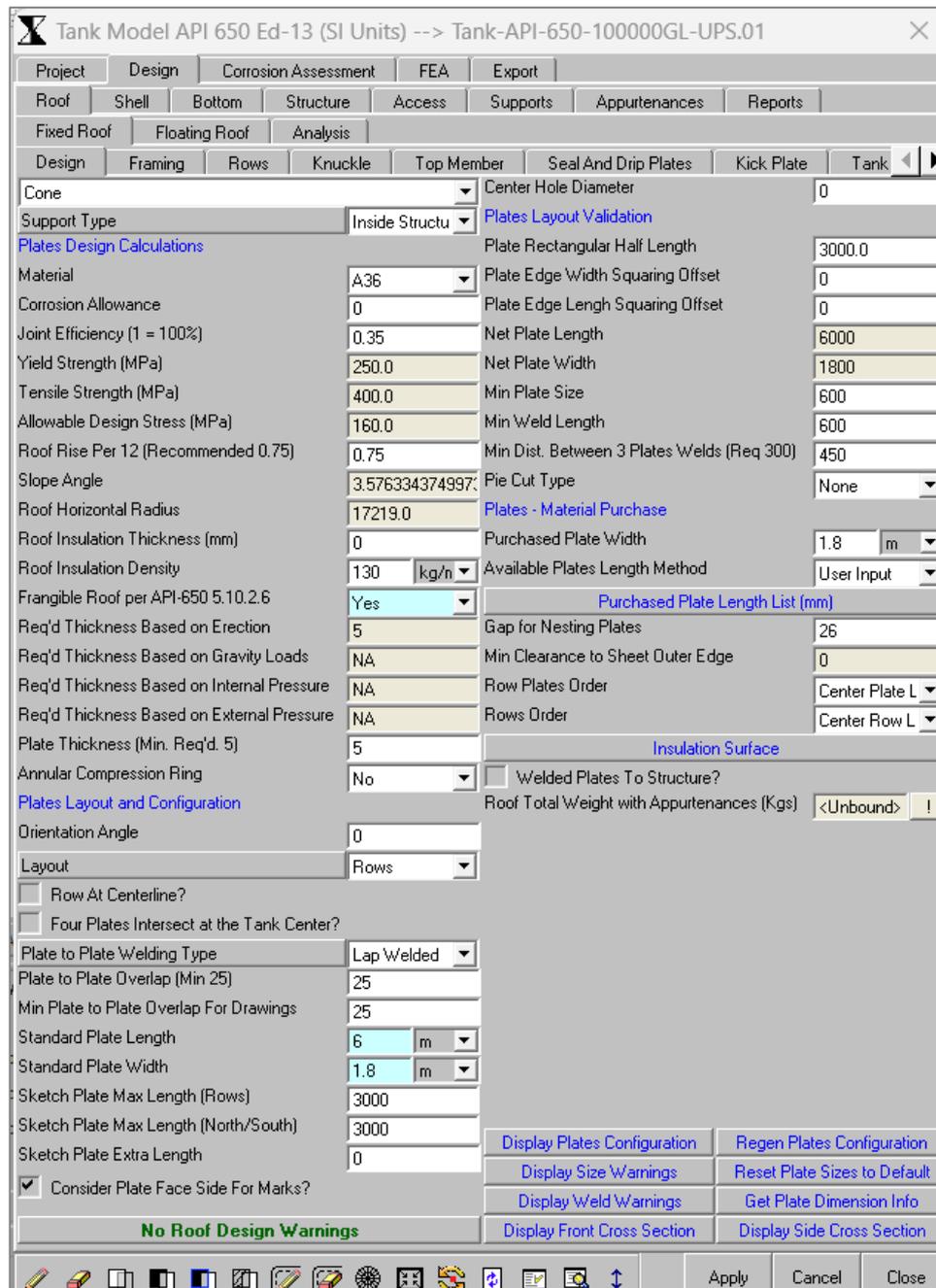


Fuente. Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft

En la pestaña **Diseño del Techo** insertamos los valores conocidos, los calculados y los valores normados por el API\_650. El formato comercial de las planchas para un espesor de 5.0 mm será de 6000mm x 1800mm.

**Figura 11**

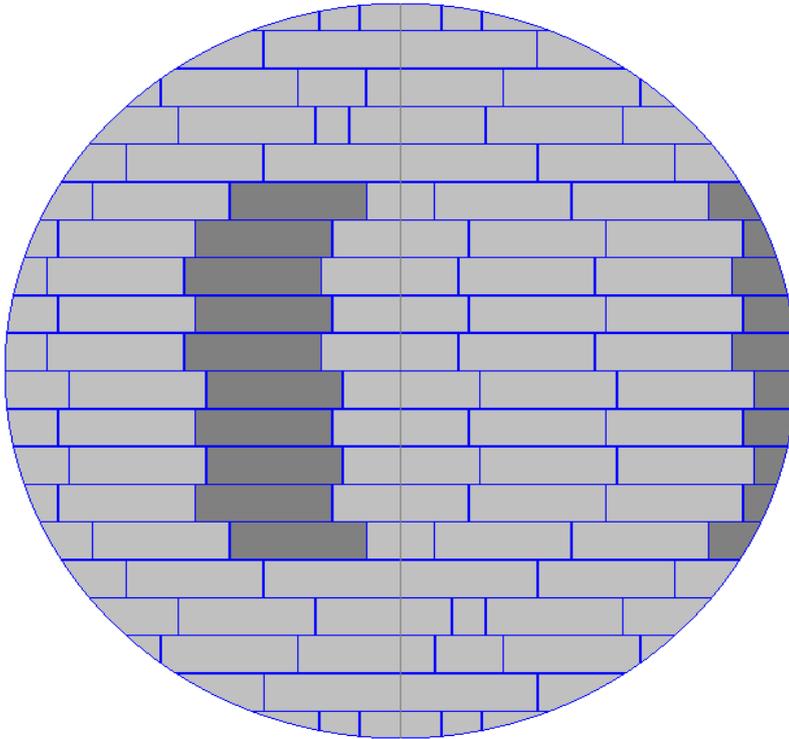
*Imagen de ingreso de datos.*



*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

**Figura 12**

*Distribución de placas sobre el techo del tanque.*

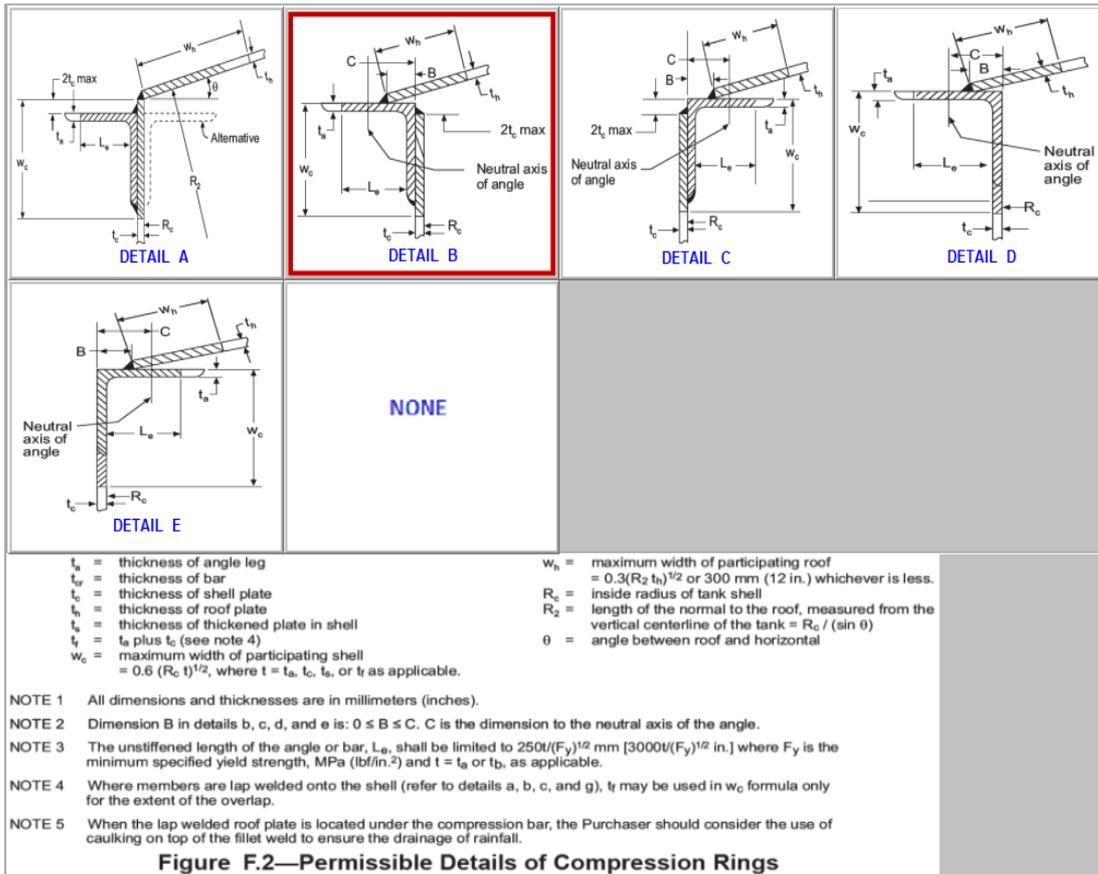


*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft

La unión entre techo y casco viene dada por el Anexo F del API\_650, elegiremos el sistema de montaje B (Detalle B) por la facilidad constructiva del rolado del perfil "L" y la practicidad al momento de unir el ángulo a la plancha rolada del último anillo del casco.

**Figura 13**

*Tipos de arreglo de anillo permitidos.*



*Nota.* Fuente API\_650 Standard.

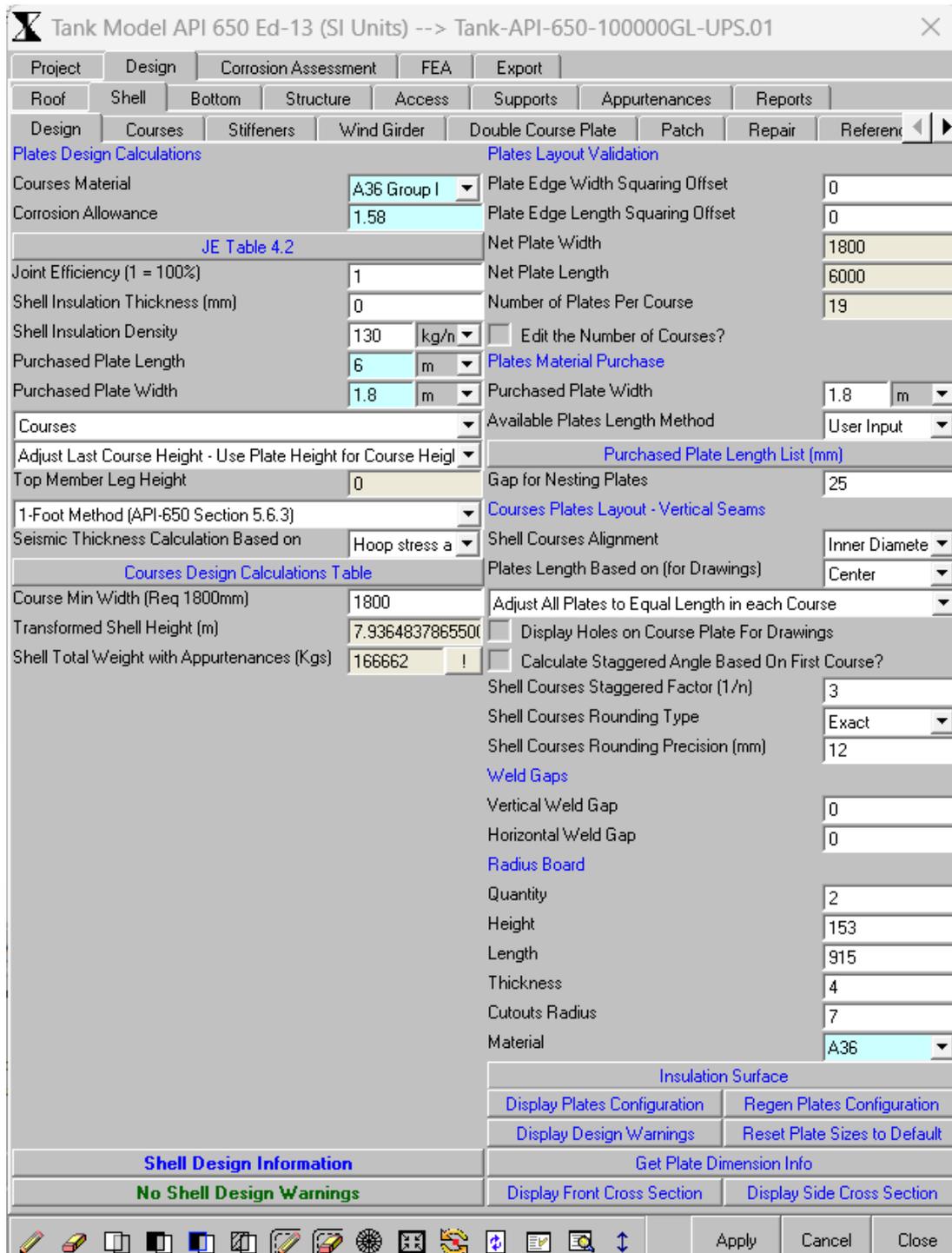
En la pestaña **Diseño del Techo** insertamos el diseño del elemento de unión superior, las alternativas de perfiles comerciales se despliegan por defecto y colocamos algunas condiciones constructivas de ser necesario.

Para diseñar y calcular los **espesores del casco**, lo haremos por el método de 1 pie por la sección 5.6.3 de la normativa, llenamos la tabla de diseño de anillos y definimos los formatos de planchas comerciales para formar el casco.

Tenemos placas de 1.80 m. de ancho por lo que corresponden 10 anillos para formar los 18.0 m. de altura requeridos.

**Figura 14**

*Imagen de ingreso de datos.*



*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft

En la siguiente figura se resumen los cálculos de los espesores mediante el método “1 pie”, el cálculo del espesor para prueba hidrostática, para cargas sísmicas y presión externa (no aplica), obteniendo los espesores mínimos requeridos para el

casco. Con estos valores buscaremos los formatos y espesores de planchas comerciales para su construcción:

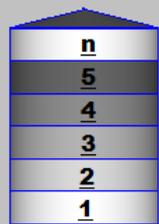
**Figura 15**

*Imagen de ingreso de datos.*

Shell Courses Data Table (SI Units)

Course (1 Bottom 10 Top)	Width (mm)	Material	CA	JE	Min Yield Strength (mpa)	Tensile Strength (mpa)	Sd (mpa)	St (mpa)	t-min Erection (mm)	t-Design 1-FT (Td) (mm)	t-Test (Tt) (mm)	t-min Seismic (mm)	t-min External Pressure (mm)	t-min (mm)
10	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	2.1393	0.6157	2.4538	NA	6
9	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	3.7503	2.389	3.8495	NA	6
8	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	5.3612	4.1623	5.2709	NA	6
7	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	6.9721	5.9356	6.6765	NA	6.9721
6	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	8.583	7.7089	8.0588	NA	8.583
5	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	10.1939	9.4821	9.4159	NA	10.1939
4	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	11.8049	11.2554	10.7475	NA	11.8049
3	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	13.4158	13.0287	12.0536	NA	13.4158
2	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	15.0267	14.802	13.335	NA	15.0267
1	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	16.6376	16.5753	14.5925	NA	16.6376

Notes:  
 1.- CA = Corrosion Allowance per API-650 5.3.2.  
 2.- JE = Joint Efficiency per API-650.  
 3.- Sd = Maximum allowable product design stress per API-650 5.6.2.1.  
 4.- St = Maximum allowable hydrostatic test stress.  
 5.- t-min erection = Based on erection requirements per API-650 5.6.1.1.  
 6.- t-Design (Td) = Design shell thickness per API-650 5.7.4.1 and 5.7.4.2.  
 7.- t-Test (Tt) = Hydrostatic test shell thickness.  
 8.- t-min Seismic = Based on seismic requirements per API-650 Appendix E.  
 9.- t-min External Pressure = Based on external pressure requirements per API-650 Appendix V.8.1.3.



Initialize   Initialize Without External Pressure   Reset   Display Courses   JE Table 4.2

Fuente. Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft

Dentro de la figura 16, se observan en la columna “t-min (mm)” los espesores mínimos a colocar, y en columna “T-use (mm)”, el diseñador debe ingresar los valores comerciales con espesores reales de 6.0 – 8.0 – 9.0 – 12.0 – 15.0 – 16.0 – 18.0 mm.

**Figura 16**

Imagen de ingreso de datos.

Shell Courses Data Table (SI Units)

Course (1 Bottom 10 Top)	Width (mm)	Material	CA	JE	Min Yield Strength (mpa)	Tensile Strength (mpa)	Sd (mpa)	St (mpa)	t-min Erection (mm)	t-Design 1-FT (Td) (mm)	t-Test (Tt) (mm)	t-min Seismic (mm)	t-min External Pressure (mm)	t-min (mm)	t-Actual (T-use) (mm)	Max LL @ Pi (m)	Max Pi @ LL (kPa)	
10	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	2.1393	0.6157	2.4538	NA	6	6	6	21.4388	35.9339
9	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	3.7503	2.389	3.8495	NA	6	6	6	19.6388	20.9399
8	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	5.3612	4.1623	5.2709	NA	6	6	6	17.8388	5.9459
7	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	6.9721	5.9356	6.6765	NA	6.9721	8	8	18.2736	9.5674
6	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	8.583	7.7089	8.0588	NA	8.583	9	9	17.5909	3.8812
5	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	10.1939	9.4821	9.4159	NA	10.1939	12	12	19.1431	16.8104
4	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	11.8049	11.2554	10.7475	NA	11.8049	12	12	17.3431	1.8164
3	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	13.4158	13.0287	12.0536	NA	13.4158	15	15	18.8952	14.7456
2	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	15.0267	14.802	13.335	NA	15.0267	16	16	18.2126	9.0593
1	1800	A36	1.58	1	250.0	400.0	160.0	171.0	6	16.6376	16.5753	14.5925	NA	16.6376	18	18	18.6473	12.6808

Notes:  
 1.- CA = Corrosion Allowance per API-650 5.3.2.  
 2.- JE = Joint Efficiency per API-650.  
 3.- Sd = Maximum allowable product design stress per API-650 5.6.2.1.  
 4.- St = Maximum allowable hydrostatic test stress.  
 5.- t-min erection = Based on erection requirements per API-650 5.6.1.1.  
 6.- t-Design (Td) = Design shell thickness per API-650 5.7.4.1 and 5.7.4.2.  
 7.- t-Test (Tt) = Hydrostatic test shell thickness.  
 8.- t-min Seismic = Based on seismic requirements per API-650 Appendix E.  
 9.- t-min External Pressure = Based on external pressure requirements per API-650 Appendix V.8.1.3.

**n**

**5**

**4**

**3**

**2**

**1**

Reverse?  
 Check Courses Vertical Axial Load

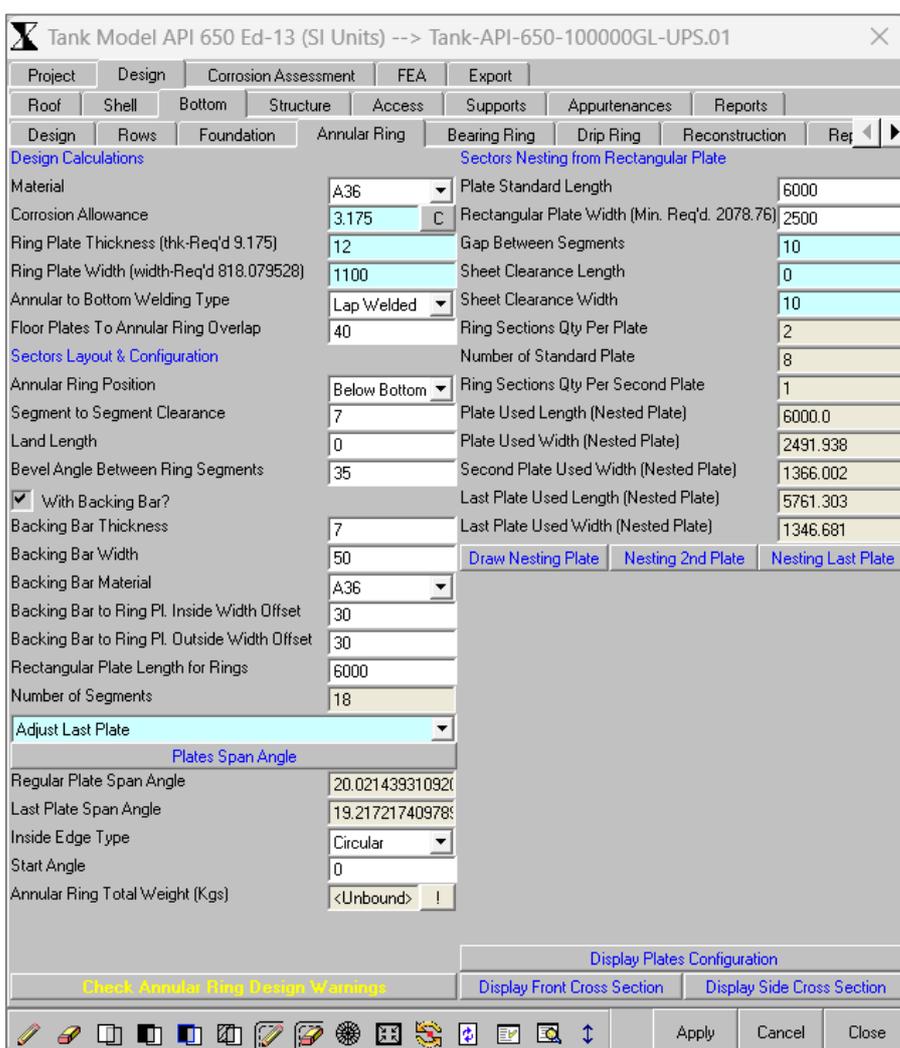
Initialize   Initialize Without External Pressure   Reset   Display Courses   JE Table 4.2   Apply   Close

Fuente. Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft

Para el **fondo del tanque** se considera una pendiente hacia los extremos, con una placa anular de ancho 1100 mm y de un espesor mayor o igual al del fondo. Las condiciones de diseño nos piden respetar valores de corrosión permisible para el fondo de 1.58 mm, y para la placa anular un sobre espesor por corrosión de 3.175 mm. Por lo que el espesor final del fondo será de 9.0 mm. y el espesor de la placa anular será de 12.0 mm.

**Figura 17**

*Imagen de ingreso de datos.*

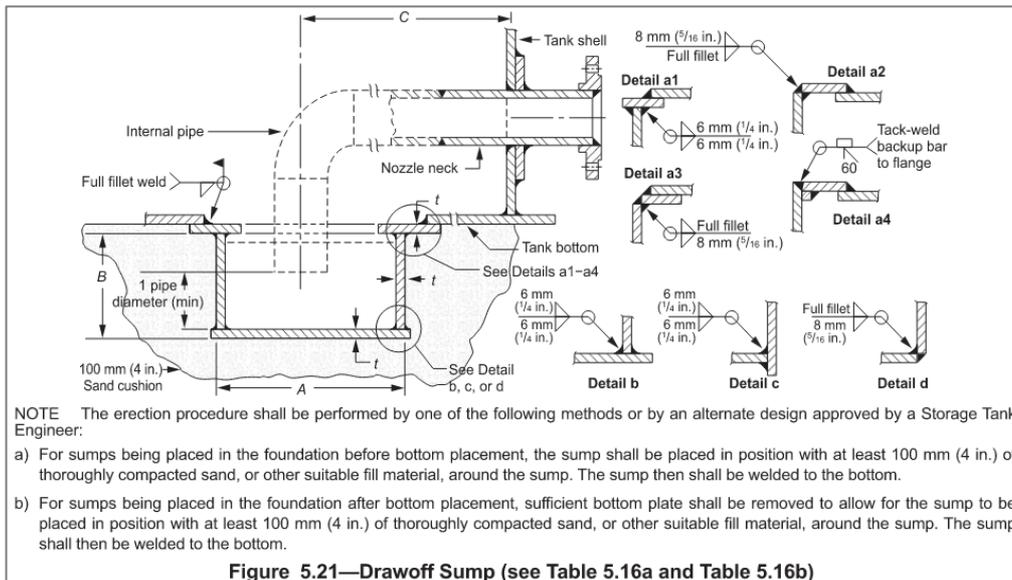


*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

El diseño del fondo también nos pide un sumidero típico para drenaje de agua, ya que es común la mezcla de agua con el hidrocarburo almacenado. La figura 5.21 del API\_650 nos especifica el diseño de dicho sumidero.

**Figura 18**

*Dimensiones de sumideros según API\_650.*



La determinación del diámetro de la boquilla para drenaje de aguas dependerá del caudal a drenar según el periodo de mantenimiento y las trazas encontradas en cada inspección, generalmente están en el rango de diámetros de 3" a 6". Diseñaremos con 4" de diámetro, lo cual corresponde a un sumidero típico de 48" x 24" según API\_650.

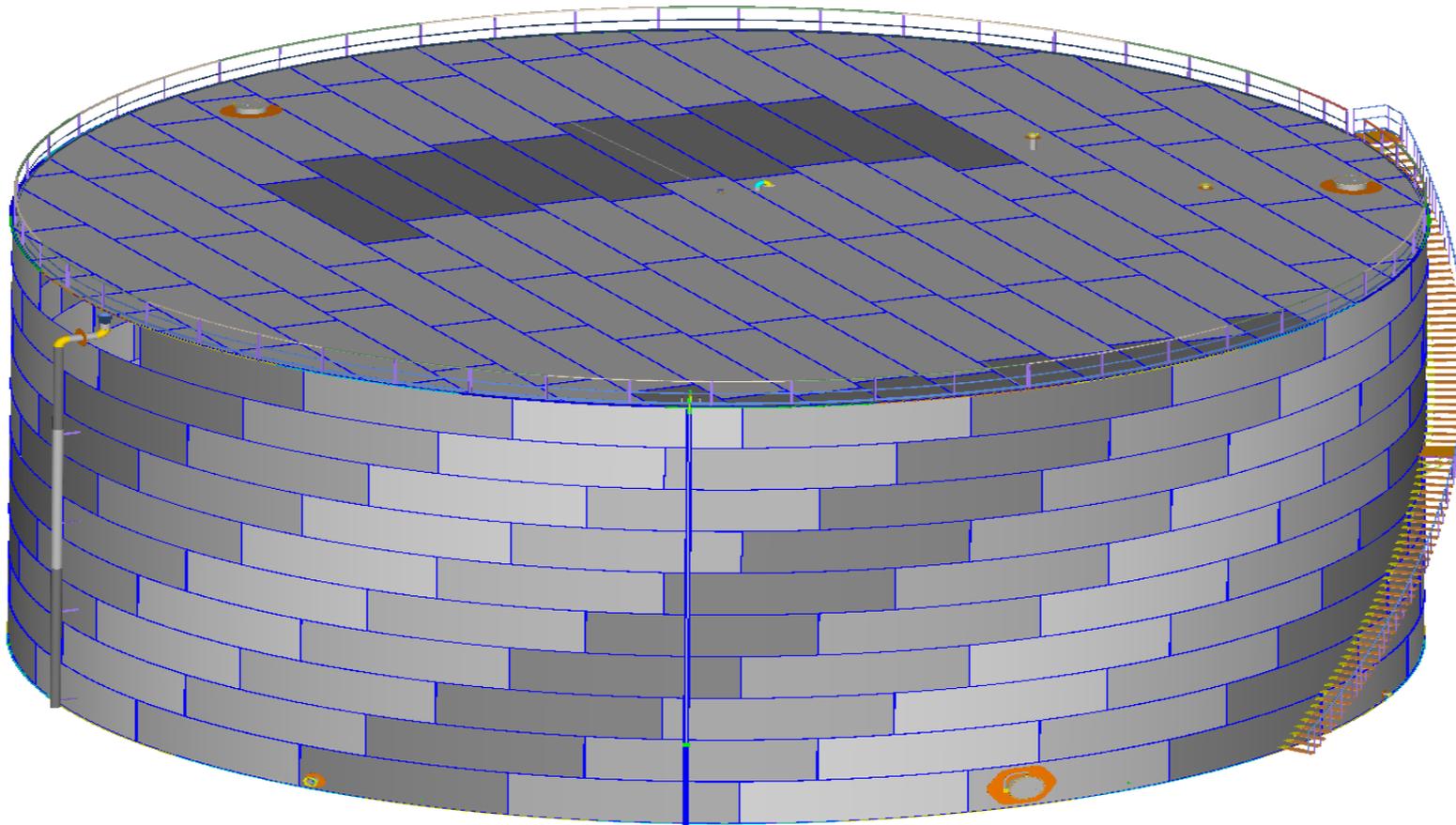
Para los accesorios como escaleras, barandas, entradas de hombre y boquillas, nos guiaremos por la normativa API 650 y OSHA 1910.25.

Debido al tipo de techo, colocaremos baranda periférica a todo su alrededor superior; debido a la altura del tanque, colocaremos una escalera espiral con baranda y descansos cada 9.0 metros por recomendación de OSHA. Las entradas de hombre en el casco se definen por el diámetro del tanque, como mínimo 02, las entradas de hombre en el techo se definen por el tipo de techo, para techos fijos al menos una entrada de hombre y para techos flotantes al menos dos y las boquillas según su aplicación y requerimiento del cliente, pero siempre considerando las recomendaciones constructivas del apéndice 5 del API\_650.

Al momento de modelar los accesorios es muy importante revisar las interferencias que podrían darse entre los elementos y sobre todo los cruces con cordones de soldaduras predeterminadas por las placas estructurales y las distancias mínimas indicadas por la normativa.

**Figura 19**

*Modelado de tanque atmosférico de 100,000 barriles con accesorios.*



*Fuente. Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.*

## 5. ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE TECHOS

Para los techos fijos cónicos, evaluaremos las alternativas de techo fijo soportado y auto soportado. En el software AMETANK lo realizaremos en la opción de estructuras.

**Figura 20**

*Techo fijo cónico.*



*Nota.* En la Figura se observa un tanque con un Techo fijo cónico soportado junto con un esquema del mismo. (Ochoa, 2023).

### 5.1 TECHO FIJO CÓNICO SOPORTADO.

Para el techo soportado, colocamos una estructura interna necesaria para estructurar las placas superiores, la idea es optimizar los perfiles y las columnas y que soporten las cargas a las cuales se somete el techo. Podemos estimar pesos al colocar una columna central y una fila de columnas versus colocar una sola columna.

Realizamos el ingreso de datos de nuestra propuesta y el software se encarga de validar esfuerzos de pandeo, deflexiones y momentos en todos los elementos, posteriormente reajustamos el diseño con criterios de constructibilidad y el peso adecuado y óptimo para la estructura interna del techo cónico fijo.

Los materiales y perfiles estructurales que comúnmente se utilizan para la construcción de las estructuras internas de un techo fijo cónico, son los siguientes:

**Tabla 5**

*Materiales de techos según aplicación.*

<b>ELEMENTOS</b>	<b>PERFILES</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>COLUMNAS</b>	Tuberías acero al carbono	ASTM A-53, Gr. B. ASME B36.1. ASTM A-106, Gr. B. ASME B36.1.
<b>COLUMNAS</b>	Perfiles estructurales americanos (C, HP, M, MC, S, W)	ASTM A-36 ASTM A-572, Gr.50 ASTM A-992
<b>COLUMNAS</b>	Perfiles estructurales europeos (HEA, HEB, IPE, IPN, UPN)	ASTM A-36 ASTM A-572, Gr.50 ASTM A-992
<b>GIRDERS</b>	Perfiles estructurales americanos o europeos	ASTM A-36 ASTM A-572, Gr.50 ASTM A-992
<b>RAFTERS</b>	Perfiles estructurales americanos o europeos	ASTM A-36 ASTM A-572, Gr.50 ASTM A-992
<b>PLANCHAS DE UNIÓN</b>	Plancha estructural laminada en caliente	ASTM A-36
<b>PERNOS DE UNIÓN</b>	Pernos estructurales	ASTM A325 ASTM A320 Strain-Hardened ASTM A193

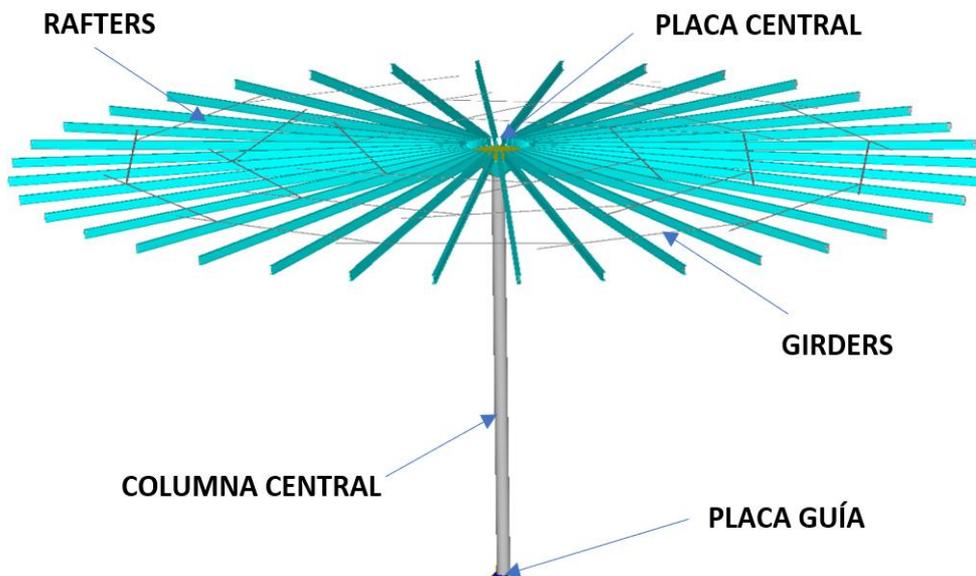
*Fuente. Autoría propia*

En la siguiente figura se puede observar el arreglo de la estructura al utilizar una sola columna central.

Para nuestro caso colocando una sola columna central ( $\varnothing 18''$ , Sch. 40), se hubiesen requerido 58 Rafters (IPE300), dando un peso aproximado de **42.391 Kg**, o como alternativa 58 Rafters (W12 x 26#), dando un peso aproximado de **38.254 Kg**.

**Figura 21**

*Estructura para techo fijo cónico con una columna central y Rafters.*



*Fuente.* Autoría propia

Esta configuración estructural nos permite estimar el peso del techo el tanque y todos los componentes ingresados, a partir del reporte del software utilizado.

**Tabla 6**

*Resumen de pesos. Tanque diseñado con techo cónico soportado por 1 columna.*

Component	New Condition (N)	New Condition (Kg)	Corroded (N)	Corroded (Kg)
SHELL	1,614,902	164,675	1,378,660	140,585
ROOF	358,773	36,585	358,773	36,585
RAFTERS	338,772	34,546	338,772	34,546
GIRDERS	0	0	0	0
FRAMING	0	0	0	0
COLUMNS	28,312	2,887	28,312	2,887
TRUSS	0	0	0	0
STRUCTURE COMPONENTS	8,044	821	8,044	821
BOTTOM	676,905	69,026	576,774	58,815
STAIRWAYS	8,630	880	8,630	880
STIFFENERS	12,609	1,286	12,609	1,286
WIND GIRDERS	0	0	0	0
ANCHOR CHAIRS	0	0	0	0
APPURTENANCES	31,568	3,220	31,568	3,220
INSULATION	0	0	0	0
FLOATING ROOF	0	0	0	0
TOTAL	3,078,515	313,926	2,742,142	279,625

*Nota.* Tabla tomada del AMETank report.

**Figura 22**

*Información técnica de los 58 Rafters y 01 Columna*

**Rafters, Girders & Columns Info (SI Units)**

Rafter Sizing - Dead Loads + Dynamic Loads

Column Pattern	Mount Radius	Column Qty	Total Number of Rafters	Rafter Sx Req'd (cm <sup>3</sup> )	Rafter Allowable Deflection L/180 (mm)	Rafter R Req'd (mm)	Rafter Min New Thickness (mm)	Rafter Min Corr Thickness (mm)	Rafter Type	Rafter Size Actual	CA	Rafter Sx New (cm <sup>3</sup> )	Rafter Sx Corroded (cm <sup>3</sup> )	Rafter Actual Deflection (mm)	Rafter R New (mm)	Rafter R Corroded (mm)	Rafter Allowable Bending Stress (MPa)	Rafter Actual Bending Stress (MPa)	
0	0.0	1	58	58	320.567	85.4594	51.2756	4.3	2.4	W-Shape	W12X26	0	547.3279	547.3279	77.9676	131.318	131.318	166.7324	97.6542

Rafter Sizing - Dead Loads Only

Column Pattern	Recomm'd Unbraced Length (mm)	Number of Bracings	Actual Unbraced Length (mm)	Radial Bracing Style	Radial Bracing Type	Bracing Size	Rafter Sx Req'd (cm <sup>3</sup> )	Rafter Sx Corroded (cm <sup>3</sup> )	Display	
0	5553.9351	4	4	3164.8392	Style 2	N/A	N/A	158.0071	547.3279	<input checked="" type="checkbox"/>

Columns Sizing

Column Pattern	Column Qty	Column A Req'd (mm <sup>2</sup> )	Column R Req'd (mm)	Column Min New Thickness (mm)	Column Min Corr Thickness (mm)	Column Type	Sub-Column 1 Size	Sub-Column 1 Sch	Sub-Column 2 Size	CA	Column A New (mm <sup>2</sup> )	Column A Corroded (mm <sup>2</sup> )	Column R New (mm)	Column R Corroded (mm)	Column Allowable Compressive Stress (MPa)	Column Actual Compressive Stress (MPa)
0	1	11814.1426	102.8739	6	2.4	US Pipe	18	40	N/A	0	19863.2494	19863.2494	156.679	156.679	70.629	42.0083

Note:  
 1.- Shell Inner Radius is 17190.0 mm.  
 2.- R = Radius of Gyration.  
 3.- A = Area.  
 4.- Sx = Elastic section modulus about the x axis.  
 5.- Recommended Rafters Unbraced Length : Bay 1 = 5553.9351 mm.

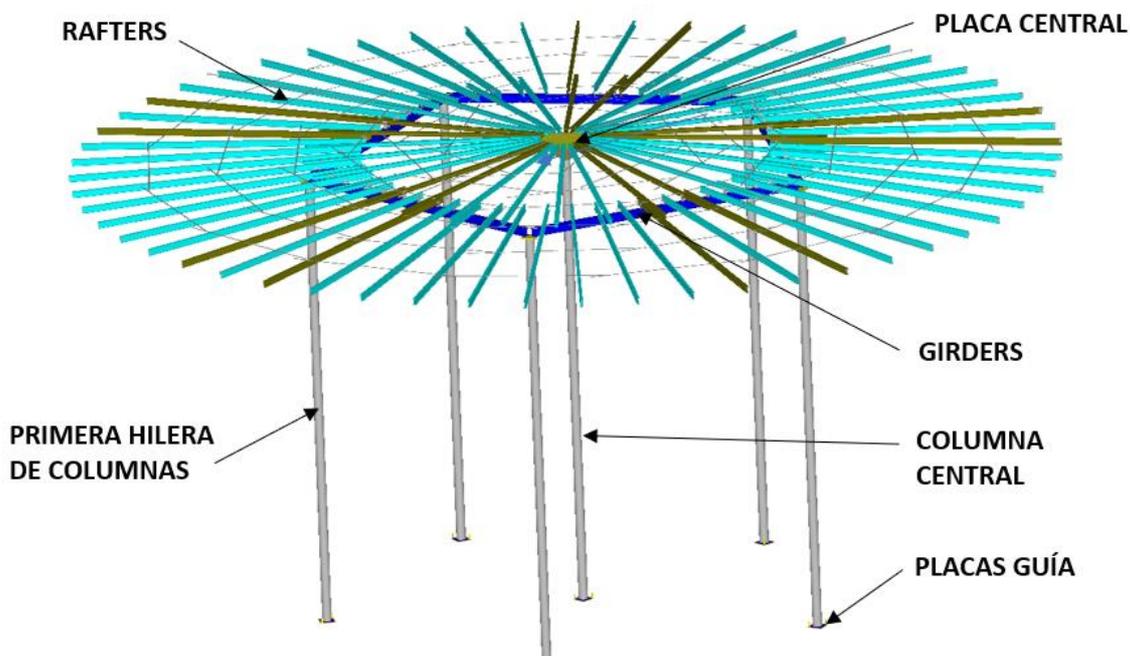
Initialize    Reset    Apply    Close

Fuente. Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

Mientras que con una columna central y una hilera de 05 columnas ( $\varnothing$  12", Sch. 40), se hubiesen requerido 85 Rafters (30 perfiles W6 x 15 y 55 perfiles W10 x 15) y 5 Girders (W12 x 58), dando un peso aproximado de **31.642 Kg.**

**Figura 23**

*Elementos de la estructura para techo fijo cónico con columnas, Rafters y Girders.*



*Nota.* Autoría propia

Esta configuración estructural tiene nos arroja pesos estimados del techo el tanque y los componentes ya conocidos:

**Tabla 7.**

*Resumen de pesos. Tanque diseñado con techo cónico soportado por 6 columnas.*

<b>Component</b>	<b>New Condition (N)</b>	<b>New Condition (Kg)</b>	<b>Corroded (N)</b>	<b>Corroded (Kg)</b>
SHELL	1,614,902	164,675	1,378,660	140,585
ROOF	358,773	36,585	358,773	36,585
RAFTERS	175,760	17,923	175,760	17,923
GIRDERS	43,915	4,479	43,915	4,479
FRAMING	0	0	0	0
COLUMNS	78,781	8,034	78,781	8,034
TRUSS	0	0	0	0
STRUCTURE COMPONENTS	11,819	1,206	11,819	1,206
BOTTOM	676,905	69,026	576,774	58,815
STAIRWAYS	8,630	880	8,630	880
STIFFENERS	12,609	1,286	12,609	1,286
WIND GIRDERS	0	0	0	0
ANCHOR CHAIRS	0	0	0	0
APPURTENANCES	31,568	3,220	31,568	3,220
INSULATION	0	0	0	0
FLOATING ROOF	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>3,013,662</b>	<b>307,314</b>	<b>2,677,289</b>	<b>273,013</b>

*Nota.* Tabla tomada del AMETank report.

A continuación, las características físicas de los perfiles estructurales y los esfuerzos permisibles versus los esfuerzos aplicados. Las estructuras cumplen satisfactoriamente.

Figura 24

Información técnica de Rafters, Girders y Columnas.

Rafters, Girders & Columns Info (SI Units)

Rafter Sizing - Dead Loads + Dynamic Loads

Column Pattern	Mount Radius	Column Qty	Num of Rafters per Girder	Total Number of Rafters	Rafter Sx Req'd (cm <sup>3</sup> )	Rafter Allowable Deflection L/180 (mm)	Rafter R Req'd (mm)	Rafter Min New Thickness (mm)	Rafter Min Corr Thickness (mm)	Rafter Type	Rafter Size Actual	CA	Rafter Sx New (cm <sup>3</sup> )	Rafter Sx Corroded (cm <sup>3</sup> )	Rafter Actual Deflection (mm)	Rafter R New (mm)	Rafter R Corroded (mm)	Rafter Allowable Bending Stress (MPa)	Rafter Actual Bending Stress (MPa)
0	0.0	1	6	30	76.0516	45.4925	27.2955	4.3	2.4	W-Shape	W6X15	0	159.2823	159.2823	40.5046	65.024	65.024	183.7901	87.7532
1	9000	5	11	55	158.2321	56.3088	33.7853	4.3	2.4	W-Shape	W10X15	0	226.1415	226.1415	51.4966	100.33	100.33	173.5659	121.4447

Rafter Sizing - Dead Loads Only

Column Pattern	Recomm'd Unbraced Length (mm)	Number of Bracings	Actual Unbraced Length (mm)	Radial Bracing Style	Radial Bracing Type	Bracing Size	Rafter Sx Req'd (cm <sup>3</sup> )	Rafter Sx Corroded (cm <sup>3</sup> )	Display
0	6421.3755	4	1729.0834	Style 2	N/A	N/A	28.3548	159.2823	<input checked="" type="checkbox"/>
1	3209.5543	3	2538.5106	Style 2	N/A	N/A	76.7862	226.1415	<input checked="" type="checkbox"/>

Girder Sizing

Column Pattern	Girder Sx Req'd (cm <sup>3</sup> )	Girder Allowable Deflection L/180 (mm)	Girder R Req'd (mm)	Girder Min New Thickness (mm)	Girder Min Corr Thickness (mm)	Girder Type	Girder Size Actual	CA	Girder Sx New (cm <sup>3</sup> )	Girder Sx Corroded (cm <sup>3</sup> )	Girder Actual Deflection (mm)	Girder R New (mm)	Girder R Corroded (mm)	Girder Allowable Bending Stress (MPa)	Girder Actual Bending Stress (MPa)
0	NA	NA	0	0	0	N/A	N/A	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0
1	1174.4051	57.6452	34.5871	4.3	2.4	W-Shape	W12X58	0	1278.191	1278.191	55.511	134.112	134.112	165.8222	152.3579

Columns Sizing

Column Pattern	Column Qty	Column A Req'd (mm <sup>2</sup> )	Column R Req'd (mm)	Column Min New Thickness (mm)	Column Min Corr Thickness (mm)	Column Type	Sub-Column 1 Size	Sub-Column 1 Sch	Sub-Column 2 Size	CA	Column A New (mm <sup>2</sup> )	Column A Corroded (mm <sup>2</sup> )	Column R New (mm)	Column R Corroded (mm)	Column Allowable Compressive Stress (MPa)	Column Actual Compressive Stress (MPa)
0	1	5977.5619	104.0748	6	2.4	US Pipe	12	STD	N/A	0	9405.7576	9405.7576	111.1817	111.1817	36.5358	23.2193
1	5	4131.2233	100.0917	6	2.4	US Pipe	12	STD	N/A	0	9405.7576	9405.7576	111.1817	111.1817	39.5016	17.35

Note:  
 1.- Shell Inner Radius is 17190.0 mm.  
 2.- R = Radius of Gyration.  
 3.- A = Area.  
 4.- Sx = Elastic section modulus about the x axis.  
 5.- Recommended Rafters Unbraced Length : Bay 1 = 6421.3755 mm , Bay 2 = 3209.5543 mm.

Initialize    Reset    Apply    Close

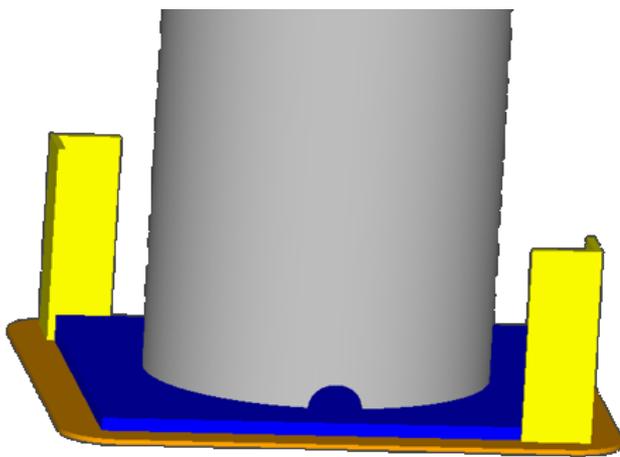
Fuente. Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

De manera general los rafters se apoyan sobre el casco del tanque con un sistema de clips metálicos y pernos para facilitar el montaje y mantenimiento de los elementos.

A la columna central se le debe realizar agujeros en la parte superior e inferior para permitir el ingreso del producto y cubrir la superficie interna y evitar corrosión por gases desde la parte interna de la tubería.

### Figura 25

*Detalles de placa base de columnas para techo.*

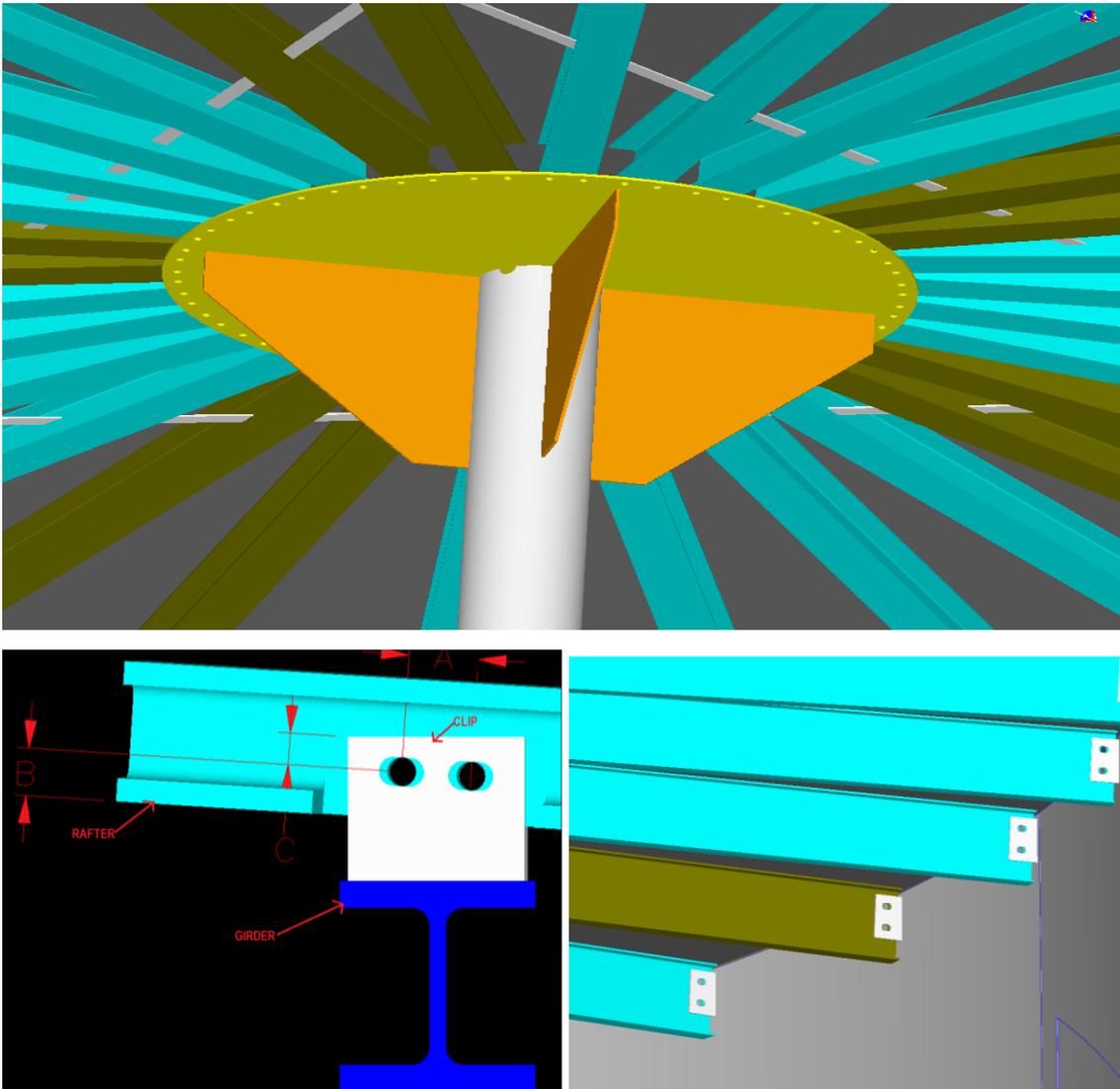


*Nota.* Autoría propia.

Es requerimiento de la normativa API\_650 que las placas del techo NO SE DEBEN SOLDAR A LA ESTRUCTURA ya que, en caso de sobrepresión del tanque, o explosión, las placas del techo deben actuar como el primer fusible y separarse de la estructura, para este criterio se coloca la junta frágil, la cual no es otra que un cordón de soldadura alrededor de techo en la unión casco-techo, la cual debe romperse por seguridad en caso de accidentes.

**Figura 26**

*Uniones tipo clip emperradas de la estructura principal.*



*Nota.* Autoría propia.

Una vez diseñados los elementos principales del tanque, se verifica si el tanque con esta configuración es estable bajo las consideraciones de cargas y esfuerzos por sismos.

La normativa API\_650 en su sección E.6.2.1.1.1 manifiesta que un ratio  $J = \text{Anchorage Ratio}$  debe ser menor o igual a 1.54 para considerar que el tanque no requiere anclajes.

A continuación, realizaremos el cálculo de la Estabilidad del Tanque según API\_650:

$$J = Mrw / ((D^2) * (((wt * (1 - (0.4 * Av))) + wa) - (Fp * wint)))$$

$$J = 69,550,866.87 / ((34.38^2) * (((17,810.39 * (1 - (0.4*0.15)))) + 51,073.54) - (0.4*0.0)))$$

$$J = 0.87$$

$J \leq 1.54 \implies$  Tank is stable, anchoring is not required

Se obtuvo un valor de ratio de anclaje  $J = 0.87$ , por lo que el Tanque vertical **SI** es estable al efecto de cargas sísmicas de acuerdo con la normativa aplicable, por lo que se no debe considerarse la instalación de anclajes mecánicos.

Con todos los componentes diseñados y definidos, podemos extraer del reporte final del software, el resumen de pesos por componente y el peso total del tanque.

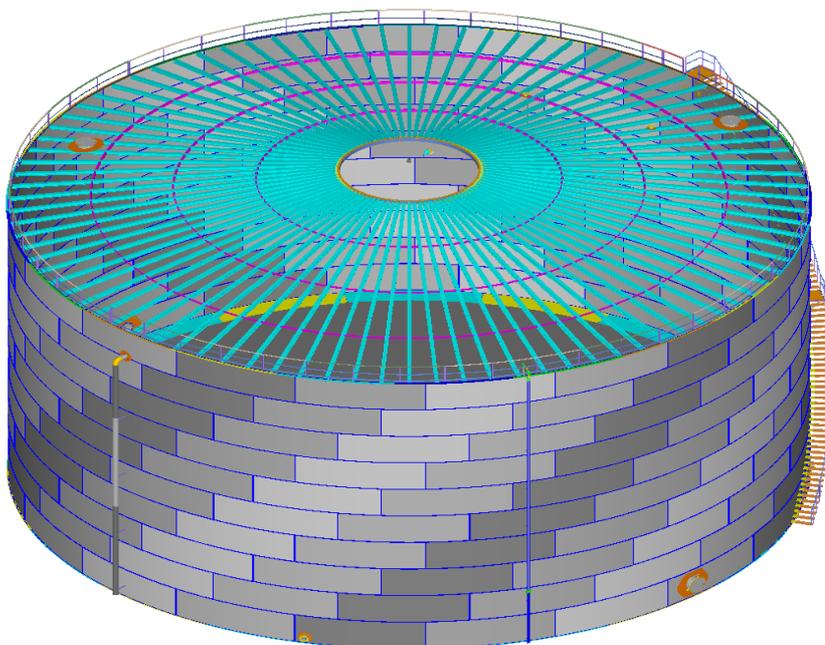
## 5.2 TECHO FIJO CÓNICO AUTO SOPORTADO.

Los techos auto soportados como lo dice su nombre se unen directamente al casco del tanque, este tipo de diseño es más apropiado para tanques pequeños y medianos con materiales almacenados altamente corrosivos, donde las columnas pueden sufrir un gran deterioro y desgaste en su integridad.

En la siguiente figura se puede observar el arreglo de la estructura al utilizar un techo auto soportado.

**Figura 27**

*Arreglo estructural de rafters y bracings.*

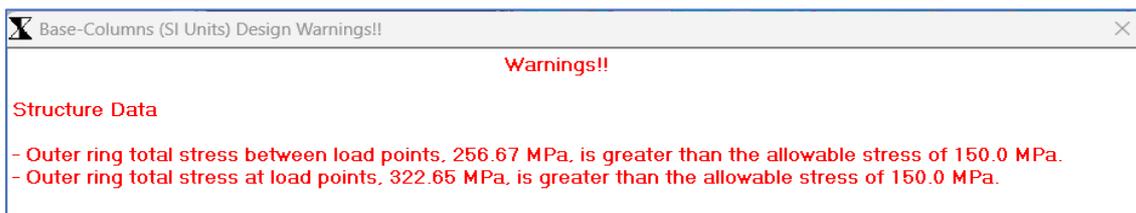


*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

Para obtener una estructura auto soportada se buscó optimizar la cantidad de girders necesaria para soportar las cargas vivas y muertas del techo, en este caso se requieren 90 Rafters (W8 x 24) y 3 Bracings (L135 x 65), dando un peso aproximado de **47,358 Kg.** Sin embargo, este peso afecta directamente al primer anillo, produciendo un esfuerzo por carga puntual de 322.65 MPa, siendo su esfuerzo admisible (150 MPa).

**Figura 28**

*Alerta de diseño a corregir por sobreesfuerzo.*



*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

Este efecto nos obligará a aumentar de espesor los anillos superiores, y/o aumentar la cantidad de Rafters, incrementando el peso y por ende el costo del tanque, para un techo que de por sí ya es demasiado pesado. Para este tanque sería inviable colocar un techo con estructura auto soportada.

**Tabla 8**

*Resumen de pesos para el tanque diseñado con techo cónico fijo auto soportado.*

Component	New Condition (N)	New Condition (Kg)	Corroded (N)	Corroded (Kg)
SHELL	1,857,137	189,376	1,585,459	161,673
ROOF	358,774	36,585	358,774	36,585
RAFTERS	258,129	26,322	258,129	26,322
GIRDERS	114,620	11,688	114,619	11,688
FRAMING	46,846	4,777	46,846	4,777
COLUMNS	0	0	0	0
TRUSS	0	0	0	0
STRUCTURE COMPONENTS	44,826	4,571	44,826	4,571
BOTTOM	676,910	69,026	576,775	58,815
STAIRWAYS	8,630	880	8,630	880
STIFFENERS	28,057	2,861	12,611	1,286
WIND GIRDERS	24,399	2,488	14,592	1,488
ANCHOR CHAIRS	0	0	0	0
APPURTENANCES	31,577	3,220	31,568	3,220
INSULATION	0	0	0	0
FLOATING ROOF	0	0	0	0
TOTAL	3,449,903	351,794	3,021,263	308,085

*Nota.* Tabla tomada del AMETank report.

Sin embargo, estos resultados nos ayudan a comprender que la solución más adecuada para tener un techo auto soportado es bajar el esfuerzo sobre el último anillo superior, y de igual manera reducir el peso de la estructura que soportará a las placas del techo. De esta manera la ingeniería, el criterio y la misma normativa API\_650, nos presenta una alternativa de diseño con aluminio (menor peso) y una configuración mucho más armónica, ligera y fácil de construir. Hablamos de los techos tipo Domo de aluminio.

### 5.3 TECHO DOMO GEODÉSICO.

Un domo geodésico es una estructura totalmente triangulada diseñada para ser autoportante desde su periferia. La distribución integral de la tensión elimina la necesidad de columnas de techo y el refuerzo extensivo de las paredes del tanque. Para el diseño de los techos tipo domo y su estructura soportada de aluminio, utilizamos la norma API\_650 Welded Tanks for oil storage edición 2023, específicamente el Anexo G, Structurally-Supported Aluminium Dome Roofs. Generalmente a este tipo de techos se los considera como un accesorio, es decir que lo más práctico y confiable es recurrir a un proveedor certificado para que suministre el domo, el cual, como mínimo debe cumplir con las especificaciones técnicas indicada en la normativa API\_650.

#### 5.3.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DOMOS.

#### 5.3.2 CARACTERÍSTICAS POR CONSIDERAR EN EL DOMO.

- ESTRUCTURA AUTOSOPORTANTE

El techo del domo de aluminio debe sostenerse únicamente desde el borde del tanque. El diseño de la conexión entre el techo y el borde del tanque deberán permitir la expansión térmica. Se debe mantener un rango de temperatura mínimo de  $\pm 70$  °C.

- MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN

El fabricante del techo deberá proporcionar un manual de mantenimiento e inspección para los elementos del techo que puedan requerir mantenimiento, inspección periódica o ambos.

### 5.3.3 MATERIALES.

El material del domo será de aluminio, ya que sus propiedades superficiales tienen una gran resistencia a la corrosión y no requiere una protección superficial adicional. En entornos costeros (aire-sal) el aluminio tiene un comportamiento muy resistente. El aluminio pesa aproximadamente 1/3 del acero al carbono, tiene una alta relación “Resistencia/Peso”, y es de fácil instalación.

Los materiales suministrados para cumplir con los requisitos de esta especificación y deberán ser nuevos. Una especificación completa del material debe ser presentada por el Fabricante del techo para la aprobación del cliente. Los materiales deben ser compatibles con el producto especificado para ser almacenado en el tanque y el ambiente circundante.

No se utilizará ninguna aleación de aluminio con un contenido de magnesio superior al 3 % cuando la temperatura máxima de diseño supere los 65 °C (150 °F).

Las propiedades y tolerancias de las aleaciones de aluminio deben cumplir con los Estándares y datos de aluminio, según lo publicado por Aluminium Association, Inc.

- MARCO ESTRUCTURAL

Los miembros del marco estructural se fabricarán con 6061-T6 o una aleación reconocida con propiedades establecidas por Aluminium Association, Inc.

- PANELES DE TECHO

Los paneles de techo se fabricarán con aluminio de la serie 3000 o 5000 con un espesor nominal mínimo de 1.20 mm (0.050 pulg.).

- PERNOS Y ABRAZADERAS

Los sujetadores serán de aluminio 7075-T73, aluminio 2024-T4, acero inoxidable austenítico u otros materiales similares. Solo se deben usar sujetadores de acero inoxidable para unir aluminio con acero.

- SELLADOR Y MATERIAL DE JUNTAS

Los selladores deben ser compuestos de uretano de silicona o urea que cumplan con la especificación “Federal Specification TT-S-00230C”, a menos que se requiera otro material para la compatibilidad con los materiales almacenados. Los selladores deben permanecer flexibles en un rango de temperatura de  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-80\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $+200\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) sin agrietarse, agrietarse ni volverse quebradizos. El alargamiento, la resistencia a la tracción, la dureza y la adhesión no deben cambiar significativamente con el envejecimiento o la exposición al ozono, la luz ultravioleta o los vapores del producto almacenado en el tanque.

- PANELES TRAGALUCES

Los paneles de tragaluces deben ser de acrílico transparente o policarbonato con un espesor nominal mínimo de 6 mm (0.25 pulg.).

#### 5.3.4 ESFUERZOS ADMISIBLES.

- MIEMBROS ESTRUCTURALES DE ALUMINIO

Los miembros estructurales de aluminio y las conexiones deben diseñarse de acuerdo con el Manual de Diseño de Aluminio, según lo publicado por Aluminium Association, Inc.

- PANELES DE ALUMINIO

Los paneles de aluminio deben diseñarse de acuerdo con las Especificaciones para el trabajo con láminas de metal de aluminio en la construcción de edificios, publicadas por Aluminium Association, Inc. (Washington, D.C.). Los elementos de fijación no deben penetrar tanto en el panel como en el ala del elemento estructural.

## • PERNOS Y SUJETADORES

Las tensiones admisibles para sujetadores de aluminio se determinarán de acuerdo con el Manual de diseño de aluminio. Las tensiones admisibles para sujetadores de acero inoxidable se determinarán de acuerdo con la Guía de diseño de AISC Acero inoxidable estructural. Para cargas sísmicas, estos valores pueden incrementarse en un tercio. El diámetro del orificio del sujetador no excederá al diámetro del sujetador más 1.5mm.

### 5.3.5 CARGAS EN TECHOS DE DOMOS

Los domos deben ser diseñados considerando las siguientes cargas:

- Peso muerto: El peso del tanque o componente del tanque, escalera, pasarela, pararrayos tipo Franklin, incluido cualquier margen de corrosión.
- Presión externa de diseño:  $> 0.25$  kPa.
- Presión interna de diseño:  $< 18$  kPa.
- Prueba hidrostática: La carga debida al llenado del tanque con agua hasta el nivel de líquido según diseño.
- Las estructuras como escalera y plataformas deberán ser capaz de soportar una carga concentrada en movimiento de 4,450 N (1,000 lbf).
- El techo debe estar diseñado para soportar dos cargas concentradas de 1,100 N (250 lbf), cada una distribuida en dos áreas separadas de  $0.1$  m<sup>2</sup> (1 ft<sup>2</sup>) de cualquier panel.

Y la combinación de las cargas:

- Fluido y Presión Interna
- Prueba hidrostática
- Velocidad del viento (50 km/h) y Presión Interna
- Cargas de Gravedad
- Sísmica

### 5.3.6 PRESIÓN INTERNA

La presión interna de diseño no deberá exceder el peso del techo. En ningún caso la presión interna de diseño deberá exceder los 2.2 kPa (9 pulgadas de agua). Cuando se calcula la presión de diseño,  $P_{max}$ , para un tanque con techo de domo de aluminio, se debe usar el peso del techo, incluida la estructura.

### 5.3.7 SOPORTES DE TECHO

- TRANSFERENCIA DE CARGA

Los soportes estructurales para el techo deben estar atornillados o soldados al tanque. Para evitar la sobrecarga de la carcasa, el número de puntos de fijación será determinado por el fabricante del techo en consulta con el fabricante del tanque.

El detalle de fijación debe ser adecuado para transferir todas las cargas del techo a la carcasa del tanque y mantener las tensiones locales dentro de los límites permitidos.

- SOPORTES DESLIZANTES

Los puntos de fijación del techo pueden incorporar un cojinete deslizante con almohadillas de cojinete de baja fricción para minimizar las fuerzas radiales horizontales transferidas al tanque. El empuje horizontal primario transferido desde el domo debe ser resistido por un anillo de tensión integral.

### 5.3.8 SEPARACIÓN DE ACERO AL CARBONO Y ALUMINIO

A menos que el cliente especifique otro método, el aluminio se aislará del acero al carbono mediante un espaciador de acero inoxidable austenítico o una almohadilla de apoyo aislante elastomérica.

### 5.3.9 PUESTA A TIERRA ELÉCTRICA

El techo del domo de aluminio debe estar interconectado eléctricamente y unido al armazón o borde del tanque de acero. Como mínimo, se instalarán conductores de cable de acero inoxidable de 3 mm (1/8 pulg.) de diámetro en cada tercer punto de apoyo. La elección del cable deberá tener en cuenta la fuerza, la resistencia a la corrosión, la conductividad, la confiabilidad de las juntas, la flexibilidad y la vida útil.

### 5.3.10 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- TAMAÑOS

Se puede usar un techo de domo de aluminio en tanques de cualquier tamaño contruidos de acuerdo con la norma API 650.

- RADIO DE LA CÚPULA

El radio máximo de la cúpula será de 1.2 veces el diámetro del tanque. El radio mínimo de la cúpula será de 0.7 veces el diámetro del tanque.

- PLATAFORMAS, PASARELAS Y PASAMANOS

Las plataformas, pasillos y pasamanos deben cumplir con las tablas 5.17 y 5.18 de la API 650, así como la OSHA 1910 excepto que la carga máxima concentrada en los pasillos o escaleras soportadas por la estructura del techo sea de 4,450 N (1,000 lbf). Cuando se especifican pasarelas para atravesar el exterior del techo (hasta el vértice, por ejemplo), se deben proporcionar escaleras en las partes de los pasillos cuya pendiente sea mayor de 20 grados. Los pasillos y escaleras pueden ser segmentos curvos o rectos.

Se deberá contar con plataformas con techo para todos los puntos de medición.

### 5.3.11 ACCESORIOS

- ESCOTILLAS DE TECHO

Si se requieren escotillas de techo, cada escotilla debe estar provista de un bordillo de 100 mm (4 pulg.) o más alto y un dispositivo de enganche positivo para mantener la escotilla en la posición abierta. El tamaño mínimo de la abertura no debe ser inferior a 600 mm (24 pulg.).

El eje de la abertura puede ser perpendicular a la pendiente del techo, pero el espacio libre mínimo proyectado en un plano horizontal debe ser de 500 mm (20 pulg.).

- **BOQUILLAS DE TECHO Y ESCOTILLAS DE MEDICIÓN**

Las boquillas de techo y las escotillas de medición deben tener bridas en la base y atornillarse a los paneles del techo con una placa de refuerzo de aluminio en la parte inferior de los paneles. El eje de una boquilla o escotilla de calibre debe ser vertical. Si la boquilla se usa con fines de ventilación, no debe sobresalir por debajo de la parte inferior del panel del techo. Las bridas de aluminio o acero inoxidable se pueden atornillar directamente al panel del techo, con la junta sellada con sellador.

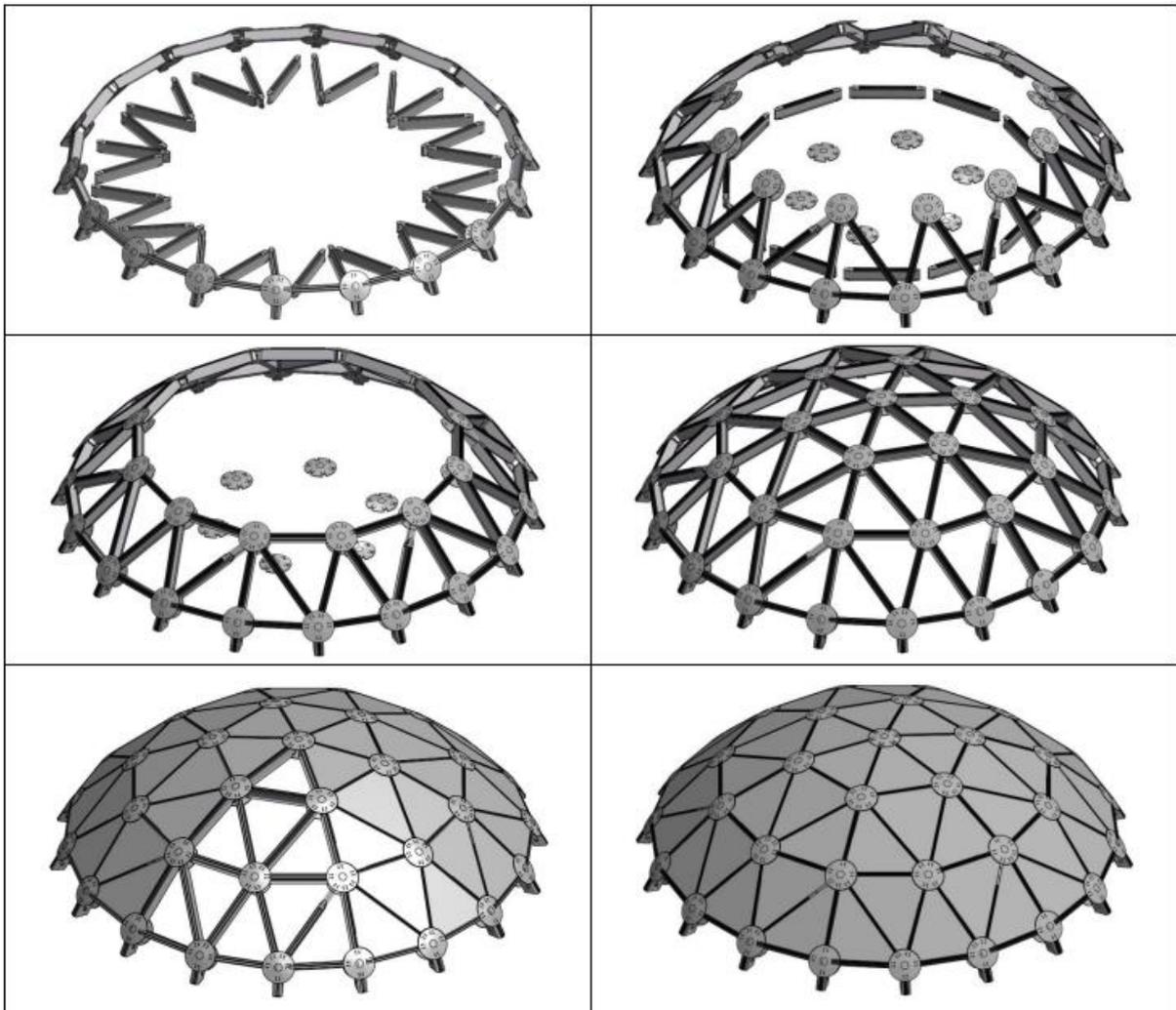
- **TRAGALUZ**

Cada tragaluz debe tener un bordillo de 100 mm (4 pulgadas) o más y debe estar diseñado para las cargas vivas y de viento.

A continuación, mostraremos algunos elementos comerciales que presenta la empresa ATECO para techos tipo Domo.

**Figura 29**

*Ensamble de un techo Domo.*

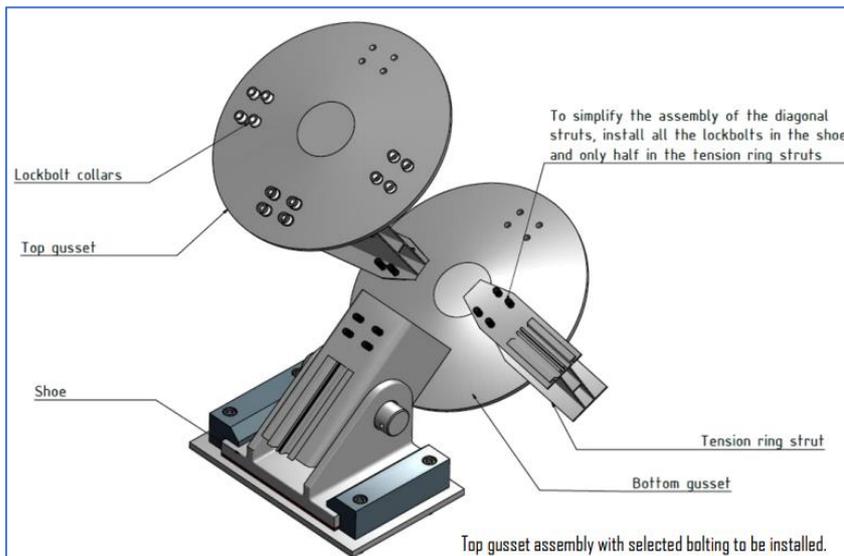


*Nota.* Tomado de ATECO DOME ROOF CATALOGUE.

El ensamble del domo se realiza a nivel de piso sobre el radio del tanque, y distribuyendo los puntos de apoyo equidistantes y luego se va montando los bastidores.

**Figura 30**

*Bastidor de un Domo ATECO.*



*Nota.* Tomado de ATECO DOME ROOF CATALOGUE.

**Figura 31**

*Izaje de techo tipo Domo ATECO.*

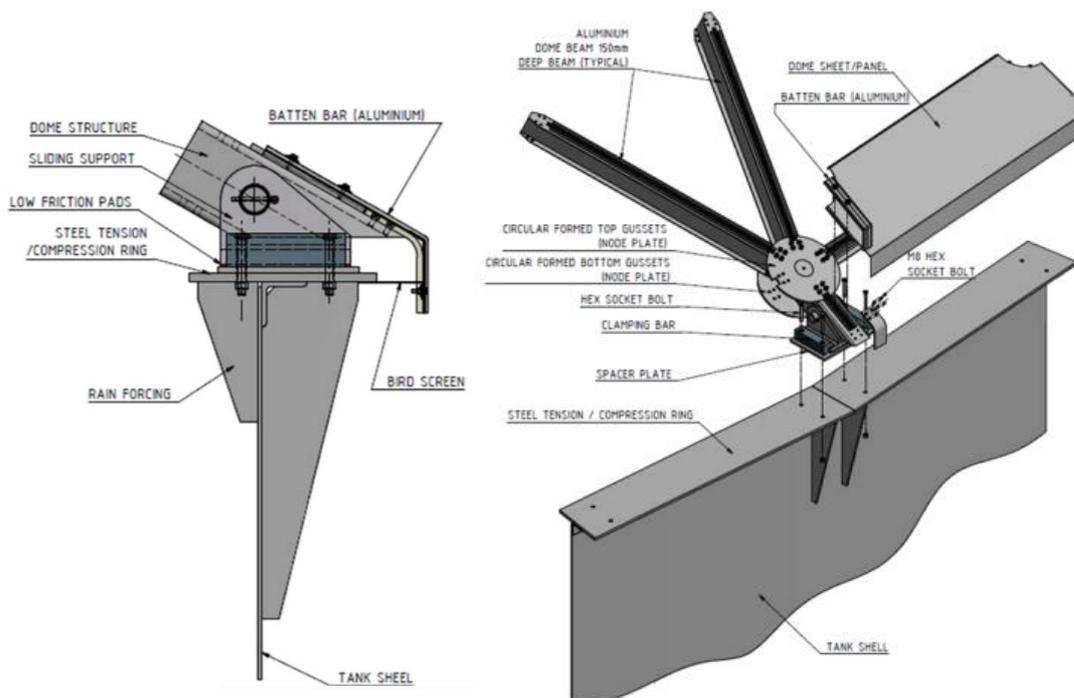


*Nota.* Tomado de ATECO DOME ROOF CATALOGUE.

Al casco del tanque, previamente se le debe instalar el anillo de compresión por encima del anillo anular, estos dos elementos de acero al carbono, sin olvidar que hace falta un material aislante entre el aluminio y el acero.

**Figura 32**

*Unión techo-casco para un Domo ATECO.*



*Nota.* Tomado de ATECO DOME ROOF CATALOGUE.

### 5.3.2 MODELAMIENTO DE DOMO SEGÚN API\_650.

El tanque debe ser diseñado como un tanque abierto (open-top) y su parte superior debe ser capaz de contener y permitir el asentamiento del domo adecuadamente.

Calcularemos el peso aproximado de las placas de aluminio, considerando un radio de domo permitido  $1.2 < D_d < 0.7$ . Un diámetro  $D_d = 0.8 \times D_{\text{Tanque}}$  corresponde a un valor de:

$$D_d = 0.8 \times 34.38 \text{ metros}$$

$$D_d = 27.504 \text{ metros}$$

Existen varios programas en línea que nos pueden ayudar a estimar el área del domo geodésico a diseñar, para nuestro caso usaremos la página web [www.acidome.com](http://www.acidome.com) donde de manera muy básica se puede obtener un arreglo geodésico según los valores de entrada conocidos.

**Figura 33**

**Estimación de superficie de domo geodésico.**

Acidome **Geodesic dome constructor**
Español ▾

Base
Carcasa
Esquema
Cubierta

**Opciones de geometría**

Polyhedron Icosahedron ▾

Frecuencia, V 8 ▾

Tipo de subdivisión I ▾

Método de subdivisión Cuerdas iguales ▾

Simetría rotacional Cross ▾

Circunscripción Inscrita dentro ▾

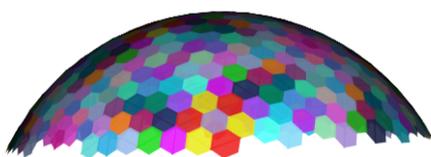
Porción de la esfera 1/4 ▾

**Opciones de Proyecto**

Radio de la esfera, m 27.504

**Resultados ▾**

Altura desde la base, m	14.93
Radio de la base, m	23.14-24.48
Área de la base, m <sup>2</sup>	1790.86
<b>Tamaños (unidades)</b>	
Caras	34 (485)
Aristas	136 (2906)
Vértices	64 (1038)
<b>Travesaños 120x2mm</b>	
Longitud total de los travesaños, m	4008.42
Volumen total de los travesaños, m <sup>3</sup>	0.96
Longitud del travesaño, mm	1097-1514
Ángulo entre caras, °	173.70-176.83
<b>Polygons</b>	
Área de la cubierta, m <sup>2</sup>	2394.90
Sum of perimeters, m	4008.40



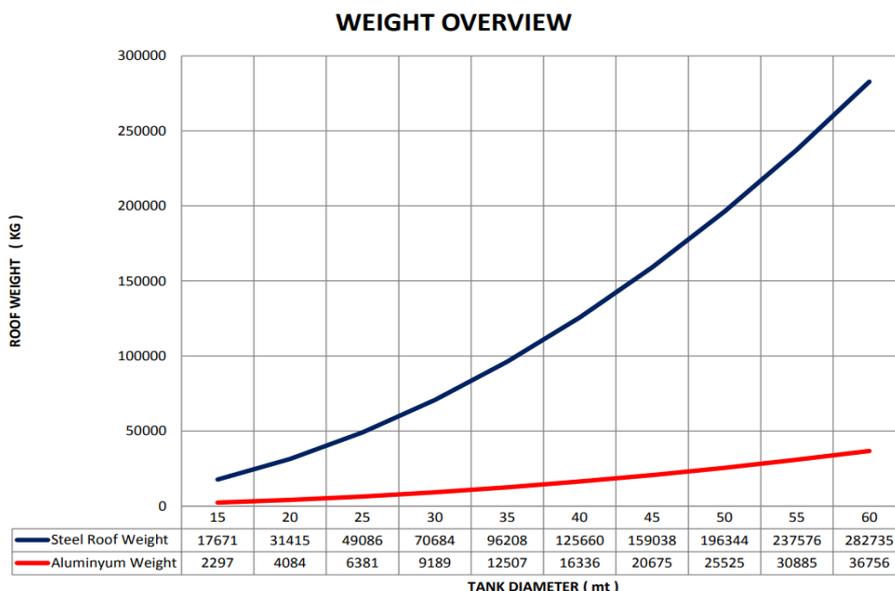
*Nota.* Tomado de Geodesic dome constructor.

Con una superficie aproximada de 2400 m<sup>2</sup> y placas de aluminio de espesor 1.2 mm, con una densidad específica de 2,700 kg/m<sup>3</sup>, obtenemos un peso aproximado del Domo Geodésico de aluminio de **7,768 Kg.**

La estructura geodésica también en aluminio y considerando un arreglo tipo triangular, y con datos de domos comerciales de un proveedor de domos geodésicos ATECO, podemos estimar un peso de **12,300 Kg.**

**Figura 34**

Relación de peso de domos según material y diámetro de tanque (Ateco Tank).

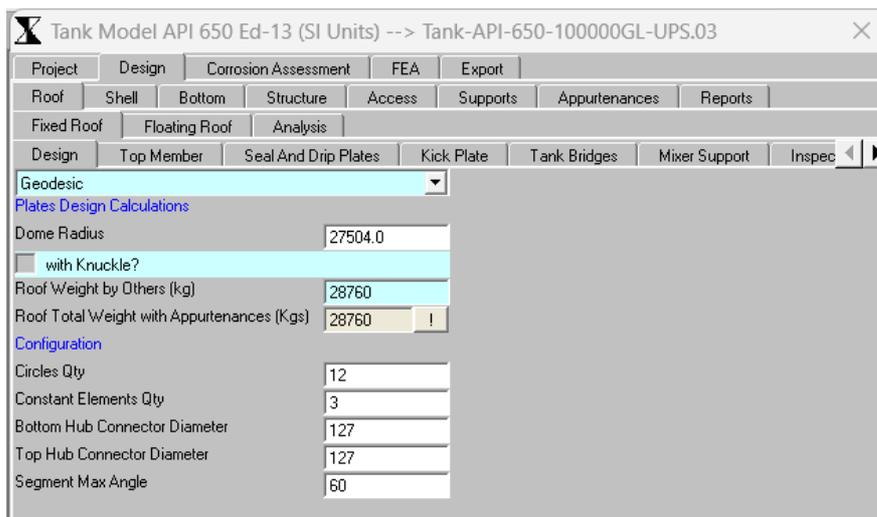


Nota. Tomado de ATECO DOME ROOF CATALOGUE.

A continuación, se muestran las figuras de los datos de entrada en el software Ametank, para el modelamiento del tanque con techo tipo Domo Geodésico.

**Figura 35**

Ingreso de data a software.

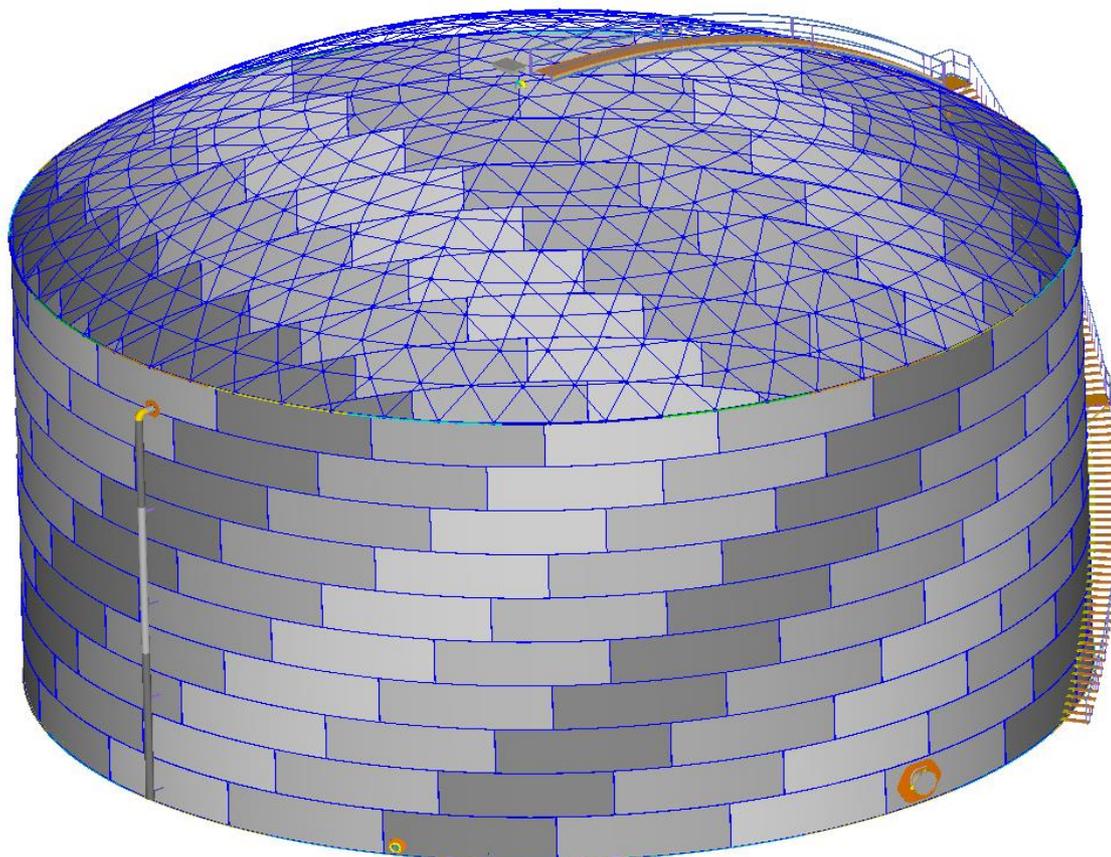


Nota. AMETank report.

En la siguiente figura se puede observar la generación de superficies geodésicas para domos en el software Ametank.

**Figura 36**

*Configuración estructural del techo Domo.*



*Nota.* AMETank report.

Esta distribución estructural geodésica, tipo domo, aporta al diseñador información bastante real del peso del domo, la cantidad aproximada de paneles o placas de aluminio. Sin embargo, será el proveedor de techos domos quien debe darnos los datos exactos dependiendo del techo comercial que la empresa decida incorporar al proyecto en el momento de la procura del tanque.

**Tabla 9**

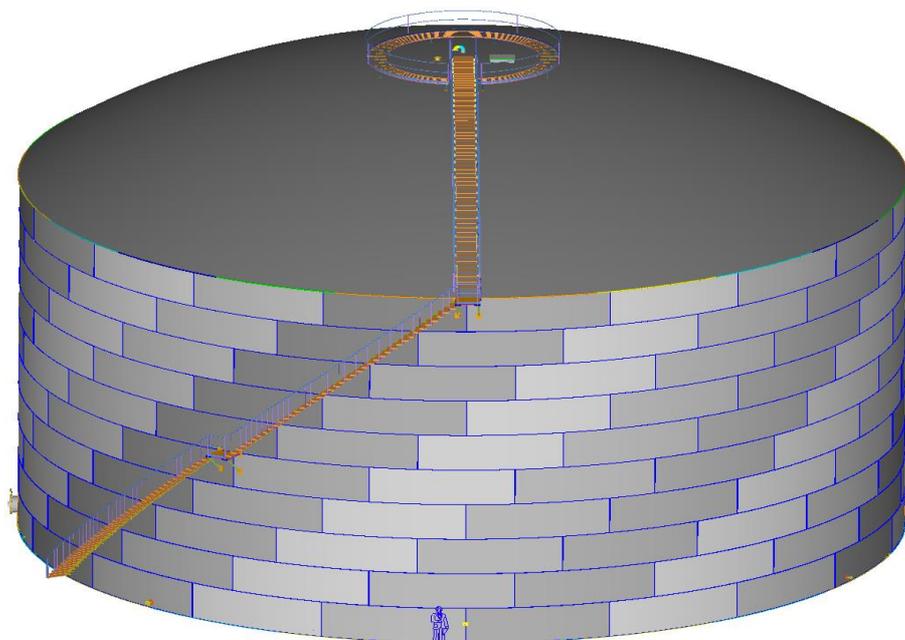
*Resumen de pesos para el tanque diseñado con techo domo geodésico.*

Component	New Condition (N)	New Condition (Kg)	Corroded (N)	Corroded (Kg)
SHELL	1,614,902	164,675	1,378,660	140,585
ROOF	76,177	7,768	76,177	7,768
RAFTERS	0	0	0	0
GIRDERS	0	0	0	0
FRAMING	0	0	0	0
COLUMNS	0	0	0	0
TRUSS	0	0	0	0
STRUCTURE COMPONENTS	120,621	12300	120,621	12,300
BOTTOM	676,905	69,026	576,774	58,815
STAIRWAYS	8,630	880	8,630	880
STIFFENERS	12,609	1,286	12,609	1,286
WIND GIRDERS	78,552	8,010	78,552	8,010
ANCHOR CHAIRS	0	0	0	0
APPURTENANCES	25,341	2,584	25,341	2,584
INSULATION	0	0	0	0
FLOATING ROOF	0	0	0	0
TOTAL	2,613,743	266,529	2,156,746	219,928

*Nota.* Tabla tomada del AMETank report.

**Figura 37**

*Techo tipo Domo.*



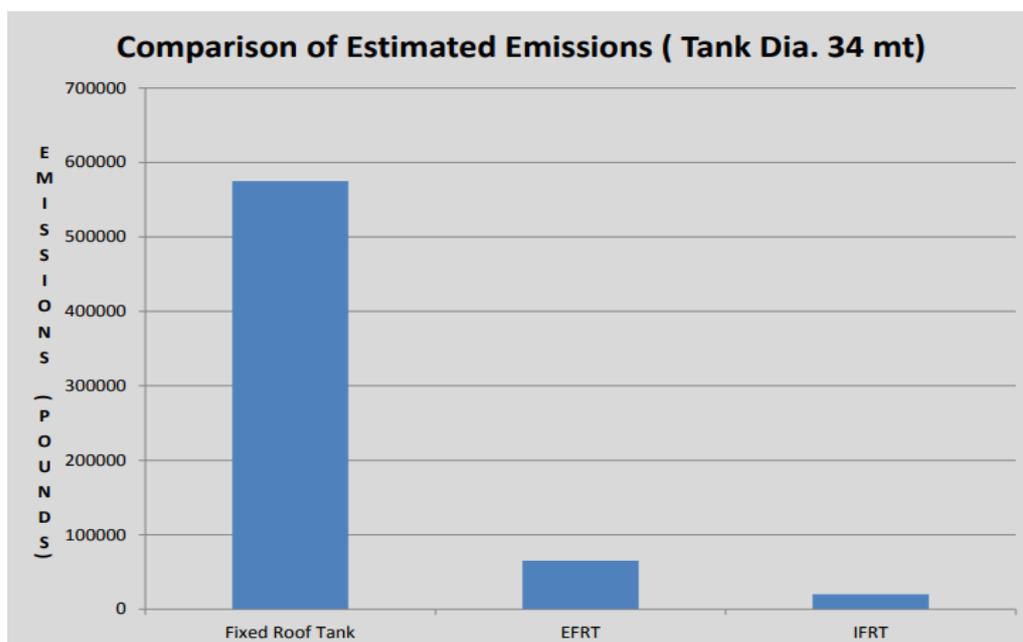
*Nota.* AMETank report.

## 5.4 TECHOS FLOTANTES.

Los techos flotantes se utilizan generalmente para tanques de gran diámetro y que contienen productos con un alto nivel de evaporación. Ya determinamos que para grandes diámetros de tanques los techos óptimos son del tipo domo de aluminio y considerando que el aluminio es un material con una alta conductividad térmica (conductividad térmica del aluminio es aprox. 210 Vatios/metro por Kelvin, mientras que para el acero es de 45 Vatios/metro por Kevin), esto nos debe alertar de una alta evaporación en los productos almacenados como son los Diesel y más aún en los productos altamente volátiles como las Gasolinas. A continuación, vemos una comparación de las emisiones de gases anual según el tipo de techo que tienen los tanques, datos tomados del proveedor de domos geodésicos ATECO (Dome-Roof-Seal).

**Figura 38**

*Comparación estimada de Emisiones de vapores anual por tipo de techo.*



*Nota.* Tomado de ATECO (Dome-Roof-Seal).

Los tanques con techos fijos han sido usados para almacenar líquidos volátiles por muchos años, siendo el tipo de tanque más utilizado mundialmente, siempre bajo el estándar API. Por otro lado, los tanques de techo fijo suelen tener poca resistencia a la presión interna y al vacío, por lo que requieren una ventilación suficiente dentro del tanque. Según las especificaciones de este tipo de tanque, se requiere tener orificios de respiración en el tanque para ventilación; sin embargo, dichos orificios de ventilación, así como los orificios de muestreo, provocan pérdidas de combustible.

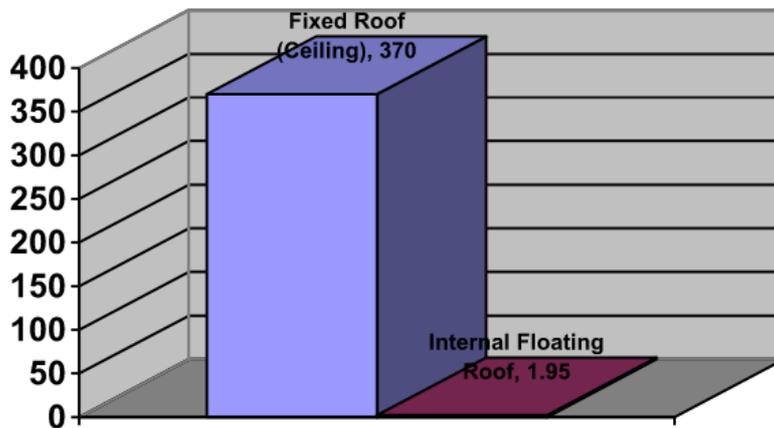
Los tanques con techo flotante externo vienen siendo diseñados y usados por más de 100 años. Estos tanques permiten que los gases explosivos dentro de los tanques de petróleo sean ventilados a la atmósfera de una manera segura. Sin embargo, en la actualidad el venteo de gases controlados se ha vuelto muy importante debido a las nuevas regulaciones medioambientales. Un techo flotante externo debe ser diseñado para drenar de manera segura lluvia y/o nieve, que pudiese acumularse sobre el techo y generar cargas adicionales, problemas de mantenimiento y contaminación del producto.

El uso de este tipo de techos (flotante externo) se recomienda para tanques mayores de 60 metros de diámetro por el apéndice C.3.1.5 de la normativa API\_650.

Los techos flotantes internos son instalados dentro de tanques de almacenamiento con techos fijo o domo para evitar lluvias, nieve y contaminación sobre el techo flotante. Y por otro lado un techo flotante interno reduce al mínimo las emisiones de vapores, creando una zona libre de vapores entre el producto y el techo flotante. Los vapores que pudiesen fugar a la zona externa al techo flotante y dentro del techo fijo, se controlan con los venteos fijos propios del tanque fijo.

**Figura 39**

Comparación de evaporación entre un techo fijo y un techo flotante interno [m<sup>3</sup>/año]

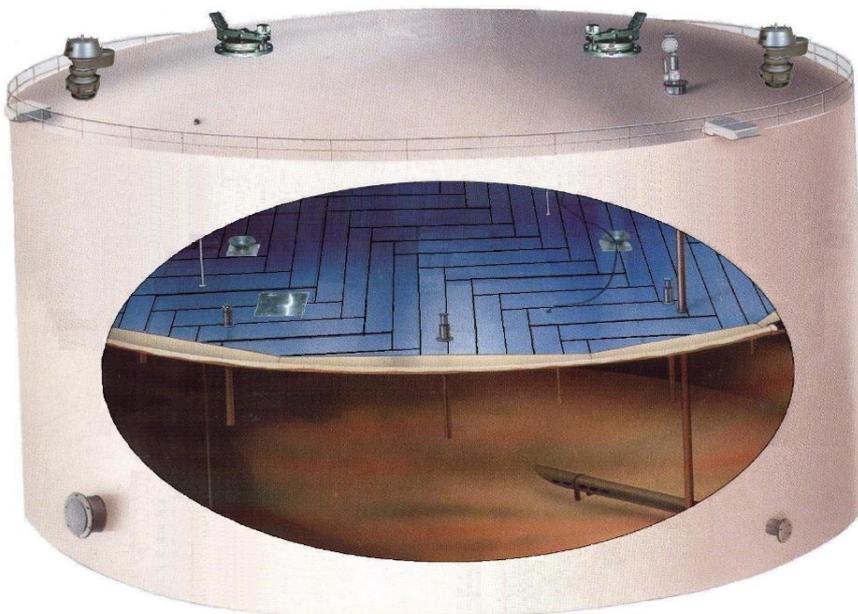


Nota. Tomado de ATECO (Dome-Roof-Seal).

Para nuestro análisis específico, nos enfocaremos en especificar y diseñar un techo flotante interno, ya que genera menor cantidad de emisiones de gases al medio ambiente.

**Figura 40**

Techo Flotante Interno



Nota. Tomado de [www.ergil-storagetech.com](http://www.ergil-storagetech.com).

Los techos internos flotantes se dividen básicamente en dos grupos:

- Sin contacto, (tipo pontones o flotadores)
- Contacto directo.

En el caso de una membrana de contacto directo, la cubierta está siempre en contacto con la superficie del líquido almacenado. En el otro, la cubierta está apoyada sobre flotadores o pontones, y éstos están flotando en la superficie del líquido. En este grupo, la cubierta no tiene contacto con el líquido.

Tipos de techo flotante interno de acuerdo con la API\_650

a) Techo flotante interno tipo “pan”. Este techo tiene su borde por encima del líquido, es herméticamente abierto, teniendo su parte inferior en contacto directo con el fluido, asemejándose a este recipiente (sartén), de ahí su nombre. Suelen ser de acero. Para este tipo de membrana interna flotante, el cliente debe estar informado de que este diseño no tiene múltiples compartimentos de flotación necesarios para cumplir con los requisitos del punto H.4.2.1.3 de la API 650, que define que todas las membranas internas flotantes con múltiples compartimentos de flotación deben ser capaces de flotar sin ningún daño, cuando cualquiera de los otros dos se ha inundado.

b) Techo flotante interno “abierto”. Es similar al tipo “a”, de contacto total, pero con mamparas o compartimentos en la cubierta, normalmente hechos de simples chapas de acero o de aluminio. Suelen fabricarse en acero o en aluminio.

c) Techo interno flotante tipo “pontón periférico”, es también de contacto total, caracterizado por compartimentos periféricos cerrados de flotación, formando un anillo hueco, con el centro de la cubierta abierto sin compartimentos, también típicamente fabricado en acero, con una sola cubierta.

d) Techo Flotante Interno de dos cubiertas (double deck) es similar al tipo “c” (contacto total), con varios compartimentos, pero con dos cubiertas. Toda la parte superior (cubierta superior) está cerrada, y la parte inferior (cubierta inferior) está en contacto total con el fluido. Tienen una gran resistencia mecánica y estructural. Suele fabricarse en acero al carbono.

- e) Techo interno flotante de tipo pontones, el único tipo que no es de contacto total. Consiste en flotadores típicamente tubulares, espaciados entre sí, fijados a perfiles de soporte de la membrana, o película metálica (cubierta). Sólo los flotadores (pontones) de la membrana interna flotante permanecen en contacto con el líquido. Por debajo de la cubierta metálica hay un espacio de vapor hasta la superficie del líquido. Suelen estar hechas de finas láminas de aluminio, acero inoxidable o un conjunto de ambos metales (versiones híbridas).
- f) Techo Flotante Interno tipo “panel”, está formado por paneles flotantes huecos metálicos o no metálicos en forma de bandeja, formando un sándwich, con separadores internos, o núcleo, como un panel, que puede ser metálico o no. También es de contacto total con el fluido (full contact) y normalmente se fabrica en aleaciones de aluminio, aunque se aceptan otros materiales, como los compuestos poliméricos, siempre que cumplan los requisitos técnicos y sean aprobados por el cliente.
- g) Techo Flotante Interno, tipo híbrido, es una combinación de los tipos “b” y “c”, cuyos puntos periféricos y centrales pueden ser abiertos o cerrados, siempre que sean debidamente aprobados por el cliente. También son de contacto integral con el fluido (full contact).

#### 5.4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TECHO FLOTANTE INTERNO

El techo flotante interno se diseñará y construirá para que flote y descansa en un plano horizontal uniforme (no se requiere pendiente de drenaje).

Todas las costuras en el techo flotante interno que estén expuestas al vapor o líquido del producto deben soldarse, atornillarse, remacharse, sujetarse o sellarse y verificar que sean herméticos con pruebas de detección de fugas en el taller o en el campo.

Se debe proporcionar un faldón hermético al vapor que se extienda al menos 100 mm (4 pulg) dentro del líquido al nivel de flotación de diseño, alrededor del techo interno, periferia del techo flotante y alrededor de todas las intersecciones internas del techo flotante (columnas, escaleras, pozos de amortiguación, bocas de acceso, drenajes de cubierta abierta y otras aberturas del techo), con la excepción de las intersecciones para venteos de presión-vacío (purga).

Todos los accesorios de la cubierta móvil (escotillas, bocas de acceso, dispositivos de alivio de presión y otras aberturas) en el techo flotante interno deben estar conectados eléctricamente al techo flotante interno para evitar chispas de electricidad estática cuando son aperturadas.

Cada compartimiento de flotación cerrado deberá poder ser inspeccionado en el campo para detectar la presencia de gas combustible. Las aberturas de inspección deben estar ubicadas por encima del nivel del líquido y los compartimentos cerrados deben poder volver a sellarse en el campo después de una inspección periódica (para evitar la entrada de líquido o vapor).

Los compartimentos cerrados tipos pontón deben ser accesibles desde la parte superior del techo flotante interno y deben estar provistos de una boca de acceso asegurada y sellada para la inspección visual interna y la tapa de la boca de acceso debe contar con una ventilación adecuada. El borde superior de la boca de inspección debe extenderse un mínimo de 25 mm (1 pulgada) por encima de la parte superior del borde/faldón del pontón.

Los techos flotantes tipo pontón de 6 m (20 pies) de diámetro o menos pueden tener un puerto de inspección en lugar de una boca de inspección. Los puertos de inspección deben cumplir con los requisitos de sellado, aseguramiento y extensión.

Todos los compartimentos de flotación cerrados deberán estar sellados con soldadura para evitar la entrada de líquidos o vapores. Para techos flotantes internos de pontones cada mamparo en un compartimiento de flotación cerrado también debe estar provisto de una soldadura de sello continuo alrededor para que el mamparo a prueba de vapor y líquido.

## 5.4.2 REQUISITOS DE FLOTABILIDAD

Todos los cálculos de diseño de techo flotante interno se deben basar en el menor de la gravedad específica mínima de diseño o 0.7 (para permitir la operación en un rango de servicio de hidrocarburos).

Todos los techos flotantes internos deberán incluir la flotabilidad necesaria para soportar al menos el doble de su peso muerto (incluido el peso de los compartimentos de flotación, el sello y todos los demás techos flotantes y componentes adjuntos), más flotabilidad adicional para compensar la fricción calculada ejercida por los sellos periféricos y de penetración. durante el llenado.

El techo flotante interno debe estar diseñado para que sean capaces de flotar sin daño adicional después de que dos compartimentos sean perforados e inundados y para soportar con seguridad al menos dos hombres que caminan en cualquier lugar del techo mientras está flotando sin dañar el techo flotante y sin permitir que el producto entre en el techo. Una carga aplicada de 2,2 kN (500 lbf) sobre 0,1 m<sup>2</sup> (1 ft<sup>2</sup>) aplicada en cualquier parte del techo se refiere a dos hombres que caminan.

## 5.4.3 DISEÑO DE SOPORTES

Los soportes de techo flotante interno y accesorios estructurales de la plataforma (como almohadillas de refuerzo y extremos de pontones) deben diseñarse para soportar las combinaciones de carga enumeradas a continuación sin exceder las tensiones admisibles.

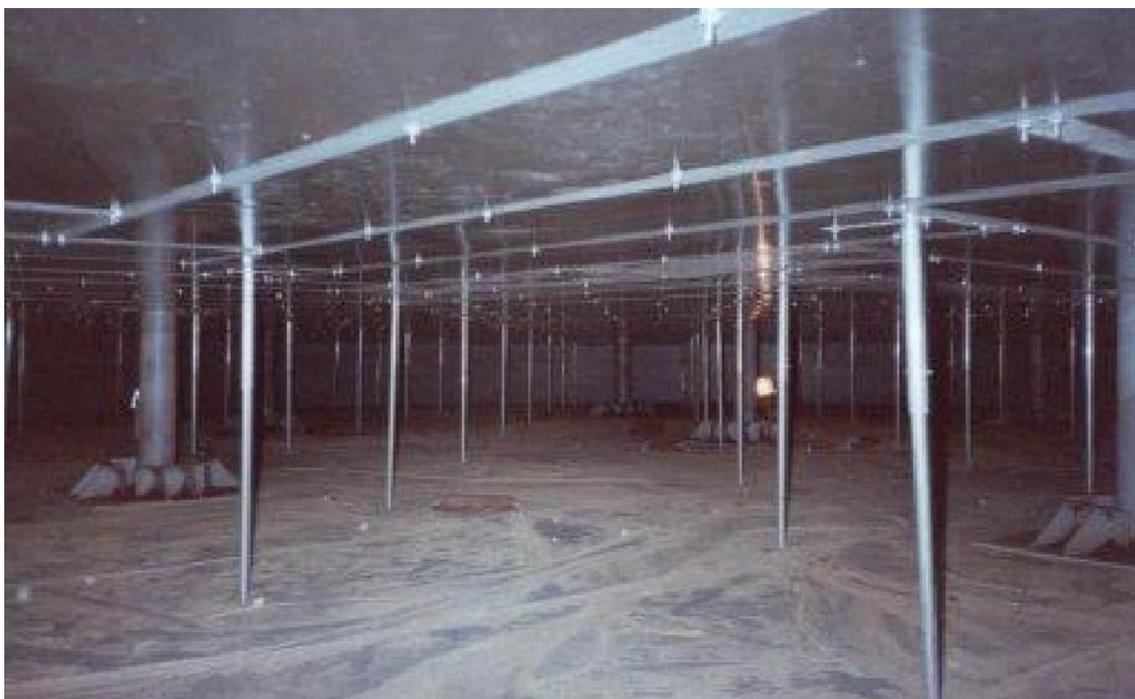
Combinación de cargas:

- Carga muerta del techo flotante incluido el peso de los compartimentos de flotación y el sello.
- La carga viva uniforme del techo flotante interno.
- La presión externa del diseño del techo flotante interno.

La carga admisible en los cables de soporte se determinará utilizando un factor de seguridad de 5 sobre la resistencia última de los cables y sus conexiones, los cables y las conexiones se deben diseñar para la combinación de cargas descritas anteriormente.

**Figura 41**

*Patatas de soporte para un techo flotante interno*



*Nota.* Tomado de [www.ergil-storagetech.com](http://www.ergil-storagetech.com)

#### 5.4.4 DISEÑO DE JUNTAS

Todas las costuras en el techo flotante expuestas directamente al vapor o líquido del producto deben soldarse, empernarse, atornillarse, remacharse, sujetarse o sellarse y verificarse que sean herméticos al vapor según el punto H.6.2. de la API 650.

El aluminio debe estar aislado del acero al carbono mediante un espaciador de acero inoxidable austenítico, una almohadilla elastomérica o una protección equivalente.

El espesor de las soldaduras de filete en material de menos de 4.8 mm (3/16 pulg.) de espesor no debe ser menor que el del miembro más delgado de la junta.

Las uniones atornilladas, roscadas y remachadas son aceptables siempre y cuando el fabricante lo justifique.

El uso de cualquier compuesto para sellar juntas, material aislante, polímero, elastómero o adhesivo debe ser aprobado previamente por el cliente.

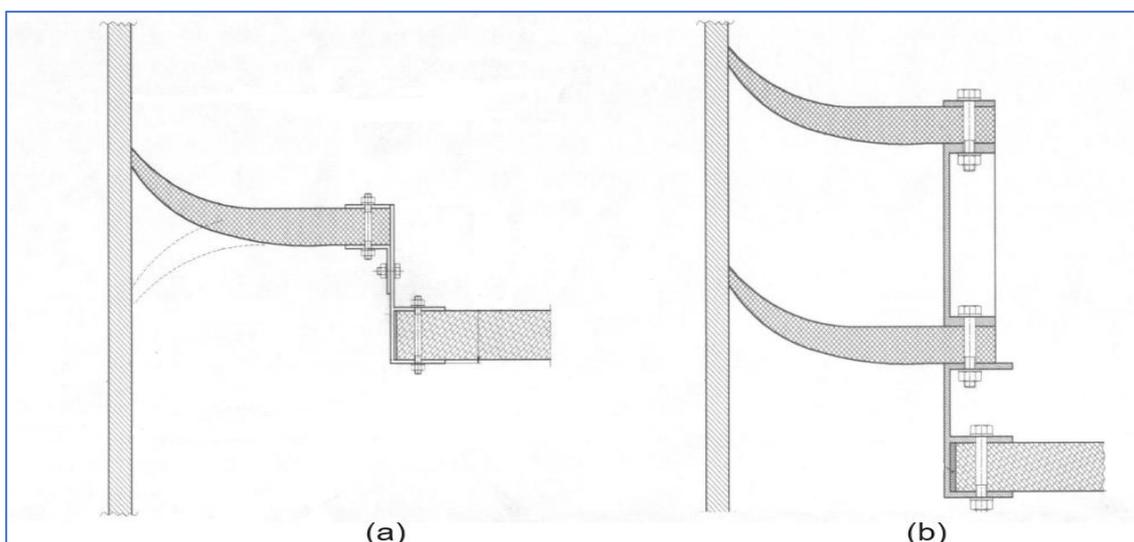
## 5.4.5 SELLO PERIFÉRICO

El Sello periférico primario será de tipo zapata metálica. Las zapatas de acero inoxidable deben cumplir con H.3.3 de la norma API 650 y deben tener un espesor nominal mínimo de 1,2 mm (calibre 18).

Las zapatas primarias deben extenderse al menos 150 mm (6 pulgadas) por encima y al menos 100 mm (4 pulgadas) dentro del líquido en el nivel de diseño de flotación, se debe eliminar la interferencia entre las partes inferiores de los conjuntos de sellos metálicos.

**Figura 42**

(a) Sello simple. (b) Sello doble.



*Nota.* Tomado de [www.ergil-storagetechn.com](http://www.ergil-storagetechn.com)

Además del sello periférico primario del techo flotante requerido, se deben proporcionar sellos periféricos secundarios.

Se deberá proporcionar un sello periférico (también conocido como "rim seal") que abarque el espacio anular entre la cubierta del techo flotante interno y el armazón. Cuando un techo flotante interno tiene dos dispositivos de este tipo, uno montado encima del otro, el inferior es el sello periférico primario y el superior es el sello periférico secundario.

El material de los sellos periféricos secundario lo confirmará el proveedor pudiendo ser cualquiera de los mencionados: uretano, nitrilo.

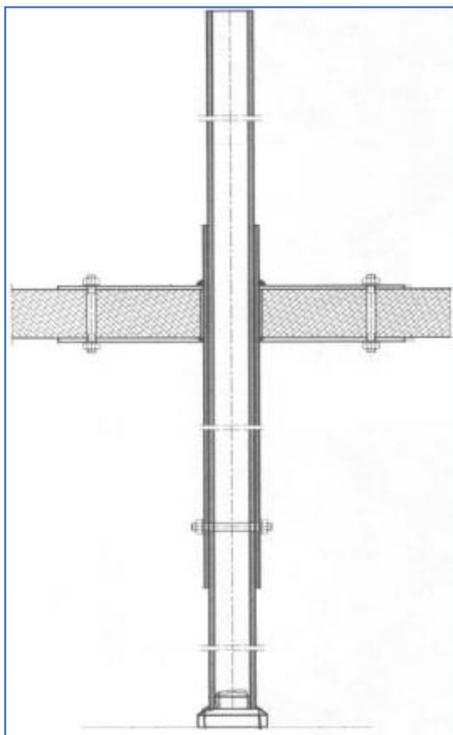
Todos los sellos periféricos y su fijación al techo flotante deben estar diseñados para acomodar  $\pm 100$  mm ( $\pm 4$  in.) de desviación local entre la sábana flotante y la carcasa.

#### 5.4.6 SOPORTE DE SÁBANA FLOTANTE

La sábana flotante deberá contar con soportes ajustables.

##### **Figura 43**

*Soportes ajustables.*



*Nota.* Tomado de [www.ergil-storage.com](http://www.ergil-storage.com)

La altura del techo flotante debe ser ajustable en dos posiciones con el tanque en servicio. El diseño de los soportes deberá evitar daños al techo fijo y a la sábana flotante cuando el tanque se encuentre en condición de desbordamiento.

La posición de la sábana flotante en su punto bajo debe ser la más baja permitida por los componentes internos del tanque, incluidas las boquillas de la coraza con proyecciones internas.

La posición del techo flotante debe proporcionar un espacio libre mínimo de 2 m (78 pulg.) en toda la parte inferior entre el techo y el fondo del tanque, a menos que se especifique lo contrario considerando los accesorios antes mencionados.

Los accesorios de soporte en el área de la cubierta deben estar diseñados para evitar fallas en el punto de unión. En la parte inferior de las placas de cubierta de acero soldadas, donde se prevé la flexión adyacente a los soportes u otros miembros relativamente rígidos, soldaduras de filete completo no menos de 50 mm (2 pulg.) de largo en centros de 250 mm (10 pulg.) se deben usar en cualquier traslape de placa que ocurra dentro de los 300 mm (12 pulg.) de cualquier soporte o miembro.

Los soportes se fabricarán con tubería, estos deben tener muescas para proporcionar un drenaje de líquido completo.

Los soportes de cables deben ser ajustables externamente y no deben tener una penetración abierta en la superficie del techo flotante.

Los cables utilizados para soportar los techos flotantes internos deben ser de acero inoxidable serie 300 y deben ser flexibles para facilitar patrones de colocación repetibles en el techo flotante a medida que se desplaza hacia arriba y hacia abajo dentro del tanque.

Los soportes deben ser de tipo acero inoxidable.

### 5.4.7 VENTEOS

Se deben proporcionar ventilaciones adecuadas para evitar el sobre esfuerzo de la cubierta del techo o la membrana de sellado en la sábana flotante. Estos respiraderos deberán ser adecuados para evacuar el aire y los gases de debajo del techo.

Los respiraderos también deben ser adecuados para liberar cualquier vacío generado debajo del techo después de que se asiente sobre sus soportes durante las operaciones de vaciado para limitar la presión exterior del techo flotante. El fabricante debe dimensionar las ventilaciones.

Los techos flotantes internos que utilizan patas de apoyo deben estar equipados con respiraderos activados por presión o vacío por patas.

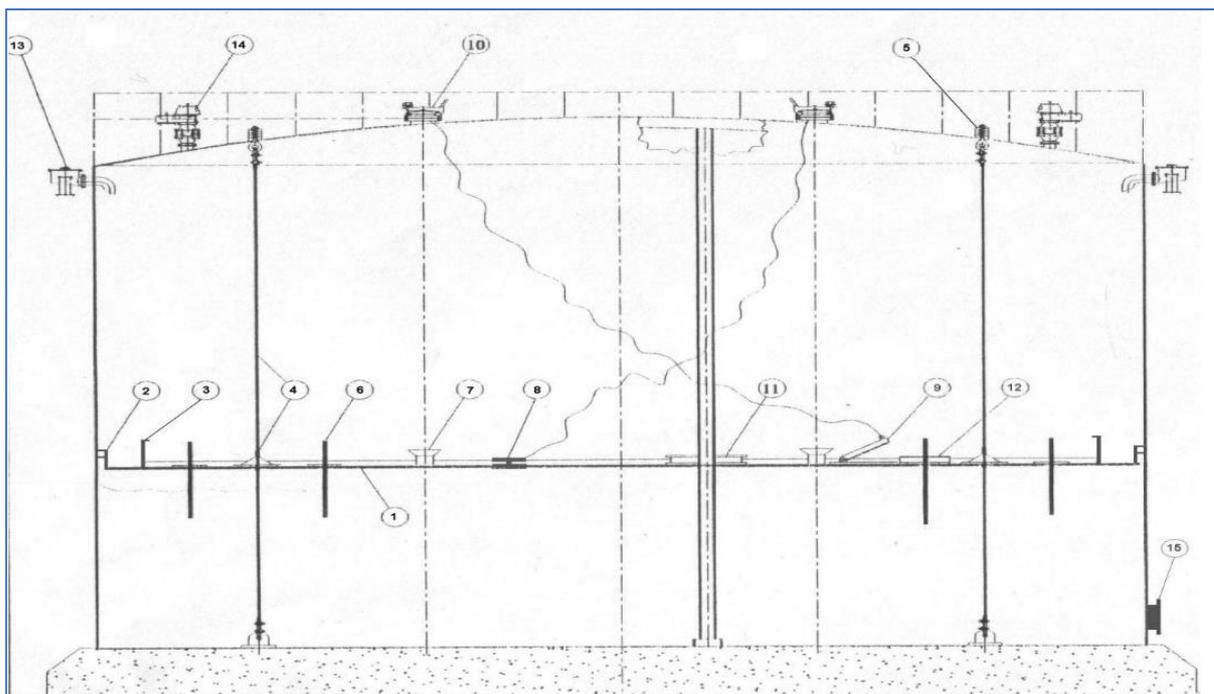
En la figura 44 se indican algunos accesorios básicos a considerar en el techo flotante:

1. Techo flotante interno
2. Sello
3. Escudo para protección de espuma
4. Cable antirrotación

5. Sistema de balance de techo
6. Patas
7. Agujero de medición del techo
8. Sistema de puesta a tierra o cable antiestática
9. Manhole (Entrada de hombre)
10. Boquilla de inspección y medición
11. Sello de agujero para patas
12. Boquilla de vacío
13. Cámara de espuma ahogante
14. Válvula presión/vacío
15. Manhole de tanque

**Figura 44**

*Accesorios del techo flotante interno.*



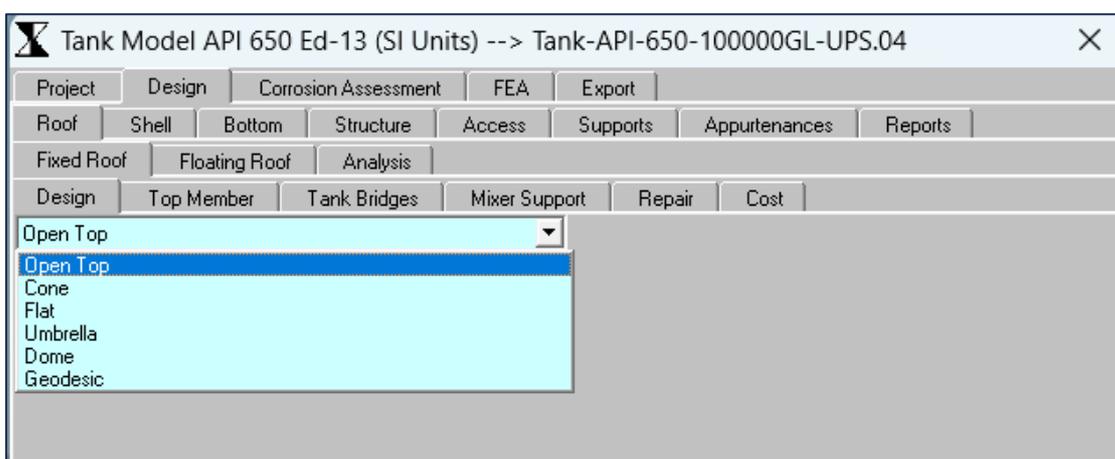
*Nota.* Tomado de [www.ergil-storagetech.com](http://www.ergil-storagetech.com)

## 5.4.8 MODELAMIENTO DE TECHO FLOTANTE SEGÚN API\_650.

A continuación, para nuestro análisis modelaremos nuestro tanque en el software AMETANK considerando al tanque con un techo abierto (Open Top) y un techo flotante interno a fin de especificar sus características mínimas a los proveedores de techos flotantes.

### Figura 45

*Modelamiento con techo abierto.*

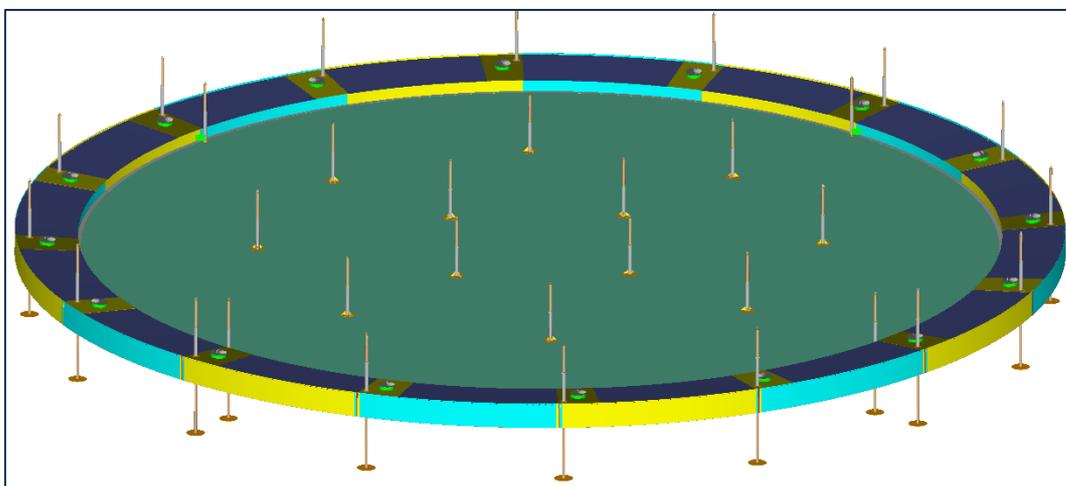


*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

El tanque en general mantendrá los espesores del casco, del fondo, la configuración de la escalera de acceso y la cantidad de boquillas definidas en el diseño original.

### Figura 46

*Esquema gráfico de un techo flotante interno.*



*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

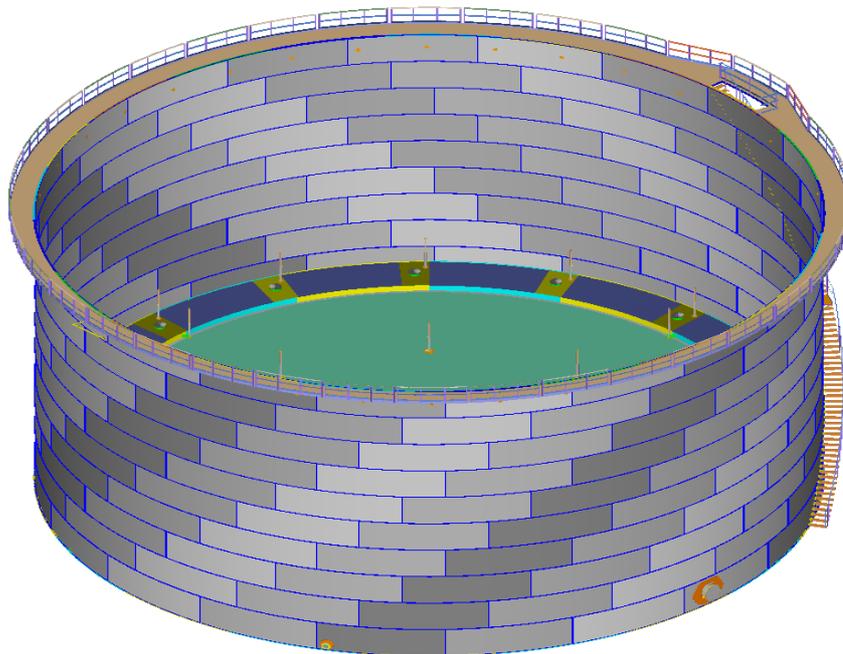
Los techos flotantes internos pueden ser de varios tipos, de cubierta simple, cubierta doble, o tipo pontón entre las más comerciales. Al momento de la procura del techo, se pueden presentar varios proveedores nacionales o internacionales, y lo importante es apoyar al cliente a elegir el techo que mejor se adapte a sus necesidades, lo primero es elaborando una hoja de datos muy completa y clara para que el proveedor tenga claros los criterios y bases de diseño que necesita el techo flotante. Un formato muy amigable, es el formato de “DATA SHEET” propuesto por el API\_650.

Luego de evaluar a cada proveedor técnicamente, podemos sugerir a quien cumpla con la mayoría o todas las condiciones del techo y notificar al cliente, quien tiene la decisión definitiva.

Con los datos del proveedor, se actualiza el modelo y se validan los criterios de diseño y se definen los pesos finales de los elementos del tanque.

#### **Figura 47**

*Modelamiento de tanque con techo flotante interno.*



*Fuente.* Ametank 15.2.16 Copyright 1992-2023 TechnoSoft.

Los pesos estimados por el proveedor, los incorporamos al modelo, obtenemos la tabla de resumen de pesos del tanque con techo interno flotante. Ver tabla 10.

**Tabla 10**

*Resumen de pesos para el tanque diseñado con techo interno flotante.*

Component	New Condition (N)	New Condition (Kg)	Corroded (N)	Corroded (Kg)
SHELL	1,630,603	166,276	1,394,359	142,186
ROOF	0	0	0	0
RAFTERS	0	0	0	0
GIRDERS	0	0	0	0
FRAMING	0	0	0	0
COLUMNS	0	0	0	0
TRUSS	0	0	0	0
STRUCTURE COMPONENTS	0	0	0	0
BOTTOM	676,905	69,026	576,774	58,815
STAIRWAYS	6,797	693	6,797	693
STIFFENERS	7,778	794	7,778	794
WIND GIRDERS	92,187	9,401	92,187	9,401
ANCHOR CHAIRS	0	0	0	0
APPURTENANCES	14,768	1,506	14,768	1,506
INSULATION	0	0	0	0
FLOATING ROOF	434,180	44,274	434,180	44,274
TOTAL	2,863,218	291,970	2,526,843	257,669

*Nota.* AMETank report.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, mostraremos los resultados de cada simulación del tanque con los diferentes techos tanques analizados. El principal análisis que haremos será la cantidad de material que vamos a requerir para la construcción de cada tanque y el impacto que tiene en el costo. En el reporte final del tanque podemos obtener los pesos bastante aproximados de cada uno de los elementos del tanque. La selección del tipo de techo, como ya se mencionó, vendrá acompañado del análisis del producto a almacenar y el tamaño del tanque.

Todos los tanques se diseñaron con planchas ASTM A-36 de formatos locales y buscando optimizar los cortes y la generación de retazos innecesarios, donde aplicaba, se buscó reducir la sección de los perfiles requeridos para las columnas, los rafters y girders que soporten las cargas mínimas permisibles por la normativa. Se eligieron perfiles con inercias adecuadas y de pesos aligerados. Como resultado de los cálculos se obtuvieron los siguientes pesos de tanques:

### 6.1 TANQUES CON TECHO CÓNICO FIJO SOPORTADO.

Los resultados del tanque modelado con techo fijo soportado por una (01) columna, aparte de ser estable, presenta un peso total del tanque de 313,926 kg.

Los componentes principales del tanque sin considerar el techo (casco, fondo, escaleras, refuerzos, accesorios) tendrán un peso típico o constante de 239,087 kg. Y el peso de los componentes del techo (planchas y estructura) que evaluaremos tiene un valor aproximado de 74,839 kg.

Los resultados del tanque modelado con techo fijo soportado en seis (06) columnas, aparte de ser estable, presenta un peso total del tanque de 307,314 kg.

Los componentes principales del tanque sin considerar el techo (casco, fondo, escaleras, refuerzos, accesorios) tendrán un peso típico o constante de 239,087 kg.

Y el peso de los componentes del techo (planchas y estructura) que evaluaremos tiene un valor aproximado de 68,227 kg.

## 6.2 TANQUE CON TECHO CÓNICO FIJO AUTO SOPORTADO.

El peso total del tanque modelado como techo fijo auto soportado sin columnas es de 351,794 kg.

Los componentes principales del tanque sin considerar el techo (casco, fondo, escaleras, refuerzos, accesorios) tendrán un peso de 267,851 kg. Y el peso de los componentes del techo (planchas y estructura) que evaluaremos tiene un valor aproximado de 83,943 kg.

## 6.3 TANQUE CON TECHO TIPO DOMO GEODÉSICO.

El peso total del tanque modelado con un techo tipo domo geodésico es 266,529 kg.

Los componentes principales del tanque sin considerar el techo (casco, fondo, escaleras, refuerzos, accesorios) tendrán un peso de 246,461 kg. Y el peso de los componentes del techo (planchas y estructura) que evaluaremos tiene un valor aproximado de 20,068 kg.

## 6.4 TANQUE CON TECHO FLOTANTE INTERNO.

El peso total del tanque modelado como techo flotante interno es 291,970kg

Los componentes principales del tanque sin considerar el techo (casco, fondo, escaleras, refuerzos, accesorios) tendrán un peso de 247,696 kg. Y el peso de los componentes del techo (planchas y estructura) que evaluaremos tiene un valor aproximado de 44,274 kg.

En la tabla 11 podemos ver las diferencias de pesos entre los elementos de los techos analizados, y poder recomendar según su aplicación cual es el tipo de techo adecuado por servicio, peso, y costo aproximado de construcción.

**Tabla 11**

*Cuadro comparativo de pesos.*

TIPOS DE TECHOS	ESTRUCTURA INTERNA		PESOS DE LOS COMPONENTES [Kg]						PESO TOTAL [Kg]	PRODUCTOS RECOMENDADOS
	COLUMNAS	RAFTERS & GIRDERS	ESTRUCTURA	CASCO	FONDO	ACCESORIOS	TECHO	TECHO FLOTANTE		
TECHO FIJO CONICO SOPORTADO	01 COLUMNA CENTRAL	58 RAFTERS	38,254	164,675	69,026	5,386	36,585	0	<b>313,926</b>	DIESEL DB5 DIESEL D20
TECHO FIJO CONICO SOPORTADO	01 COLUMNA CENTRAL 05 COLUMNAS INTERMEDIAS	85 RAFTERS 5 GIRDERS	31,642	164,675	69,026	5,386	36,585	0	<b>307,314</b>	DIESEL DB5 DIESEL D20
TECHO FIJO CONICO AUTO-SOPORTADO		90 RAFTERS 3 BRACINGS	47,358	189,376	69,026	9,449	36,585	0	<b>351,794</b>	-
TECHO TIPO DOMO GEODÉSICO	ESTRUCTURA GEODÉSICA		12,300	164,675	69,026	12,760	7,768	0	<b>266,529</b>	GASOLINA 91/95/98
TECHO FLOTANTE INTERNO	NO		0	166,276	69,026	12,394	0	44,274	<b>291,970</b>	GASOLINA 91/95/98

*Nota. Autoría propia*

Los valores obtenidos servirán al ingeniero diseñador a tomar una decisión mucho más clara y respaldada en criterios constructivos, de mantenibilidad y servicio del tanque de almacenamiento.

Análisis #1 de resultados:

El primer análisis comparativo que podemos hacer con este cuadro es entre los techos fijos cónicos soportados, por un lado, el techo soportado por 01 columna, y compararlo con el techo soportado por 06 columnas.

**Tabla 12**

*Comparación entre techos fijos soportados.*

TIPOS DE TECHOS	ESTRUCTURA INTERNA		PESO DE ESTRUCTURA [Kg]
	COLUMNAS	RAFTERS & GIRDERS	
TECHO FIJO CONICO SOPORTADO	01 COLUMNA CENTRAL	58 RAFTERS	38,254
TECHO FIJO CONICO SOPORTADO	01 COLUMNA CENTRAL 05 COLUMNAS INTERMEDIAS	85 RAFTERS 5 GIRDERS	31,642

*Nota.* Autoría propia.

La diferencia entre estos techos es de 6,500 Kg, que equivale a un 2% del peso total que tienen estos tanques, y el hecho de tener una sola columna de 18” de diámetro, versus colocar 06 columnas de 12” de diámetro.

Análisis #2 de resultados:

Analizando todos los resultados y compararlos entre sí, podemos descartar el tanque más pesado, en este caso el tanque con techo fijo cónico auto soportado, ya que el diámetro del tanque es tan grande, que la configuración de la estructura se vuelve muy robusta y por ende pesada y costosa (83,943 kg). Al mismo tiempo causa un efecto negativo sobre el casco del techo haciéndolo débil e inestable, viéndonos en la necesidad de aumentar el espesor de los anillos, lo cual incrementa mucho más el peso (351,794 kg).

### Análisis #3 de resultados:

Los techos fijos cónicos en general, se utilizan para productos que no generan alta evaporación, por lo tanto, los productos Diesel DB5 y D20 se almacenará de manera adecuada en este tipo de techos, y en nuestro caso específico, en un techo fijo cónico soportado por 01 columna.

### Análisis #4 de resultados:

Debido al diámetro del tanque, cuando tengamos que almacenar los productos volátiles como las gasolinas, se producirán evaporaciones excesivas, por lo tanto, lo adecuado será almacenarlos en un tanque con techo domo e internamente con un techo flotante interno.

**Tabla 13**

*Combinación de domo y techo flotante interno.*

TIPOS DE TECHOS	PESOS DE LOS COMPONENTES [Kg]					TECHO FLOTANTE	PESO TOTAL [Kg]
	ESTRUCTURA	CASCO	FONDO	ACCESORIOS	TECHO		
TECHO DOMO GEODÉSICO	12,300	164,675	69,026	12,760	7,768	0	<b>266,529</b>
TECHO FLOTANTE INTERNO	0	166,276	69,026	12,394	0	44,274	<b>291,970</b>
COMBINACIÓN DE TECHOS	12,300	164,675	69,026	12,760	7,768	44,274	<b>310,803</b>

*Nota.* Autoría propia.

La combinación de techos domo y flotante interno, cubrirá los requerimientos de la normativa y de la legislación nacional para las emisiones reducidas de vapores de combustibles. El peso del tanque (310,803 Kg.) es muy similar al tanque de techo cónico soportado, por lo que no representa un impacto en el presupuesto al instalar un tipo u otro de techos.

Para futuros proyectos de tanques verticales atmosféricos, estos criterios serán muy útiles desde el inicio del diseño, ya que las condiciones van a cambiar en cada

---

proyecto, desde la ubicación, el espacio disponible, el material a almacenar, y todas las restricciones que el ingeniero identifique en los proyectos.

## 7. CONCLUSIONES

---

- Del análisis #1 presentado en la sección 6, podemos concluir que el tanque más adecuado para almacenar los productos Diesel DB5 y D20, es el tanque con techo fijo cónico soportado, ya que resulta conveniente al momento de evaluar el espacio que ocupan las columnas dentro del tanque, la construcción, pintura y mantenimiento de estas columnas. Por otro lado, la cantidad de rafters que requiere la estructura de una sola columna es menor, aunque tengan una sección mayor, nos beneficia tener un espacio óptimo entre los rafters para colocar los manholes y boquillas necesarias, el mantenimiento y pintura de los rafters y del techo en general también se optimiza en tiempo y costos.
- Del análisis #2 podemos concluir que, para tanques de gran diámetro, los techos auto soportados no son viables, si debemos especificar este tipo de techos, pueden resultar adecuados para diámetros pequeños donde las longitudes de los rafters y su sección no se vuelvan un problema o genere un sobre diseño, versus el techo con columnas. La ventaja del software AMETANK es que nos permite iterar y de manera inmediata obtener los perfiles que cumplen los requerimientos normativos.
- Del análisis #3 se concluye que los productos Diéseles DB5 y D20 son más factibles su almacenamiento en tanques con techo fijo cónico. Estos tanques requieren por seguridad una válvula de alivio de presión, y según el diámetro del tanque, una junta frágil.
- Del análisis #4 podemos concluir que la manera más adecuada para almacenar productos como las gasolinas, dentro de techos con grandes diámetros, es con un techo cerrado, y el domo de aluminio es ideal desde el punto de vista estructural, liviano y estable, y bajo el criterio de la alta evaporación de las gasolinas, lo adecuado es colocar un techo flotante interno, para reducir las emisiones al medio ambiente.
- Los precios del kilo de acero en el mercado bordean al presente año, los 2.00 USD por kilo construido, de tal manera que un tanque de acero ASTM A-36 de

300,000 Kg nos puede costar alrededor de 900,000 dólares sin contemplar los gastos de obras civiles, eléctricas e instrumentación y control.

- Los precios de un domo geodésico y de un techo flotante interno dependiendo del material (acero al carbono, aluminio, o acero inoxidable) puede incrementar el precio del tanque, sin embargo, el costo-beneficio se puede evaluar de la mano con el cliente y los años de recuperación de inversión que su proyecto contemple.
- De manera general, podemos concluir que los diseños de tanques con diámetros amplios se vuelven estables ante cargas sísmicas, no requieren anclajes. Al tener un área tan amplia en la superficie del líquido, se produce más evaporación, por lo que un techo cerrado es muy conveniente para las condiciones presentadas en este estudio.
- La variedad de condiciones que se presenten en la industria nos va a arrojar varias posibilidades de diseño, por lo cual la normativa API\_650 también nos brinda una gama amplia de alternativas para llegar a cubrir dichos requerimientos. La idea es que el diseñador tenga las herramientas, y abrazado de las normativas pueda escoger con criterio, el diseño óptimo de un tanque y presentarlo al cliente final con completa seguridad de un trabajo de ingeniería bien hecho.

## REFERENCIAS

---

- API 650. (2023). *Welded Steel Tanks for Oil Storage*. American Petroleum Institute. Errata 1, 13ª Edición.
- ASME B16.5. (2014). *Pipe flanges and flanged fittings*.
- ASTM A193. (2005). *Standard specification for alloy steel and stainless steel bolting for high-temperature or high-pressure service and other special-purpose applications*.
- ASTM A307. (2004). *Standard specification for carbon steel bolts, studs, and threaded rod 60000 psi tensile strength*.
- ASTM A36. (2005). *Standard specification for carbon structural steel*.
- ASTM A53. (2004). *Standard specification for pipe, steel, black and hot-dipped, zinc-coated, welded, and seamless*.
- AWS D1.1. (2020). *Structural welding Steel*.
- Brawnell, Lloyd y Young, Edwin (1959). *Process equipment Desing*. Editorial John Wiley y Sons. U.S.A. (1959)
- Calabro, D., Godoy, L.A, y Jaca, R.C. (2016). *Comportamiento de tanques de almacenamiento con techo flotante frente a acciones térmicas*.
- Calabro, D., Godoy, L.A, y Jaca, R.C. (2014). *Inestabilidad de tanques de almacenamiento de petróleo con techo cónico durante un incendio*. Revista Sul-Americana de Engenharia Estructural, 11(1):7-28.
- Domos Geodésicos ATECO. ATECO DOME ROOF CATALOGUE. [Disponible en: [www.atecotank.com](http://www.atecotank.com); Accedido el: 27 de octubre del 2023].
- Geodesic Dome Constructor. Tomado de geo-dome.co.uk: [Disponible en: [http://geo-dome.co.uk/3v\\_tool.asp](http://geo-dome.co.uk/3v_tool.asp); Accedido el: 27 de octubre del 2023].
- Ochoa, C. (2023). *Diseño de tanques según api 650*.
- León, J. (1994). *Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento*.
- Marquina, A. (2006). *Análisis estructural en la junta techo-envolvente de tanques atmosféricos de almacenamiento de crudo de 560 barriles*.
- Megyesy, E. (2015) *Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo*. Editorial Limusa – Noruega. Séptima Edición. México, D.C.

---

Rodríguez, J. (1980). Procedimiento General para la Fabricación y Montaje de Tanques de Almacenamiento. Tampico, Tamps.