



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE
DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE 790m³
SEGÚN LA NORMA API 650 PARA EL CONTROL DE
INCENDIOS EN LA PLANTA DE GAS UBICADA EN BAJO
ALTO-MACHALA PARA LA EMPRESA MATRYMEC/FH-
INGESERV”**

AUTOR: CHECA GARZÓN, ARMANDO RAFAEL

DIRECTOR: ING. RODRIGUEZ, XAVIER

CODIRECTOR: ING. MARIÑO, OSWALDO

SANGOLQUÍ

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y
MECÁNICA

CERTIFICADO

ING. XAVIER RODRIGUEZ
Director

ING. OSWALDO MARIÑO
Codirector

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE 790m³ SEGÚN LA NORMA API 650 PARA EL CONTROL DE INCENDIOS EN LA PLANTA DE GAS UBICADA EN BAJO ALTO-MACHALA PARA LA EMPRESA MATRYMEC/FH-INGESERV”**, realizado por: Armando Rafael Checa Garzón, ha sido guiado y revisado periódicamente, cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad

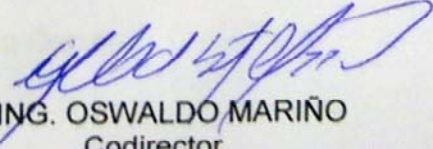
Debido a la veracidad de la información expuesta en el estudio y su aplicación, se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de dos documentos empastados y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil.

Autorizan a Armando Rafael Checa Garzón a entregar el mismo a los correspondientes departamentos

Sangolquí, 14 de Mayo 2015


ING. XAVIER RODRIGUEZ
Director


ING. OSWALDO MARIÑO
Codirector

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Armando Rafael Checa Garzón

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado "INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE 790m³ SEGÚN LA NORMA API 650 PARA EL CONTROL DE INCENDIOS EN LA PLANTA DE GAS UBICADA EN BAJO ALTO-MACHALA PARA LA EMPRESA MATRYMEC/FH-INGESERV", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 14 de Mayo del 2015

Armando Rafael Checa Garzón

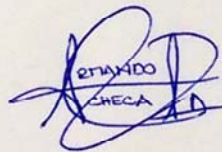
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Armando Rafael Checa Garzón

Autorizo a la Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo titulado "INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE 790m³ SEGÚN LA NORMA API 650 PARA EL CONTROL DE INCENDIOS EN LA PLANTA DE GAS UBICADA EN BAJO ALTO-MACHALA PARA LA EMPRESA MATRYMEC/FH-INGESERV", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 14 de Mayo del 2015



Armando Rafael Checa Garzón

DEDICATORIA

*A mis Padres,
los que me brindan siempre
su apoyo incondicional,
enseñándome a seguir
mis ideales y sueños,
quiero dedicarles este esfuerzo
y meta alcanzada.*

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidarme y guiarme siempre desde arriba, siendo mi apoyo espiritual.

A mis Padres que siempre han sabido ser mi apoyo, en los pasajes buenos y sobretodo en los malos, siendo unos modelos a seguir y mis guías en el camino de la vida.

A mi hermana que siempre ha sabido estar pendiente de mí y ha sido de igual manera mi apoyo incondicional.

A la Universidad Fuerza de las Armada ESPE, por ser la responsable de mi formación académica profesional y personal en mi carrera de pregrado.

A mis familiares y amigos, que siempre creyeron en mí para cumplir este sueño.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1. Antecedentes	1
2. Definición del Problema	2
3. Objetivos	2
3.1. Objetivo General.....	2
3.2. Objetivo Específico.....	2
4. Justificación	3
5. Alcance	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
1. Sistemas Contra Incendios (SCI).....	6
1.1. Definición.....	6
2. Normas, Estándares y Códigos a Usarse	18
2.1. Norma API 650	19
3. Sistemas de Almacenamiento de Fluidos	21
3.1. Recipientes a Presión.....	21
3.2. Tanques Atmosféricos.....	24
3.3. Tanques Empernados	33
CAPÍTULO III: INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BÁSICA	35
1. Ingeniería Conceptual.....	35
1.1. Identificación de los criterios del cliente	35
1.2. Data Sheet del tanque:.....	36
2. Ingeniería Básica	37
2.1. Materiales disponibles en el mercado	37
2.2. Cálculos básicos: cantidad de material necesario.....	37

2.3. Presupuesto estimado de materia prima al $\pm 30\%$	53
CAPÍTULO IV: INGENIERÍA DE DETALLE	55
1. Consideraciones generales de diseño	55
1.1. Materiales	55
1.2. Cargas	60
1.3. Factores de diseño	61
1.4. Cargas externas	62
1.5. Capacidad del tanque	62
1.6. Consideraciones especiales	63
1.7. Simbología	64
2. Cuerpo del tanque	67
2.1. Consideraciones de diseño	67
2.2. Cálculos y Diseño	73
3. Fondo del tanque	79
3.1. Consideraciones de diseño	79
3.2. Cálculos y diseño	81
4. Techo del tanque	82
4.1. Consideraciones de diseño	82
4.2. Cálculo y diseño del techo	88
5. Estabilidad al volcamiento (carga de viento en los tanques)	98
5.1. Consideraciones de diseño	98
5.2. Cálculos de estabilidad al volcamiento	99
6. Aberturas en el tanque (Bocas)	104
6.1. Consideraciones de diseño	104
6.2. Diseño de aberturas	111
7. Escalera y pasamanos perimetral	120
7.1. Escalera	120
7.2. Plataforma de descanso de escalera vertical	123
7.3. Pasamanos perimetral	125
8. Diseño de juntas soldadas	127
8.1. Definiciones de juntas	127
8.2. Tamaño de las soldaduras	128

8.3. Restricciones en las juntas	128
8.4. Juntas típicas.....	129
8.5. Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores	135
9. Plan de Pintura.....	136
10. Planos Aprobados Para la Construcción	139
11. Lista de Personal, Materiales y Consumibles	139
12. Verificación del factor seguridad de la norma API 650	151
13. Pruebas Constructivas.....	156
13.1. Inspección de soldadura por radiografía	156
13.2. Prueba neumática	157
13.3. Prueba de caja de vacío.....	158
13.4. Prueba diésel	158
13.5. Prueba hidrostática	159
13.6. Inspecciones de pintura	159
CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO	161
1. Análisis Económico	161
1.1. Costos directos.....	161
1.2. Costos indirectos	166
1.3. Costo total	168
CONCLUSIONES	169
RECOMENDACIONES.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Requisitos del cliente para el tanque	35
Tabla 2:Peso del cuerpo del tanque con planchas de ancho $A_p=1800$	43
Tabla 3: Peso del cuerpo del tanque con planchas de ancho $A_p=2440$	43
Tabla 4: Peso del fondo del tanque	44
Tabla 5: Peso del techo del tanque.....	46
Tabla 6: Peso de bocas y accesorios del tanque.....	46
Tabla 7: Presupuesto estimado tanque	54
Tabla 8:Comparativa aceros al carbono ASTM: A 285 y A 36	73
Tabla 9: Factores de matriz de pesos ponderados	73
Tabla 10: Matriz de pesos ponderados.....	74
Tabla 11:Datos definitivos para el tanque.....	76
Tabla 12:Resumen anillos del cuerpo del tanque	78
Tabla 13:Bocas del cuerpo del tanque.....	112
Tabla 14:Dimensiones manhole de cuerpo.....	114
Tabla 15:Dimensiones puerta de limpieza	116
Tabla 16:Dimensiones manhole de techo	117
Tabla 17:Bocas de techo del tanque.....	119
Tabla 18:Perfiles estructurales escalera vertical.....	123
Tabla 19:Perfiles estructurales plataforma de descanso	125
Tabla 20:Perfiles estructurales pasamanos perimetral	126
Tabla 21:Sistema de recubrimiento exterior	137
Tabla 22: Sistema de recubrimiento interior	138
Tabla 23:Listado de personal necesario	139
Tabla 24:Lista de materia prima general.....	140
Tabla 25:Rendimientos prácticos de consumibles	142
Tabla 26:Rendimientos prácticos de equipo de protección personal	143
Tabla 27:Factor de consumo de electrodos	144
Tabla 28:Consumo de electrodos	144
Tabla 29:Cantidad de electrodos	145
Tabla 30:Cálculo de áreas para pintura externa	146
Tabla 31:Cálculo de áreas para pintura interna	149

Tabla 32: Cálculo de cantidades de pintura	150
Tabla 33: Factor de seguridad API 650	156
Tabla 34: Criterios de aceptación y de rechazo de prueba de adherencia	160
Tabla 35: Costos Directos	161
Tabla 36: Costos Indirectos	166
Tabla 37: Costo Total	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Medidas de protección pasivas sistemas contra incendios	8
Figura 2: BIE (Boca de Incendios Equipada)	10
Figura 3: Hidrante	11
Figura 4: Extintor	12
Figura 5: Columna seca SCI	13
Figura 6: Tanque de almacenamiento de agua SC	13
Figura 7: Sistema de bombeo de agua SCI	14
Figura 8: Red de distribución de agua SCI	15
Figura 9: Central o unidad de control SCI	15
Figura 10: Tipo de detección de incendios	16
Figura 11: Detector de humo iónico	16
Figura 12: Rociadores SCI	17
Figura 13: Secuencia de disparo rociadores automáticos SCI	17
Figura 14: Clasificación de recipientes a presión	22
Figura 15: Recipiente de almacenamiento	22
Figura 16: Recipiente de proceso (Separador de agua trifásico)	23
Figura 17: Recipiente cilíndrico horizontal	23
Figura 18: Recipiente esférico	24
Figura 19: Tanque cilíndrico horizontal	25
Figura 20: Clasificación tanques atmosféricos	25
Figura 21: Tanque cilíndrico vertical	26
Figura 22: Tanque de techo autosoportado	27
Figura 23: Tanque de techo soportado	27
Figura 24: Tanque de techo flotante	28

Figura 25: Tanque sin techo	28
Figura 26: Fondo de un Tanque Atmosférico.....	29
Figura 27: Planchas de cuerpo de un Tanque Atmosférico	29
Figura 28: Techo de un Tanque Atmosférico	30
Figura 29: Bocas o nozzles de un Tanque Atmosférico.....	30
Figura 30: Manhole de un Tanque Atmosférico	31
Figura 31: Sumidero de un Tanque Atmosférico.....	31
Figura 32: Boca de venteo de un Tanque Atmosférico	32
Figura 33: Puerta de Limpieza de un Tanque Atmosférico	32
Figura 34: Escalera vertical de un Tanque Atmosférico.....	33
Figura 35: Escalera espiral de un Tanque Atmosférico	33
Figura 36: Tanque Empernado	34
Figura 37: Ángulos de tope	38
Figura 38: Esquema del cuerpo con ancho de plancha 1800 mm	40
Figura 39: Esquema del cuerpo con ancho de plancha 2440 mm	41
Figura 40: Juntas cuerpo-techo para un tanque	45
Figura 41: Demanda de agua para mangueras y requerimientos de duración de suministro de agua para sistemas calculados por método hidráulico	48
Figura 42: Curvas área/densidad para el suministro de agua de rociadores	49
Figura 43: Regímenes mínimos de aplicación y tiempos de descarga para salidas fijas de descarga sobre áreas represadas con hidrocarburos líquidos	52
Figura 44: Volúmenes y niveles del tanque de almacenamiento	63
Figura 45: Espesores mínimos de cuerpos de tanques según su diámetro.....	67
Figura 46: Tamaño de ángulos de tope mínimos.....	70
Figura 47: Alternativa con doblez de junta cuerpo-techo	71
Figura 48: Esquema del cuerpo definitivo	78
Figura 49: Anillo de protección.....	80
Figura 50: Esquema techo cónico de un tanque.....	89
Figura 51: Esquema de longitud de vigas	93
Figura 52: Esquema de longitud de columna.....	96

Figura 53: Revisión de volcamiento para tanques no anclados	99
Figura 54: Detalle de boca de cuerpo	113
Figura 55: Detalle de boca de techo	120
Figura 56: Escalera vertical	122
Figura 57: Juntas Verticales típicas de cuerpo	130
Figura 58: Juntas horizontales típicas de cuerpo.....	131
Figura 59: Juntas típicas de fondo.....	132
Figura 60: Método de preparación de traslape de láminas del fondo debajo del cuerpo del tanque.....	133
Figura 61: Tamaños mínimos del filete de soldadura de la junta cuerpo-fondo.....	134

RESUMEN

En este proyecto se realiza el diseño de un tanque atmosférico de almacenamiento de agua de 790 m³ de capacidad para el sistema contra incendios de la planta de gas ubicada en Bajo-Alto Machala, para la empresa FH-Ingeserv/Matrymec. El diseño se lo hace mediante la norma API 650, la cual es para tanques soldados de acero para almacenamiento. Este proyecto surge como la necesidad de la construcción de un sistema contra incendios en la planta de gas con su respectivo sistema de almacenamiento de agua, pues la substancia que se maneja en la planta es gas natural, substancia sumamente inflamable, motivo por el cual se encuentran en constante peligro las poblaciones cercanas a la planta, ante cualquier posible incendio. Inicialmente se identifican los requerimientos del cliente del tanque en la ingeniería conceptual, luego se determinan los principales aspectos constructivos del tanque tomando en consideración la disponibilidad de material en el mercado y los cálculos básicos. Se procede a diseñar todos los aspectos constructivos del tanque en la ingeniería de detalle tomando en cuenta el diseño del cuerpo, fondo, techo, estructura del techo, manhole, puerta de limpieza, bocas de cuerpo y de techo, pasamanos perimetral, escalera vertical con su plataforma de descanso, juntas soldadas, plan de pintura y las pruebas constructivas necesarias. Adicional se calcula el factor de seguridad que utiliza la norma API 650 para dos casos críticos como son: el primer anillo del cuerpo y la tapa del manhole. Finalmente se determinan los costos directos, indirectos y totales para la construcción del tanque.

PALABRAS CLAVES:

- **TANQUE ATMOSFÉRICO**
- **NORMA API 650**
- **AGUA**
- **DISEÑO MECÁNICO**
- **MECÁNICA DE MATERIALES**

ABSTRACT

In this project, the design of an atmospheric storage tank water 790 m³ capacity for the fire system of the gas plant located in Bajo-Alto Machala, for the company FH-Ingeserv / Matrymec is performed. The design is based on the API 650 standard: welded steel tank for storage. This project comes as the need to build a fire protection system in the gas plant with its own water storage system, because the substance is handled in the plant is natural gas, highly flammable substance, so towns near the plant are in constant danger, if any fire occurs. Initially the customer requirements are identified in the conceptual engineering, then the main tank construction aspects are determined taking into consideration the availability of material on the market and basic calculations. Next, all the constructive aspects of the tank are designed in the detailed engineering taking into account the shell, bottom, roof, roof structure, manhole, cleanout, nozzles of shell and roof, perimeter railings, vertical ladder and their landing platform, welded joints, paint system and constructive testings. Additional is calculated safety factor that uses the API 650 standard for two critical cases: the first ring of the shell and the manhole cover. Finally, the direct, indirect and total costs for the construction of the tank are determined.

KEYWORDS:

- **ATMOSPHERIC TANK**
- **STANDARD API 650**
- **WATER**
- **MECHANICAL DESIGN**
- **MECHANICS OF MATERIALS**

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1. Antecedentes

Los Sistemas de protección contra incendios (SCI) son aquellos que permiten mediante una acción coordinada, reducir la magnitud de un incendio y sus efectos, a través de la inhibición química de la llama, enfriamiento, sofocación o retiro del material combustible hasta que se logre la extinción.

Según Petroecuador, en su norma PE-SHI-018 (Norma Petroecuador: sistemas de agua contra incendios para instalaciones petroleras):

Los SCI deben contar con una fuente de suministro de agua: pueden ser de carácter ilimitado, cuando provienen de fuentes naturales tales como lagos, mares y ríos; en cuyo caso será necesario el diseño de la captación y la estación de bombeo; y, de carácter limitado, que pueden ser de dos tipos:

- Piscinas de agua
- Tanques atmosféricos

En cuyo caso deben ser construidos de acuerdo a prácticas de ingeniería aprobadas, que garanticen la capacidad requerida.

Para amenorar los efectos de la contaminación ambiental (desechos, algas, bacterias) y asegurar la calidad del agua se suele utilizar un sistema de almacenamiento cerrado, es decir un tanque atmosférico con techo.

Un punto fundamental del SCI es el sistema de almacenamiento, pues suministra la suficiencia y confiabilidad del agente extinguidor universal por excelencia que causa disminución de la temperatura en el fuego, evita la emisión de vapores que alimentan el fuego y sirve como disolvente para el otro agente extinguidor generalmente utilizado en estos sistemas que es la espuma.

2. Definición del Problema

La falta de un sistema de almacenamiento de agua para el nuevo SCI de la planta deshidratadora de gas para asegurar un suministro de agua continuo y disponible en todo momento para un eventual incendio, debido a que en la actualidad la planta no cuenta con un sistema automático de detección, tampoco de un sistema automático de extinción y enfriamiento y de notificación de incendios, solo cuenta con un sistema BPCS (Basic Process Control System), que genera alarmas de los procesos operativos de la planta e inclusive el apagado de la misma ante el disparo de fusibles termo mecánicos distribuidos en algunas partes sensibles del proceso.

La planta de deshidratación esta interconectada a una planta de generación y a la planta de Licuefacción de Gas, cualquier evento de incendio podría afectar a estas otras instalaciones y la seguridad de su personal, por lo que un sistema de detección temprana, extinción-enfriamiento automático y notificación masiva es imprescindible.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Realizar la Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle de un sistema de almacenamiento de agua de 790 m³ de capacidad mediante la norma API 650 para la empresa FH-INGESERV/MATRYMEC

3.2. Objetivo Específico

- a. Determinar los requerimientos de cliente, a través del desarrollo de la Ingeniería Conceptual del tanque.
- b. Desarrollar los aspectos constructivos principales del tanque por medio de la Ingeniería Básica.
- c. Desarrollar todos los aspectos necesarios para la construcción del tanque a través de la Ingeniería de Detalle.
- d. Realizar la evaluación técnica-económica del proyecto

4. Justificación

La planta deshidratadora de gas maneja como materia prima gas natural, que es una substancia sumamente inflamable, nivel 4, máximo nivel según el rombo de seguridad de la clasificación de riesgos DOT (Department of Transportation, USA) o la norma NFPA 704, adicionalmente tiene un alto poder calorífico, aproximadamente el doble del que tiene el gas doméstico que se usa en la mayoría de hogares; motivos por los cuales es muy importante la implementación del SCI con su respectivo sistema de almacenamiento de agua en la planta para poder controlar inmediatamente cualquier eventual incendio, en el caso que no se logre controlar un evento de este tipo a tiempo causarían grandes explosiones, donde se verían afectadas no solo las instalaciones de la planta sino también parroquias como: Barbones, de la cual forma parte la población Bajo Alto, que cuenta con aproximadamente 5000 personas, El Guabo, que cuenta con una población de aproximadamente 25000 personas, causando grandes pérdidas humanas y materiales.

Adicional la planta de deshidratación de gas está interconectada en sus cercanías a una planta de generación y a la planta de Licuefacción de Gas, lo que aumentarían los daños exponencialmente.

La fuente de suministro de agua es vital en un sistema contra incendios pues se encarga de que esté disponible en todo momento la cantidad necesaria del líquido que será utilizado para combatir un eventual incendio.

Debido a que en la cercanía del lugar no se dispone de un suministro ilimitado de agua, es necesario el diseño y construcción de un sistema de almacenamiento limitado.

Para el almacenamiento de agua del Sistema Contra Incendio, el cliente mediante su Ingeniería Conceptual, ha determinado el requerimiento de un

sistema de almacenamiento de agua a través de un tanque de acero soldado, tipo vertical fuera de tierra y atmosférico, de capacidad útil: 687 m³.

Por estos motivos MATRYMEC/FH-INGESERV requiere del diseño e ingeniería de un tanque de acero atmosférico, para proceder con la construcción de dicho tanque, destinado al almacenamiento del agua del sistema contra incendios, que cumpla con todas los requerimientos correspondientes para asegurar así el correcto y seguro funcionamiento del mencionado sistema.

Para el proceso de construcción del tanque, como parte de la ingeniería de detalle será requerido desarrollar los procedimientos para las inspecciones y pruebas requeridas para el control de calidad respectivo.

5. Alcance

Desarrollar la ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle del sistema de almacenamiento con capacidad de 790m³ de agua, de techo fijo cónico soportado, con sus respectivas bocas de cuerpo y techo, manholes de cuerpo y techo, puerta de limpieza y pasamano perimetral bajo la Norma API 650 (Tanques de Acero Soldado), escalera vertical bajo la norma ANSI 14.3, para su futura implementación en el sistema contra incendios de la planta de gas.

En la parte de ingeniería se desarrollará los siguientes puntos:

Ingeniería Conceptual:

- Identificación de los criterios del cliente.
- Data sheet del tanque.

Ingeniería Básica:

- Bases y criterios de diseño: tomando en cuenta los criterios del cliente

- Cálculos básicos
- Elaboración de presupuesto referencial +/-30%

Ingeniería de Detalle

- Memorias de cálculo
- Planos generales de orientación y elevación
- Planos de desarrollo de cuerpo, fondo, techo, estructura soportante de techo, bocas de techo, bocas de cuerpo, escaleras, pasamanos, señalética, placa de identificación.
- Listado general de materiales y equipos.
- Procedimientos de Soldadura y calificación de soldaduras.
- Procedimientos para pruebas e inspecciones necesarias para asegurar un correcto y seguro funcionamiento del tanque
- Procedimientos para la aplicación e inspección del sistema de pintura.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

1. Sistemas Contra Incendios (SCI)

1.1. Definición

Según la sección 3.3.33.1 de la norma NFPA 25:

Conjunto de tubería, válvulas, conexiones de mangueras, y equipos relacionados instalados en cualquier estructura, con las conexiones localizadas de manera que un agente extintor pueda descargarse, con objeto de extinguir un incendio, protegiendo así la estructura y sus contenidos además de proteger a los ocupantes. Esto se logra por medio de conexiones a los suministros de agua o por medio de bombas, tanques y otros equipos necesarios para proveer un suministro adecuado de agua a las conexiones del sistema.

Según la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de España:

Los sistemas de protección contra incendios constituyen un conjunto de equipamientos diversos integrados que incluyen: dispositivos, soportería, equipos y controles para detectar fuego o humo, para hacer actuar una señal y para suprimir el fuego o humo.

La protección contra incendios se basa en dos tipos de medidas:

- Medidas de protección pasiva
- Medidas de protección activa.

La estructura de los sistemas contra incendios, tanto en el caso de instalaciones manuales como automáticas es similar, cuentan con un sistema de aporte de agua, que puede ser un depósito de almacenamiento de agua y un grupo de bombas (a menudo con alimentación eléctrica autónoma) o bien una entrada directa de la red de suministro.

Según la sección 5.6.1 y 5.6.2 de la norma NFPA 20:

Para el suministro de agua, la aceptabilidad y confiabilidad de la fuente de agua son de importancia vital y deberán determinarse por completo, con la debida tolerancia a su confiabilidad en el futuro. La fuente de agua deberá ser adecuada en cantidad, calidad y presión

Cuando el suministro de agua de una tubería pública principal no resulte adecuado en calidad, cantidad o presión, deberá suministrarse una fuente de agua alternativa.

Según Petroecuador EP:

La fuente de suministro puede ser de carácter ilimitado, cuando provienen de fuentes naturales tales como lagos, mares y ríos; en cuyo caso será necesario el diseño de la captación y la estación de bombeo; y, de carácter limitado, para lo cual se deberá disponer de un tanque construido de acuerdo a prácticas de ingeniería aprobadas, que garanticen la capacidad requerida. Las redes de agua para los sistemas contra incendios no pueden estar conectadas a otros sistemas o que desvíen el uso del agua hacia otros propósitos.

Cuando la fuente de suministro de agua es limitada se requiere una capacidad de almacenamiento mínima de 6 horas, a la demanda máxima de diseño para el incendio único mayor que puede producirse en una instalación. Las instalaciones ubicadas en zonas remotas donde no exista una fuente ilimitada de agua, podrán tener una capacidad de almacenamiento mínima de 3 horas en las mismas condiciones del caso anterior. Esto se aplicará para: estaciones de producción, estaciones de Poliductos y Oleoductos, plantas de recuperación de gasolina natural.

En cuanto a la calidad del agua puede ser la misma que presenta desde su fuente natural siempre que esté libre de contaminantes químicos que impidan la formación de espuma contra incendio.

1.1.1. Medidas de protección pasiva:

Según la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de España:

Son medidas que tratan de minimizar los efectos dañinos del incendio una vez que este se ha producido. Básicamente están encaminadas a limitar la distribución de llamas y humo a lo largo del edificio y a permitir la evacuación ordenada y rápida del mismo.

Algunos ejemplos de estas medidas son: compuertas en conductos de aire, recubrimiento de las estructuras (para maximizar el tiempo antes del colapso por la deformación por temperatura), puertas cortafuegos, dimensiones y características de las vías de evacuación, señalizaciones e iluminación de emergencia, compartimentación de sectores de fuego...

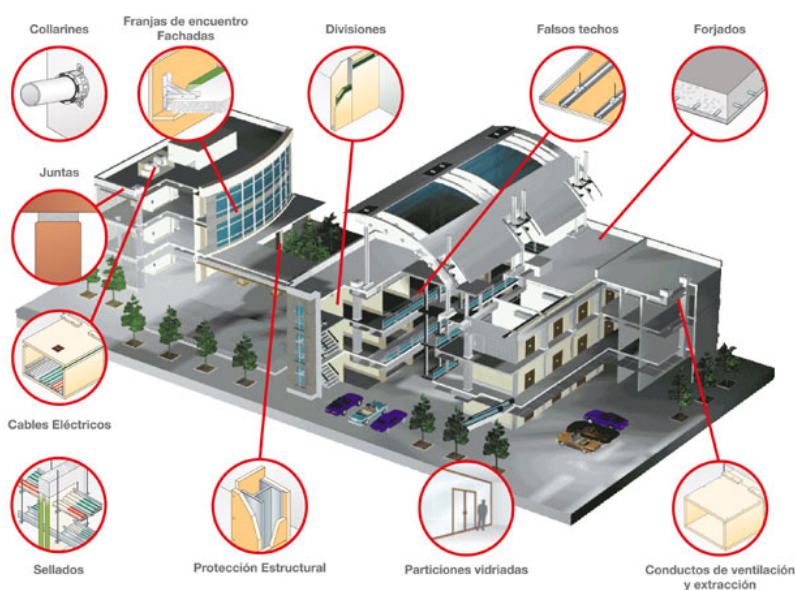


Figura 1: Medidas de protección pasivas sistemas contra incendios
Fuente: (Semper Chile, 2012)

1.1.2. Medidas de protección activa:

Según la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de España:

Son medidas diseñadas para asegurar la extinción de cualquier conato de incendio lo más rápidamente posible y evitar así su extensión en el edificio. Dentro de este apartado se han de considerar dos tipos de medidas:

- Medidas de detección de incendios, que suelen estar basadas en la detección de humos (iónicos u ópticos) o de aumento de temperatura.
- Medidas de extinción de incendios, que pueden ser manuales o automáticos:
 - a. Manuales: Extintores, Bocas de incendio equipadas (BIE), Hidrantes, Columna seca.
 - b. Automáticos: Dotados de sistemas de diversos productos para extinción:
 - Agua (Sprinklers, cortinas de agua, espumas, agua pulverizada).
 - Gases (Halones (actualmente en desuso), dióxido de carbono).
 - Polvo (Normal o polivalente)

1.1.2.1. Sistemas Manuales

Entre los principales componentes para este sistema se tiene:

- Bocas de incendios equipados (BIE): “gabinete localizado encima o adyacente a un hidrante u otro suministro de agua diseñado para contener las boquillas de manguera, llaves para manguera, empaques y llaves de gancho para uso en el combate de incendios en conjunto con el departamento de bomberos” (National Fire Protection Association NFPA, 2002, págs. 25-8). También está compuesta por un soporte giratorio abatible para manguera y manómetro.

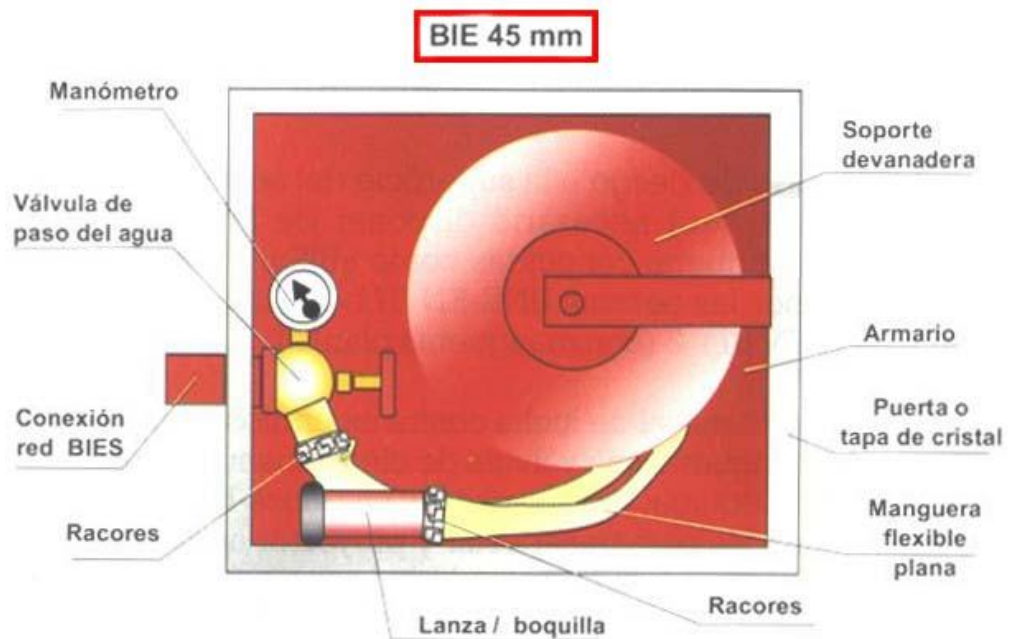


Figura 2: BIE (Boca de Incendios Equipada)
Fuente: (Suinca, 2010)

- Hidrante: “conexión de válvula en una tubería de agua con objeto de proveer agua para mangueras de incendios u otros aparatos de protección de incendios” (National Fire Protection Association NFPA, 2002, págs. 25-8).

Según la sección 3.3.10 de la norma NFPA 25:

Existen hidrantes de cilindro seco y de cilindro húmedo, los primeros se vacían automáticamente tras su utilización, protegiéndolo de daños por heladas; los segundos se usan cuando no hay peligro de congelación, es decir siempre dispondrá de agua en la línea.

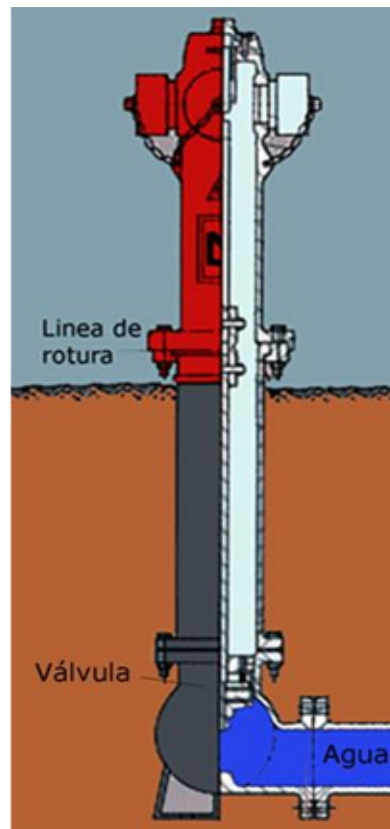


Figura 3: Hidrante
Fuente: (Expower, 2011)

- Extintor: “aparato que contiene un agente extintor que puede ser proyectado y dirigido sobre un fuego por la acción de una presión interna con el fin de apagarlo. La carga es la masa o volumen de agente extintor contenido en el aparato. En los de agua se expresa en litros y en los restantes en Kg.

En función del agente extintor los extintores se clasifican en: agua, espuma, polvo, anhídrido carbónico CO_2 , hidrocarburos halogenados (halones) y específicos para fuegos metales.” (RNDS, 2004, pág. 64)

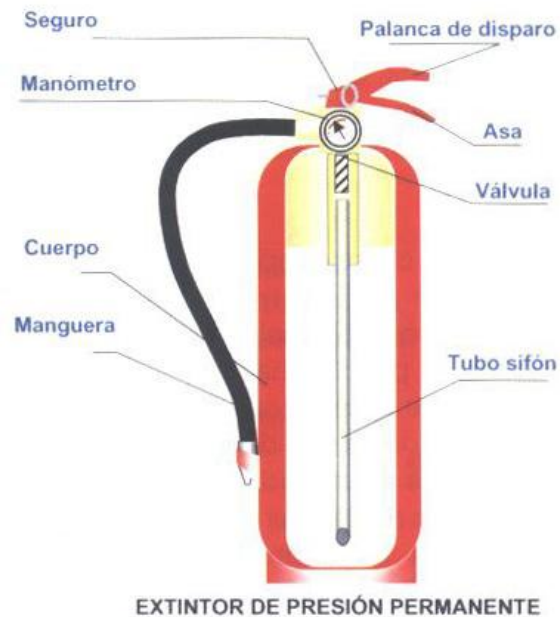


Figura 4: Extintor
Fuente: (Suinca, 2010)

- Columna seca: “se considera como sistema de columna seca al sistema que debe estar dispuesto de la siguiente manera: con dispositivos para dar entrada de agua al sistema automáticamente al abrir una válvula de manguera; que admita agua al sistema por operación manual de los aparatos de control remoto localizados en cada estación de mangueras; no tiene suministro permanente de agua (se considera como sistema de columna seca una tubería vertical llena con conexión a un pequeño suministro de agua requiriendo que el agua sea bombeada al sistema)” (National Fire Protection Association NFPA, 2002, págs. 25-11)

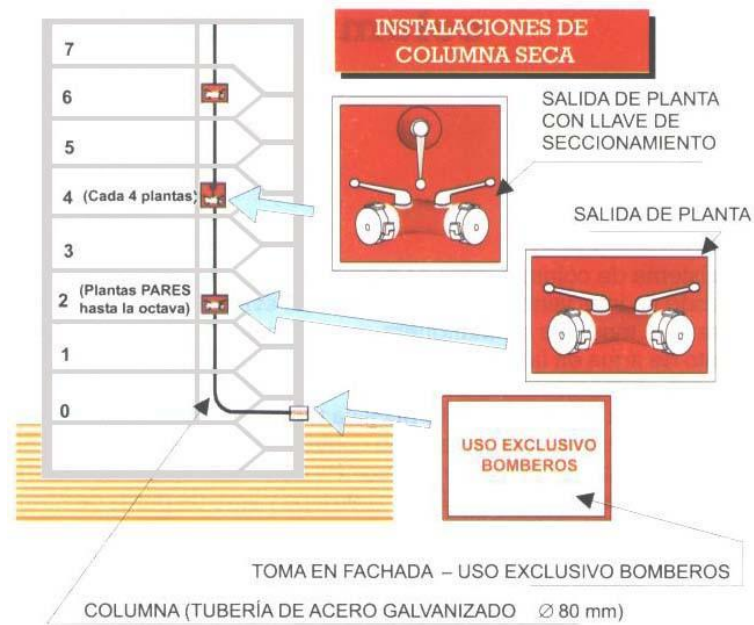


Figura 5: Columna seca SCI
Fuente: (Suinca, 2010)

- Depósito: “fuente de agua que provee los flujos y presiones requeridos por el sistema de protección de incendios a base de agua” (National Fire Protection Association NFPA, 2002, págs. 25-11).



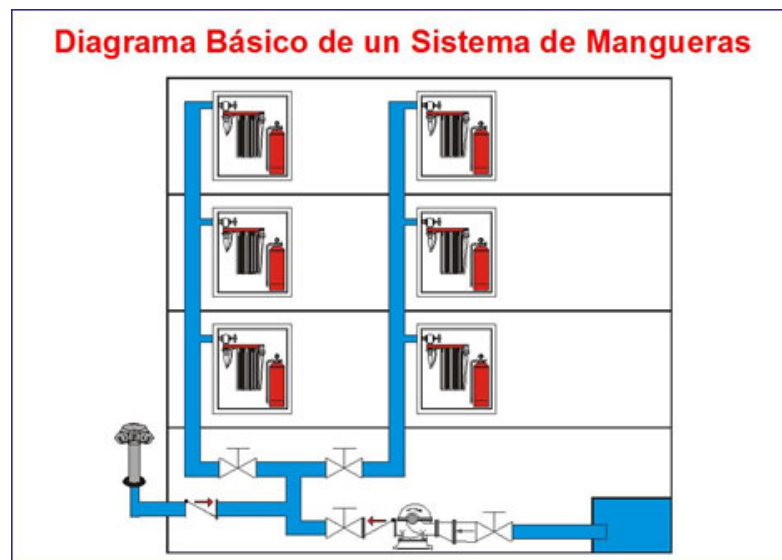
Figura 6: Tanque de almacenamiento de agua SCI
Fuente: (Industria Agromecánica del Cauca, 2012)

- Bomba contra incendios: “Una bomba que proporciona flujo líquido y presión dedicados a la protección contra incendios” (National Fire Protection Association NFPA, 2007, pág. 17)



*Figura 7: Sistema de bombeo de agua SCI
Fuente: (Allbiz, 2013)*

- Red de distribución: según la sección 6.6.3 de la norma NFPA 25:
Formada por la tubería y sus accesorios localizados entre una fuente de agua y la base de la tubería vertical para todos los componentes del sistema contra incendios
Según la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de España:
Su dimensión siempre ha de calcularse hidráulicamente, para que el agente extintor fluya en condiciones aceptables de presión y caudal.



*Figura 8: Red de distribución de agua SCI
Fuente: (Grupo 3S, 2009)*

1.1.2.2. Sistemas Automáticos:

Según la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de España:

En el caso de sistemas automáticos, la descripción de las instalaciones es similar al caso anterior, pero con algunos componentes adicionales:

- Central: encargada del control del sistema en sí (procesamiento de datos obtenidos de los detectores, activación/desactivación de bombas, rociadores...)



*Figura 9: Central o unidad de control SCI
Fuente: (Seguridad & Monitoreo, 2011)*

- Detector de humo: dispositivos que captan la presencia de humo y cuando el valor de ese fenómeno sobrepasa un umbral prefijado se genera una señal de alarma que es transmitida a la central de control y señalización, generalmente como cambio de consumo o tensión en la línea de detección.



Figura 10: Tipo de detección de incendios
Fuente: (Suinca, 2010)

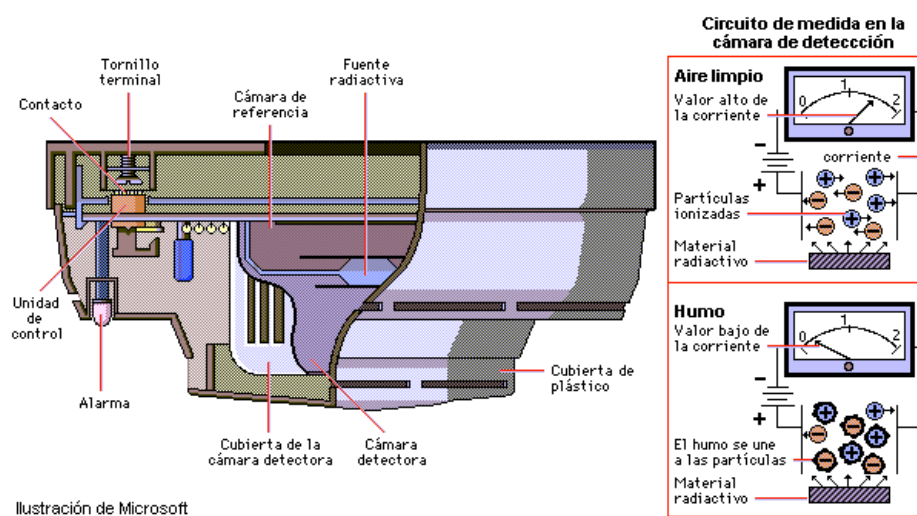


Figura 11: Detector de humo iónico
Fuente: (Servicios H&H, 2012)

- Rociador: es un dispositivo conectado a un ramal de tubería, por medio del cual se logra la aspersión del agua o espuma. Conocido en inglés como "sprinkler".



Figura 12: Rociadores SCI
Fuente: (Roldex, 2010)



Figura 13: Secuencia de disparo rociadores automáticos SCI
Fuente: (Suinca, 2010)

2. Normas, Estándares y Códigos a Usarse

Para el cálculo diseño y construcción de tanques de almacenamiento existen varias normas y códigos que regulan y establecen los parámetros que se deben seguir para que estos cumplan sus especificaciones y funciones determinadas.

Los más aceptados y utilizados en las industrias son los siguientes:

- **API Standard 12B:** esta especificación es aplicable para tanques de almacenamiento de líquidos de producción empernados, verticales, cilíndricos en varios tamaños y capacidades estándar (desde 100 bbl a 10 000 bbl) y para presiones internas aproximadamente atmosféricas.
- **API Standard 12D:** esta especificación es aplicable para tanques de almacenamiento de líquidos de producción soldados en campo, verticales, cilíndricos, cerrados, en varios tamaños y capacidades estándar (desde 500 bbl a 10 000 bbl) y para presiones internas aproximadamente atmosféricas.
- **API Standard 12F:** esta especificación es aplicable para tanques de almacenamiento de líquidos de producción fabricados (soldados) en planta, verticales, cilíndricos, cerrados, en varios tamaños y capacidades estándar (desde 90 bbl a 750 bbl) y para presiones internas aproximadamente atmosféricas.
- **API Standard 620:** esta especificación es aplicable para tanques de almacenamiento de líquidos de producción, soldados, verticales, cilíndricos y para presiones internas de aproximadamente 15 psi.
- **API Standard 650:** esta especificación es aplicable para tanques de almacenamiento de líquidos de producción, soldados, verticales, cilíndricos, abiertos o cerrados, de acero al carbón o inoxidable y para presiones internas aproximadamente atmosféricas.

Por los alcances de las normas expuestos anteriormente y según las especificaciones principales del tanque de almacenamiento a diseñarse, la norma aplicable es la API Standard 650.

2.1. Norma API 650

Según Restrepo:

El código de la norma API 650 está basado en el conocimiento y la experiencia acumulada de fabricantes y usuarios de tanques de almacenamiento de petróleo soldados. Son publicados para facilitar una amplia aplicación de buenas prácticas comprobadas de ingeniería y operación, pero sin obviar la necesidad de la aplicación de criterios de buena ingeniería.

Estos códigos son revisados y modificados, reafirmados o eliminados al menos cada 5 años.

Las reglas de diseño establecidas en el código son requerimientos mínimos, se pueden especificar reglas más restrictivas por el cliente o por el fabricante, cuando han sido acordadas previamente entre ambas partes.

Este estándar tiene el siguiente contenido: alcance, definiciones, materiales, diseño, fabricación, montaje y ensamble, métodos de inspección de las juntas, calificación de procedimientos de soldadura y de soldadores, marcado final, apéndices

2.1.1. Alcance

Cubre requerimientos para materiales, diseño, fabricación, montaje y pruebas de tanques soldados verticales cilíndricos, no enterrados con extremo superior abierto o cerrado en varios tamaños y capacidades, para presiones internas aproximadas a la atmosférica (no deben exceder el peso de las láminas del techo), pero se permiten presiones internas más altas cuando se cumplen requerimientos adicionales (apéndice F). Este estándar

aplica para tanques en los cuales la totalidad del fondo del tanque está soportado uniformemente y para tanques en servicio no refrigerado con temperaturas de diseño máximas de 93 ° C (200 °F).

Está diseñado para construir tanques con seguridad adecuada y costos razonables para almacenamiento de petróleo y sus derivados comúnmente usados y almacenados por la industria petrolera. El código no establece tamaños específicos de tanques y por el contrario se puede escoger cualquier tamaño que sea necesario. Su intención es ayudar a los clientes y a los fabricantes a comprar, fabricar y montar los tanques y no pretende prohibir la compra o fabricación de tanques que cumplan con otras especificaciones.

El código trae apéndices, que dan un número de opciones de diseño que requieren decisiones del comprador, requerimientos estándar e información que suplementa la norma básica. Los apéndices se vuelven requerimientos obligatorios solamente cuando el cliente o el comprador especifiquen una opción cubierta por uno de ellos.

2.1.2. Limitaciones

Las reglas del estándar no son aplicables más allá de los siguientes límites en las tuberías conectadas interna o externamente al techo, cuerpo o fondo del tanque:

- a) La cara de la primera brida en conexiones bridadas, excepto cuando se suministren tapas o bridas ciegas.
- b) La primera superficie de sello en accesorios o instrumentos.
- c) La primera junta roscada en la tubería en conexiones roscadas.
- d) La primera junta circunferencial en conexiones soldadas, si no están soldadas a una brida.

3. Sistemas de Almacenamiento de Fluidos

Son depósitos que tienen como función principal guardar y conservar fluidos en condiciones óptimas para su utilización desde que son producidos hasta que son requeridos por el usuario o el cliente.

Estos sistemas generalmente tienen las siguientes partes: cuerpo, techo o tapas, manholes, escaleras, puertas de limpieza, pasamanos perimetrales, bocas de: entrada, salida, venteo, entre otras.

Principalmente se clasifican en dos grandes grupos:

- Recipientes a presión
- Tanques atmosféricos

3.1. Recipientes a Presión

“Depósito cerrado que aloja un fluido a una presión manométrica diferente a la atmosférica, ya sea positiva o negativa.” (León, Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento, 1994, pág. 8)

Según León los recipientes a presión se los puede clasificar:

- Por su uso
- Por su forma

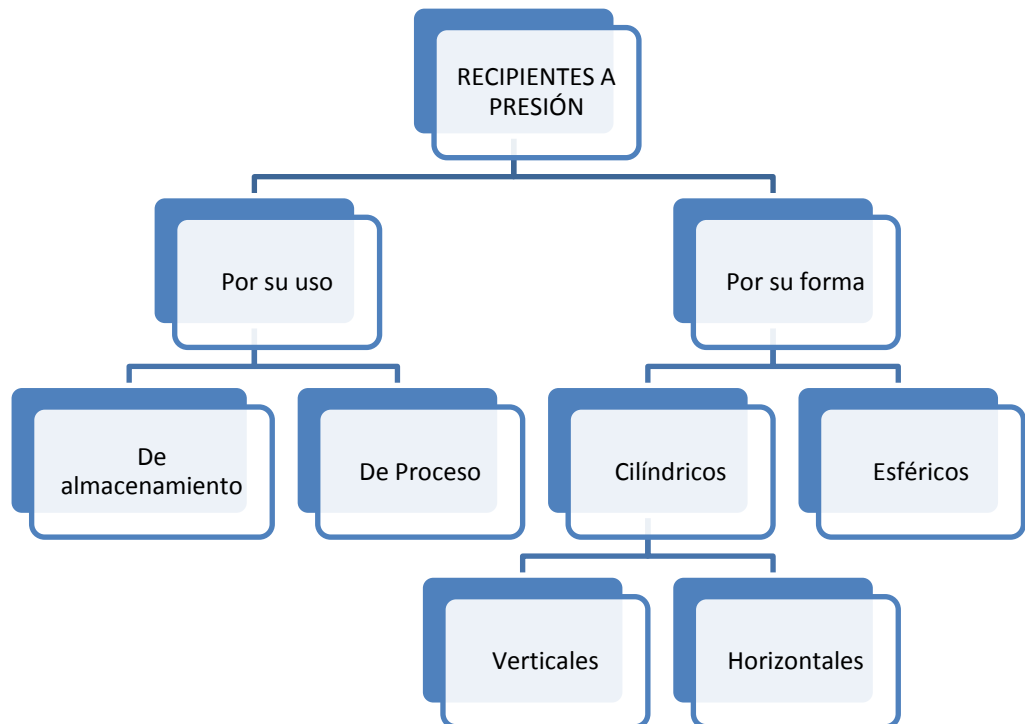


Figura 14: Clasificación de recipientes a presión

3.1.1. Por su uso

Por su uso los podemos dividir en:

- Recipientes de almacenamiento: sirven únicamente para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio también son conocidos como recipientes o tanques de día, recipientes o tanques acumuladores, etc.



Figura 15: Recipiente de almacenamiento
Fuente: (ATN México, 2011)

- Recipientes de proceso: tienen múltiples y muy variados usos, en estos se realiza algún cambio en una o varias propiedades físicas o químicas del fluido que se almacena, entre ellos podemos citar los intercambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, separadores de agua, etc.



*Figura 16: Recipiente de proceso (Separador de agua trifásico)
Fuente:(SICA Metalúrgica Argentina, 2012)*

3.1.2. Por su forma

Por su forma los podemos dividir en:

- Cilíndricos: pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso.



*Figura 17: Recipiente cilíndrico horizontal
Fuente: (Camin, 2013)*

- Esféricos: se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones.



*Figura 18: Recipiente esférico
Fuente: (Osinergmin, 2012)*

Puesto que la forma esférica es la forma “natural” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos.

3.2. Tanques Atmosféricos

“Son depósitos diseñados para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativamente bajas.” (León, Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento, 1994, pág. 8)

3.2.1. Clasificación

Según León:

Los tanques se clasifican en dos grandes grupos:

- Cilíndricos horizontales
- Cilíndricos verticales

3.2.1.1. Cilíndricos horizontales

Generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión.



Figura 19: Tanque cilíndrico horizontal
Fuente: (Grupo Almont, s.f.)

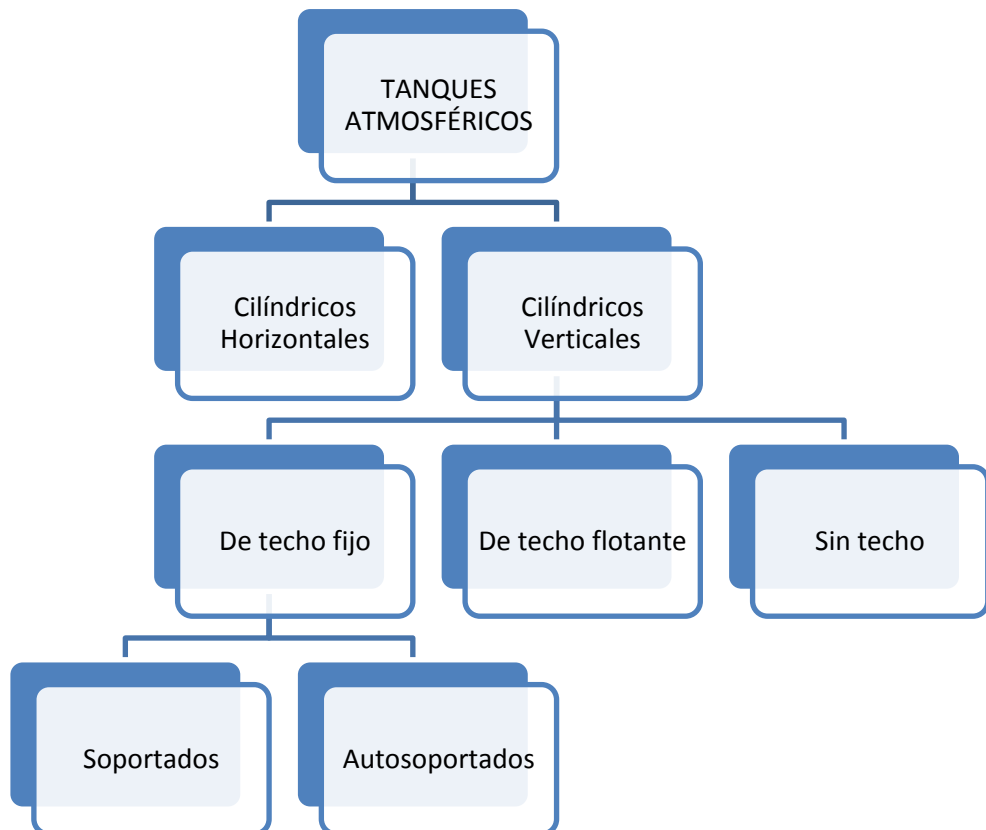


Figura 20: Clasificación tanques atmosféricos

3.2.1.2. Cilíndricos verticales

Permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

Estos tipos de tanques se clasifican en:

- De techo fijo.
- De techo flotante.
- Sin techo.

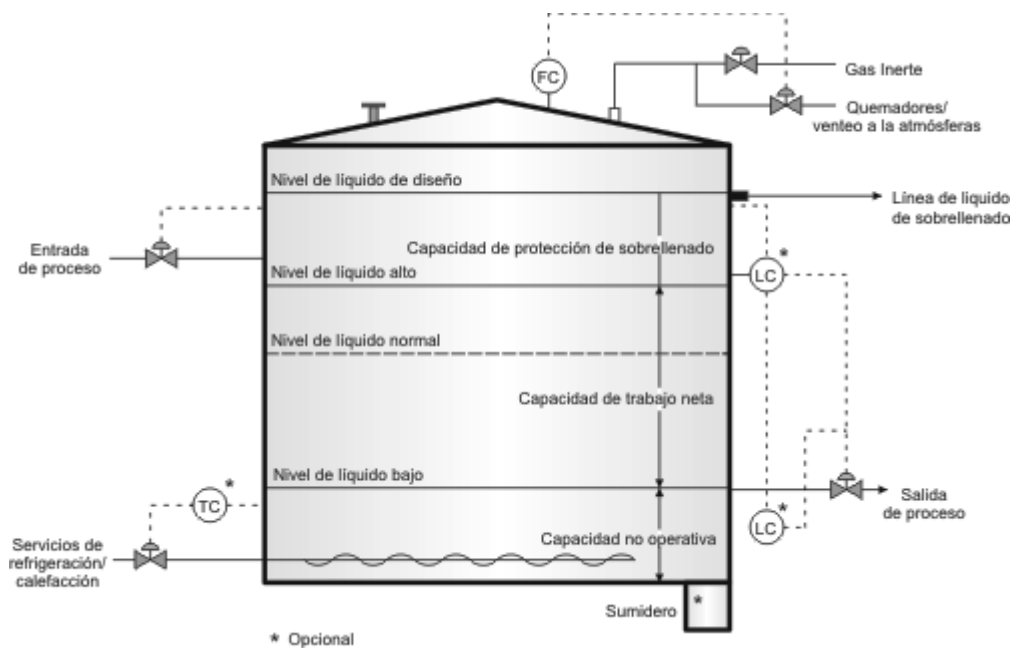


Figura 21: Tanque cilíndrico vertical
Fuente: (Textos Científicos, 2006)

3.2.1.2.1. De techo fijo

Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diésel, asfalto, petróleo crudo, etc. Debido a que al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso.

Los techos fijos se clasifican en:

- Techos autoportados (por las propias paredes del tanque)



*Figura 22: Tanque de techo autoportado
Fuente: (CEAzul, 2013)*

- Techos soportados (por una estructura interna)



*Figura 23: Tanque de techo soportado
Fuente:(CEAzul, 2013)*

3.2.1.2.2. De techo flotante

Se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general. Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al

producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.

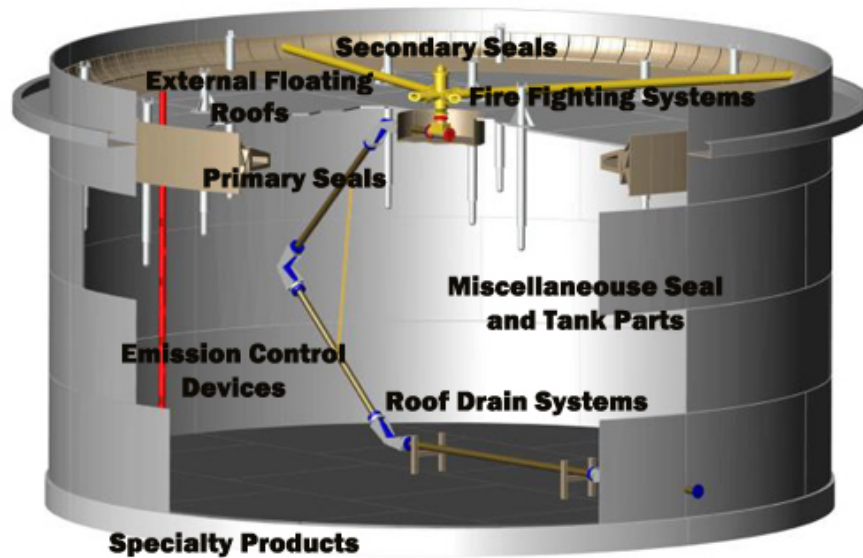


Figura 24: Tanque de techo flotante
Fuente: (IDM Uruguay, 2013)

3.2.1.3. Sin techo

Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera como el caso del agua cruda, residual, contra incendios, etc.



Figura 25: Tanque sin techo
Fuente: (Vega & Rodriguez, 2009)

3.2.2. Partes y accesorios

Según León:

Un tanque consta principalmente de tres partes principales:

- Fondo



Figura 26: Fondo de un Tanque Atmosférico

- Cuerpo



Figura 27: Planchas de cuerpo de un Tanque Atmosférico

- Techo



*Figura 28: Techo de un Tanque Atmosférico
Fuente: (Recope, 2013)*

Adicional también poseen accesorios, los cuales son muy importantes para el buen funcionamiento y manejo del tanque:

- Boquillas, bocas o aberturas: orificio practicado en el cuerpo o en el techo del tanque para la entrada y/o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición, generalmente son bridadas o roscadas. Todos los tanques deben estar provistos de boquillas, siendo las principales las listadas a continuación:
 - a) Entrada (s) de producto (s).
 - b) Salida (s) de producto (s).



*Figura 29: Bocas o nozzles de un Tanque Atmosférico
Fuente: (Tankeros, 2014)*

- c) Manhole: boquilla realizada con la finalidad de poder realizar limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque.



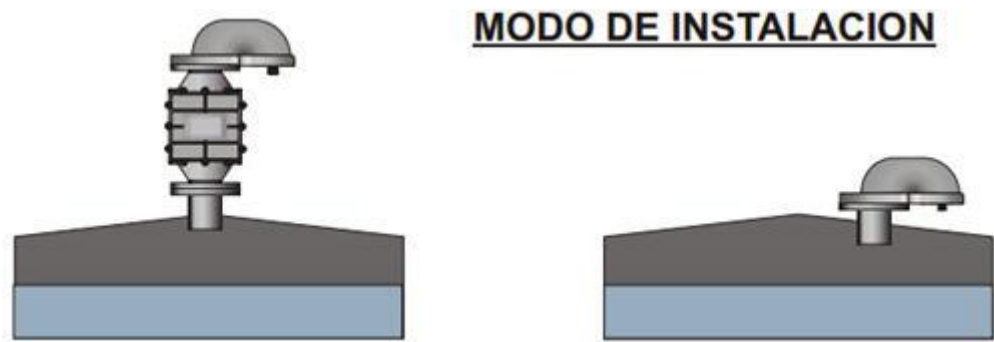
Figura 30: Manhole de un Tanque Atmosférico

- d) Drene (con o sin sumidero): se la utiliza para el drenado de lodos, la cual podrá estar al ras del fondo, dirigidas a un sumidero o por debajo del tanque.



Figura 31: Sumidero de un Tanque Atmosférico
Fuente: (Agar Corporation, 2012)

- e) Venteo (s): boquilla realizada con la finalidad de que dentro del tanque no se genere presión interna al ser llenado o vaciado, el cual debe colocarse de ser posible, en la parte más alta del tanque.



*Figura 32: Boca de venteo de un Tanque Atmosférico
Fuente:(Quiminet, 2013)*

- f) Conexiones para instrumentación (ver figura 29)
- g) Puerta de limpieza o clean-out: se la realiza con la finalidad de realizar acciones de mantenimiento y limpieza del tanque. Generalmente es ubicada a ras del fondo para facilitar estas acciones.



*Figura 33: Puerta de Limpieza de un Tanque Atmosférico
Fuente:(AGI, 2012)*

- Escaleras y plataformas: tienen la finalidad de situar al personal que así lo requiera en una zona del tanque que necesite de constante mantenimiento o supervisión, generalmente sobre el techo donde se localizan diversas boquillas y la entrada hombre, además de brindar protección y seguridad al personal.
Las escaleras pueden ser: verticales o helicoidales.



*Figura 34: Escalera vertical de un Tanque Atmosférico
Fuente: (AGI, 2012)*



*Figura 35: Escalera espiral de un Tanque Atmosférico
Fuente:(AGI, 2012)*

3.3. Tanques Empernados

Según Myers:

Son tanques que están formados de planchas de acero unidas mediante pernos, son montados en campo.

Estos tanques tienen algunas ventajas:

- Pueden ser fácilmente trasladados cuando se utiliza en aplicaciones que son temporales o se mueven de un sitio a otro.
- Pueden ser montados con mayor rapidez que los tanques soldados en campo



Figura 36: Tanque Empernado
Fuente: (Geo-Systems USA, 2014)

CAPÍTULO III: INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BÁSICA

1. Ingeniería Conceptual

1.1. Identificación de los criterios del cliente

Según las características del tanque entregadas por el cliente (Anexo 1: Piping and instrumentation diagram (P&ID)), se identifican los siguientes requisitos:

Tabla 1:

Requisitos del cliente para el tanque

Requisito	Valor
<i>Capacidad Geométrica</i>	790 m ³
<i>Capacidad Útil</i>	687 m ³
<i>Diámetro</i>	9.60 m
<i>Altura</i>	10,96 m
<i>Norma</i>	API 650
<i>Techo</i>	Techo cónico
<i>Presión de diseño</i>	Atmosférica
<i>Temperatura de diseño</i>	20 - 90 °C
<i>Material</i>	Acero al carbono ASTM A-285
<i>Nivel normal de operación</i>	9.6 - 10.2 m

También se llegó al acuerdo con el cliente de que el valor de la corrosión admisible será 1/16" para el fondo, techo y cuerpo del tanque y que la velocidad de ráfaga de viento máxima a la que estará expuesto será de 100 km/h (velocidad de ráfaga de viento poco probable que ocurra en la zona en la que se ubica la planta deshidratadora de gas).

El líquido que contendrá el tanque será agua potable para el sistema contra incendios.

1.2. Data Sheet del tanque:

HOJA DE DATOS DATA SHEET						
REV. 0	PREPARADO A. CHECA	FECHA	REVISADO	FECHA	APROBADO	FECHA
TANQUES DE ALMACENAMIENTO STORAGE TANK						
Rev: 0	PROYECTO: PROJECT:	SCI		CLIENTE: CLIENT:	MELACORP	CODIGO No.: CODE No.:
FORMAT: TK-001	CAPACIDAD: CAPACITY:	TQ. 790 m3.		LOCALIZACION: LOCATION:	BAJO-ALTO / MACHALA	PRODUCTO: PRODUCT:
DISEÑO Y CONSTRUCCION DESIGN AND CONSTRUCTION						
TECHO FLOTANTE: FLOATING ROOF:	TECHO CONICO: CONICAL ROOF:	X		TECHO DE DOMO: DOME ROOF:	OTROS: OTHERS:	TECHO PLANO
CONDICIONES DE DISEÑO DESIGN CONDITIONS			DETALLES DE CONSTRUCCION CONSTRUCTIONS DETAILS			
CODIGO: CODE:	API 650	TAMANO DEL TANQUE TANK SIZE	DIAMETRO: DIAMETER:	9600 mm.	ALTURA: HEIGHT:	10960 mm.
PRESION DE DISEÑO: DESIGN PRESSURE:	ATMOSFERICA	DENOMINACION DENOMINATION	MATERIAL	ESPESOR THICKNESS	PESO NETO TOTAL NET WEIGHT TOTAL	TRAT. TERMICO HEAT TREATMENT
TEMP. DE DISEÑO: DESIGN TEMPERATURE	20 - 90 °C	FONDO: BOTTOM:	A.36	8	4652.29	
PRESION DE OPERACION: OPERATION PRESSURE:	ATMOSFERICA	TECHO: ROOF:	A.36	6	3638.89	
TEMP. DE OPERACION: OPERATION TEMPERATURE	AMBIENTE	C U S H E L L	1	6	2558.5	
SOBRE ESP. CORROSION: CORROSION ALLOWANCE:	1/16 in		2	6	2558.5	
PRODUCTO ALMACENAR: STORAGE PRODUCT:	AGUA		3	6	2558.5	
CAPACIDAD NOMINAL: NOMINAL CAPACITY:	790 m3.		4	6	2558.5	
GRAVEDAD ESPECIFICA: SPECIF. GRAVITY:	1		5	6	2558.5	
EFICIENCIA DE JUNTAS: JOINT EFFICIENCY:	SEGUN API 650		6	6	2558.5	
RATOS "X": X RAY:	SEGUN API 650		7			
COEFICIENTE SISMICO: SEISMIC FACTOR:	---		8			
VELOCIDAD DEL VIENTO: WIND VELOCITY:	100 km/h	ANGULO DE TOPE: TOP ANGLE:	A.36	L 2"x2"x3/16"	109.55	
PRECIPITACIONES: PRECIPITATION:	---	ESTRUCTURA: / WIND STRUCTURE: ORDER:	VARIOS	ESTRUCTURA CENTRAL	3096.93	
PRESION DE VAPOR: VAPOUR PRESSURE:	---	BARRANDA: HAND RAIL:	A.36	VARIOS	464.54	
CAUDAL DE LLENADO: FILLED VOLUME:	---	ESCALERA (VERTICAL): LADDER, STAIR WAY:	A.36	VARIOS	774.23	
CAUDAL DE VACIADO: CASTING VOLUME:	---	SKID INFERIOR & LATERAL:				
RATA DE BOMBEO: PUMPING RATE:	---	ACCESORIOS CUERPO: SHELL ACC.:	A.106.B/A.105	VARIOS	1161.35	
PRUEBAS: TESTS:	HIDROSTATICA	ACCESORIOS FONDO: BOTTOM ACC.:	A.106.B/A.105	VARIOS	387.11	
PESO TOTAL (KGS.)= TOTAL WEIGHT =					29635.89	
PINTURA PAINT		INSTRUMENTACION INSTRUMENTS			BOCAS & CONECCIONES NOZZLES & CONNECTIONS	
EXTERIOR (EXTERNAL)		TERMOMETRO: THERMOMETER:	---	MK	DENOMINACION DESCRIPTION	Ø
PROTECCION PROTECTION	ESPECIFICACION SPECIFICATION	TIPO TYPE	---	N1	ENTRADA	6"
SAND BLASTING :		SSPC-SP10	MEDIDOR DE NIVEL: LEVEL GAUGE:	VAREC	N2	SALIDA
PRIMER :	1 x 4.0 MILS	EPOXI ZINC	TRANSMISOR: TRANSMITTER:	---	N3	SALIDA
PINTURA INTERMEDIA: INTERM. PAINT:	1 x 3.0 MILS	EPOXI POLIAMIDA	BOCA DE MEDICION: NOZZLE MEASURING CHAMBER:	---	N4	DRENAJE
PINTURA FINAL: FINAL PAINT:	1 x 3.0 MILS	POLIURETANO	SELLO DELTA SEAL: DELTA SEAL:	---	N5	OVERFLOW
			VALV. RESPIRADO (PRESION/VOID): VENT VALVE (PRESSURE/VOID):	---	N6	LEVEL INDICATOR
			ARRESTADOR DE FUEGO: FIRE BOLTING:	---	N7	VENTEO
INTERIOR (INTERNAL)					N8	RECIRCULATION
PROTECCION PROTECTION	ESPECIFICACION SPECIFICATION	TIPO TYPE			N9	LL LEVEL SWITCH
SAND BLASTING :		SSPC-SP5			N10	LOW LEVEL SWITCH
PRIMER :	1 x 5.0 MILS	EPOXI FENOLIC			N11	HIGH LEVEL SWITCH
PINTURA FINAL: FINAL PAINT:	1 x 5.0 MILS	EPOXI FENOLIC			N12	HH LEVEL SWITCH
					M1	MANHOLE CUERPO
					M2	MANHOLE TECHO

2. Ingeniería Básica

2.1. Materiales disponibles en el mercado

Con las cotizaciones realizadas a algunos proveedores del Ecuador entre ellos: Centro Aceros, Dipac, Ipac, Kubiec; se concluye que el material disponible al momento para realizar el tanque es el siguiente:

- Láminas de las siguientes dimensiones: 1800 mm x 12 000 mm en espesores de 5 mm (3/16"), 6 mm (1/4"), 8 mm (5/16"). Material: acero al carbono ASTM A 36
- Perfiles: ángulos y UPN en medidas estándar. Material: acero al carbono ASTM A 36.
- No existe en stock bobinas de láminas de acero al carbono, solo planchas de un largo máximo de 12 000 mm.
- No se dispone en stock de planchas de acero al carbono ASTM A 285 grado C; pero se dispone del acero ASTM A 36 que tiene mejores propiedades.

2.2. Cálculos básicos: cantidad de material necesario

Para conocer la cantidad aproximada de material necesario se deberá realizar cálculos básicos para el cuerpo, fondo, techo, bocas y accesorios del tanque.

Todos estos cálculos se realizarán en base al material disponible en el mercado con los respectivos anchos de planchas de acero al carbono ASTM A 36 y a los requerimientos del cliente (tabla 1).

2.2.1. Simbología principal

La simbología que principalmente se utilizará para los cálculos básicos es la siguiente:

H_{t0} = altura total del cuerpo del tanque (requerimiento inicial), en mm

ϕ_{int0} = diámetro interior del tanque (requerimiento inicial), en mm

ϕ_{n0} = diámetro neutro inicial del tanque (calculado con ϕ_{int0}), en mm

ϕ_{ext0} = diámetro exterior del tanque (calculado con ϕ_{int0}), en mm

P_{n0} = perímetro del tanque (calculado con Φ_{n0}), en mm

t_{d0} = espesor de diseño del cuerpo con los requerimientos iniciales, en mm

A_p = ancho de plancha, en mm

V_{c0} = volumen del cuerpo del tanque inicial, en m^3

V_{f0} = volumen del fondo del tanque inicial, en m^3

V_{tec0} = volumen del techo del tanque inicial, en m^3

ρ_{ac} = densidad del acero, en kg/m^3

t_{f0} = espesor del fondo del tanque inicial

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

ϕ_{f0} = diámetro del fondo del tanque calculado con los requerimientos iniciales, en mm

t_{tec0} = espesor del techo del tanque inicial

ϕ_{tec0} = diámetro del techo del tanque calculado con los requerimientos iniciales, en mm

y_{L0} = distancia del centro de gravedad a lo largo del eje Y del ángulo de tope inicial $2'' \times 2'' \times 3/16''$ (ver anexo 3), $0.569 \text{ in} = 14.45 \text{ mm}$

2.2.2. Cálculos para el cuerpo

2.2.2.1. Ángulo de tope

Según la sección 5.1.5.9 (e) de la norma API 650:

Excepto para tanques con extremo superior abierto, para tanques con techos de junta frágil, para techos auto-soportados y para techos con el borde superior del cuerpo con doblez, los cuerpos de los tanques deberán tener ángulos superiores con un tamaño mínimo que no deberá ser menor que los siguientes tamaños:

Tank Diameter (D)	Minimum Top Angle Size (in.)	Minimum Top Angle Size ^a (mm)
$D \leq 11 \text{ m}$, ($D \leq 35 \text{ ft}$)	$2 \times 2 \times 3/16$	$51 \times 51 \times 4.8$
$11 \text{ m} < D \leq 18 \text{ m}$, ($35 \text{ ft} < D \leq 60 \text{ ft}$)	$2 \times 2 \times 1/4$	$51 \times 51 \times 6.4$
$D > 18 \text{ m}$, ($D > 60 \text{ ft}$)	$3 \times 3 \times 3/8$	$76 \times 76 \times 9.5$

^aApproximate equivalent sizes may be used to accommodate local availability of materials.

Figura 37: Ángulos de tope
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

Por lo que según los requerimientos del cliente para el diámetro requerido (tabla 1), podemos deducir que se utilizará un ángulo de tope de mínimo 2" x 2" x 3/16".

2.2.2.2. Cuerpo: Planchas ancho 1800 mm

$$\#anillos = \frac{H_{t0}}{1800} \quad [1]$$

$$\#anillos = \frac{10960}{1800} = 6.08 \text{ anillos} \rightarrow 6 \text{ anillos}$$

Donde:

\#anillos = número de anillos del cuerpo del tanque

H_{t0} = altura total del cuerpo del tanque (requerimiento inicial), en mm

Tomando en cuenta la altura de los requerimientos del cliente (tabla 1) y el ángulo de tope se tendría el esquema del cuerpo mostrado en la figura 38

2.2.2.3. Cuerpo: Planchas ancho 2440 mm

$$\#anillos = \frac{H_{t0}}{2440} \quad [2]$$

Donde:

\#anillos = número de anillos del cuerpo del tanque

H_{t0} = altura total del cuerpo del tanque (requerimiento inicial), en mm

$$\Rightarrow \#anillos = \frac{10960}{2440} = 4.49 \text{ anillos} \rightarrow 5 \text{ anillos}$$

Tomando en cuenta la altura de los requerimientos del cliente (tabla 1) y el ángulo de tope se tendría el esquema del cuerpo mostrado en la figura 39.

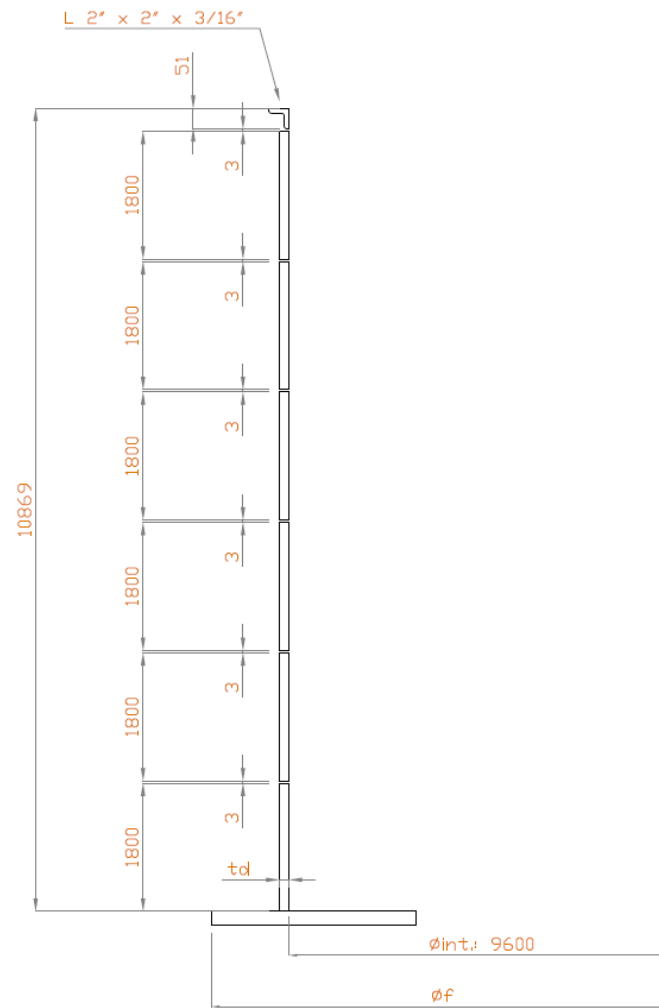


Figura 38: Esquema del cuerpo con ancho de plancha 1800 mm

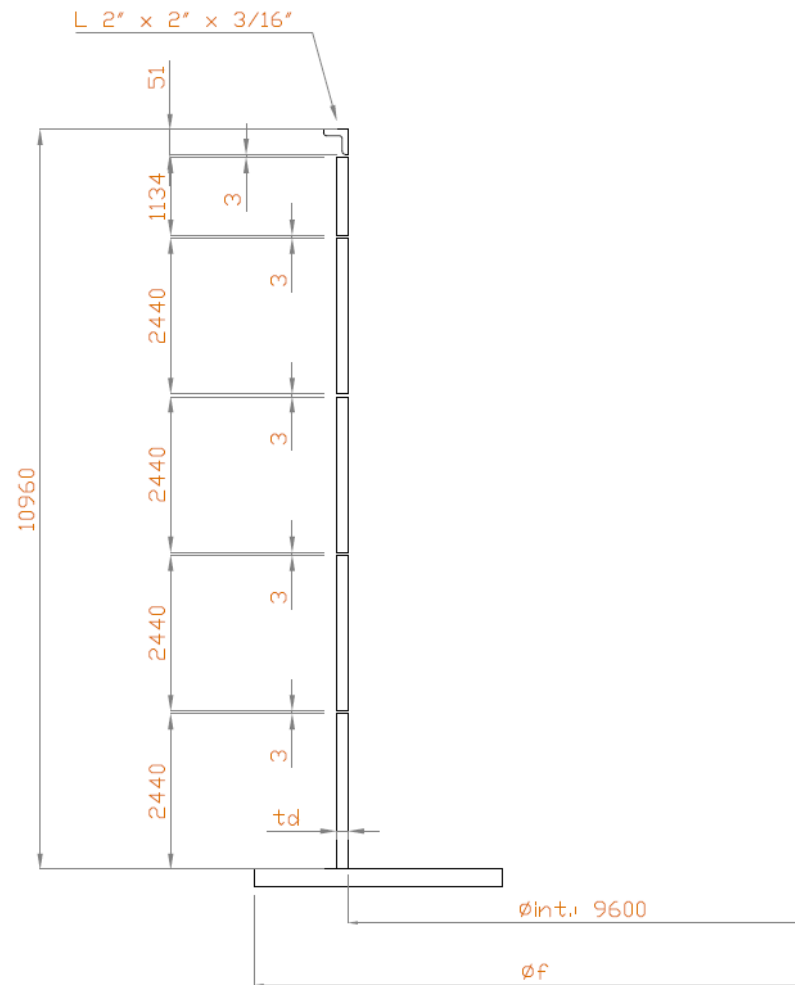


Figura 39: Esquema del cuerpo con ancho de plancha 2440 mm

Para el espesor del cuerpo que será requerido se realizará el cálculo básico del espesor bajo el método de un pie según API 650, pero solo usando únicamente el espesor de diseño.

Según la sección 5.6.3.1 de la norma API 650:

El método de un pie calcula el espesor requerido en puntos de diseño localizados a 1 pie por encima del borde inferior de cada anillo del cuerpo. Este método no se debe usar para calcular tanques de diámetros mayores de 60m.

Se tiene la siguiente fórmula para la condición de diseño en unidades SI:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA \quad [3]$$

Donde:

t_d = espesor de diseño del cuerpo, en mm

D = diámetro nominal del tanque, en m

H = nivel de diseño del líquido, en este caso altura desde el fondo hasta el ángulo tope, en m

G = gravedad específica de diseño del líquido almacenado, definido por el cliente

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

S_d = esfuerzo admisible para la condición de diseño, en MPa (ver anexo 2)

$$\Rightarrow t_{d0} = \frac{4.9 * 9.6(10.96 - 0.3)1}{137} + 1.6$$

$$t_{d0} = 5.26 \text{ mm} \approx 1/4'' \text{ (6mm)}$$

Se va a tomar como base para todos los anillos el espesor de ¼" (6 mm) debido a que los siguientes anillos irán disminuyendo sus espesores.

Para conocer el desarrollo del cuerpo se necesitará calcular el diámetro neutro ϕ_{n0} y su perímetro P_{n0}

$$\phi_{n0} = \phi_{int0} + t_{d0} \quad [4]$$

Donde:

ϕ_{n0} = diámetro neutro inicial del tanque (calculado con ϕ_{int0}), en mm

ϕ_{int0} = diámetro interior del tanque (requirimiento inicial), en mm

t_{d0} = espesor de diseño del cuerpo con los requerimientos iniciales, en mm

$$\Rightarrow \phi_{n0} = 9600 + 6$$

$$\phi_{n0} = 9606 \text{ mm}$$

$$P_{n0} = \pi \phi_{n0} \quad [5]$$

Donde:

P_{n0} = perímetro del tanque (calculado con ϕ_{n0}), en mm

ϕ_{n0} = diámetro neutro inicial del tanque (calculado con ϕ_{int0}), en mm

$$\Rightarrow P_{n0} = \pi * 9606$$

$$P_{n0} = 30178.14 \text{ mm}$$

Tabla 2:

Peso del cuerpo del tanque con planchas de ancho $Ap=1800$

Número Anillos N	Ancho Plancha Ap [mm]	Perímetro del cuerpo P_{n0} [mm]	Espesor t_{d0} [mm]	Volumen cuerpo V_{c0} [m ³]	Densidad del acero ρ_{ac} [kg/m ³]	Peso [kg]*
6	1800	30178.14	6	1.96	7850	15351.02

Tabla 3:

Peso del cuerpo del tanque con planchas de ancho $Ap=2440$

Número Anillos N	Ancho Plancha Ap [mm]	Perímetro del cuerpo P_{n0} [mm]	Espesor t_{d0} [mm]	Volumen cuerpo V_{c0} [m ³]	Densidad del acero ρ_{ac} [kg/m ³]	Peso [kg]*
4	2440	30178.14	6	1.76	7850	13872.77
1	1134	30178.14	6	0.21	7850	1611.86
TOTAL						15484.63

$$* \text{Peso} = V_{c0} * \rho_{ac} = \left(P_{n0} * Ap * t_{d0} * \frac{1}{1000^3} * N \right) * \rho_{ac} \quad [6]$$

2.2.3. Cálculos para el fondo

Con los cálculos básicos del fondo se obtendrán su diámetro y su espesor.

Según las secciones 5.4.1 y 5.4.2 de la norma API 650:

Todas las láminas del fondo deben tener un espesor nominal mínimo de 6mm (1/4") sin incluir ninguna tolerancia de corrosión especificada.

Se deben ordenar láminas de fondo de tamaño suficiente para que cuando sean refiladas quede una proyección de al menos 50 mm (2 in) hacia afuera del borde exterior de la soldadura de unión del cuerpo al fondo.

Por lo que se tendrían el siguiente espesor y diámetro de fondo:

$$t_{f0} = 6 \text{ mm} + CA \quad [7]$$

Donde:

t_{f0} = espesor del fondo del tanque inicial

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

$$\Rightarrow t_{f0} = 6 \text{ mm} + 1.59 \text{ mm} = 7.6 \text{ mm} \approx 5/16''$$

$$\phi_{f0} = \phi_{ext0} + 50 * 2 \text{ mm} \quad [8]$$

$$\phi_{f0} = (\phi_{int0} + 2 * t_{d0}) + 50 * 2 \text{ mm}$$

Donde:

ϕ_{f0} = diámetro del fondo del tanque calculado con los requerimientos iniciales, en mm

ϕ_{ext0} = diámetro exterior del tanque (calculado con ϕ_{int0}), en mm

ϕ_{int0} = diámetro interior del tanque (requerimiento inicial), en mm

t_{d0} = espesor de diseño del cuerpo con los requerimientos iniciales, en mm

$$\Rightarrow \phi_{f0} = (9600 + 6 * 2) + 50 * 2 \text{ mm} = 9712 \text{ mm}$$

Tabla 4:

Peso del fondo del tanque

Diámetro del fondo ϕ_{f0} [mm]	Espesor t_{f0} [mm]	Volumen fondo V_{f0} [m ³]	Densidad del acero ρ_{ac} [kg/m ³]	Peso [kg]*
9712	8	0.593	7850	4652.29

$$* \text{Peso} = V_{f0} * \rho_{ac} = \left(\phi_{f0}^2 \frac{\pi}{4} * t_{f0} * \frac{1}{1000^3} \right) * \rho_{ac} \quad [9]$$

2.2.4. Cálculos para el techo

Con los cálculos básicos del techo se obtendrán su diámetro y su espesor.

Según la sección 5.10.2.2 y 5.1.5. API 650:

Las láminas del techo deben tener un espesor nominal mínimo de 3/16" (5 mm) más la tolerancia de corrosión.

Las láminas del techo deberán ser soldadas al ángulo de tope como mínimo con un filete por la parte superior (ver figura 40).

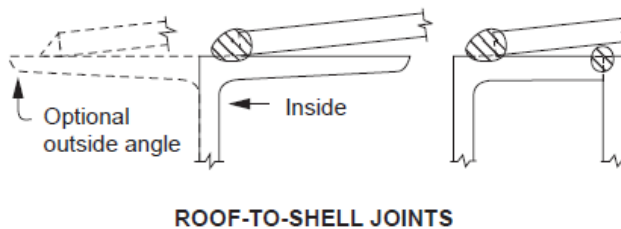


Figura 40: Juntas cuerpo-techo para un tanque
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

Por lo que se tendría el siguiente espesor y diámetro aproximado de techo:

$$t_{tec0} = 5 \text{ mm} + CA \quad [10]$$

Donde:

t_{tec0} = espesor del techo del tanque inicial

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

$$\Rightarrow t_{tec0} = 5 \text{ mm} + 1.59 \text{ mm} = \mathbf{6.6 \text{ mm}} \approx \mathbf{1/4''}$$

$$\phi_{tec0} \approx \phi_{ext0} + y_{L0} * 2 \quad [11]$$

Donde:

ϕ_{tec0} = diámetro del techo del tanque calculado con los requerimientos iniciales, en mm

y_{L0} = distancia del centro de gravedad a lo largo del eje Y del ángulo de tope inicial 2" x 2" x 3/16" (ver anexo 3), 0.569 in = 14.45 mm

ϕ_{ext0} = diámetro exterior del tanque (calculado con ϕ_{int0}), en mm

$$\Rightarrow \phi_{tec0} \approx (9600 + 6 * 2) + 14.45 * 2 \approx \mathbf{9640.9 \text{ mm}}$$

Tabla 5:**Peso del techo del tanque**

Diámetro del techo ϕ_{tec0} [mm]	Espesor t_{tec0} [mm]	Volumen techo V_{tec0} [m ³]	Densidad del acero ρ_{ac} [kg/m ³]	Peso [kg]*
9640.9	6.35	0.464	7850	3638.89

$$* \text{Peso} = V_{tec0} * \rho_{ac} = \left(\phi_{tec0}^2 \frac{\pi}{4} * t_{tec0} * \frac{1}{1000^3} \right) * \rho_{ac} \quad [12]$$

2.2.5. Cálculos para bocas y accesorios

Para estos cálculos básicos se procederá a obtener los respectivos pesos de bocas y accesorios, de un porcentaje del cuerpo, el cual se obtiene de experiencia del fabricante.

Tabla 6:**Peso de bocas y accesorios del tanque**

Accesorio	Peso del cuerpo [kg]	Peso accesorio [% peso cuerpo]	Peso accesorio [kg]
Bocas Cuerpo/Techo	15484.63	10%	1548.46
Escalera y plataforma de descanso		5%	774.23
Pasamanos perimetral		3%	464.54
Estructura Techo		20%	3096.93
TOTAL			5884.16

2.2.6. Verificación de la capacidad necesaria del tanque

Se realizará una verificación de la capacidad del tanque solicitada por el cliente para asegurar el correcto funcionamiento del sistema contra incendios del cual formará parte el tanque.

Para lo cual se determinará la cantidad de agua de enfriamiento/extinción necesaria en el tiempo determinado para el caso más crítico.

El caso más crítico considerado por el cliente, de manera correcta, es el riesgo de incendio por las pérdidas de líquidos inflamables/combustibles en el recinto de contención de los dos tanques de condensado.

Según las secciones 5.3-5.6 de la norma NFPA 13:

Se tiene la siguiente clasificación de ocupaciones:

- Ocupaciones de riesgo leve: ocupaciones o partes de otras ocupaciones, donde la cantidad y/o combustibilidad de los contenidos es baja, y se esperan incendios con bajo índice de liberación de calor.
- Ocupaciones de riesgo ordinario:
 - Riesgo ordinario (Grupo 1): ocupaciones o parte de otras ocupaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de combustibles es moderada y se esperan incendios con un índice de liberación de calor moderado.
 - Riesgo ordinario (Grupo 2): ocupaciones o parte de otras ocupaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de combustibles es de moderada a alta y se esperan incendios con un índice de liberación de calor de moderados a altos.
- Ocupaciones de riesgo extra: ocupaciones o parte de otras ocupaciones donde la cantidad y combustibilidad de los contenidos es muy alta y están presentes líquidos inflamables o combustibles, polvo, pelusa u otros materiales, que introducen la probabilidad de existencia de incendio con un rápido desarrollo y elevados índices de liberación de calor.
 - Riesgo extra (Grupo 1): incluye las ocupaciones descritas anteriormente con la presencia de poco o ningún líquido inflamable o combustible.

- Riesgo extra (Grupo 2): incluye las ocupaciones descritas anteriormente con cantidades moderadas a considerables de líquidos inflamables o combustibles, o donde se resguarden cantidades importantes de productos combustibles.
- Riesgos de ocupación especiales: otras normas contienen los criterios de diseño para los sistemas de rociadores destinados al control o supresión de incendios para riesgos específicos.

Por lo que se concluye que esta planta deshidratadora de gas es de ocupaciones en riesgo extra grupo 2.

Además según la sección 11.2.3 de la norma NFPA 13:

Los requisitos de demanda de agua de las ocupaciones de riesgo extra deben calcularse por el método de cálculo hidráulico. Los requisitos mínimos de suministro de agua para un sistema de rociadores deben determinarse adicionando al suministro de agua para rociadores, la demanda para chorro de manguera de la figura 41, que debe estar disponible durante el tiempo mínimo especificado en la misma figura.

El suministro de agua empleado exclusivamente para rociadores, debe determinarse a partir de las curvas área/densidad de la figura 42.

Table 11.2.3.1.1 Hose Stream Demand and Water Supply Duration Requirements for Hydraulically Calculated Systems

Occupancy	Inside Hose (gpm)	Total Combined Inside and Outside Hose (gpm)	Duration (minutes)
Light hazard	0, 50, or 100	100	30
Ordinary hazard	0, 50, or 100	250	60–90
Extra hazard	0, 50, or 100	500	90–120

For SI units, 1 gpm = 3.785 L/min.

*Figura 41: Demanda de agua para mangueras y requerimientos de duración de suministro de agua para sistemas calculados por método hidráulico
Fuente: (National Fire Protection Association NFPA, 2002)*

De la figura 41 se puede obtener que para las ocupaciones de riesgo extra se tiene que para los equipos de apoyo para enfriar el techo del tanque de condensado en incendio, deberá operar un monitor de 500 gpm o dos hidrantes de 250 gpm y que el tiempo mínimo de enfriamiento de monitores o hidrantes es de 120 min (se escoge el tiempo mayor para asegurar el apagado total del posible incendio).

Entonces para el sistema de extinción fijo manual de incendios se tiene el siguiente caudal:

$$C_m = Q_m * t_m \quad [13]$$

Donde:

C_m : es el volumen de agua necesario para el sistema fijo manual [gal]

Q_m : es el caudal de agua necesario para el sistema fijo manual [gpm]

t_m : es el tiempo de enfriamiento necesario para el sistema fijo manual [min]

$$\Rightarrow C_m = 500 * 120 = 60000 \text{ gal}$$

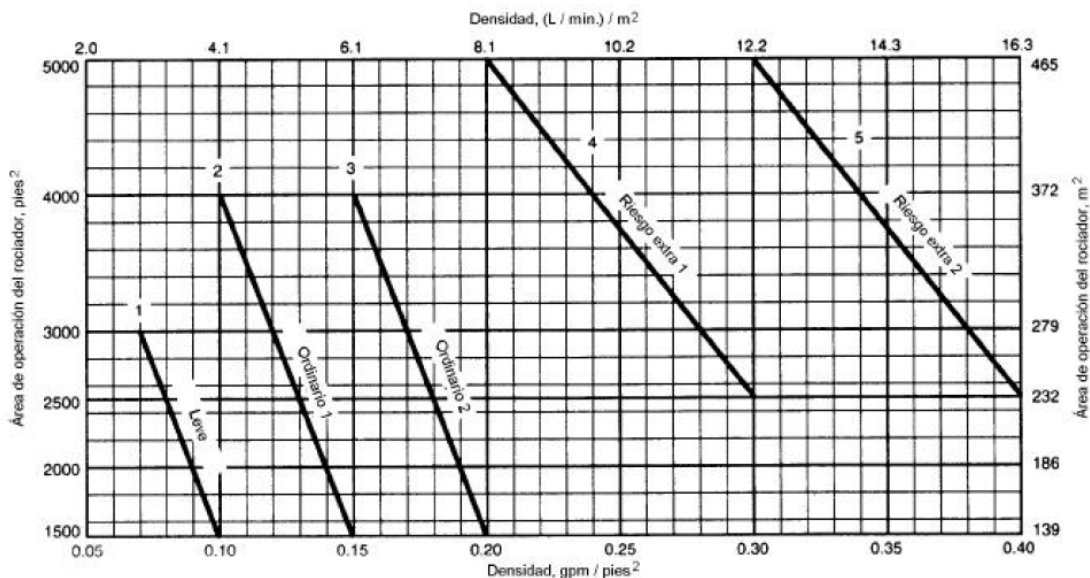


Figura 42: Curvas área/densidad para el suministro de agua de rociadores
Fuente: (National Fire Protection Association NFPA, 2002)

Para el cálculo del suministro de agua de los rociadores obtendremos el área en la cual estarán ubicados los rociadores y con nuestra ocupación de

riesgo extra grupo 2, entraremos a la curva de la figura 42 y obtendremos la densidad de descarga de los rociadores.

Se considera que el tanque de condensado, en el cual se ubicarán los rociadores tiene un diámetro de 6.6m y una altura de 9m aproximadamente, se obtienen los siguientes datos:

$$A_{lat} = \pi D_{tc} * H_{tc} \quad [14]$$

$$A_{sup} = \frac{\pi}{4} * D_{tc}^2 \quad [15]$$

$$A_{tot} = A_{lat} + A_{sup} \quad [16]$$

Donde:

D_{tc} : diámetro del tanque de condensado [m]

H_{tc} : altura del tanque de condensado [m]

A_{lat} : área lateral del tanque de condensado [m^2]

A_{sup} : área superior del tanque de condensado [m^2]

A_{tot} : área total a ser cubierta por rociadores del tanque de condensado [m^2]

$$\Rightarrow A_{lat} = \pi * 6.6 * 9$$

$$A_{lat} = 186.6 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow A_{sup} = \frac{\pi}{4} * 6.6^2$$

$$A_{sup} = 34.2 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow A_{tot} = 186.6 + 34.2 = 220.8 \text{ m}^2$$

Entonces de la curva de la gráfica 42 se obtiene que la densidad de descarga de los rociadores es $16.3 \text{ L}/(\text{min} * \text{m}^2)$

$$\Rightarrow Q_r = 16.3 * A_{tot}$$

Donde

Q_r : es el caudal necesario para los rociadores [gpm]

A_{tot} : área total a ser cubierta por rociadores del tanque de condensado [m^2]

$$\Rightarrow Q_r = 16.3 * 220.8 = 3599 \text{ L/min} = 950 \text{ gpm}$$

Para el tiempo mínimo de alimentación del sistema se considerará 60 min, tiempo más que suficiente para combatir un incendio.

Entonces se obtendrá la cantidad de agua necesaria para los aspersores por cada tanque de condensado:

$$C_r = Q_r * t_r \quad [17]$$

Donde:

C_r : es el volumen de agua necesario para alimentación de rociadores [gal]

Q_r : es el caudal de agua necesario para alimentación de rociadores [gpm]

t_r : es el tiempo de alimentación necesario para rociadores [min]

$$\Rightarrow C_r = 950 * 60 = 57000 \text{ gal}$$

Adicional se realizará el cálculo de suministro de agua para el sistema fijo de extinción automática del tipo a espuma en baja expansión, debido a que el tanque del sistema contra incendios también debe proporcionar agua para este sistema de extinción.

Según la sección 5.7.3.2 de la norma NFPA 11:

Los regímenes mínimos de aplicación y tiempos de descarga para aplicación fija de espuma sobre áreas represadas deben ser de acuerdo a la figura 43.

Table 5.7.3.2 Minimum Application Rates and Discharge Times for Fixed Foam Application on Diked Areas Involving Hydrocarbon Liquids

Type of Foam Discharge Outlets	Minimum Application Rate		Minimum Discharge Time (min)	
	L/min · m ²	gpm/ft ²	Class I Hydrocarbon	Class II Hydrocarbon
Low-level foam discharge outlets	4.1	0.10	30	20
Foam monitors	6.5	0.16	30	20

*Figura 43: Regímenes mínimos de aplicación y tiempos de descarga para salidas fijas de descarga sobre áreas represadas con hidrocarburos líquidos.
Fuente: (National Fire Protection Association NFPA, 2005)*

Entonces se tendrá un régimen mínimo de aplicación para espuma de baja expansión de $4.1 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ y un tiempo mínimo de descarga de 30 min.

Se considera un superficie de recinto de contención para el tanque de condensado de $15\text{m} \cdot 36\text{m} = 540 \text{ m}^2$.

$$\Rightarrow Q_e = 4.1 \cdot 540 = 2214 \text{ L}/\text{min} = 585 \text{ gpm}$$

Donde Q_e es el caudal necesario para el sistema de espuma [gpm]

Entonces se obtendrá que la cantidad de agua necesaria para el sistema de espuma:

$$C_e = Q_e \cdot t_e \quad [18]$$

Donde:

C_e : es el volumen de agua necesario para sistema de espuma [gal]

Q_e : es el caudal de agua necesario para sistema de espuma [gpm]

t_e : es el tiempo de descarga mínimo del sistema de espuma [min]

$$\Rightarrow C_e = 585 \cdot 30 = 17\,550 \text{ gal}$$

Después de obtener los caudales de cada uno de los subsistemas que intervendrán en el sistema contra incendios, se puede determinar el caudal y el volumen de agua necesarios:

$$C_t = C_m + C_r * 2 + C_e \quad [19]$$

$$Q_t = Q_m + Q_r * 2 + Q_e \quad [20]$$

Donde:

C_t : es el volumen de agua total necesario para el sistema contra incendios [gal]

C_m : es el volumen de agua necesario para el sistema fijo manual [gal]

C_r : es el volumen de agua necesario para alimentación de rociadores [gal]

C_e : es el volumen de agua necesario para alimentación de rociadores [gal]

Q_t : es el caudal de agua total necesario para el sistema contra incendios [gpm]

Q_m : es el caudal de agua necesario para el sistema fijo manual [gpm]

Q_r : es el caudal de agua necesario para alimentación de rociadores [gpm]

Q_e : es el caudal de agua necesario para alimentación de rociadores [gpm]

$$\Rightarrow Q_t = 500 + 2 * 950 + 585$$

$$\mathbf{Q_t = 2985 gpm}$$

$$\Rightarrow C_t = 60000 + 2 * 57000 + 17550$$

$$\mathbf{C_t = 191550 gal = 725 m^3}$$

Por lo que se concluye que las bombas del sistema contra incendios deben brindar un caudal mínimo de 3000 gpm y que el volumen del tanque del sistema contra incendios a construir entregado como requerimiento del cliente es suficiente para abastecer al sistema, con un 8% de volumen adicional.

2.3. Presupuesto estimado de materia prima al $\pm 30\%$

Para el presupuesto de material se va utilizar un promedio del valor por kilogramo de acero al carbono A36/A283-C.

Para la obtención del valor promedio del acero se ha cotizado a empresas como: centro acero, Ipac, Dipac.

Tabla 7:

Presupuesto estimado tanque

Denominación	Peso [kg]	Costo Unitario [\$/kg]	Costo [\$]
Cuerpo	15484.63	1.05	16258,86
Fondo	4652.29		4884,90
Techo	3638.89		3820,83
Estructura de techo	3096.93		3251,78
Bocas Cuerpo/Techo	1548.46		1625,88
Escalera y plataforma de descanso	774.23		812,94
Pasamanos perimetral	464.54		487,77
TOTAL	29659,97		31142,96

CAPÍTULO IV: INGENIERÍA DE DETALLE

1. Consideraciones generales de diseño

Las siguientes consideraciones generales de diseño que se desarrollan están basadas según las siguientes secciones de la norma API 650:

- Sección 4 - Materiales: láminas o planchas, platinas, perfiles estructurales, tuberías, bridas, pernos, electrodos de soldadura, empaques
- Sección 5.2.1 - Cargas
- Sección 5.2.2 - Factores de diseño
- Sección 5.2.3 - Cargas externas
- Sección 5.2.6 - Capacidad del tanque
- Sección 5.3 - Consideraciones especiales

1.1. Materiales

El uso de fundición de hierro en cualquier parte de presión o en cualquier parte unida al tanque por soldadura, está prohibida.

1.1.1. Láminas o planchas

Las láminas deberán estar conforme con una de las siguientes especificaciones: ASTM, CSA, ISO, Estándares Nacionales (ver anexo 4) sujetas a las modificaciones y limitaciones de este estándar.

El espesor ordenado no debe ser menor que el espesor calculado o el espesor mínimo permitido.

El peso ordenado debe ser suficientemente grande para dar un espesor que no debe ser menor que el espesor calculado o el espesor mínimo permitido

En cualquiera de los dos casos, el espesor real medido no puede estar más de 0.01 in (.25 mm) por debajo del espesor calculado o el espesor mínimo permitido.

El espesor máximo de lámina es de 1.75 in (45 mm) a menos que un espesor menor sea establecido en este estándar o en la especificación de la lámina. Las láminas usadas como insertos o bridas, pueden ser más gruesas que 45 mm (1.75 in).

Láminas más gruesas de 40mm (1.5 in) deberán ser normalizadas o templadas y revenidas, fabricadas con práctica de grano fino y con pruebas de impacto

1.1.1.1. Pruebas de impacto de las láminas

Cuando es requerido por el comprador o cuando la lámina ha sido fabricada por proceso de rolado mecánico térmico o por requerimientos de tenacidad, se debe sacar un juego de probetas de impacto Charpy con entalla en V tipo A tomadas de las láminas después del tratamiento térmico (si es que ha sido tratada) y estas deben cumplir con los valores de energía absorbida especificados.

1.1.1.2. Requerimientos de tenacidad

Los espesores y temperaturas mínimas de diseño de todas las láminas del cuerpo, láminas de refuerzo del cuerpo, láminas insertadas del cuerpo, láminas del fondo soldadas al cuerpo, láminas usadas para manhole y para cuellos de conexiones, láminas usadas en bridas de conexiones del cuerpo, bridas ciegas y tapas de las entradas de hombre, deben estar de acuerdo con lo mostrado en el anexo 5.

Las láminas con espesores mayores de 40 mm (1.5 in) deberán ser fabricados con práctica de grano fino y tratados térmicamente por normalización, normalización y revenido (tempering) o temple y revenido (quenching and tempering) y cada lámina en condición tratada deberá tener las pruebas de impacto.

Las láminas con espesores menores o iguales a 40 mm (1.5 in) pueden ser utilizadas a temperaturas iguales o por encima de la indicada en el anexo 5 para el grupo de material correspondiente, sin la necesidad de hacerles prueba de impacto.

Las láminas usadas para refuerzos de conexiones en el cuerpo y láminas de inserto deberán ser del mismo material que la lámina del cuerpo al cual están unidas o deberán ser de un material apropiado de los listados en el anexo 4. Excepto para los cuellos de las conexiones y de los manholes, el material deberá ser de una resistencia de fluencia y de tensión igual o mayor que la del material del cuerpo adyacente y deberá ser compatible.

Los materiales usados para conexiones y manholes de techo no requieren prueba de impacto.

1.1.2. Platinas

Platinas para techos fijos o flotantes deberán estar de acuerdo con ASTM A1011M, grado 33.

1.1.3. Perfiles estructurales

Deberán estar de acuerdo con uno de los siguientes para especificaciones ASTM:

- ASTM A 36M/A 36
- ASTM A 131M/A 131
- ASTM A 992M/A 992
- Aceros estructurales listados en AISC Specification for Structural Buildings, Allowable Stress Design, que tengan buenas propiedades de soldabilidad.

1.1.4. Tuberías y forjas

Las siguientes especificaciones son aceptables para tubería:

- API Spec 5L, Grados A,B, X42
- ASTM A 53, Grados A y B
- ASTM A 106, Grados A y B
- ASTM A 234M/A 234 Grado WPB
- ASTM A 333M/A 333 Grados 1 y 6
- ASTM A 334M/A 334 Grados 1 y 6
- ASTM A 420M/A 420 Grado WPL6
- ASTM A 524, Grados I y II

Materiales para bocas de cuerpo y manhole de cuerpo debe ser de tubería sin costura o de plancha que cumplan con requerimientos de tenacidad.

1.1.5. Bridas

Pueden ser del tipo "hub", "slip-on", "welding", "welding neck" y deben estar de acuerdo con los requerimientos de materiales de ASME B16.5 para bridas forjadas de acero al carbono. Las láminas usadas para hacer bridas deben tener propiedades físicas iguales o mejores que aquellas requeridas por el estándar ASME B16.5.

Para tuberías de tamaños nominales mayores de 24" NPS (nominal pipe size) se pueden usar bridas que estén de acuerdo con los requerimientos de ASME B16.47 serie B, sujeto a la aprobación del Comprador.

1.1.6. Pernos

Los pernos de las bridas deberán estar conforme a ASTM A 193 B7 y las dimensiones especificadas en ASME B18.2.1. Las tuercas deberán estar conforme a ASTM A 194 grado 2H y a las dimensiones especificadas en ASME B18.2.2.

Todos los pernos y tuercas deberán estar roscados de acuerdo con ASME B1.13M como sigue:

- Tornillos hasta 1 in de diámetro incluido: UNC ajuste clase 2A
- Tuercas para tornillos hasta 1 in de diámetro incluido: UNC ajuste clase 2B
- Tornillos hasta 1.125 in de diámetro y más grandes: 8N ajuste clase 2A
- Tuercas para tornillos de 1.125 in de diámetro y más grandes: 8N ajuste clase 2B

Todos los pernos de anclaje deberán ser de barra redonda, galvanizada, ASTM A 36 con tuercas hexagonales pesadas galvanizadas.

Todos los otros pernos deberán estar conforme ASTM A 307 o A 193M/A 193, A 325M/A325.

1.1.7. Electrodo de soldadura

Para la soldadura de materiales con una resistencia mínima de tensión menor de 550 MPa (80 ksi) con proceso de electrodo revestido (SMAW) se deben utilizar electrodos con clasificación E-60 o E-70 (apropiados para las características de corriente eléctrica, la posición de la soldadura y otras condiciones del uso esperado) de la especificación AWS A5.1.

Para materiales con resistencia mínima de tensión de 550-585 MPa (80 - 85 ksi) soldados con proceso de electrodo revestido se deben utilizar electrodos con clasificación E-80XX-CX de la especificación AWS A5.5.

1.1.8. Empaques

Los materiales de los empaques no deberán contener asbesto, deben ser continuos

No debe ser usado ningún compuesto de sellado de juntas, junta adhesiva, cinta adhesiva de posicionamiento o lubricante en las superficies de sellado de juntas o bridas.

1.2. Cargas

Las cargas están definidas como sigue:

- a) **Carga muerta (D_L):** el peso del tanque o del componente del tanque, incluyendo cualquier tolerancia de corrosión.
- b) **Presión externa de diseño (P_e):** no deberá ser menor que 0.25 kPa (1 in de agua). Este estándar no contiene consideraciones para presiones externas mayores a 0.25 kPa (1 in de agua). Requerimientos de diseño para vacío que exceda este valor y requerimientos de diseño para resistir flotación y la presión externa de un fluido se podrá utilizar el apéndice V.
- c) **Presión interna de diseño (P_i):** no deberá exceder 18 kPa (2.5 lbf/in²).
- d) **Prueba hidrostática (H_t):** la carga debida al llenado del tanque con agua hasta el nivel de diseño del líquido.
- e) **Carga viva mínima del techo (L_r):** 1 kPa (20 lbf/ft²) en el área horizontal proyectada del techo.
- f) **Sismo (E):** las cargas sísmicas determinadas de acuerdo al apéndice E: Diseño sísmico de tanques de almacenamiento (cuando el tanque requiera un diseño sísmico).
- g) **Nieve (S):** la nieve en el suelo deberá ser determinada de ASCE-7, a menos que sea especificado por el comprador de otra manera. La carga de diseño de nieve debe ser 0.84 veces la carga de nieve en el suelo.
- h) **Peso del líquido almacenado (F):** la carga debida al llenado del tanque hasta el nivel de diseño del líquido, con líquido de una gravedad específica de diseño especificada por el comprador.

- i) **Viento (W):** la velocidad de diseño del viento (V) deberá ser 190 km/h (120 mph), la ráfaga de velocidad de diseño del viento de 3 segundos determinada de ASCE 7 o la ráfaga de velocidad de diseño del viento especificada por el comprador. La presión de diseño del viento deberá ser $0.86 \text{ kPa} (V/190)^2$, $18 \text{ lbf/ft}^2 (V/120)^2$ en las áreas verticales proyectadas de las superficies cilíndricas y $1.44 \text{ kPa} (V/190)^2$, $30 \text{ lbf/ft}^2 (V/120)^2$ de empuje hacia arriba en las áreas horizontales proyectadas de las superficies cónicas o de doble curvatura, donde V es la ráfaga de velocidad del viento de 3 segundos, la cual debe ser reportada al comprador.

Estas presiones de diseño de viento están de acuerdo con ASCE 7 para exposición al viento categoría C. Como una alternativa, las presiones pueden ser determinadas de acuerdo con ASCE 7 (la categoría de exposición al viento y el factor de importancia suministrado por el comprador) o con un estándar nacional para las condiciones específicas para las cuales el tanque es diseñado.

La presión de diseño de levantamiento en el techo (viento más presión interna) no necesita exceder de 1.6 veces la presión de diseño

Las cargas horizontales de barlovento y sotavento en el techo son conservadoramente iguales y opuestas y por lo tanto no son incluidas en las presiones arriba mencionadas

La velocidad del viento más rápida en millas multiplicada por 1.2 es aproximadamente igual a la ráfaga de velocidad del viento de 3 segundos.

1.3. Factores de diseño

El comprador deberá establecer la temperatura de diseño del metal (basada en la temperatura ambiente), la máxima temperatura de diseño, la gravedad específica de diseño, la tolerancia de corrosión (después de dar consideración al total efecto del líquido almacenado, el vapor encima del líquido y el ambiente) y los factores sísmicos.

1.4. Cargas externas

El comprador deberá establecer la magnitud y dirección de las cargas externas o las restricciones, si hay alguna, para las que se debe diseñar el cuerpo o las conexiones. El diseño de tales cargas deberá ser materia de acuerdo entre el comprador y el fabricante.

1.5. Capacidad del tanque

El Comprador debe especificar la máxima capacidad del tanque y el nivel de la protección para el sobre-llenado del mismo (o el volumen).

La máxima capacidad es el volumen de producto en un tanque cuando está lleno hasta el nivel de diseño del líquido.

La capacidad neta de trabajo es el volumen de producto disponible bajo las condiciones normales de operación. Esta capacidad es igual a la máxima capacidad menos el volumen mínimo de operación que permanece en el tanque, menos el nivel (o el volumen) de la protección para el sobre-llenado del tanque (ver figura 44)

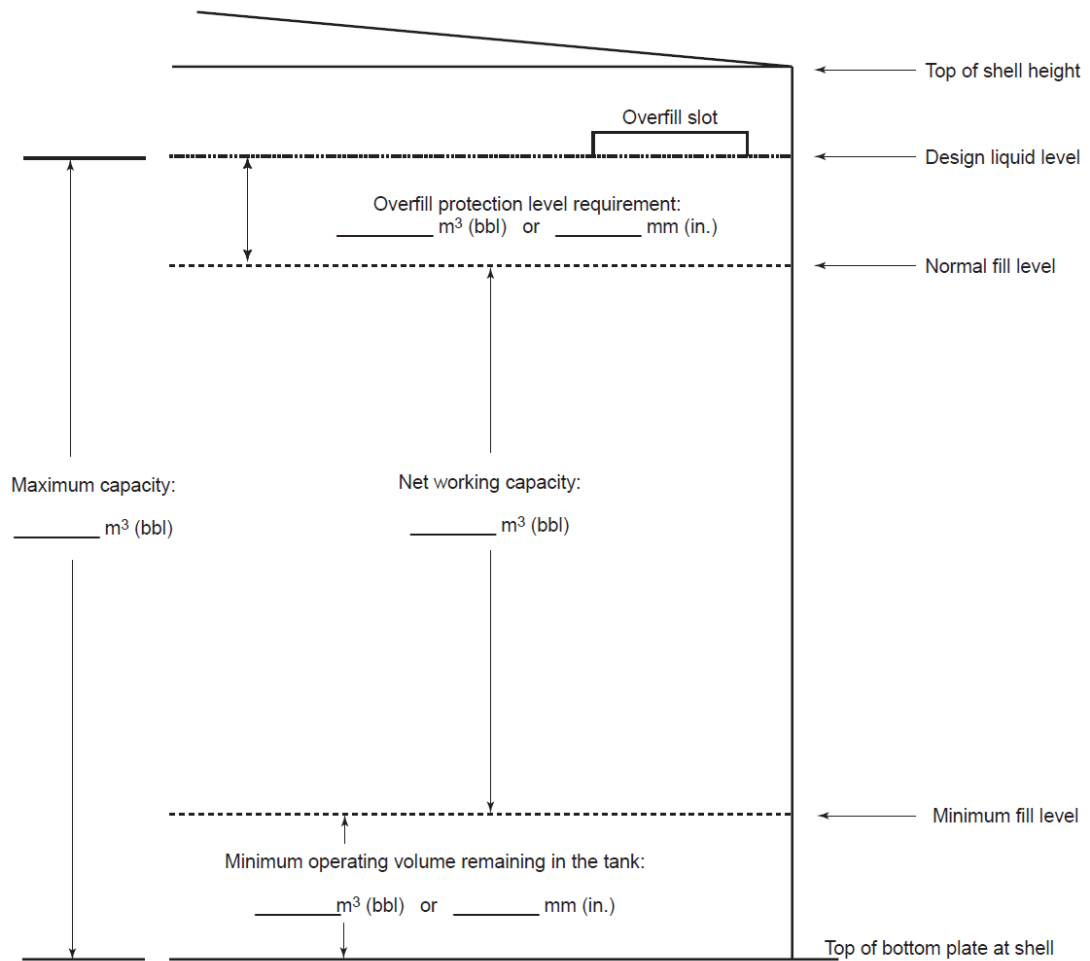


Figure 5-4—Storage Tank Volumes and Levels

Figura 44: Volúmenes y niveles del tanque de almacenamiento
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

1.6. Consideraciones especiales

1.6.1. Fundación Civil

La adecuada fundación civil es responsabilidad del cliente. La selección de la localización del tanque y el diseño y construcción de la fundación civil deben tener una consideración cuidadosa, para garantizar un soporte adecuado para el tanque. Las condiciones del subsuelo deben conocerse para estimar la capacidad de carga del suelo y el asentamiento que se experimentará. Esta información se obtiene generalmente a partir de perforaciones del suelo, pruebas de carga, muestreo, pruebas de laboratorio y análisis.

1.6.2. Condiciones de servicio

El Comprador indicará todos los requisitos metalúrgicos especiales en materia de selección de materiales y los procesos de fabricación como sea requerido por las condiciones de servicio previstas. Cuando las condiciones de servicio puedan incluir la presencia de sulfuro de hidrógeno u otras condiciones que podrían promover el agrietamiento inducido por el hidrógeno, en particular cerca de la parte inferior del cuerpo y en las conexiones cuerpo-fondo, se debe tener cuidado para asegurar que los materiales del tanque y sus detalles de construcción sean adecuados para resistir el agrietamiento inducido por el hidrógeno. El comprador debe considerar límites en el contenido de azufre en los metales base y de aporte, así como los procedimientos de control de calidad más adecuados en la fabricación de láminas y del tanque.

1.6.3. Tolerancia de corrosión admisible

Es responsabilidad del cliente determinar los valores de corrosión admisible después de tomar en consideración todos los efectos del líquido almacenado, el vapor encima del líquido y la atmósfera del entorno, para todos los componentes, incluyendo cada anillo del cuerpo, el fondo, el techo, las bocas, manholes y elementos estructurales

1.6.4. Dureza de la soldadura

La dureza del material de aporte y de la zona afectada térmicamente (ZAT) deben cumplir con los límites de sulfuro de hidrógeno que el comprador lo especifique.

Cuando el comprador lo especifique para materiales IV, IVA, V o VI debe ser evaluado la dureza del metal soldado y de la zona afectada térmicamente.

1.7. Simbología

La simbología que se utilizará para los cálculos es la siguiente:

$H_t = \text{altura total del cuerpo del tanque}$

H_{t0} = altura total del cuerpo del tanque (requerimiento inicial), en mm

ϕ_{int0} = diámetro interior del tanque (requerimiento inicial), en mm

ϕ_{int} = diámetro interior del tanque, en mm

ϕ_n = diámetro neutro del tanque, en mm

ϕ_{ext} = diámetro exterior del tanque, en mm

P_n = perímetro del tanque (calculado con ϕ_n), en mm

t_d = espesor de diseño del cuerpo, en mm

t_t = espesor de prueba hidrostática del cuerpo, en mm

A_p = ancho de plancha, en mm

V_{c0} = volumen del cuerpo del tanque inicial, en m^3

V_c = volumen del cuerpo, en m^3

V_f = volumen del fondo del tanque, en m^3

V_{tec} = volumen del techo del tanque, en m^3

ρ_{ac} = densidad del acero, en kg/m^3

t_f = espesor del fondo del tanque

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

ϕ_f = diámetro del fondo del tanque, en mm

t_{tec} = espesor del techo del tanque

ϕ_{tec} = diámetro del desarrollo del techo del tanque, en mm

y_L = distancia del centro de gravedad a lo largo del eje Y del ángulo de tope definitivo 2" x 2" x 1/4" (ver anexo 3), 0.592 in = 15.04 mm

M_{Pi} = momento de la presión interna de diseño sobre la junta cuerpo – fondo.

M_W = momento de volcamiento de la presión horizontal más la vertical del viento sobre la junta cuerpo – fondo.

M_{DL} = momento del peso del cuerpo y el techo soportado por el cuerpo sobre la junta cuerpo – fondo

M_F = momento del peso del líquido sobre la junta cuerpo – fondo, donde el peso del líquido W_a es definido usando una gravedad específica de 0.7 y una altura de la mitad de la altura de diseño del líquido H .

Pd_{vv} = presión de diseño de viento en áreas verticales proyectadas, [KPa]

Pd_{vh} = presión de diseño de viento en áreas horizontales proyectadas [KPa]

V = velocidad de ráfaga de viento en sitio [km/h]

$A_v = \text{área proyectada vertical [m}^2\text{]}$

$A_h = \text{área proyectada horizontal [m}^2\text{]}$

$d_v = \text{distancia del área proyectada vertical [m]}$

$d_h = \text{distancia del área proyectada horizontal [m]}$

$P_c = \text{peso del cuerpo sin corrosión admitida [kg]}$

$P_t = \text{peso del techo [kg]}$

$\phi_{n1} = \text{diámetro neutro del tanque sin corrosión admitida [m]}$

$t_b = \text{espesor del fondo del tanque menos corrosión admitida [mm]}$

$P_i = \text{presión interna del tanque [KPa]}$

$W_a = \text{fuerza de resistencia del contenido del tanque por unidad de circunferencia del cuerpo [N/m]}$

$H = \text{máximo nivel de diseño de producto contenido en el tanque [m]}$

$F_{by} = \text{esfuerzo mínimo de fluencia del fondo [MPa]}$

$\theta = \text{ángulo entre el techo y un plano horizontal en la junta cuerpo-techo (grados)}$

$D_{tec} = \text{diámetro proyectado del techo del tanque [m]}$

2. Cuerpo del tanque

2.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son las listadas a continuación y que están basadas según las siguientes secciones de API 650:

- Sección 5.6.1 - Generales
- Sección 5.6.2 - Esfuerzos permisibles
- Sección 5.6.3 - Cálculo del espesor por el método de un pie
- Sección 5.6.4 - Cálculo del espesor por el método de punto variable
- Sección 5.6.5 - Cálculo del espesor por análisis elástico
- Sección 5.1.5.9 - Ángulo de tope
- Sección 5.9 - Rigidizadores contra viento superiores e intermedios

2.1.1. General

El espesor requerido de las láminas del cuerpo debe ser el mayor entre el espesor requerido de producto del cuerpo incluyendo la tolerancia de corrosión y el espesor requerido de prueba hidrostática del cuerpo, pero no debe ser menor que los espesores establecidos mostrados a continuación para los diferentes diámetros (ver figura 45):

Nominal Tank Diameter		Nominal Plate Thickness	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	$\frac{3}{16}$
15 to < 36	50 to < 120	6	$\frac{1}{4}$
36 to 60	120 to 200	8	$\frac{5}{16}$
> 60	> 200	10	$\frac{3}{8}$

Notes:

1. Unless otherwise specified by the Purchaser, the nominal tank diameter shall be the centerline diameter of the bottom shell-course plates.
2. Nominal plate thickness refers to the tank shell as constructed. The thicknesses specified are based on erection requirements.
3. When specified by the Purchaser, plate with a minimum nominal thickness of 6 mm may be substituted for $\frac{1}{4}$ -in. plate.
4. For diameters less than 15 m (50 ft) but greater than 3.2 m (10.5 ft), the minimum thickness of the lowest shell course only is increased to 6 mm ($\frac{1}{4}$ in.).

*Figura 45: Espesores mínimos de cuerpos de tanques según su diámetro
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)*

A menos que se acuerde otra cosa con el comprador, las láminas del cuerpo deberán tener un ancho nominal de 1800 mm (72 in). Las láminas que van a ser soldadas a tope deberán ser cortadas apropiadamente a escuadra.

El esfuerzo calculado para cada anillo del cuerpo no debe ser mayor que el esfuerzo admisible permitido del material usado para fabricar el anillo. Ningún anillo del cuerpo debe ser más delgado que el anillo que se encuentra encima de él.

El cuerpo del tanque se debe comprobar por estabilidad al pandeo generado por la velocidad de viento de diseño, para verificar si se requiere usar anillos rigidizadores intermedios, aumentar el espesor del cuerpo o ambos.

2.1.2. Esfuerzos Permisibles

Los esfuerzos de diseño máximos admisibles de producto S_d son los mostrados en el anexo 2. El espesor neto de la lámina (el espesor real menos la tolerancia de corrosión) deberá ser usado en los cálculos.

El esfuerzo de diseño máximo admisible de producto, S_d , deberá ser el menor entre los siguientes valores:

- Dos tercios de la resistencia a la fluencia ($2 \cdot S_y / 3$) del material
- Dos quintos de la resistencia de tensión ($2 \cdot S_u / 5$) del material

Los esfuerzos de diseño máximos admisibles de prueba hidrostática, S_t , son los mostrados en el anexo 2. El espesor bruto de la lámina, incluyendo la tolerancia de corrosión, deberá ser usado en los cálculos.

El esfuerzo de diseño máximo admisible de prueba hidrostática, S_t , deberá ser el menor entre los siguientes valores:

- Tres cuartos de la resistencia a la fluencia ($3 \cdot S_y / 4$) del material
- Tres séptimos de la resistencia de tensión ($3 \cdot S_u / 7$) del material

2.1.3. Cálculo del espesor por el método de 1 pie

Este método calcula el espesor requerido en puntos de diseño localizados 1 ft (0.3 m) por encima del borde inferior de cada anillo del

cuerpo. Este método no se debe usar para calcular tanques de diámetros mayores de 200 ft (60 m) de diámetro.

El mínimo espesor requerido de cada anillo del cuerpo deberá ser el mayor valor entre los calculados por las fórmulas:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA \quad [3]$$

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t} \quad [21]$$

t_d = espesor de diseño del cuerpo, en mm

t_t = espesor de prueba hidrostática del cuerpo, en mm

D = diámetro nominal del tanque, en m

H = nivel de diseño del líquido, en m

Altura desde el fondo del anillo en consideración hasta la parte superior del cuerpo, incluyendo el ángulo tope; o hasta el fondo de una boca de sobrellenado que limite el llenado del tanque; o hasta algún nivel especificado por el cliente, restringido por un techo interno flotante o un control para permitir la acción de ondas sísmicas.

G = gravedad específica de diseño del líquido almacenado, definido por el cliente

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

S_d = esfuerzo admisible para la condición de diseño, en MPa (ver anexo 2)

S_t = esfuerzo admisible para la condición de prueba hidrostática, en MPa (ver anexo 2)

2.1.4. Cálculo del espesor por el método de punto variable

Este procedimiento normalmente ofrece una reducción de espesores de los anillos del cuerpo y el peso total del material, pero lo más importante es su potencial para permitir la construcción de tanques de mayor diámetro dentro de la limitación máxima de espesor de placa.

Este método da espesores del cuerpo en puntos de diseño, lo que da que los esfuerzos calculados son más cercanos a los esfuerzos circunferenciales reales en el cuerpo.

Este método se debe usar solamente cuando el cliente no haya especificado el método de 1 pie y cuando lo siguientes es verdadero:

$$\frac{L}{H} \leq \frac{1000}{6} \quad [22]$$

$$L = (500 Dt)^{0.5} \text{ en mm}$$

D = diámetro del tanque, en m

t = espesor del anillo inferior del cuerpo, en mm

H = nivel del diseño del líquido, en m

2.1.5. Cálculo de espesores por análisis elástico

Para los tanques donde $L/H \geq 1000/6$ (en unidades SI) la selección de los espesores de los anillos del cuerpo se basarán en un análisis elástico que muestra los esfuerzos circunferenciales del cuerpo calculados a estar por debajo de las tensiones admisibles dados en el anexo 2.

2.1.6. Ángulo de tope

Excepto para tanques con extremo superior abierto, para tanques con techos de junta frágil, para techos auto-soportados y para techos con el borde superior del cuerpo con doblez, los cuerpos de los tanques deberán tener ángulos superiores con un tamaño mínimo que no deberá ser menor a:

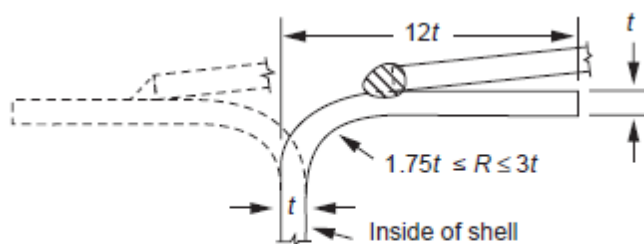
Tank Diameter (D)	Minimum Top Angle Size (in.)	Minimum Top Angle Size ^a (mm)
$D \leq 11$ m, ($D \leq 35$ ft)	$2 \times 2 \times 3/16$	$51 \times 51 \times 4.8$
$11 \text{ m} < D \leq 18$ m, ($35 \text{ ft} < D \leq 60$ ft)	$2 \times 2 \times 1/4$	$51 \times 51 \times 6.4$
$D > 18$ m, ($D > 60$ ft)	$3 \times 3 \times 3/8$	$76 \times 76 \times 9.5$

^aApproximate equivalent sizes may be used to accommodate local availability of materials.

Figura 46: Tamaño de ángulos de tope mínimos
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

Para tanques con un diámetro menor o igual que 9 m (30 ft) y un techo cónico soportado, el borde superior del cuerpo puede ser doblado en lugar

de instalar el ángulo de tope. El radio de doblez y el ancho del borde del doblez deberán estar conforme a los detalles de la figura 47. Esta construcción puede ser usada para cualquier tanque con techo auto-soportado si el área transversal total de la junta cumple con los requerimientos establecidos para la construcción del ángulo de tope. No se deberá agregar ningún miembro adicional, tal como un ángulo o una barra, al detalle del doblez del cuerpo.



ALTERNATIVE ROOF-TO-SHELL JOINT

*Figura 47: Alternativa con doblez de junta cuerpo-techo
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)*

2.1.7. Rigidizadores contra viento superiores e intermedios

Los tanques de extremo superior abierto deberán tener un anillo rigidizador o viga contra-viento para mantener la redondez del cuerpo cuando el tanque está sometido a cargas de viento. Estos anillos rigidizadores deberán estar localizados en el extremo superior o cerca de él, preferiblemente por el exterior del tanque y deberán tener un módulo de sección mínimo. Los anillos rigidizadores también aplican para tanques de techos flotantes.

Los anillos rigidizadores pueden ser hechos de secciones o perfiles estructurales, fabricados a partir de lámina conformada por doblez o secciones fabricadas por soldadura o una combinación de tales tipos de secciones ensambladas por soldadura (ver anexo 6). La periferia exterior de los anillos rigidizadores puede ser circular o poligonal.

El tamaño mínimo de un ángulo para ser usado solo o como un componente de una sección fabricada debe ser de 64 x 64 x 6.4 mm (2-1/2 x

2-1/2 x 1/4 in). El espesor nominal mínimo de lámina para ser usada en secciones conformadas o fabricadas debe ser de 6 mm (1/4 in).

Cuando los anillos rigidizadores están localizados más de 0.6 m (2ft) por debajo de la parte superior del cuerpo, el tanque debe tener un ángulo de 64 x 64 x 4.8 mm (2-1/2 x 2-1/2 x 3/16 in) para cuerpos de 5 mm (3/16 in) de espesor o un ángulo de 76 x 76 x 6.4 mm (3 x 3 x 1/4 in) para cuerpos de más de 5 mm (3/16 in) de espesor, u otros elementos con módulo de sección equivalente.

Los anillos rigidizadores que pueden atrapar líquido deberán tener huecos de drenaje adecuados.

Existen rigidizadores superiores e intermedios, la presencia de los segundos dependen de la altura del tanque, de la velocidad de ráfaga de viento y espesor del cuerpo.

2.2. Cálculos y Diseño

Primero se realizará una revisión de los requerimientos entregados por el cliente:

- **Material:**

Por disponibilidad de material en el mercado como se mencionó en la ingeniería básica en la sección 2.2 del capítulo III, se podría adquirir al momento únicamente el acero al carbono ASTM A 36 y no el acero al carbono ASTM A 285 que solicita el cliente, por lo que a continuación se muestra una tabla comparativa de las propiedades de resistencia de los dos aceros:

Tabla 8:

Comparativa Aceros al carbono ASTM: A 285 y A 36

Propiedad*	A 285	A 36
<i>Esfuerzo a la fluencia MPa (psi)</i>	205 (30 000)	250 (36 000)
<i>Esfuerzo a la tracción MPa (psi)</i>	380 (55 000)	400 (58 000)

* Propiedades obtenidas del anexo 2 (American Petroleum Institute, 2007)

Para realizar la selección del material se va a utilizar la matriz de pesos ponderados “scoring”, evaluando dos materiales, el ASTM A 285 y A 36 debido a que el primer material es solicitado por el cliente y el otro material es el más comercial en nuestro mercado y de propiedades similares al A 285; en la matriz se calificarán los siguientes factores:

Tabla 9:

Factores de matriz de pesos ponderados

Factor	Ponderación
<i>Propiedades de resistencia del material</i>	5
<i>Costo</i>	3
<i>Disponibilidad en el mercado</i>	5
<i>Disponibilidad en variedad de espesores y dimensiones</i>	4
<i>Aceptación norma API 650</i>	5

Entonces se procede a calificar a cada opción de la matriz de pesos ponderados.

Tabla 10:

Matriz de pesos ponderados

Factor	Ponderación	A 283		A 36	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Propiedades del material	5	8	40	10	50
Costo	3	9	27	9	27
Disponibilidad en el mercado	5	6	30	10	50
Disponibilidad en variedad de espesores y dimensiones	4	6	24	10	40
Aceptación norma API 650	5	10	50	10	50
Score			171		217

Como se observa en la matriz de pesos ponderados (tabla 10) la mejor opción para material de construcción del tanque es el acero A 36, principalmente por su disponibilidad en el mercado y sus propiedades superiores, por lo que se acuerda con el cliente cambiar el material a acero ASTM A 36.

- Capacidad del tanque:

$$V_{c0} = \frac{\pi}{4} \phi_{int0}^2 * H_{t0} \quad [23]$$

Donde:

V_{c0} = volumen del cuerpo del tanque inicial, en m^3

H_{t0}

= altura total del cuerpo del tanque (requerimiento inicial), en mm

ϕ_{int0} = diámetro interior del tanque (requerimiento inicial), en mm

$$\Rightarrow V_{c0} = \frac{\pi}{4} 9.6^2 * 10.96$$

$$V_{c0} = 793.31 m^3 = 4989.76 bbl \approx 5000 bbl$$

Como se mencionó en la ingeniería básica en la sección 2.2 del capítulo III en el mercado existe disponibilidad de planchas de 1800 de ancho, por tal motivo se tiene que modificar ligeramente las dimensiones de los requerimientos sin realizar alteraciones considerables a la capacidad del tanque, para que se utilicen exactamente 6 anillos en el cuerpo, y no exista un anillo demasiado pequeño.

Entonces se utilizará la altura del tanque obtenida en los cálculos básicos 2.3.2.2 del capítulo III (con planchas de ancho 1800), la cual tiene un valor de 10869 mm y como se observa que la capacidad inicial del tanque V_0 es aproximadamente 5000 bbl, se trabajará con este volumen que es ligeramente superior al de los requerimientos:

$$V_c = 5000 \text{ bbl} = 794.94 \text{ m}^3$$

$$V_c = \frac{\pi}{4} \phi_{int}^2 * H_t \quad [24]$$

Donde:

H_t = altura total del cuerpo del tanque, en mm

ϕ_{int} = diámetro interior del tanque, en mm

V_c = volumen del cuerpo, en m^3

$$\Rightarrow \phi_{int}^2 = \frac{4 V_c}{\pi H_t}$$

$$\phi_{int}^2 = \frac{4}{\pi} \left(\frac{794.94}{10.869} \right)$$

$$\phi_{int} = 9.65 \text{ m}$$

Entonces se tendrían los siguientes datos definitivos y ligeramente redimensionados por temas constructivos y comerciales:

Tabla 11:**Datos definitivos para el tanque**

Requisito	Valor
<i>Capacidad Geométrica</i>	5000 bbl = 794.94 m ³
<i>Diámetro</i>	9 650 mm
<i>Altura</i>	10 869 mm
<i>Material</i>	Acero al carbono ASTM A-36
<i>Ancho de planchas</i>	1800 mm

Según lo indicado en la anterior sección y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- El espesor del cuerpo no podrá ser menor que 3/16" (5 mm)
- Las láminas del cuerpo tendrán un ancho igual a 1800 mm (72 in)
- Para cálculos del espesor se utilizará el método de un pie, debido a que el cliente no ha especificado que se utilice el método de punto variable, y no se cumple la condición $L/H \geq 1000/6$, para aplicar el método de análisis elástico
- El análisis por estabilidad al pandeo generado por la velocidad de viento de diseño se lo realizará en la sección 5 del presente capítulo.
- El cuerpo deberá tener un ángulo tope y según 2.1.6 el tamaño mínimo será de 2" x 2" x 3/16"; pero por motivos constructivos para evitar distorsiones, deformaciones y pandeos excesivos debido a que el perfil es delgado, entonces se utilizará un ángulo 2" x 2" x 1/4". Adicional con esto se mejorará a resistencia a los esfuerzos por las cargas.
- Debido a que el tanque no es abierto o de techo flotante no necesita el uso de anillos rigidizadores intermedios o superiores.

2.2.1. Cálculo del espesor por método de un pie

Se hace referencia a la sección 2.1.3. del presente capítulo, por lo que se aplicará las siguientes fórmulas para cada uno de los anillos:

l anillo:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA \quad [3]$$

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$

$$t_d = \frac{4.9 * 9.65(10.869 - 0.3)1}{160} + 1.588$$

$$t_d = 4.71 \text{ mm} \rightarrow 3/16''$$

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t} \quad [21]$$

$$t_t = \frac{4.9 * 9.65(10.869 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = 2.92 \text{ mm} \rightarrow 1/8''$$

Nota: Se considera H=10.869m, que es la altura desde el fondo hasta el ángulo tope (altura más crítica)

Como el espesor del primer anillo sería el mayor entre el espesor de diseño y el de prueba hidrostática entonces sería 5 mm (3/16").

Como este espesor cumple el requerimiento de espesores mínimos requerido, (mostrado en la sección 2.1.1. del presente capítulo) y los espesores van disminuyendo conforme y aumenta el número de anillos, entonces se concluye que todos los anillos tendrán el espesor mínimo aceptado de 5 mm (3/16").

El fabricante decide por motivos constructivos, para evitar distorsiones transversales, longitudinales y angulares por la soldadura y pandeo, decide

aumentar el espesor a 6 mm (1/4") para que la lámina no sea tan delgada y pueda contrarrestar en algo los efectos de las distorsiones.

A continuación se presenta una tabla resumen de los anillos del cuerpo y en la figura 48 el esquema definitivo del cuerpo:

Tabla 12:

Resumen anillos del cuerpo del tanque

Anillo	Ancho de plancha [mm]	Espesor de plancha
I	1800	6.35 mm (1/4")
II	1800	6.35 mm (1/4")
III	1800	6.35 mm (1/4")
IV	1800	6.35 mm (1/4")
V	1800	6.35 mm (1/4")
VI	1800	6.35 mm (1/4")

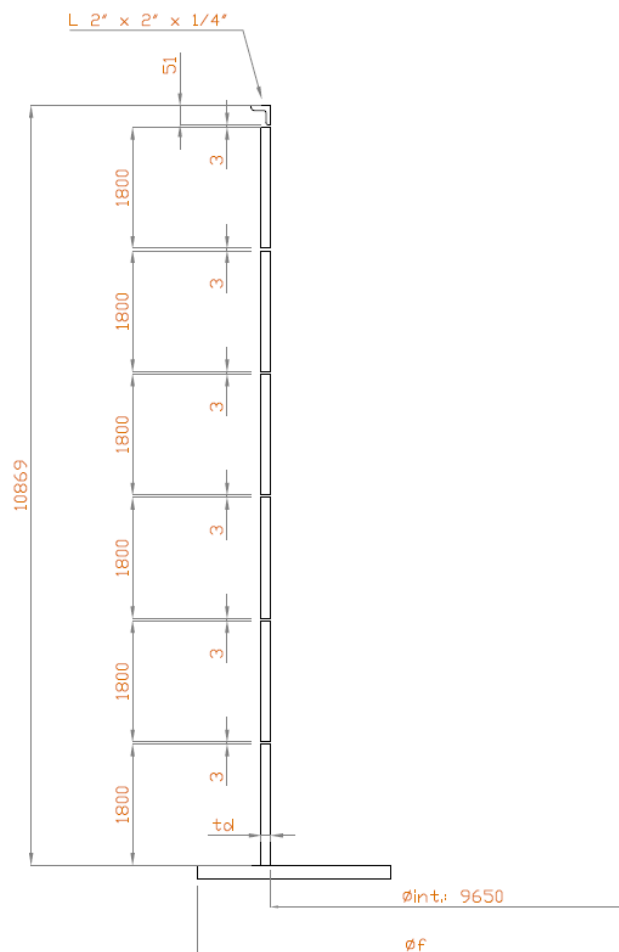


Figura 48: Esquema del cuerpo definitivo

3. Fondo del tanque

3.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son las listadas a continuación y que están basadas según las siguientes secciones de API 650:

- Sección 5.4 - Láminas del fondo
- Sección 5.5 - Lámina anular del fondo

3.1.1. Láminas del fondo

Todas las láminas del fondo deben tener un espesor nominal mínimo de 6mm (1/4") [70 kPa (10.2 lb/ft²)] sin incluir ninguna tolerancia de corrosión especificada. A menos que se acuerde otra cosa con el Comprador, todas las láminas rectangulares y del borde del fondo ("sketch plates" aquellas láminas del fondo en las cuales descansa el cuerpo y que tienen un extremo rectangular) deben tener un ancho mínimo de 1800 mm (72 in o 6 ft).

Se deben ordenar láminas de fondo de tamaño suficiente para que cuando sean refiladas quede una proyección de al menos 50 mm (2 in) hacia afuera del borde exterior de la soldadura de unión del cuerpo al fondo.

Las láminas del fondo deberán ser soldadas con juntas traslapadas, ver diseño de juntas soldadas.

A menos que sea especificado de otra forma por el cliente, los fondos de los tanques que requieran inclinación deberán tener una pendiente mínima de 1:120 subiendo hacia el centro del tanque.

Si es especificado en la data sheet, un anillo de protección (drip ring) de la fundación deberá ser suministrado para prevenir el ingreso de agua entre el fondo del tanque y la fundación. El material deberá ser acero al carbono de 3mm de espesor mínimo.

Deberá extender al menos 75 mm (3 in) más allá de la periferia exterior del anillo de la fundación y después debe doblarse hacia abajo (hasta 90°) en su diámetro exterior. (Ver figura 49)

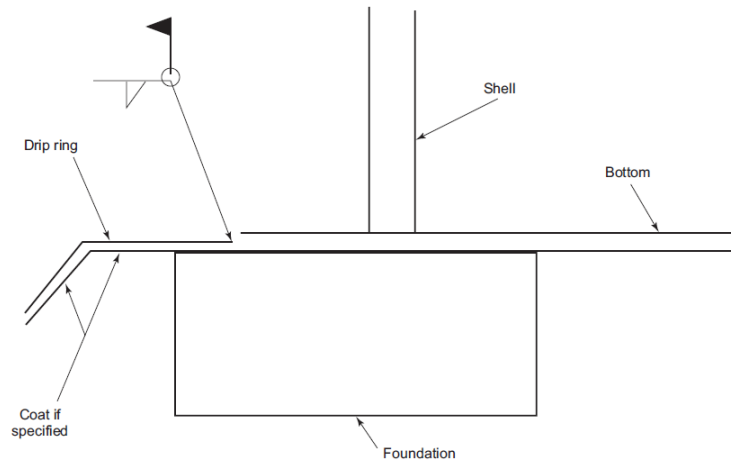


Figure 5-5—Drip Ring (Suggested Detail)

Figura 49: Anillo de protección
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

3.1.2. Lámina anular del fondo

Cuando el anillo inferior del cuerpo se haya diseñado usando los esfuerzos admisibles de los materiales de los grupos IV, IVA, V o VI, se debe usar una lámina anular en el fondo unida con soldadura a tope.

Cuando el anillo inferior del cuerpo es de materiales de los grupos IV, IVA, V o VI y el máximo esfuerzo de producto para el primer anillo del cuerpo es menor o igual que 160 MPa (23 200 psi) o el máximo esfuerzo de prueba hidrostática para el primer anillo del cuerpo es menor o igual que 172 MPa (24 900 psi), se puede usar el fondo con soldaduras traslapadas en lugar de una lámina anular en el fondo unida con soldadura a tope.

Las láminas anulares del fondo deben tener un ancho radial que suministre al menos 600 mm (24 in) entre el interior del cuerpo y cualquier junta traslapada del resto del fondo y al menos 50 mm (2 in) de proyección por el exterior del cuerpo.

3.2. Cálculos y diseño

Según lo indicado en la sección anterior y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- El espesor del fondo va a ser igual a:

$$t_f = 6 \text{ mm} + CA \quad [25]$$

Donde:

t_f = espesor del fondo del tanque, en mm

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

$$\Rightarrow t_f = 6 \text{ mm} + 1.59 \text{ mm} = \mathbf{7.6 \text{ mm}} \approx \mathbf{5/16''}$$

- El ancho para las láminas del fondo va a ser igual a 1800 mm:
- El diámetro del fondo va a ser el siguiente:

$$\phi_f = \phi_{ext} + 50 * 2 \text{ mm} \quad [26]$$

$$\phi_f = (\phi_{int} + 2 * t_d) + 50 * 2 \text{ mm} \quad [27]$$

Donde:

ϕ_f = diámetro del fondo del tanque, en mm

ϕ_{int} = diámetro interior del tanque, en mm

ϕ_{ext} = diámetro exterior del tanque, en mm

t_d = espesor de diseño del cuerpo, en mm

$$\Rightarrow \phi_f = (9650 + 6 * 2) + 50 * 2 \text{ mm} = \mathbf{9762 \text{ mm}}$$

- Por especificación del cliente, el fondo no requiere inclinación, aparte de la inclinación resultado del traslape de planchas.
- El fondo no requerirá de anillo de protección por especificaciones del cliente
- El tanque no requerirá de anillo anular debido a que el anillo inferior del cuerpo no se ha diseñado usando los esfuerzos admisibles de los materiales de los grupos IV, IVA, V o VI

4. Techo del tanque

4.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son las listadas a continuación y que están basadas según las siguientes secciones de la API 650:

- Sección 5.10.1 - Definiciones
- Sección 5.10.2 - Generales
- Sección 5.10.3 - Esfuerzos admisibles
- Sección 5.10.4 - Techos cónicos soportados

4.1.1. Definiciones

- Un techo cónico soportado es un techo formado aproximadamente a la superficie de un cono recto que está soportado principalmente o por vigas (rafters) sobre estructuras (girders) y columnas o por vigas (rafters) en cartelas o cerchas (trusses) con o sin columna.
- Un techo cónico auto-soportado es un techo formado aproximadamente a la superficie de un cono recto que está soportado solamente en su periferia.
- Un techo domo auto-soportado es un techo formado aproximadamente a una superficie esférica que está soportado solamente en su periferia.
- Un techo tipo sombrilla auto-soportado es un techo domo modificado, formado de manera que cualquier sección horizontal es un polígono regular con tantos lados como láminas del techo y que está soportado solamente en su periferia.

4.1.2. General

Todos los techos y su estructura de soporte deberán ser diseñados para combinaciones de carga de: fluido y presión interna, prueba hidrostática, viento y presión interna, cargas por gravedad, sísmicas

Las láminas del techo deben tener un espesor nominal mínimo de 5 mm (3/16") más la tolerancia de corrosión. Para techos auto-soportados puede ser necesario el uso de láminas con espesores mayores. Cualquier tolerancia a la corrosión requerida para láminas de techos auto-soportados deberá ser adicionada al espesor calculado a menos que sea especificado de otra forma por el cliente. Cualquier tolerancia a la corrosión para láminas de techo soportados deberá ser adicionada al espesor nominal mínimo. Para tanques con techos de junta frangible donde haya una tolerancia a la corrosión especificada, el diseño deberá tener características frangibles en la condición como se construye no corroída.

Las láminas de los techos cónicos soportados no se deben soldar a los elementos de su estructura de soporte, a menos que sea aprobado de otra manera por el comprador; su pendiente debe ser de 1:16 o mayor si así lo especifica el cliente.

Todos los elementos estructurales del techo deben tener un espesor nominal mínimo de 0.17" (4.3mm). El método para dar protección a la corrosión a estos elementos se debe acordar entre el cliente y el fabricante.

Las láminas de los techos cónicos deberán ser soldadas al ángulo tope con un filete de soldadura continuo por el lado superior solamente.

Un techo es considerado frangible si la unión techo-cuerpo puede fallar antes de que ocurra una falla en la junta cuerpo-fondo en el evento de una presión interna excesiva. Cuando un cliente especifica un tanque con techo frangible, el diseño del tanque deberá cumplir con todo lo siguiente:

- a) El tanque deberá ser de un diámetro de 15.25m (50ft) o mayor
- b) La pendiente del techo en la unión con el ángulo superior no excede 2in en 12
- c) El techo es unido al ángulo tope con un filete sencillo continuo que no excede de 5 mm (3/16")

- d) Los miembros de soporte del techo no están unidos a las láminas del techo
- e) La junta techo-ángulo tope está limitado a los detalles a-e del anexo 7.
- f) El ángulo tope puede ser menor que lo requerido en la sección 2.1.6 del presente capítulo.
- g) Todos los miembros en la región de la junta cuerpo-techo incluyendo anillos para aislamientos deben ser considerados como que contribuyen al área transversal (A)
- h) El área transversal A de la junta cuerpo-techo es menor al límite mostrado a continuación, en unidades SI:

$$A = \frac{D_{LS}}{1390 \tan \theta} \quad [28]$$

Donde:

A = área resistiendo la fuerza de compresión (mm²)

D_{LS} = peso total del cuerpo y cualquier enmarcado (fuera de planchas del techo) soportado por el cuerpo y el techo (N)

θ = ángulo entre el techo y un plano horizontal en la junta cuerpo-techo (grados)

4.1.3. Esfuerzos admisibles

Todas las partes de la estructura del techo deberán ser proporcionadas de forma que la suma de los esfuerzos estáticos y dinámicos máximos no excedan las limitaciones especificadas en el código AISC “Specification for structural Steel buildings” o, por acuerdo con el cliente, un código de diseño estructural equivalente reconocido por el gobierno del país donde el tanque está localizado. La porción de la especificación “Allowable Stress Design” deberá ser usada en la determinación de los esfuerzos unitarios admisibles. El uso de la parte 5, capítulo N “Plastic Design” es específicamente no permitida.

El espesor mínimo de cualquier miembro estructural, incluyendo cualquier corrosión permitida, no deberá ser menor a 6 mm (1/4 in) para columnas, para vigas, rigidizadores los cuales son diseñados normalmente

para resistir fuerzas axiales de compresión, u otro miembro estructural 4 mm (0.17 in).

En lo que tiene que ver con la relación de esbeltez máxima, para columnas, el valor L/r_c no debe exceder 180. Para otros miembros a compresión, el valor L/r no debe exceder 200. Para otros miembros cuyo está basado en fuerzas de tensión, L/r no debe exceder 300.

Donde:

L = longitud sin soporte lateral, mm (in)

r_c = radio de giro mínimo de la columna, mm (in)

r = radio de giro gobernante, mm (in)

4.1.3.1 Columnas

Cuando el cliente no especifique cargas laterales sobre las columnas y la columna no este considerada por la especificación del AISC como un elemento esbelto, la siguiente ecuación para el límite de compresión puede ser usada en lugar de las ecuaciones de la especificación AISC cuando l/r excede de 120 y el esfuerzo de fluencia de la columna (F_y) es menor que o igual a 250 MPa (36000 lbf / pulg²).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad [29]$$

Cuando l/r es menor que o igual C_c :

$$F_a = \frac{\left[\frac{\left[1 - \frac{(l/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(l/r)}{8C_c} - \frac{(l/r)^3}{8C_c^3}} \right]}{\left[1.6 - \frac{l}{200r} \right]} \quad [30]$$

Cuando l/r excede a C_c :

$$F_a = \frac{\left[\frac{12\pi^2 E}{23(l/r)^2} \right]}{\left[1.6 - \frac{l}{200r} \right]} \quad [31]$$

Donde:

F_a = esfuerzo permisible a la compresión, MPa (lbf/in²)

F_y = esfuerzo de fluencia del material, MPa (lbf/in²)

E = módulo de elasticidad, MPa (lbf/in²)

l = longitud libre de la columna, mm (in)

r = radio de giro mínimo de la columna, mm (in)

4.1.4. Techos cónicos soportados

La pendiente del techo debe ser de 1:16 o mayor si así se especifica por el cliente

Los miembros principales de soporte, incluyendo aquellos que soportan las vigas (rafters), pueden ser perfiles laminados o secciones fabricadas. Aunque estos miembros pueden estar en contacto con las láminas del techo, el patín de compresión de un miembro no deberá ser considerada como recibiendo soporte lateral de las láminas del techo y deberán ser rigidizadas lateralmente por otro método aceptable si es necesario.

Miembros estructurales que sirvan como vigas, pueden ser perfiles laminados o secciones fabricadas. Las vigas deberán ser diseñadas para la carga muerta de ellas misma y de las láminas del techo y con el patín de compresión de la viga considerando que no está recibiendo soporte lateral de las láminas del techo y deberán ser rigidizadas lateralmente si es necesario. Cuando se consideran cargas muertas adicionales o cargas vivas, las vigas, en contacto directo con las láminas del techo pueden ser consideradas como recibiendo adecuado soporte lateral de la fricción entre

las láminas del techo y los patines de compresión de las vigas, con las siguientes excepciones:

- Juntas de alma abierta usadas como vigas
- Vigas con profundidad nominal mayor que 375mm (15 in)
- Vigas con una pendiente mayor que 1:6

Los centros de las vigas deben estar espaciadas en el anillo exterior a no más de 0.6π m (2π ft) medido a lo largo de la circunferencia del tanque. En anillos interiores no será mayor que 1.7 m (5.5 ft)

Las columnas del techo deberán ser hechas de tubo o elementos estructurales como sea indicado por el cliente. Las columnas en tubo deberán ser selladas o tener una abertura tanto en la parte superior como en la inferior.

Las cartelas para la fila exterior de las vigas deberán ser soldadas al cuerpo del tanque

Las columnas de soporte deberán ser suministradas con detalles en sus bases que proporcionen lo siguiente:

- Distribución de la carga: las cargas en la columna deberán ser distribuidas sobre superficies de apoyo basadas en la capacidad especificada de soporte de la fundación del tanque. Cuando una lámina horizontal no rigidizada es diseñada para distribuir la carga, deberá ser de mínimo 12 mm (1/2 in) de espesor. Alternativamente, la carga de la columna puede ser distribuida por un ensamble de vigas estructurales.
- Protección a la corrosión y a la abrasión: en cada columna se deberá soldar al fondo del tanque una lámina de desgaste (wear plate) con un espesor mínimo de 6 mm (1/4 in) con una soldadura de filete mínimo de 6 mm (1/4 in). Una sola lámina de espesor

adecuado puede ser diseñada para las funciones duales de distribución de carga y de protección a la corrosión y la abrasión.

- Movimiento vertical: el diseño deberá permitir el movimiento vertical sin restricción de la columna relativo al fondo del tanque, en el evento de una sobre presión del tanque o de asentamiento del fondo.
- Movimiento lateral: las columnas deberán estar guiadas efectivamente en sus bases para prevenir el movimiento lateral. Las guías deberán permanecer efectivas en el evento de un movimiento vertical de las columnas relativo al fondo del tanque, por una altura de hasta 75 mm (3 in). Las guías deberán estar localizadas de manera que no estén soldadas directamente a las láminas del fondo del tanque.

Tres arreglos aceptables para proporcionar las funciones mencionadas están ilustrados en el anexo 29.

4.2. Cálculo y diseño del techo

Según lo indicado en la sección anterior y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- El techo solicitado por el cliente es un cónico soportado
- El espesor del fondo va a ser igual a:

$$t_{tec} = 5 \text{ mm} + CA \quad [32]$$

Donde:

t_{tec} = espesor del techo del tanque

CA = corrosión admitida, definido por el cliente, en mm

$$\Rightarrow t_{tec} = 5 \text{ mm} + 1.59 \text{ mm} = 6.6 \text{ mm} \approx 1/4''$$

- Las láminas del techo no serán soldadas a los elementos estructurales y en la junta techo-ángulo tope solo se soldará con un filete de continuo por el lado superior.

- El cliente no especifica que el techo sea un techo frangible; adicional tampoco cumple el requisito (a) de la sección 4.1.2
- La pendiente del techo cónico soportado será de 1:16, debido a que el cliente no ha especificado una pendiente mayor.
- El diámetro desarrollado del techo va ser el siguiente (ver figura 50):

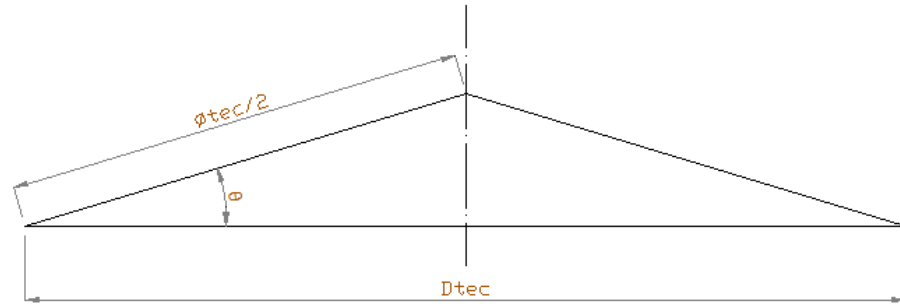


Figura 50: Esquema techo cónico de un tanque

$$\tan \theta = \frac{1}{16} \text{ (pendiente)} \quad [33]$$

Donde:

θ = ángulo entre el techo y un plano horizontal en la junta cuerpo
–techo (grados)

$$\theta = 3.58^\circ$$

$$\phi_{ext} = \phi_{int} + 2t_d \quad [34]$$

Donde:

ϕ_{ext} = diámetro exterior del tanque, en mm

ϕ_{int} = diámetro interior del tanque, en mm

t_d = espesor de diseño del cuerpo, en mm

$$\Rightarrow \phi_{ext} = 9.65 + 2(0.006)$$

$$\phi_{ext} = 9.662 \text{ m}$$

$$D_{tec} = \phi_{ext} + y_L * 2 \quad [35]$$

Donde:

D_{tec} = diámetro proyectado del techo del tanque [m]

ϕ_{tec} = diámetro del desarrollo del techo del tanque, en mm

y_L = distancia del centro de gravedad a lo largo del eje Y del ángulo de tope definitivo 2" x 2" x 1/4" (ver anexo 3),
0.592 in = 15.04 mm

$$\Rightarrow D_{tec} = 9.662 + 0.01504 * 2$$

$$D_{tec} = 9.692 \text{ m}$$

$$\cos \theta = \frac{D_{tec}/2}{\phi_{tec}/2} \quad [36]$$

Donde:

D_{tec} = diámetro proyectado del techo del tanque [m]

ϕ_{tec} = diámetro del desarrollo del techo del tanque, en mm

θ = ángulo entre el techo y un plano horizontal en la junta cuerpo-techo (grados)

$$\Rightarrow \phi_{tec} = \frac{9.692}{\cos 3.58^\circ}$$

$$\phi_{tec} = 9.711 \text{ m}$$

4.2.1. Estructura de techo

Para las vigas se usarán perfiles laminados en caliente. La composición del material de los perfiles corresponde a la calidad ASTM A36, con las siguientes propiedades mecánicas:

- Esfuerzo de fluencia mínimo (S_y) = 250 [MPa] (36 000 psi)
- Esfuerzo de tensión mínimo (S_u) = 400 [MPa] (58 000 psi)
- Esfuerzo admisible para la condición de diseño
(S_d) = 160 [MPa] (23 200 psi)
- Esfuerzo admisible para la condición de prueba hidrostática
(S_t) = 171 [MPa] (24 900 psi)

Para la columna central se utilizará tubería de acero sin costura, calidad ASTM A53 Gr B, cuyas características mecánicas son las siguientes:

- Esfuerzo de fluencia mínimo (S_y) = 241 [MPa] (35 000 psi)
- Esfuerzo de tensión mínimo (S_u) = 413 [MPa] (60 000 psi)

La solución propuesta para la estructura que soportará el techo es la siguiente: para la columna central se utilizará tubería de acero sin costura de 8" Sch 40 y para las vigas se propone usar vigas UPN 140.

Los techos y las estructuras que los soportan, están diseñadas para las combinaciones de cargas aplicables, mostradas en el Apéndice R de API 650 (Combinaciones de carga). Para las estructuras de techo se usan las cargas de gravedad, es decir, el mayor de los valores calculados como sigue:

$$\bullet \quad D_L + (L_r \text{ o } S) + 0.4P_e \quad [37]$$

$$\bullet \quad D_L + P_e + 0.4(L_r \text{ o } S) \quad [38]$$

Donde:

D_L : carga muerta, es el peso de las láminas de techo, incluyendo el sobreespesor de corrosión. (item 1.2 a)

L_r : carga viva mínima sobre la superficie proyectada horizontal del techo (item 1.2 e)

S : carga por nieve (item 1.2 g)

P_e : presión exterior mínima que no debe ser menor 0.25 kPa (1 in H_2O). (item 1.2 b)

$$\Rightarrow D_L = \frac{\frac{\pi}{4} * \phi_{tec}^2 * t_{tec} * 7850 * 9.8}{\frac{\pi}{4} * \phi_{tec}^2} \quad [39]$$

Donde:

ϕ_{tec} = diámetro del desarrollo del techo del tanque, en mm

t_{tec} = espesor del techo del tanque

$$\Rightarrow D_L = 0.006 * 7850 * 9.8$$

$$D_L = 461.58 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\Rightarrow L_r = 20 \left[\frac{lb}{ft^2} \right] = 1000 \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad [40]$$

$$\Rightarrow S = 0 \quad [41]$$

$$\Rightarrow P_e = 250 \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad [42]$$

$$\Rightarrow D_L + (L_r \text{ o } S) + 0.4P_e = 461.58 + 1000 + 0.4(250) = 1561.58 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\Rightarrow D_L + P_e + 0.4(L_r \text{ o } S) = 461.58 + 250 + 0.4(1000) = 1111.58 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Entonces la carga combinada " Q_{comb} ", será igual al mayor valor de las cargas combinadas ya calculadas:

$$\Rightarrow Q_{comb} = 1561.58 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

4.2.1.1. Verificación de vigas

Las características del perfil UPN 140 escogido como propuesta son las siguientes:

- *Peso del perfil ("P_v")* = 16 [kg/m]
- *Módulo de la sección ("W_x")* = 86.4 [cm³]

Según la sección 4.1.5 del presente capítulo los centros de las vigas deben estar espaciadas en el anillo exterior a no más de 0.6π m las vigas.

$$\Rightarrow N_v = \frac{\pi * \phi_{int}}{0.6 * \pi} = \frac{9.65}{0.6} \quad [43]$$

Donde:

N_v = número de vigas necesario para la estructura del techo

ϕ_{int} = diámetro interior del tanque, en mm

$$\Rightarrow N_v = \frac{9.65}{0.6} = 16 \text{ vigas}$$

Para la longitud de vigas (" L_v ") se considera un espacio de 50 mm entre la viga y la pared interna del tanque y una separación de 350 mm entre la columna central y la viga (figura 51), por lo cual sería igual:

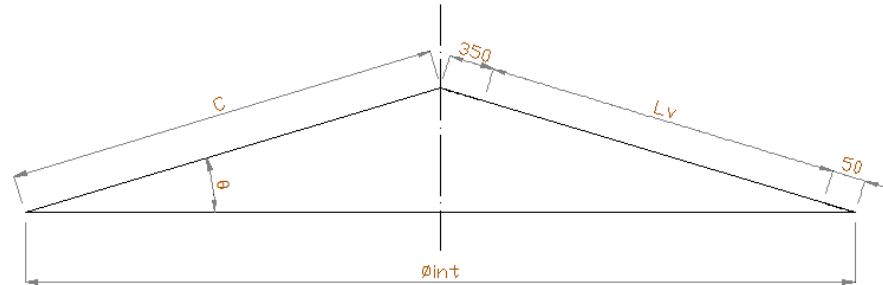


Figura 51: Esquema de longitud de vigas

$$\cos \theta = \frac{\phi_{int}/2}{C} \quad [44]$$

Donde:

ϕ_{int} = diámetro interior del tanque, en mm

θ = ángulo entre el techo y un plano horizontal en la junta cuerpo – techo (grados)

C = radio del desarrollo del techo [mm]

$$\Rightarrow C = \frac{9650/2}{\cos 3.58^\circ}$$

$$C = 4834.43 \text{ mm} \approx 4835 \text{ mm}$$

Longitud de vigas " L_v "

$$\Rightarrow L_v = C - 50 - 350 \quad [45]$$

$$L_v = 4835 - 50 - 350 = 4435 \text{ mm}$$

Superficie del techo considerada " S_t ":

$$S_t = \frac{\pi}{4} \phi_{tec}^2 \quad [46]$$

$$S_t = \frac{\pi}{4} 9.711^2 = 74.07 \text{ m}^2$$

Carga total sobre las correas " Q_{ext} "

$$Q_{ext} = Q_{comb} S_t \quad [47]$$

Donde:

$$Q_{comb} = \text{carga combinada del techo} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\Rightarrow Q_{ext} = 1561.58 * 74.07 = 115666.23 \text{ N}$$

Carga sobre cada viga " Q_v "

$$Q_v = \frac{Q_{ext}}{N_v} \quad [48]$$

$$Q_v = \frac{115\ 666.23}{16} = 7229.14 \text{ N}$$

Peso correa propuesta " W_{vp} "

$$W_{vp} = P_v * L_v * 9.8 \quad [49]$$

$$W_{vp} = 16 * 4.435 * 9.8$$

$$W_{vp} = 695.41 \text{ N}$$

Momento Flector Máximo " MF_{max} "

$$MF_{max} = 0.125 * (Q_v * L_v + W_{vp} * L_v) \quad [50]$$

$$MF_{max} = 0.125 * (7\ 229.14 * 4.435 + 695.41 * 4.435)$$

$$MF_{max} = 4393.17 \text{ Nm}$$

Módulo de sección requerido " W_r "

$$W_r = \frac{MF_{max}}{S_d} \quad [51]$$

$$W_r = \frac{4393.17}{160 * 10^6}$$

$$W_r = 2.746 * 10^{-5} \text{ m}^3 = 27.46 \text{ cm}^3$$

Como el módulo de sección requerido $W_r < W_x$ es menor que el módulo de sección, el perfil escogido UPN 140 satisface las exigencias.

4.2.1.2. Verificación de la columna

Para verificar que la columna de tubería de 8" Sch 40 cumple todas las exigencias de diseño se realizará los cálculos con una tubería de menor espesor (tubería 8" Sch 20)

Las características de la tubería 8" Sch 20 son las siguientes:

- *Diámetro exterior* (" D_c ") = 219.1 mm
- *Diámetro interior* (" d_c ") = 206.4 mm
- *Espesor* (" t_c ") = 6.35 mm

Sección " S_c "

$$S_c = \frac{\pi(D_c^2 - d_c^2)}{4} \quad [52]$$

$$S_c = \frac{\pi(219.1^2 - 206.4^2)}{4} = 42.44 \text{ cm}^2$$

Módulo de la sección " W_x " = " W_y "

$$W_x = W_y = \frac{\pi(D_c^4 - d_c^4)}{32 * D_c} \quad [53]$$

$$W_x = W_y = \frac{\pi(219.1^4 - 206.4^4)}{32 * 219.1} = 219.39 \text{ cm}^3$$

Módulo de inercia " I_x " = " I_y "

$$I_x = I_y = \frac{\pi(D_c^4 - d_c^4)}{64} \quad [54]$$

$$I_x = I_y = \frac{\pi(219.1^4 - 206.4^4)}{64} = 2403.42 \text{ cm}^4$$

Radio de giro " r_{giro} "

$$r_{giro} = \left(\frac{I_x}{S_c}\right)^{0.5} \quad [55]$$

$$r_{giro} = 7.53 \text{ cm}$$

La longitud libre (L_{libre}) de la columna sería 10826 mm, la cual se obtiene de un esquema gráfico del techo (figura 52).

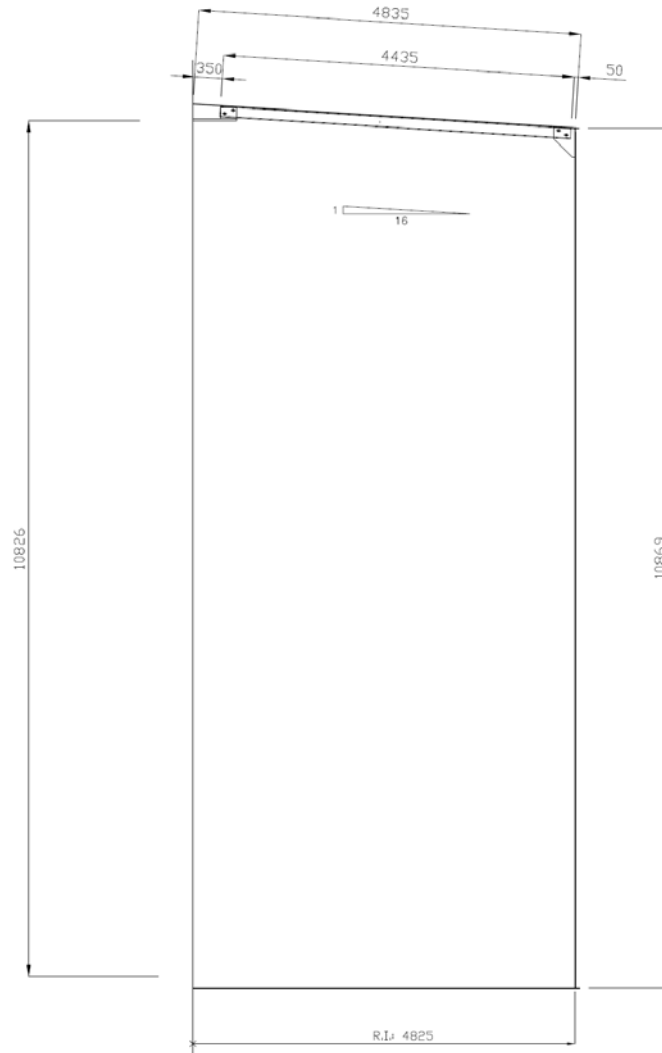


Figura 52: Esquema de longitud de columna

Según la sección 4.1.3 del presente capítulo el valor de L/r_{giro} no debe exceder 180:

$$\frac{L_{libre}}{r_{giro}} = \frac{1082.6}{7.53} = 143.77 < 180 \quad [56]$$

Según la sección 4.1.4 se tiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad [29]$$

Cuando l/r excede a C_c :

$$F_a = \frac{\left[\frac{12\pi^2 E}{23(l/r)^2} \right]}{\left[1.6 - \frac{l}{200r} \right]} \quad [31]$$

Donde:

F_a = esfuerzo permisible a la compresión, MPa (lbf/in²)

F_y = esfuerzo de fluencia del material, MPa (lbf/in²)

E = módulo de elasticidad, MPa (lbf/in²)

l = longitud libre de la columna, mm (in)

r = radio de giro mínimo de la columna, mm (in)

$$\Rightarrow C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(200000)}{241}}$$

$$C_c = 127.99$$

$$\Rightarrow C_c < \frac{L_{libre}}{r_{giro}}$$

$$\Rightarrow F_a = \frac{\left[\frac{12\pi^2(200000)}{23(10826/75.3)^2} \right]}{\left[1.6 - \frac{10826}{200(75.3)} \right]}$$

$$F_a = 56.54 \text{ MPa}$$

Carga sobre la columna central " Q_{cc} "

$$Q_{cc} = \frac{1}{2} * (Q_{ext} + (W_{vp} * N_v)) \quad [57]$$

$$Q_{cc} = \frac{1}{2} (115666.23 + (695.41 * 16))$$

$$Q_{cc} = 63396.39 \text{ N}$$

Fuerza real sobre la columna " F_{real} "

$$F_{real} = \frac{Q_{cc}}{S_c} \quad [58]$$

$$F_{real} = \frac{63396.39}{42.44} = 1493.79 \frac{N}{cm^2}$$

$$F_{real} = 14.94 \text{ MPa}$$

Como el Esfuerzo real de Compresión (F_{real}) es menor al Esfuerzo máximo permisible a la Compresión (F_a) en 3.8 veces, y la relación de esbeltez es menor a 180 para el Tubo 8" Sch 20 usado para calcular la Columna Central, el tubo 8" Sch 40 suple todos los requerimientos.

5. Estabilidad al volcamiento (carga de viento en los tanques)

5.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son las listadas a continuación y que están basadas según las siguientes secciones de la API 650:

- Sección 5.11.2 - Tanques no anclados
- Sección 5.11.3 - Tanques anclados

5.1.1. Tanques no anclados

La estabilidad al volcamiento deberá ser calculada usando las presiones de viento dadas en la sección 1.2 (i) del presente capítulo.

Los tanques no anclados deberán satisfacer los siguientes dos criterios:

$$1. 0.6M_W + M_{Pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} \quad [59]$$

$$2. M_W + 0.4M_{Pi} < \frac{M_{DL} + M_F}{1.5} \quad [60]$$

Donde

M_{Pi} = momento de la presión interna de diseño sobre la junta cuerpo – fondo.

M_W = momento de volcamiento de la presión horizontal más la vertical del viento sobre la junta cuerpo – fondo.

M_{DL} = momento del peso del cuerpo y el techo soportado por el cuerpo sobre la junta cuerpo – fondo

M_F = momento del peso del líquido sobre la junta cuerpo – fondo, donde el peso del líquido W_a es definido usando una gravedad específica de 0.7 y una altura de la mitad de la altura de diseño del líquido H . Por lo tanto en unidades SI, $W_a = 59 t_b \sqrt{F_{by}} H$

Ver figura 53.

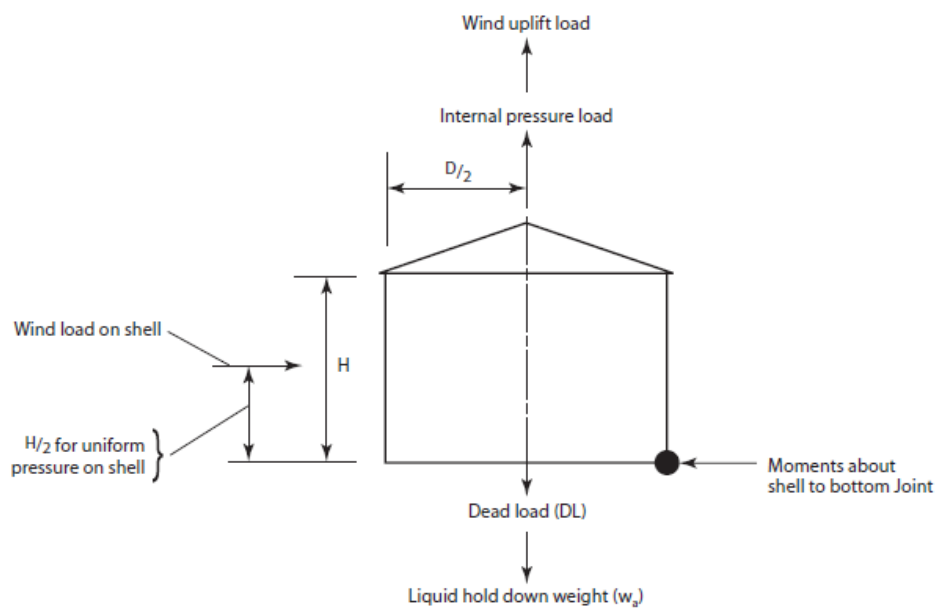


Figure 5-27—Overturning Check for Unanchored Tanks

Figura 53: Revisión de volcamiento para tanques no anclados
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

5.1.2. Tanques anclados

Cuando el anclaje en los tanques es necesario este debe resistir cada uno de los casos de cargas de levantamiento. El espaciamiento entre pernos de anclaje no deberá exceder de 3 m (10 ft).

5.2. Cálculos de estabilidad al volcamiento

Según la sección 5.1.1 del presente capítulo los tanques no anclados deberán satisfacer los siguientes dos criterios:

$$1. 0.6M_W + M_{Pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} \quad [59]$$

$$2. M_W + 0.4M_{Pi} < \frac{M_{DL} + M_F}{1.5} \quad [60]$$

La simbología a utilizarse en los cálculos será la siguiente:

Pd_{vv} = presión de diseño de viento en áreas verticales proyectadas, [KPa]

Pd_{vh} = presión de diseño de viento en áreas horizontales proyectadas [KPa]

V = velocidad de ráfaga de viento en sitio, acordada con cliente [km/h]

A_v = área proyectada vertical [m^2]

H_t = altura total del cuerpo del tanque [m]

A_h = área proyectada horizontal [m^2]

ϕ_{ext} = diámetro exterior del tanque [m]

d_v = distancia del área proyectada vertical [m]

d_h = distancia del área proyectada horizontal [m]

P_c = peso del cuerpo sin corrosión admitida [kg]

t_d = espesor de diseño del cuerpo, [m]

CA = corrosión admitida, definido por el cliente [m]

ρ_{ac} = densidad del acero, en kg/m^3

P_t = peso del techo [kg]

t_{tec} = espesor del techo del tanque [m]

ϕ_{tec} = diámetro del techo del tanque [m]

ϕ_{n1} = diámetro neutro del tanque sin corrosión admitida [m]

t_b = espesor del fondo del tanque menos corrosión admitida [mm]

P_i = presión interna del tanque [KPa]

W_a = fuerza de resistencia del contenido del tanque por unidad de circunferencia del cuerpo [N/m]

H = máximo nivel de diseño de producto contenido en el tanque [m]

F_{by} = esfuerzo mínimo de fluencia del fondo [MPa]

θ = ángulo entre el techo y un plano horizontal en la junta cuerpo – techo (grados)

D_{tec} = diámetro proyectado del techo del tanque [m]

$$A_h = \frac{\pi}{4} * \phi_{tec}^2 \quad [61]$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} * 9.711^2$$

$$A_h = 74.066 \text{ m}^2$$

$$A_v = H_t * \phi_{ext} \quad [62]$$

$$A_v = 10.869 * 9.662$$

$$A_v = 105.016 \text{ m}^2$$

$$\phi_{n1} = \phi_{int} + (t_d - CA) \quad [63]$$

$$\phi_{n1} = 9.65 + (0.006 - 0.0016)$$

$$\phi_{n1} = 9.654 \text{ m}$$

$$M_{Pi} = Pi * A_h * \phi_{int} \quad [64]$$

$$Pi = 0$$

$$\rightarrow M_{Pi} = 0$$

Según la sección 1.2 literal i del presente capítulo:

$$Pd_{vv} = 0.86 \text{ kPa} \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad [65]$$

$$Pd_{vv} = 0.86 \text{ kPa} \left(\frac{100}{190} \right)^2$$

$$Pd_{vv} = 0.238 \text{ kPa}$$

$$Pd_{vh} = 1.44 \text{ kPa} \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad [66]$$

$$Pd_{vh} = 1.44 \text{ kPa} \left(\frac{100}{190} \right)^2$$

$$Pd_{vh} = 0.399 \text{ kPa}$$

$$d_v = \frac{H_t}{2} = \frac{10.869}{2} = 5.434 \text{ m} \quad [67]$$

$$d_h = \frac{\phi_{tec}}{2} = \frac{9.711}{2} = 4.856 \text{ m} \quad [68]$$

$$\begin{aligned} M_W &= Pd_{vv} * A_v * d_v + Pd_{vh} * A_h * d_h \quad [69] \\ \rightarrow M_W &= 0.238 * 105.016 * 5.434 + 0.399 * 74.066 * 4.856 \\ &\rightarrow M_W = 279.322 \text{ [kN - m]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_c &= (\pi * \phi_{n1}) * H_t * (t_d - CA) * \rho_{ac} \quad [70] \\ P_c &= (\pi * 9.654) * 10.869 * (0.006 - 0.0016) * 7850 \\ P_c &= 11385.95 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_t &= \frac{\pi}{4} * \phi_{tec}^2 * t_{tec} * \rho_{ac} \quad [71] \\ P_t &= \frac{\pi}{4} * 9.711^2 * 0.006 * 7850 \\ P_t &= 3488.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{DL} &= (P_c + P_t) * g * \frac{\phi_{tec}}{2} \quad [72] \\ \rightarrow M_{DL} &= (11385.95 + 3488.5) * 9.8 * \frac{9.711}{2} \\ M_{DL} &= 707.784 \text{ [kN - m]} \end{aligned}$$

$$t_b = 0.008 - 0.0016 = 0.006 \text{ m} \quad [73]$$

$$\begin{aligned} W_a &= 59t_b\sqrt{F_{by}H} \quad [74] \\ W_a &= 59 * 0.006 * \sqrt{250 * 10^6 * (10.2)} \\ W_a &= 17.876 \left[\frac{kN}{m} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_f &= W_a \frac{\pi}{4} * \phi_{int}^2 \quad [75] \\ \rightarrow M_f &= 17.876 \frac{\pi}{4} * 9.65^2 \\ M_f &= 1307.42 \text{ [kN - m]} \end{aligned}$$

Se realiza la verificación de las condiciones dadas por la norma:

$$1. \quad 0.6M_W + M_{Pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} \quad [59]$$

$$0.6 * 279.322 + 0 < \frac{707.784}{1.5}$$

$$167.59 < 471.856$$

$$2. \quad M_W + 0.4M_{Pi} < \frac{M_{DL} + M_F}{1.5} \quad [60]$$

$$279.322 + 0 < \frac{707.784 + 1307.42}{2}$$

$$279.322 < 1007.602$$

Como se cumplen las condiciones dispuestas por la norma, entonces el tanque no necesita anclaje

6. Aberturas en el tanque (Bocas)

6.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son las listadas a continuación y que están basadas según las siguientes secciones de la API 650:

- Sección 5.7.1 - General
- Sección 5.7.2 - Refuerzos y soldadura de las aberturas
- Sección 5.7.3 - Espacio entre soldaduras alrededor de las conexiones
- Sección 5.7.4 - Alivio térmico de esfuerzos
- Sección 5.7.5 - Manholes de cuerpo
- Sección 5.7.6 - Aberturas en el cuerpo y bridas
- Sección 5.7.7 - Puerta de Limpieza a ras del fondo (flush-type cleanout)
- Sección 5.8.4 - Manholes de techo
- Sección 5.8.5 - Venteo de techo
- Sección 5.8.5 - Aberturas en el techo
- Sección 5.8.11.3 - Otros accesorios

6.1.1. General

Las conexiones deben ser de los tamaños y dimensiones mostrados en las tablas en los anexos 8 hasta el 28. Si hay tamaños especificados intermedios, se tomarán los detalles mostrados para la siguiente abertura más grande.

Las aberturas en el tanque no deben ser más grandes que el tamaño máximo mostrado en la tabla respectiva (anexos 8-28).

6.1.2. Refuerzos y soldadura de las aberturas

Las aberturas mayores a 2" NPS (nominal pipe size) bridadas o roscada deben usar placas de refuerzos.

Todas las conexiones que requieran refuerzo se deben instalar con soldadura de penetración completa en la lámina del cuerpo.

El refuerzo para las aberturas debe ser provisto de una o de alguna combinación de las siguientes características:

- La pestaña de fijación del accesorio
- La placa de refuerzo sea del mismo material del cuerpo
- La porción de cuello de la abertura puede ser considerada como refuerzo (la que se extiende exterior o interiormente hasta 4 veces el espesor del cuello y la que está dentro del espesor del cuerpo)
- El sobre espesor de diseño del cuerpo, el refuerzo puede ser provisto de este espesor en exceso
- El material del cuello de la abertura puede ser de los mismos esfuerzos de fluencia y tensión que el material del cuerpo o mayores o menores; cuando son menores que el 70% del esfuerzo de fluencia y el 80% del esfuerzo de tensión, entonces el cuello ya no debe ser considerado como parte del refuerzo de la abertura.

Cuando dos o más aberturas están localizadas de tal forma que los bordes exteriores de los filetes de soldadura de su placa de refuerzo estén más cerca que ocho veces el tamaño del filete de soldadura, con un mínimo de 150 mm (6 in), se debe reconfigurar sus placas de refuerzo, de tal forma que se abarque los anchos necesarios de los refuerzos para todas las aberturas involucradas.

Las placas de refuerzo de las aberturas o cada segmento de placa si no están hechos en una pieza, deben ser provistos de un agujero roscado de 1/4" NPT de diámetro para detección de fugas (telltale hole). Debe estar localizado en la línea de centro horizontal y debe ser abierto a la atmósfera.

6.1.3. Espacio entre soldaduras alrededor de las conexiones

Para conocer los espacios mínimos entre soldaduras observar el anexo 30.

Las aberturas y sus placas de refuerzo no deberían ser situadas en las juntas verticales y horizontales del cuerpo, pero si el cliente acepta se pueden ubicar en esas localizaciones, cumpliendo de igual manera los espacios mínimos mostrados en el anexo 30.

6.1.4. Alivio térmico de esfuerzos

Todas las conexiones a ras del cuerpo (flush type shell connections) y las puertas de limpieza a ras (flush type clean-out fittings) deberán ser aliviadas térmicamente después de fabricadas y antes de ser montadas en el cuerpo. El alivio térmico se debe hacer a una temperatura de entre 600 °C a 650 °C (1100 °F - 1200 °F) durante un período de 1 hora por 25 mm (1 in) de espesor de material del cuerpo.

En aberturas de 12" NPS o mayores en cuerpos de materiales del grupo I,II, III, IIIA con espesores mayores de 25 mm (1 in) deberán ser prefabricadas en el cuerpo y el ensamble deberá ser aliviado térmicamente antes de ser montado en el cuerpo. El alivio térmico se debe hacer a una temperatura de entre 600 °C y 650 °C (1100 °F y 1200 °F) durante un período de 1 hora por 25 mm (1 in) de espesor de material del cuerpo.

Cuando el cuerpo es de material IV, IVA, V o VI con espesores mayores de 12.5 mm (1/2" in) todas las conexiones deberán ser prefabricadas en el cuerpo y el ensamble deberá ser aliviado térmicamente antes de ser montado en el cuerpo. El alivio térmico se debe hacer a una temperatura de entre 600 °C y 650 °C (1100 °F y 1200 °F) durante un período de 1 hora por 25 mm (1 in) de espesor de material del cuerpo.

Cuando no es posible o no es práctico efectuar el alivio térmico a la temperatura mínima de 600 °C (1100 °F) es permitido, sujeto a la aprobación del comprador, hacer el tratamiento térmico a temperaturas más bajas durante períodos de tiempo más largos

6.1.5. Manholes de cuerpo

Las dimensiones y tamaños de los manholes del cuerpo deberán estar de acuerdo con lo mostrado en los anexos del 8-12.

La placa de refuerzo del manhole o cada segmento de placa si es que no se construyen en una sola pieza deben ser provistos de un agujero roscado de 1/4" NPT de diámetro para detección de fugas (telltale hole). Debe estar localizado en la línea de centro horizontal y debe ser abierto a la atmósfera.

El diámetro máximo que debe ser cortado en el cuerpo para que ingrese la boca, se encuentra en el anexo 10. Las dimensiones para la placa del refuerzo del manhole se encuentran en el anexo 9.

En lugar de manhole se pueden usar conexiones con bridas y tapas ciegas.

6.1.6. Aberturas en el cuerpo y bridas

Las dimensiones y tamaño de las aberturas en el cuerpo deben estar conforme a las los anexos del 12-17.

A menos que se especifique otra cosa o que el tanque sea de techo flotante, las aberturas pueden ser montadas a ras con relación a la parte interna del tanque, o pueden tener una proyección interna, a opción del fabricante.

Las aberturas se pueden instalar a ángulos diferentes a 90° de un plano horizontal del cuerpo, pero se debe ir incrementando el ancho de la placa de refuerzo según aumente la cantidad de cuerda horizontal según como cambie el agujero realizado en el cuerpo de circular a elíptico.

6.1.7. Puerta de limpieza a ras del fondo (*flush-type cleanout*)

Las dimensiones y tamaños de las conexiones y bridas de la puerta de limpieza a ras deberán estar de acuerdo con establecido en los anexos 18-22.

La conexión reforzada se debe pre-ensamblar completamente en una lámina del cuerpo y se debe hacer alivio térmico de esfuerzos según la sección 6.1.4 del presente capítulo.

El espesor de la lámina del cuerpo en el ensamble de la puerta de limpieza debe ser como mínimo igual al de la lámina del cuerpo adyacente en el anillo inferior. El espesor de la placa de refuerzo y del cuello debe ser igual al espesor de la lámina del cuerpo en el ensamble de la puerta de limpieza.

El refuerzo del cleanout debe estar dentro de una altura L arriba de la parte inferior de la abertura (ver anexo 18). L no debe exceder $1.5h$, excepto que para el caso de aberturas pequeñas $L-h$ no debe ser menor que 150 mm (6 in). Cuando esta excepción resulta en un L que es mayor que $1.5h$, solamente la porción del refuerzo que está dentro de la altura $1.5h$ será considerada efectiva.

El ancho mínimo de la lámina de refuerzo en el fondo debe ser de 10" (250 mm) más el espesor combinado del cuerpo y el refuerzo del cuerpo.

Las dimensiones y detalles de la puerta de limpieza son basados en cargas internas hidrostáticas, no en cargas de tuberías externas.

Cuando se instala una puerta de limpieza a ras en un tanque que descansa en la tierra sin loza de concreto, se debe seguir uno de los siguientes métodos para acomodar al clean-out :

- Instalar una placa acero a lo largo del cuerpo del tanque, simétrico con la abertura. Ver anexo 19 (método A)

- Instalar un muro de concreto a lo largo del cuerpo del tanque, con la cara externa conforme el contorno del tanque. Ver anexo 19 (método B)

Cuando el tanque descansa en un muro en forma de anillo, una muesca que se muestra en el anexo 19 (método C), debe realizarse para soportar al clean-out

Cuando el tanque descansa en la tierra dentro de un muro de contención, debe proveerse una muesca y un muro de retención suplementario para acomodar la puerta de limpieza. Ver anexo 19 (método D)

6.1.8. Manholes de techo

El manhole de techo deberá estar de acuerdo con lo establecido en los anexos 23 y 24.

6.1.9. Venteo de techo

Los tanque diseñados de acuerdo con este estándar y que tienen un techo fijo deberán ser venteados tanto para las condiciones normales (resultantes de los requerimientos operacionales y los cambios atmosféricos) como para las condiciones de emergencia (resultantes de la exposición a un incendio externo). Los tanques que tienen techos fijos y techos flotantes a la vez satisfacen estos requerimientos cuando cumplen con los requerimientos de la circulación de venteo del apéndice H (techos flotantes internos) de la norma Api 650.

Todos los otros tanques diseñados de acuerdo con este estándar y que tienen un techo fijo deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- 1) El venteo normal debe ser adecuado para prevenir que las presiones internas o externas excedan las presión de diseño correspondientes del tanque
- 2) Se satisfacen los requerimientos de venteo de emergencia si el tanque está equipado con una junta techo-cuerpo débil (frangible joint) o si el tanque está equipado con dispositivos de alivio de presión. Estos dispositivos deben ser los adecuados para prevenir que la presión interna exceda la presión de diseño del tanque.

Las ratas de llenado y vaciado de la boca de venteo deben ser especificados por el cliente.

Mallas gruesas (coarse-mesh) contra aves, resistentes a la corrosión (13 mm, [1/2 in] tamaño nominal de agujeros) deberán proteger todos los venteos.

6.1.10. Aberturas en el techo

Las conexiones bridadas deberán estar de acuerdo con el anexo 25 y 27. Bridas con cara elevada (raise face) se deberán suministrar para todas las boquillas que están unidas a tubería. Bridas de cara plana (flat face) se deberán suministrar para las boquillas del techo usadas para el montaje de accesorios del tanque.

Aberturas roscadas deberán estar de acuerdo lo establecido en los anexos 26 y 28.

6.1.11. Otros accesorios

Si es requerido por el cliente, orejas de conexión a tierra deben ser provistas según la cantidad especificada. Las orejas deben estar conforme el anexo 31, deben estar igualmente separadas alrededor de la base del tanque. El espacio máximo de distancia entre orejas sugerido es 30m (100 ft) y no deben ser pintadas.

6.2. Diseño de aberturas

6.2.1. Bocas en el cuerpo

Las bocas que serán instaladas en el cuerpo del tanque son las que se acordó con el cliente después de la respectiva revisión del P&ID del tanque (ver anexo 1)

Según lo indicado en la sección anterior 6.1 y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- Para el diseño de las bocas se utilizará la tabla del anexo 14 y según la cual se muestran en la tabla 13 y figura 54 sus dimensiones y tamaños.
- El material usado para las tuberías será acero ASTM A 53, Grados B
- Las bridas que serán usadas son de 150 lb, debido a que el tanque y sus líneas de conexión no van a estar sometido a grandes presiones de operación. Adicional el material de las bridas será ASTM A 105.
- Las bocas de diámetro mayor a 2 NPS llevarán placa de refuerzo
- La placa de refuerzo del manhole será provisto de un agujero roscado de 1/4" NPT de diámetro, ubicada en la línea horizontal del centro, para detección de fugas (telltale hole).
- Se tendrá en cuenta la distancia mínima entre soldaduras para su ubicación alrededor del tanque, evitando distancias menores a 150 mm (6 in) entre las soldaduras de las bocas para no realizar cambios en las placas de refuerzo y cumpliendo las distancias mínimas con las juntas horizontales y verticales del cuerpo.
- No será realizado ningún alivio térmico de esfuerzos debido a que por el material y el espesor del cuerpo no es necesario.
- Las aberturas pueden ser montadas a ras con relación a la parte interna del tanque o pueden tener una proyección interna, no existe ninguna limitante. Las aberturas serán instaladas radiales, es decir perpendiculares a un plano horizontal del cuerpo, ya que el fabricante no ha especificado otro ángulo de montaje.

Tabla 13:

Bocas de cuerpo del tanque

Bocas	Servicio	ϕ NPS	Tubería		Placa refuerzo			Brida	Distancia mínima al fondo [mm]
			Cédula	Proyección "J" [mm]	W [mm]	L [mm]	Dr [mm]		
N1	Entrada	6	80	203	495	400	171	W.N.R.F.	279
N2A	Salida Bomba eléctrica	12	XS	229	840	685	327	W.N.R.F.	430
N2B	Salida bomba diésel	12	XS	229	840	685	327	W.N.R.F.	430
N4	Drenaje	4	80	178	387	305	117	W.N.R.F.	229
N5	Sobrellenado	8	80	203	590	482	222	W.N.R.F.	330
N6A	LSHH	2	80	152	-	-	63	W.N.R.F.	178
N6B	LSH	2	80	152	-	-	63	W.N.R.F.	178
N6C	LSL	2	80	152	-	-	63	W.N.R.F.	178
N6D	LSLL	2	80	152	-	-	63	W.N.R.F.	178
N10	LIT	$\frac{3}{4}$ "	-	-	-	-	38	CPLG.	100

Nota: ver figura 54 para definición gráfica de J, W, L y Dr

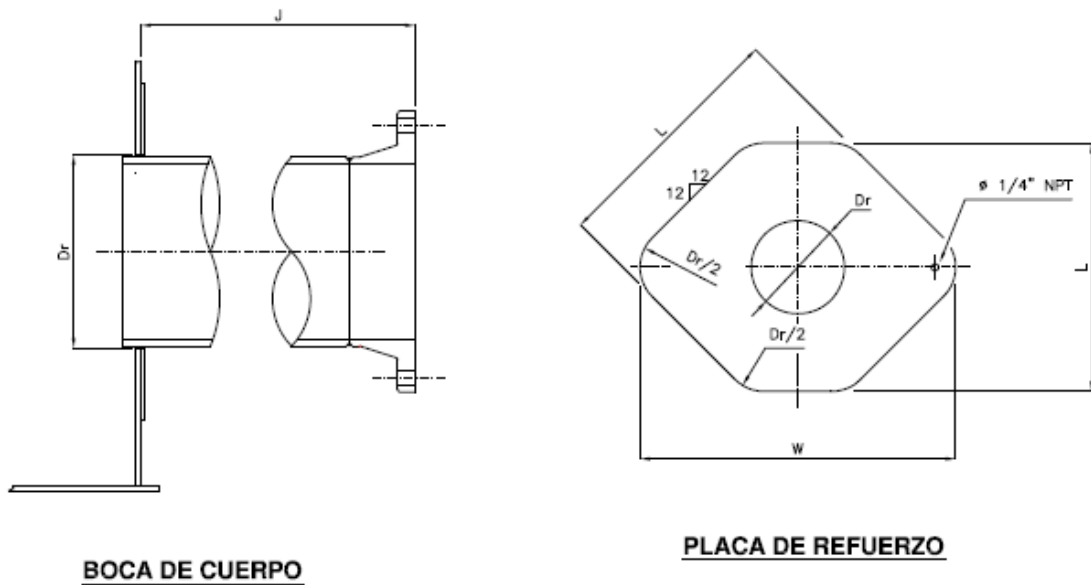


Figura 54: Detalle de boca de cuerpo

6.2.2. Manhole cuerpo

Será instalado un manhole de cuerpo de 24" NPS según lo acordado con el cliente.

Según lo indicado en la sección anterior 6.1 y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- Para el diseño del manhole se utilizarán las tablas de los anexos del 9 al 11, el 14 y la figura del anexo 8, según lo cual se muestra en la tabla 14 sus dimensiones y tamaños.
- El material usado para el refuerzo, cuello, brida y tapa del manhole será el mismo que el del cuerpo, es decir acero ASTM A 36.
- La placa de refuerzo del manhole será provisto de un agujero roscado de 1/4" NPT de diámetro, ubicada en la línea horizontal del centro, para detección de fugas (telltale hole).
- Para la ubicación de las manijas de la tapa, referirse al anexo 8.

Tabla 14:**Dimensiones manhole de cuerpo**

Dimensiones o espesores	Valor [mm]
<i>Espesor mínimo de la tapa (t_c)</i>	14
<i>Espesor mínimo de la brida (t_f)</i>	11
<i>Espesor mínimo del cuello (t_n)</i>	6
<i>Diámetro externo del manhole (OD)</i>	600
<i>Diámetro de circunferencia de pernos (D_b)</i>	756
<i>Diámetro de la tapa (D_c)</i>	820
<i>Empaque</i>	735 OD x 600 ID x 3
<i>Pernos (x28)</i>	20 diámetro
<i>Distancia mínima al fondo</i>	750
<i>Ancho de placa de refuerzo (W)</i>	1525
<i>Diagonal de placa de refuerzo (L, D_o)</i>	1255
<i>Diámetro de agujero en placa de refuerzo (D_R)</i>	613
<i>Espesor mínimo del refuerzo (T)</i>	6
<i>Proyección de cuello (J)</i>	300
<i>Diámetro de barra para manija de tapa</i>	10

Nota: ver anexo 8 para definición gráfica de las dimensiones.

6.2.3. Puerta de limpieza a ras

Será instalado una puerta de limpieza de cuerpo de 600 x 600 mm tal y como se acordó con el cliente.

Según lo indicado en la sección anterior 6.1 y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- Para el diseño de la puerta de limpieza se utilizarán las tablas de los anexos del 20 al 22 y las figuras de los anexos 18 y 19, según lo cual se muestra en la tabla 15 sus dimensiones y tamaños.
- El material usado para el refuerzo, cuello, brida y tapa de la puerta de limpieza será el mismo que el del cuerpo, es decir acero ASTM A 36.

- La conexión placa de refuerzo, cuello, brida se debe pre-ensamblar completamente en una lámina del cuerpo que debe tener como mínimo el espesor de la lámina del cuerpo adyacente en el anillo inferior.
- El ensamble debe ser aliviado térmicamente después de fabricado y antes de ser montado en el cuerpo. El alivio térmico se debe hacer a una temperatura de entre 600 °C a 650 °C (1100 °F - 1200 °F) durante un período de 1 hora por 25 mm (1 in) de espesor de material del cuerpo.
Se puede hacer a una temperatura menor, pero por periodos de tiempo más extenso.
- El ancho mínimo de la lámina de refuerzo en el fondo debe ser de 10" (250 mm) más el espesor combinado del cuerpo y el refuerzo del cuerpo.
- La estructura sobre la que descansará el tanque es una loza de concreto y cubrirá todo el diámetro del tanque, por lo que para la instalación de la puerta de limpieza se realizará una muesca tal y como se muestra en el anexo 19, método C (tanque descansando en un anillo de concreto)
- La placa de refuerzo de la puerta de limpieza será provisto de un agujero roscado de 1/4" NPT de diámetro, ubicada en la mitad de la altura de la placa de refuerzo, para detección de fugas (telltale hole).

Tabla 15:**Dimensiones puerta de limpieza**

Dimensiones o espesores	Valor [mm]
<i>Altura de la abertura (h)</i>	600
<i>Ancho de la abertura (b)</i>	600
<i>Ancho de placa de refuerzo (W)</i>	1830
<i>Radio de esquina superior de abertura (r_1)</i>	300
<i>Radio de esquina superior de refuerzo (r_2)</i>	740
<i>Distancia al borde de los pernos (e)</i>	40
<i>Ancho de brida (excepto en el fondo) (f_3)</i>	100
<i>Ancho de brida en el fondo (f_2)</i>	95
<i>Espaciamiento de pernos especial (g)</i>	90
<i>Diámetro de pernos (x36)</i>	20
<i>Espesor de brida y tapa (t_c)</i>	13
<i>Espesor de refuerzo del fondo (t_b)</i>	14
<i>Altura de refuerzo de cuerpo</i>	915

Nota: ver anexo 18 para definición gráfica de las dimensiones.

6.2.4. Manhole de techo

Será instalado un manhole de techo de 24" NPS según lo acordado con el cliente y lo mostrado en el P&ID (anexo 1).

Según lo indicado en la sección anterior 6.1 y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- Para el diseño del manhole se utilizará la tabla del anexo 23 y la figura del anexo 24, según lo cual se muestra en la tabla 16 sus dimensiones y tamaños.
- El material usado para el refuerzo, cuello, brida y tapa del manhole será el mismo que el del cuerpo, es decir acero ASTM A 36.
- Para la ubicación de las manijas de la tapa, referirse al anexo 24.

Tabla 16:**Dimensiones manhole de techo**

Dimensiones o espesores	Valor [mm]
<i>Diámetro del cuello (D)</i>	600
<i>Diámetro de la tapa (D_c)</i>	750
<i>Diámetro de circunferencia de pernos (D_b)</i>	690
<i>Diámetro de agujero en placa de refuerzo (D_p)</i>	615
<i>Diámetro externo de placa de refuerzo (D_R)</i>	1150
<i>Empaque</i>	750 OD x 600 ID x 1.5
<i>Pernos (x20)</i>	16 diámetro
<i>Espesor de la tapa</i>	6
<i>Espesor de la brida</i>	6
<i>Espesor del cuello</i>	6
<i>Espesor de la placa de refuerzo</i>	6
<i>Proyección de cuello (J)</i>	150
<i>Diámetro de barra para manija de tapa</i>	16

Nota: ver anexo 24 para definición gráfica de las dimensiones.

6.2.5. Venteo de techo

La boca de venteo según lo especificado por el cliente en el P&ID (ver anexo 1), será una boca de diámetro 8" NPS, con un niple y dos codos de 90°, conocida como cuello de gancho.

Según lo indicado en la sección anterior 6.1 y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- La boca de venteo será útil tanto para condiciones normales como para condiciones de emergencia, para lo cual el tanque también tendrá la junta techo-cuerpo débil (junta frangible).
- La malla que se usará para la boca será malla de acero inoxidable gruesa, con agujeros de 13mm.
- Para observar las dimensiones y tamaños de placa refuerzo, cuello y brida, ver la sección 6.2.6 y la tabla 17 de bocas de techo.

6.2.6. Bocas en el techo

Las bocas que serán instaladas en el techo del tanque son las que se acordó con el cliente después de la respectiva revisión del P&ID del tanque (ver anexo 1)

Según lo indicado en la sección anterior 6.1 y que se encuentra especificado en API 650 se puede concluir lo siguiente:

- Para el diseño de las bocas se utilizará las tablas de los anexos 27 y 28 y las figuras de los anexos 25 y 26, según lo cual se muestra en la tabla 17 y figura 55 sus dimensiones y tamaños.
- El material usado para las tuberías será acero ASTM A 53, Grado B
- Las bridas que serán usadas son de 150 lb, debido a que el tanque y sus líneas de conexión no van a estar sometido a grandes presiones de operación. Serán bridas con cara elevada (raise face) ya que las bocas estarán unidas a tubería.

Adicional el material de las bridas será ASTM A 105.

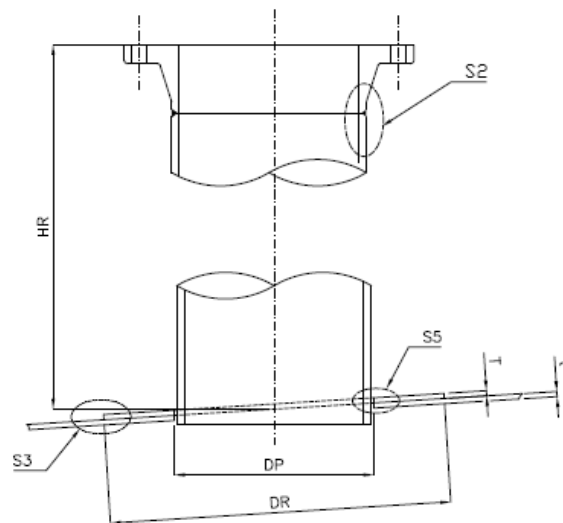
- Las bocas de diámetro mayor a 6 NPS llevarán placa de refuerzo
- No será realizado ningún alivio térmico de esfuerzos debido a que por el material y el espesor del techo no es necesario.
- Las aberturas serán montadas con una proyección hacia la parte interna del tanque, tal y como lo muestra el anexo 25.

Tabla 17:

Bocas de techo del tanque

Bocas	Servicio	ϕ NPS	Tubería		Placa refuerzo			Brida
			Cédula	Proyección "H _R " [mm]	D _P [mm]	D _R [mm]	T [mm]	
N7	Recirculación	10	60	203	280	559	6	W.N.R.F.
N8	Venteo	8	80	203	225	457	6	W.N.R.F.
N9	LIT	73	80	152	65	-	-	W.N.R.F.
N3	Medidor de nivel	1-1/2"	-	-	60	-	-	CLPG

Nota: ver figura 55 para definición gráfica de las dimensiones



BOCA DE TECHO

Figura 55: Detalle de boca de techo

6.2.7. Orejas de conexión a tierra

Las orejas de conexión a tierra serán realizadas según el anexo 31 y serán 3 orejas distribuidas uniformemente a lo largo del cuerpo del tanque según lo acordado con el cliente.

7. Escalera y pasamanos perimetral

7.1. Escalera

Para la escalera del tanque se ha acordado con el cliente una escalera vertical para el acceso de personas hacia el techo; debido a que en la norma API 650 no se encuentra una guía para este tipo de escaleras, se recurrirá al Pressure Vessel Handbook (Megyesy, 2001)

En este handbook el diseño de escaleras verticales se encuentran conforme los requerimientos del estándar ANSI A14.3 "Safety Requirements for Fixed Ladders"

7.1.1. Consideraciones de diseño

Según Megyesy se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (figura 56):

- No se requiere jaula de protección cuando el escalamiento es de 20 pies (6.096 m) o menor arriba del piso.
- Deberá proveerse una plataforma de descanso desplazada horizontalmente, por lo menos cada 30 pies (9.14 m) de altura. En donde se utilicen dispositivos de seguridad, deberán proveerse plataformas de descanso a intervalos máximos de 250 pies (76.2 m).
- Todo el material debe ser acero ASTM A 36
- En vez de los perfiles estructurales especificados en la ilustración pueden usarse otros perfiles estructurales de acero de resistencia equivalente. Para evitar daños durante el transporte o el galvanizado se utilizan extensamente ángulos estructurales para los carriles laterales y los miembros verticales de la jaula de protección.
- El tamaño mínimo recomendado de carriles laterales en condiciones atmosféricas normales es platina de 2 ½" x 3/8", aunque con frecuencia se emplean en la práctica platinas de 2" x ¼"
- Deben eliminarse todas las rebabas levantadas y filos agudos
- Recubrimientos de protección: una primera en taller y una capa de pintura en campo o galvanizado por inmersión caliente.

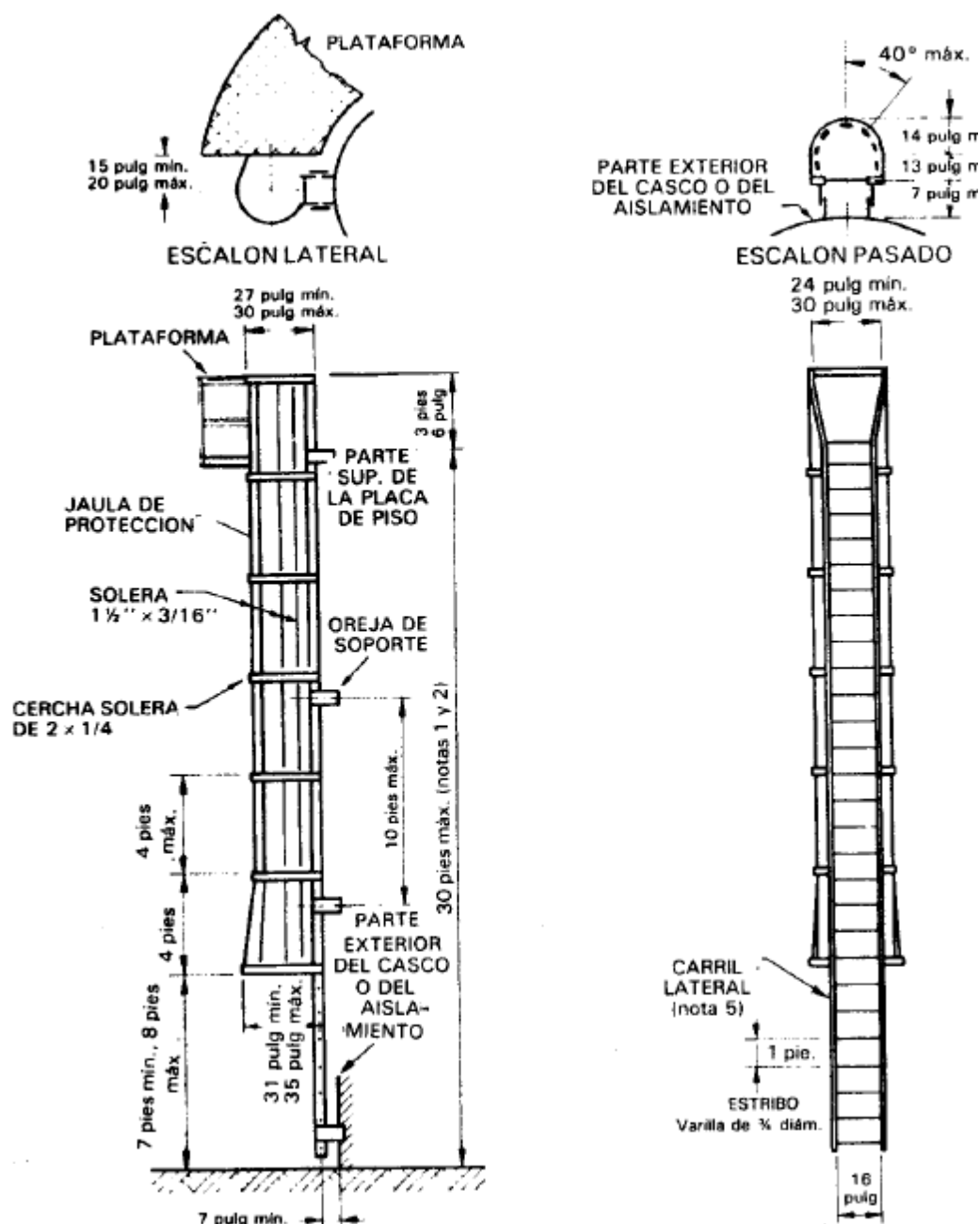


Figura 56: Escalera vertical
Fuente: (Megyesy, 2001)

7.1.2. Diseño de la escalera vertical

Según lo indicado en la sección anterior y que se encuentra especificado en el Pressure Vessel Handbook se puede concluir lo siguiente:

- Se construirá la escalera cumpliendo las distancias y dimensiones mínimas y máximas mostradas en la figura 56

- Se requiere jaula de protección debido a que se va a ascender una altura de aproximadamente 11 metros.
- Se proveerá una plataforma de descanso, aproximadamente a 5.25 m de altura, debido a que se necesitará ascender una altura de aproximadamente 11 m, que es una longitud mayor a la recomendada para una escalera sin plataformas.
- El material usado para la escalera será acero ASTM A 36 con los siguientes perfiles:

Tabla 18:**Perfiles estructurales escalera vertical**

Item	Perfil estructural	Dimensiones
<i>Carril lateral</i>	Platina	2 ½" x 3/8"
<i>Peldaño</i>	Barra redonda	ϕ ¾" x 410
<i>Solera</i>	Platina	2" x ¼"
<i>Cercha de solera</i>	Platina	2" x ¼"
<i>Oreja de soporte</i>	Placa	Espesor 3/8"

- Para el recubrimiento se dará la primera capa de pintura externa en taller, la segunda y tercera capa se las realizará en campo.

7.2. Plataforma de descanso de escalera vertical

Como se concluyó en la sección 7.1 del presente capítulo, se necesitará una plataforma de descanso aproximadamente a la mitad de la altura del tanque, para proporcionar un descanso a las personas que ascienden al techo.

Para su diseño se tomará la guía que nos brinda la API 650 para la construcción de plataformas de descanso.

7.2.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son las siguientes y son basadas según la sección 5.8.10 de la API 650:

- Todos los componentes deberán ser metálicos.
- El ancho mínimo del piso será de 610mm. (24 in.).
- Todo el piso deberá ser de grating o material antideslizante
- La altura del pasamano a partir del piso será de 1,067mm. (42 in.).
- La altura mínima del barandal inferior será de 76mm. (3 in.).
- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del barandal inferior será de 6 mm (1/4 in.).
- La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia desde el suelo a la parte superior del pasamano.
- La distancia máxima entre los postes del pasamano deberá ser de 2400 mm (96 in.).
- Los pasamanos estarán en ambos lados de la plataforma, y estarán interrumpidos donde sea necesario para un acceso.
- Cualquier espacio mayor de 150 mm (6 in.) entre el tanque y la plataforma deberá tener piso
- Las plataformas de los tanques que se extienden de una parte del tanque a otro tanque adyacente, al suelo o a otra estructura deberán estar soportados de tal manera que tenga un movimiento relativo libre de las estructuras unidas por las plataformas; ésta puede estar unida firmemente a un tanque por un lado, y el uso de una junta corrediza o de dilatación en el punto de contacto entre la plataforma y el otro tanque (este método permite que en caso de que un tanque sufra ruptura o algún movimiento brusco, el otro no resulte dañado).

7.2.2. Diseño de la plataforma de descanso

La plataforma de descanso se construirá conforme los requerimientos y dimensiones dadas en la sección 7.2.1.

El material usado para la construcción de la plataforma será acero ASTM A 36, debido a sus relativas buenas propiedades y por ser muy comercial.

En base a experiencia de la empresa y según Megyesy los perfiles estructurales escogidos para la construcción serán los mostrados en la tabla 19:

Tabla 19:

Perfiles estructurales plataforma de descanso

Item	Perfil estructural	Dimensiones
<i>Piso</i>	Grating	Espesor 1"
<i>Estructura Piso</i>	Ángulo	3" x 3" x 1/4"
<i>Estructura soporte grating</i>	Ángulo	1 1/4" x 1 1/4" x 3/16"
<i>Pie de amigo</i>	Ángulo	3" x 3" x 1/4"
<i>Parantes de pasamanos</i>	Ángulo	1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"
<i>Pasamanos</i>	Tubería	ϕ 1 1/4" Sch 40
<i>Barandal inferior</i>	Platina	3" x 3/16"
<i>Barandal central</i>	Platina	2" x 3/16"

7.3. Pasamanos perimetral

Según lo acordado con el cliente y por seguridad del personal que suba al techo del tanque, este tendrá pasamanos perimetral, para su diseño se tomará la guía de la norma API 650 que nos entrega algunos requerimientos para pasamanos.

7.3.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son las siguientes y son basadas según la sección 5.8.10 de la API 650:

- Todos los componentes deberán ser metálicos.
- La altura del pasamano a partir del piso será de 1,067mm. (42 in.).
- La altura mínima del barandal inferior será de 76mm. (3 in.).
- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del barandal inferior será de 6 mm (1/4 in.).
- La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia desde el suelo a la parte superior del pasamano.
- La distancia máxima entre los postes del pasamano deberá ser de 2400 mm (96 in.).

7.3.2. Diseño del pasamano perimetral

El pasamano perimetral se construirá conforme los requerimientos y dimensiones dadas en la sección 7.3.1.

El material usado para la construcción del pasamano será acero ASTM A 36, debido a sus relativas buenas propiedades y por ser muy comercial.

En base a experiencia de la empresa los perfiles estructurales escogidos para la construcción serán los mostrados en la tabla 20:

Tabla 20:

Perfiles estructurales pasamanos perimetral

Item	Perfil estructural	Dimensiones
<i>Parantes de pasamanos</i>	Ángulo	2" x 2" x 1/4"
<i>Pasamano</i>	Tubería	ϕ 1 1/4" Sch 40
<i>Barandal inferior</i>	Platina	3" x 3/16"
<i>Barandal central</i>	Platina	2" x 3/16"

8. Diseño de juntas soldadas

El diseño de las juntas de soldadura está basado según la sección 5.1 de la norma API 650

8.1. Definiciones de juntas

- Junta de soldadura a tope: una soldadura en una ranura entre dos miembros que están aproximadamente en el mismo plano. Las ranuras pueden ser: cuadradas, en forma de V (sencilla o doble) o en forma de U (sencilla o doble).
- Junta de soldadura a tope doble: una junta entre dos partes adyacentes que están aproximadamente en el mismo plano, que es soldada por ambos lados.
- Junta de soldadura de filete: una soldadura de sección transversal aproximadamente triangular que une dos superficies que están en ángulo recto, tal como en juntas traslapadas, juntas en T o juntas en esquina.
- Junta de soldadura de traslape doble: una junta entre dos miembros traslapados, en la cual los bordes traslapados de ambos miembros están soldados con soldadura de filete.
- Junta de soldadura a tope sencilla con respaldo: una junta entre dos partes adyacentes que están aproximadamente en el mismo plano, que es soldada por un solo lado solamente con el uso de una platina u otro material de respaldo adecuado.
- Junta de soldadura de traslape sencillo: una junta entre dos miembros traslapados, en la cual el borde traslapado de uno de los miembros está soldado con soldadura de filete.
- Junta de soldadura de filete completo: un filete cuyo tamaño es igual al espesor de la parte más delgada a ser unida.
- Puntos de soldadura de armado (tack weld): soldadura hecha para mantener las partes de un ensamble con un alineamiento apropiado hasta que las soldaduras finales sean hechas.

8.2. Tamaño de las soldaduras

El tamaño de una soldadura de ranura (biselada) deberá estar basado en la penetración de la junta (profundidad del bisel más profundidad de penetración en la raíz). No se debe considerar el tamaño del refuerzo de la soldadura a cada lado de la junta como parte de la soldadura en juntas de ranura.

El tamaño de una soldadura de filete de piernas iguales, se basa en la longitud de la pierna más grande del triángulo rectángulo isósceles el cual puede ser inscrito dentro de la sección transversal de la soldadura de filete. La soldadura de filete de piernas desiguales se fundamenta en la longitud de la pierna más grande del triángulo rectángulo, el cual puede ser inscrito dentro de la sección transversal de la soldadura de filete.

8.3. Restricciones en las juntas

Los puntos de soldadura (tack welds) no se deberán considerar con ningún valor para la resistencia de la soldadura en la estructura terminada.

El tamaño mínimo de las soldaduras de filete deberá ser como sigue:

- *Para láminas de 5 mm (3/16 in) de espesor:* la soldadura deberá ser un filete completo.
- *Para láminas mayores de 5 mm (3/16 in) de espesor:* el espesor de la soldadura deberá ser no menor que un tercio del espesor de la parte más delgada en la junta y deberá ser al menos 5 mm (3/16 in).

Juntas traslapadas sencillas, solamente se permiten en las láminas del fondo y del techo.

En juntas de traslape, éstas deberán estar traslapadas al menos 5 veces el espesor nominal de la parte más delgada unida; sin embargo con juntas traslapadas soldadas por ambos lados, el traslape no necesita exceder de

50mm (2 in) y con juntas de traslape sencillo, el traslape no necesita exceder de 25 mm (1 in).

Los pases de soldadura están restringidos como sigue:

- Para soldaduras de láminas del fondo y techo para todos los materiales y para las soldaduras cuerpo-fondo para los materiales de los grupos I, II y IIIA, aplican los siguientes requerimientos para el tamaño de las soldaduras:
Para procesos de soldadura manual, los lados de los filetes de soldadura o las profundidades de las ranuras más grandes que 6 mm (1/4 in) deberán ser multipases.
Para procesos de soldadura semi-automáticos y automáticos, con la excepción para soldadura con electro-gas, los lados de las soldaduras de filete o las profundidades de las ranuras más grandes que 10 mm (3/8 in) deberán ser multipases.
- Para soldadura cuerpo-fondo de grupos IV, IVA, V o VI para todos los procesos de soldadura, todas las soldaduras deberán ser hechas usando un mínimo de dos pases.
- Todas las uniones de accesorios al exterior del tanque deberán ser completamente con soldadura completa. No se permite soldadura intermitente.
- Juntas de soldadura con platinas de respaldo que permanecen en sitio, solamente son permitidas por la aprobación del cliente.

8.4. Juntas típicas

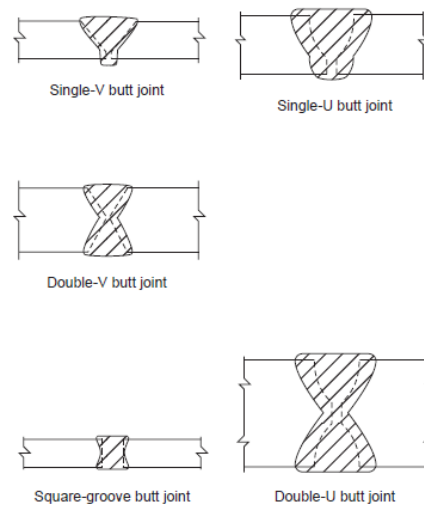
Las juntas típicas de los tanques se muestran en las figuras 57- 60

La superficie superior de las soldaduras del fondo (soldadura a tope de las láminas anulares) debe ser esmerilada a ras donde estarán en contacto con la parte inferior del cuerpo, o las láminas de refuerzo.

8.4.1. Juntas verticales del cuerpo

Las soldaduras deben ser a tope con completa penetración y completa fusión, como las obtenidas por soldadura por ambos lados o por procedimientos de soldadura que produzcan la misma calidad de metal depositado por ambos lados de la junta. (figura 57)

Las juntas verticales en anillos adyacentes no deben quedar alineadas y deben tener un desfase mínimo de 5 veces el espesor de la lámina del anillo más grueso que se encuentra en la junta.



Note: See 5.1.5.2 for specific requirements for vertical shell joints.

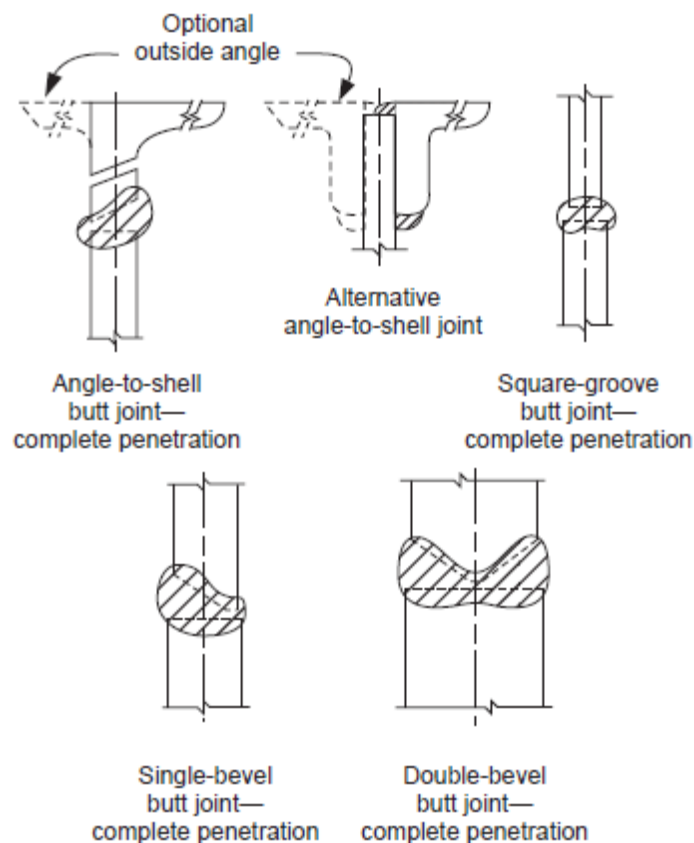
Figure 5-1—Typical Vertical Shell Joints

Figura 57: Juntas Verticales típicas de cuerpo
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

8.4.2. Juntas horizontales del cuerpo

Las soldaduras deben ser a tope con completa penetración y completa fusión, por soldadura por ambos lados o procedimientos de penetración total. Como alternativa, los ángulos superiores del cuerpo se pueden colocar con juntas traslapadas soldadas por ambos lados. (figura 58)

A menos que se especifique otra cosa, las juntas a tope horizontales del cuerpo deben tener un eje vertical común.



Note: See 5.1.5.3 for specific requirements for horizontal shell joints.

Figure 5-2—Typical Horizontal Shell Joints

Figura 58: Juntas horizontales típicas de cuerpo
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

8.4.3. Juntas traslapadas del fondo

Los bordes de las láminas deben ser razonablemente rectos. Adicionalmente, las láminas pueden ser cortadas a escuadra o se pueden dejar los bordes que quedan de fabricación. A menos que se especifique otra cosa por el comprador, las láminas traslapadas soldadas con inclinación deberán ser traslapadas de manera que se reduzca la tendencia del líquido a empozarse durante el drenado del mismo. Los traslapes triples deberán estar al menos a una distancia de 300 mm (12 in) de cualquier otro, del cuerpo del tanque, de las juntas a tope del anillo y de la junta entre las láminas del anillo y del fondo. El traslape de dos láminas del fondo sobre las láminas anulares soldadas a tope, no constituye una soldadura de traslape triple. Cuando son usadas láminas anulares deberán ser soldadas a tope y

deberán tener un ancho radial que suministre al menos 600 mm (24 in) entre el interior del cuerpo y cualquier junta traslapada del resto del fondo.

Las láminas del fondo necesitan ser soldadas por el lado superior solamente, con un filete continuo en todas las juntas. (figura 59)

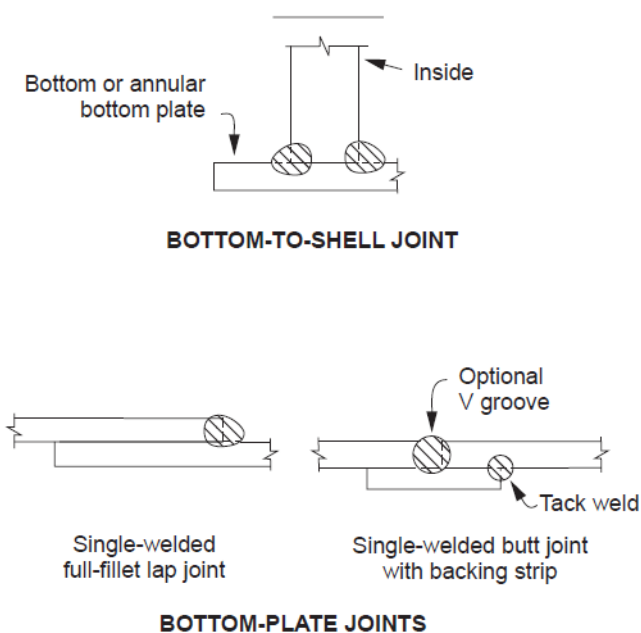


Figura 59: Juntas típicas de fondo
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

A menos que sean usadas láminas anulares del fondo, las láminas del mismo debajo del anillo inferior del cuerpo deberán tener los extremos exteriores de las juntas armados y soldados con traslape de manera que formen una superficie lisa de apoyo para las láminas del cuerpo, como se muestra en la figura 60. Las láminas traslapadas soldadas del fondo deberán ser soldadas con soldadura de sello a cada una de las otras láminas, en la periferia exterior expuesta de sus bordes traslapados.

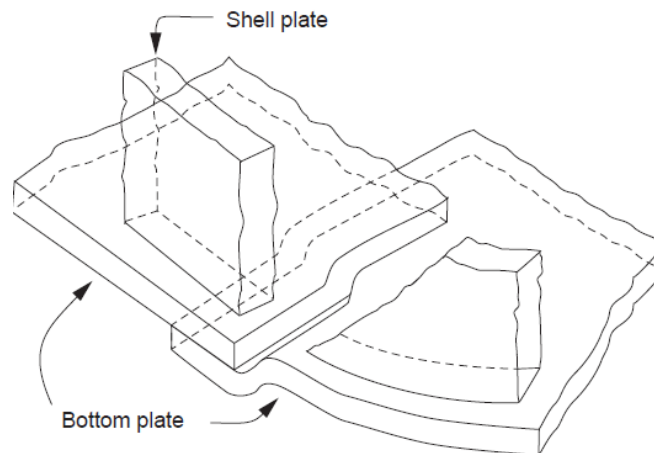


Figure 5-3B—Method for Preparing Lap-Welded Bottom Plates under Tank Shell (See 5.1.5.4)

*Figura 60: Método de preparación de traslape de láminas del fondo debajo del cuerpo del tanque
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)*

8.4.4. Juntas a tope del fondo

Cuando se usan deben tener el bisel cuadrado o en V. Los detalles son los mismos que los usados para las juntas verticales. Se puede usar una platina de respaldo de por lo menos 1/8 in (3 mm) de espesor y si tiene bisel cuadrado la luz de la raíz debe ser de mínimo 6 mm (1/4 in). Las juntas de unión de tres láminas deberán estar al menos a una distancia de 300 mm (12 in) de cualquier otra y del cuerpo del tanque.

8.4.5. Soldadura de filete de la junta cuerpo-fondo

Para láminas del fondo con espesores nominales de hasta 1/2" (12.5 mm), la unión entre el borde del anillo inferior del cuerpo y la lámina del fondo debe ser un filete de soldadura continuo a cada lado de la lámina del cuerpo. El tamaño de cada filete de soldadura no tiene que ser mayor de 12.5 mm (1/2 in) y no debe ser menor que el espesor nominal de lámina más delgada (cuerpo o fondo) o que los espesores mostrados en la figura 61

Nominal Thickness of Shell Plate		Minimum Size of Fillet Weld	
(mm)	(in.)	(mm)	(in.)
5	0.1875	5	$\frac{3}{16}$
> 5 to 20	> 0.1875 to 0.75	6	$\frac{1}{4}$
> 20 to 32	> 0.75 to 1.25	8	$\frac{5}{16}$
> 32 to 45	> 1.25 to 1.75	10	$\frac{3}{8}$

Figura 61: Tamaños mínimos del filete de soldadura de la junta cuerpo-fondo
Fuente: (American Petroleum Institute, 2007)

Para láminas del anillo de fondo con un espesor mayor de 12.5 mm (1/2") la soldadura se debe dimensionar de modo que los filetes a ambos lados o la soldadura de bisel y filetes sean de un tamaño igual al espesor del anillo, pero no debe exceder el espesor nominal de las láminas del cuerpo, como se muestra en el anexo 32.

Las láminas del fondo o las láminas anulares del fondo deberán ser suficientes para proporcionar un mínimo de 13 mm (1/2 in) desde la línea de fusión del filete de soldadura hasta el borde exterior del fondo o las láminas anulares

8.4.6. Juntas de techo y ángulo de tope

Las láminas de techo se deben soldar por el lado superior como mínimo, con filetes continuos en todas las juntas de las láminas. Soldaduras a tope también son permitidas.

Para techos de junta frágil, las láminas del techo se deberán unir al ángulo de tope con un filete continuo en el lado superior solamente. Para techos que no son de junta frágil son permitidos detalles alternativos.

Las secciones del ángulo superior deben ser unidos con soldaduras a tope que tengan completa penetración y fusión.

A opción del fabricante, para techos auto-soportados del tipo cono, domo o sombrilla, los bordes de las láminas del techo pueden ser pestañadas horizontalmente para que se ajusten planas contra el ángulo superior para mejorar las condiciones de soldadura.

8.5. Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores

Los procedimientos de soldadura (WPS – Welding Procedure Specification), sus calificaciones (PQR – Procedure Qualification Record) y las calificaciones de soldadores (WPQ – Welder Performance Qualification) se deben efectuar de acuerdo con la sección IX del código ASME.

Para el desarrollo de los WPS es necesario el uso de tablas, cuadros y gráficos de la ASME que se muestran en los anexos 33-42.

Para identificar cada uno de los parámetros del WPS, PQR y WPQ se identifican las siguientes características de soldadura en la construcción del tanque:

- *Proceso de soldadura:* SMAW (Shield metal arc welding)
- *Material de placas (material base):* Acero al carbono A-36. (P-No 1, A-No 1)
- *Electrodos:* E6010 (F-No 3 / SFA-5.1)
- *Espesor de placas en junta a tope :* 6-8 mm
- *Espesor de placas en filete:* 5-18 mm
- *Diámetro de tubería:* 1-1/4” – 12”
- *Posición en junta a tope:* 1G, 2G, 3G
- *Posición en junta de filete:* 1F, 2F, 3F

Como la empresa FH-Ingeserv se ha venido desarrollando en el ámbito de construcción y reparación de tanques, ya tiene desarrollado los correspondientes WPS y PQR, los cuales se muestran en los anexos 43 y 44.

Debido a que los soldadores son personas que han venido trabajando continuamente con la empresa tanto en la construcción de estructuras como de tanques, se conoce su trabajo y han sido calificados ya con los WPS correspondientes, se puede homologar sus WPQ realizados en fechas anteriores para que así queden calificados para este proyecto, uno de los WPQ mencionados se muestra en el anexo 45.

9. Plan de Pintura

El desarrollo del plan de pintura se lo va a realizar conforme: “Especificación de Recubrimientos” de Petroamazonas EP, debido a que la mencionada empresa será la propietaria del tanque.

Por lo que según las tablas de sistemas de recubrimientos según la aplicación en la cual será utilizado, observadas en el documento se puede concluir lo siguiente:

- Para el recubrimiento exterior se escoge el sistema de recubrimientos N°2: Líneas de tubería y terminales de almacenamientos externos (ver anexo 46), el cual sirve para áreas costeras o áreas donde tenemos condiciones severas de corrosión atmosférica y para las siguientes aplicaciones: cuerpos de tanques de almacenamiento, techos cónicos fijos, edificios, tubería sobre tierra, bastidores de tuberías, equipamiento de compresores, recipientes a presión de proceso exteriores, estructuras de acero, escaleras helicoidales, escaleras verticales y pasamanos.
Por lo cual se observa que es el recubrimiento apropiado por las condiciones de corrosión atmosférica (severa) y por la aplicación (tanque de almacenamiento, techos cónicos, escaleras, pasamanos)
- Para el recubrimiento interno se escoge el sistema de recubrimientos N°13: Revestimiento de tanques de almacenamiento y recipientes a presión (ver anexo 47), el cual sirve para superficies internas de

tanques de almacenamiento y recipientes a presión, por lo cual se observa que es el recubrimiento apropiado.

A continuación se muestra el plan de pintura con sus respectivas características:

Tabla 21:
Sistema de Recubrimiento Exterior

SISTEMA DE RECUBRIMIENTO EXTERIOR						
PREPARACIÓN DE SUPERFICIE:	SSPC-SP10					
PERFIL DE ANCLAJE:	1.5 – 3.0 MILS					
NÚMERO DE CAPA	NOMBRE GENÉRICO	NOMBRE COMERCIAL	THINNER	EPS* (MILS)		COMENTARIOS
1ra	SILICATE ZINC EPOXY PRIMER	SIGMAFAST 302	SIGMA 21-06	MIN 2.4	MAX 3.6	BLUEGREEN COLOR
2da	MULTI-PURPOSE EPOXY	SIGMACOVER 435	SIGMA 91-92	4	6	LIGHTGREY COLOR
3ra	ALIPHATIC POLYURETHANE	SIGMADUR 550	SIGMA 21-06	1.6	2.4	RED RAL3001 COLOR
			TOTAL	8	12	

*EPS (Espesor de película seca)

Tabla 22:

Sistema de Recubrimiento Interior

SISTEMA DE RECUBRIMIENTO INTERNO		SSPC-SP 5					
PREPARACIÓN DE SUPERFICIE:		1.5 – 3.0 MILS					
ANCLAJE:							
NÚMERO DE CAPA	NOMBRE GENÉRICO	NOMBRE COMERCIAL	THINNER	EPS* (MILS)	COMENTARIOS	MIN	MAX
1ra	POLYAMINE PHENOLIC EPOXY	SIGMAGUARD 730	SIGMA 91-92	4	OFF WHITE COLOR	4	6
2da	POLYAMINE PHENOLIC EPOXY	SIGMAGUARD 730	SIGMA 91-92	4	OFF WHITE COLOR	4	6
TOTAL				8		8	12

*EPS (Espesor de película seca)

Para más información sobre las pinturas referirse a las hojas técnicas de las mismas (anexos 48-51)

10. Planos Aprobados Para la Construcción

Los planos necesarios para la construcción y montaje del tanque se encuentran en la parte de anexos.

11. Lista de Personal, Materiales y Consumibles

Para la construcción del tanque, para un tiempo de entrega de 42 días, y según la disponibilidad de pagos del cliente se ha determinado que es necesario el siguiente personal en campo:

Tabla 23:


Lista de personal necesario

Item	Cantidad personal	Cantidad Dias
<i>Supervisor Mecánico</i>	1	42
<i>Control de Calidad</i>	1	42
<i>Control de Proyectos</i>	1	42
<i>Seguridad Industrial y Salud</i>		
<i>Ocupacional</i>	1	42
<i>Administrador</i>	1	42
<i>Chofer</i>	1	42
<i>Soldadores Calificados</i>	4	21
<i>Esmeriladores</i>	4	21
<i>Montador</i>	1	21
<i>Soldador de Segunda</i>	1	21
<i>Ayudantes de Montaje</i>	2	21
<i>Pintor/Sandblasteador</i>	1	21
<i>Ayudantes de Pintura</i>	3	21

Después de realizar los cálculos y planos necesarios se determina que el material necesario para la construcción del tanque es el siguiente:

Tabla 24:**Lista de materia prima general**

Ord	Cant	Item	Material	Peso
Planchas				
1	18	Plancha 6 x 1800 x 12000 mm	A-36	18312,5
2	8	Plancha 6 x 1800 x 6000 mm	A-36	4069,4
3	5	Plancha 8 x 1800 x 12000 mm	A-36	6782,4
4	1	Plancha 9,5 x 1800 x 6000 mm	A-36	805,4
5	1	Plancha 12,7 x 1800 x 6000 mm	A-36	1076,7
6	1	Plancha 19,1 x 1800 x 6000 mm	A-36	1615,1
Pletina				
7	6	Pletina 3/16" x 2" x 6000 mm	A-36	68,4
8	6	Pletina 3/16" x 3" x 6000 mm	A-36	102,6
9	19	Pletina 1/4" x 2" x 6000 mm	A-36	288,7
10	5	Pletina 3/8" x 2-1/2" x 6000 mm	A-36	142,4
Perfiles				
11	2	L 1-1/4" x 1-1/4" x 3/16" x 6000	A-36	26,4
12	1	L 1-1/2" x 1-1/2" x 3/16" x 6000	A-36	16,1
13	3	L 2" x 2" x 3/16" x 6000	A-36	65,3
14	8	L 2" x 2" x 1/4" x 6000	A-36	228,0
15	3	L 3" x 3" x 1/4" x 6000	A-36	131,2
16	16	UPN 140 x 6000	A-36	1861,4
Tubería				
17	6	Tubería $\phi=1-1/4"$ Sch.40 x 6000	A-53 Gr.B	122,0
18	1	Tubería $\phi=2"$ Sch.80 SMLS x 875	A-53 Gr.B	6,5
19	1	Tubería $\phi=4"$ Sch.80 SMLS x 200	A-53 Gr.B	4,5
20	1	Tubería $\phi=6"$ Sch.80 SMLS x 225	A-53 Gr.B	9,6
21	1	Tubería $\phi=8"$ Sch.40 SMLS x 12000	A-53 Gr.B	510,6
22	1	Tubería $\phi=8"$ Sch.80 SMLS x 460	A-53 Gr.B	29,7
23	1	Tubería $\phi=10"$ Sch.60 SMLS x 225	A-53 Gr.B	18,3
24	2	Tubería $\phi=12"$ Sch. XS SMLS x 575	A-53 Gr.B	112,1

Continúa 

Bridas

25	5	Brida $\phi = 2"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	A-105	11,0
26	1	Brida $\phi = 4"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	A-105	5,6
27	1	Brida $\phi = 6"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	A-105	8,1
28	3	Brida $\phi = 8"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	A-105	39,0
29	1	Brida $\phi = 10"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	A-105	18,4
30	2	Brida $\phi = 12"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	A-105	57,0

Accesorios Tubería


31	1	Coupling $\phi = 3/4"$ 3000 # NPT	A-105	0,4
32	2	Codo 90° $\phi = 8"$ Sch.40 SMLS	A-234-WPB	40,6

Pernos

33	28	Perno $\phi = 3/4"$ x 2 con Tuerca	A-193-B7/ A-194-2H	8,4
34	128	Perno $\phi = 3/4"$ x 2" con Tuerca y Arandela	A-193-B7/ A-194-2H	38,4
35	20	Perno $\phi = 5/8"$ x 2" con Tuerca	A-193-B7/ A-194-2H	4,0
36	16	Perno $\phi = 5/8"$ x 1-1/2" con Tuerca y Arandela	A-193-B7/ A-194-2H	2,1
37	4	Perno $\phi = 3/8"$ x 1" con Tuerca y Arandela	A-193-B7/ A-194-2H	0,1
38	4	Perno $\phi = 1/2"$ x 1-1/2" con Tuerca y Arandela	A-193-B7/ A-194-2H	0,4
39	36	Perno $\phi = 3/4"$ x 2-1/2" con Tuerca	A-193-B7/ A-194-2H	12,2
40	8	Espárrago $\phi = 3/4"$ x 4-1/2" con 2 Tuercas	A-193-B7/ A-194-2H	3,0

Varilla

41	3	Varilla $\phi = 3/4"$ x 6000	A-36	40,3
42	1	Varilla $\phi = 5/8"$ x 6000	A-36	2,1

Continúa 

Empaques

43	1	Empaque 3.2 mm x $\phi_e = 762 / \phi_i = 622$	Fiber Filled
44	1	Empaque 3.2 mm x $\phi_e = 746 / \phi_i = 624$	Fiber Filled
45	1	Empaque 3.2 mm x $\phi = 8"$ ANSI 150# RF	Fiber Filled
46	1	Empaque 1/4" x 806 x 813	Fiber Filled
Otros			
47	1	Grating 4.76 x 1250 x 2450	A-36 114,4
48	1	Malla de Alambre 1mm $\phi = 343$	304SS

El cálculo de equipo de protección personal y consumibles se los determina por medio de los rendimientos prácticos y se muestran en las tablas 25 y 26

Tabla 25:**Rendimientos prácticos de consumibles**

Consumibles			
Item	Rendimiento	Unidad	Cantidad Necesaria
Grata 1/4" x 4"	1	Grata/3días	7
Grata 1/4" x 7"	1	Grata/3días	7
Disco de corte 7" x 1/16"	2	Discos/día	42
Disco de corte 7" x 1/8"	2	Discos/día	42
Disco de desbaste 7" x 1/4"	2	Discos/día	42
Disco de desbaste 7" x 3/16"	2	Discos/día	42
Disco de desbaste 7" x 5/32"	2	Discos/día	42
Thinner epóxico (para limpieza) [200 lts]	21	Días/caneca	1

Tabla 26:**Rendimientos prácticos de equipo de protección personal**

Equipo de Protección Personal					
Item	Cant. Por Persona	Duración EPP [días]	Tipo Personal Recibe	Total Personal	Cant. Item
Camisas	2	42	Todo Personal	22	44
Jean	2	42	Todo Personal	22	44
Botas de Seguridad	1	42	Todo Personal	22	22
Casco	1	42	Todo Personal	22	22
Gafas de seguridad	1	4	Todo Personal	22	162
Tapones auditivos	1	7	Todo Personal	22	84
Guantes de Operador	1	4	Esmeriladores, montador, ayudantes de pintura y montaje, calidad	11	66
Guantes de soldador API	1	4	Soldadores, Sandblasteador	6	36
Mangas	1	7	Esmeriladores	4	12
Camperas de soldador	1	21	Soldadores	5	5
Delantales	1	7	Esmeriladores	4	12
Facial	1	21	Esmeriladores	4	4
Mascarilla media cara	1	21	Soldadores, pintores	6	6
Filtro Mascarilla de soldadores	1	7	Soldadores	6	18
Mascarilla para polvo	1	1	Ayudantes de pintura y montaje	5	105
Mascarilla con filtro de carbono	1	1	Esmeriladores	4	84
Escafandra	1	60	Sanblasteador	1	1


Para determinar la cantidad necesaria de electrodos se recurre al factor de material de aporte depositado por distancia, el cual se determina de tablas mostradas en el anexo 52 - 54.

Tabla 27:**Factor de consumo electrodos**

Tipo bisel Considerado	Factor teórico [lb/ft]	Eficiencia Proceso	Factor Práctico [kg/m]
<i>A tope por ambos lados</i>	$0,106 + 2(0,035)$	60%	0,419
<i>Filete 6mm</i>	0,155		0,370
<i>Filete 8mm</i>	0,361		0,578
<i>A tope con bisel en V (60°)</i>	$0,212 + 2(0,276) + 0,142$		2,162

Tabla 28:**Consumo de electrodos**

Item	Sold. Lineal Aprox	Tipo Bisel	Factor Electrodos [kg/m]	Peso Electrodos [kg]
<i>Cuerpo</i>	214,52	<i>A tope por ambos lados</i>	0,419	89,93
	60,67	<i>Filete 6mm</i>	0,370	22,42
<i>Fondo</i>	58,72	<i>Filete 8mm</i>	0,578	33,91
<i>Techo</i>	87,07	<i>Filete 6mm</i>	0,370	32,18
<i>Estruct. Techo</i>	71,61	<i>Mayoria Filete 6mm</i>	0,370	26,47
<i>Manholes Cuerpo- Techo</i>	25,70	<i>Mayoria Filete 6mm</i>	0,370	9,50
<i>Escalera Vertical</i>	39,88	<i>Mayoria Filete 6mm</i>	0,370	14,74

Continúa 

Plataforma de descanso	36,30	A tope sin bisel por ambos lados	0,419	15,22
Pasamanos	8,0	Mayoría Filete 6mm	0,370	2,94
	11,51	A tope por ambos lados	0,419	4,82
Bocas Cuerpo-Techo	11,51	A tope con bisel en V,	2,162	24,88
	11,51	Filete 6 mm	0,370	4,25
Puerta de Limpieza	18,98	Mayoría Filete 6mm ambos lados	0,739	14,03
TOTAL KG DE ELECTRODOS				295,29

Tabla 29:

Cantidad de Electroodos

Electrodo	Item a soldar	Peso requerido [kg]	Cajas requeridas de aprox 20 kg
E6010	Todos los ítems de la tabla 28 excepto la estructura de techo	309,15	16
E 7018	Estructura de techo	30,44	2

Para determinar la cantidad de pintura necesaria se determina las áreas tanto para pintura externa como interna, mostradas en las tablas 30 y 31


Tabla 30:

Cálculo de áreas para pintura externa


Partes Tanque			
Item	Dimensiones	Área [m²]	
Cuerpo	$\phi_{ext} = 9662 \text{ mm}$ $H = 10869 \text{ mm}$	329,92	
Techo	$\phi_{tec} = 9711 \text{ mm}$	74,07	
Accesorios y bocas			
Cant	Item	Area Unit [m²]	Area Tot [m²]
Manhole			
1	Manhole de cuerpo, refuerzo pl. 6x1257x1524	1,11	1,11
1	Manhole de cuerpo, cuello pl. 6 x 195 x 1935	0,76	0,76
1	Manhole de cuerpo, brida pl. 12 x ϕ_e 832 x ϕ_i 624	0,48	0,48
1	Manhole de cuerpo, tapa pl. 14 x ϕ 832	1,09	1,09
4	Manhole manijas varilla ϕ 5/8" x 344	0,02	0,07
1	Manhole de techo, refuerzo pl. 6 x ϕ_e 1168 x ϕ_i 625	0,76	0,76
1	Manhole de techo, cuello 6 x 235 x 1935	0,91	0,91
1	Manhole de techo, brida 6 x ϕ_e 762 x ϕ_i 622	0,30	0,30
1	Manhole de techo, tapa pl. 6 x ϕ 762	0,91	0,91
Subtotal Manhole			6,39
Escalera Vertical			
2	Platina. 3/8" x 2 1/2" x 6894	1,01	2,01
2	Platina. 3/8" x 2 1/2" x 7355	1,07	2,15
2	Pl. 1/4" x 2 1/2" x 100	0,01	0,03
42	Varilla ϕ 3/4" x 410	0,02	1,03
16	Pl. 6 x 150 x 150	0,05	0,75
16	Pl. 3/8" x 220 x 102	0,05	0,75
16	Pl. 3/8" x 135 x 103	0,03	0,47
4	Platina. 6 x 2" x 2800	0,32	1,27
7	Platina.. 6 x 2" x 2300	0,26	1,83
5	Platina.. 6 x 2" x 4200	0,48	2,39

Continúa 

7	Platina.. 6 x 2" x 4850	0,55	3,86
2	Platina.. 6 x 2" x 2950	0,34	0,67
<i>Subtotal escalera vertical</i>			17,20
Plataforma de descanso			
1	L 3" x 3" x 1/4" x 1050	0,31	0,31
1	L 3" x 3" x 1/4" x 1020	0,30	0,30
1	L 3" x 3" x 1/4" x 1000	0,30	0,30
2	L 3" x 3" x 1/4" x 200	0,06	0,12
2	L 3" x 3" x 1/4" x 1300	0,38	0,77
2	Pl. 1/4" x 200 x 200	0,08	0,16
1	L 3" x 3" x 1/4" x 2200	0,65	0,65
1	L 3" x 3" x 1/4" x 1000	0,30	0,30
1	L 3" x 3" x 1/4" x 2600	0,77	0,77
1	L 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16" x 2600	0,31	0,31
2	Pl. 1/4" x 300 x 150	0,09	0,18
5	L 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16" x 1050	0,15	0,77
1	Platina. 3/16" x 3" x 2500	0,40	0,40
1	Platina. 3/16" x 2" x 2500	0,28	0,28
1	L 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16" x 1000	0,12	0,12
1	Tuberia $\phi = 1 \frac{1}{4}$ " Sch.40 SMLS x 3450	0,46	0,46
1	Tuberia $\phi = 1 \frac{1}{4}$ " Sch.40 SMLS x 1000	0,13	0,13
1	L 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16" x 1050	0,13	0,13
2	Platina. 3/16" x 3" x 1050	0,17	0,34
2	Platina. 3/16" x 2" x 1050	0,12	0,23
1	L 1 1/4" x 1 1/4" x 3/16" x 2200	0,27	0,27
<i>Subtotal Plataforma de Descanso</i>			7,30
Pasamanos perimetral			
13	L 2" x 2" x 3/16" x 1050	0,21	2,68
4	Platina. 3/16" x 3" x 6000	0,97	3,89
1	Platina. 3/16" x 3" x 5610	0,91	0,91
4	Platina. 3/16" x 2" x 6000	0,67	2,67

Continúa 

1	Platina. 3/16" x 2" x 5610	0,62	0,62
4	Tubería $\phi = 1 \frac{1}{4}$ " Sch.40 SMLS x 6000	0,80	3,18
1	Tubería $\phi = 1 \frac{1}{4}$ " Sch.40 SMLS x 5625	0,75	0,75
Subtotal pasamano perimetral			14,69
Bocas Cuerpo-Techo			
1	Brida ϕ 6" 150# WN.RF. Sch. 80	0,06	0,06
1	Tub. ϕ 6" SMLS Sch. 80 x 225	0,24	0,24
1	Refuerzo, pl. 6 x 400 x 495	0,12	0,12
2	Brida ϕ 12" 150# WN.RF. Sch. 80	0,14	0,29
2	Tub. ϕ 12" SMLS Sch.XS x 575	0,88	1,76
2	Refuerzo, pl. 6 x 685 x 840	0,34	0,67
1	Brida ϕ 4" 150# WN.RF. Sch. 80	0,04	0,04
1	Tub. ϕ 4" SMLS Sch. 80 x 200	0,14	0,14
1	Refuerzo, pl. 6 x 305 x 387	0,07	0,07
1	Brida ϕ 8" 150# WN.RF. Sch. 80	0,09	0,09
1	Tub. ϕ 8" SMLS Sch. 80 x 225	0,31	0,31
1	Refuerzo, pl. 6 x 482 x 590	0,17	0,17
5	Brida ϕ 2" 150# WN.RF. Sch. 80	0,02	0,11
5	Tub. ϕ 2" SMLS Sch. 80 x 175	0,07	0,33
1	Brida ϕ 10" 150# WN.RF. Sch. 80	0,11	0,11
1	Tub. ϕ 10" SMLS Sch. 60 x 225	0,39	0,39
1	Pl. 6 x ϕ_e 559 x ϕ_i 280	0,18	0,18
2	Brida ϕ 8" 150# WN.RF. Sch. 80	0,09	0,18
1	Tub. ϕ 8" SMLS Sch. 80 x 235	0,32	0,32
1	Pl. 6 x ϕ_e 457 x ϕ_i 225	0,25	0,25
1	Tub. ϕ 8" SMLS Sch. 40 x 150	0,10	0,10
2	Codo 90° ϕ 8" Sch 40 SMLS RL.	0,34	0,69
1	Pl. 12.7 x ϕ_e 343 x ϕ_i 222	0,11	0,11
1	Pl. 7.9 x ϕ_e 343 x ϕ_i 222	0,11	0,11
Subtotal bocas cuerpo-techo			6,84

Continúa 


Puerta de Limpieza

1	Pl. 6 x 900 x 1830	1,08	1,08
1	Pl. 6 x 140 x 1552.45	0,23	0,23
1	Pl. 12 x 795 x 800 int 600	0,56	0,56
1	Pl. 12 x 795 x 800	1,13	1,13
1	Pl. 14 x 468 x 2730	0,78	0,78
1	Pl. 3/8" x 87 x 175	0,03	0,03
Subtotal Puerta de Limpieza			2,74
TOTAL PINTURA EXTERNA [m ²]			459,15
TOTAL PINTURA EXTERNA INCLUIDO 10% IMPREVISTOS [m²]			505,06

Tabla 31:

Cálculo de áreas para pintura interna

Partes Tanque			
Item	Dimensiones	Área [m²]	
Cuerpo	$\phi_{ext} = 9650 \text{ mm}$	329,51	
	H= 10869 mm		
Techo	$\phi_{tec} = 9711 \text{ mm}$	74,07	
Fondo	$\phi_f = 9762 \text{ mm}$	74,85	
Estructura de techo			
Cant.	Item	Area Unit [m²]	Area Tot [m²]
16	Viga interna UPN 140 x 4435	2,14	34,21
16	Cartela pl. 9.5 x 270 x 377	0,14	2,31
16	Cartela pl. 9.5 x 148 x 203	0,06	1,02
1	Pl. 18 x $\phi = 1104$	1,91	1,91
4	Pl. 9.5 x 440 x 500	0,23	0,92
1	Tubería $\phi = 8"$ Sch.40 SMLS x 10826	8,19	8,19
2	Pl. 18 x 378 x 500	0,43	0,86
3	Pl. 9.5 x 150 x 275	0,07	0,20
1	Pl. 9.5 x $\phi = 199$	0,03	0,03
1	Pl. 18 x $\phi = 640$	0,32	0,32

Continúa 

16	Pl. 9.5 x 76 x 270	0,05	0,74
16	Pl. 9.5 x 76 x 227	0,04	0,62
16	L 2" x 2" x 1/4" x 852	0,17	2,66
Subtotal Estructura de techo			53,99
TOTAL PINTURA INTERNA [m ²]			532,41
TOTAL PINTURA INTERNA INCLUIDO 10% IMPROVISTOS [m²]			585,65

Para el cálculo de la cantidad de pintura necesaria se utilizará los rendimientos teóricos obtenidos de las hojas técnicas de las pinturas (anexos 48-51), y considerando una pérdida del 40% para áreas externas y 35% para áreas internas (recomendación del proveedor de pintura) debido a viento, desperdicio, sobre espesor, acumulación de producto en equipos.

Tabla 32:

Cálculo de cantidades de pintura

Pintura	Max esp. req. [mils]	Área [m ²]	Rendimiento Teórico	Cant. Teórica	Pérd	Cant. Pintura
Sigmafast 302	3,5	505,06	47,69 [m ² /gal] @ 2 mils	18,53 [gal]	40%	26 [gal]
Sigmacover 435	6	505,06	15,90 [m ² /gal] @ 6 mils	31,76 [gal]	40%	45 [gal]
Sigmadur 550	2,4	505,06	34,82 [m ² /gal] @ 2,4 mils	14,5 [gal]	40%	20 [gal]
Sigmaguard 730	6	585,65	19,68 [m ² /gal] @ 6 mils	29,76 [gal]	35%	40 [gal]
Sigmaguard 730	6	585,65	19,68 [m ² /gal] @ 6 mils	29,76 [gal]	35%	40 [gal]

Continúa 

Diluyente	Cantidad de Pintura	% Diluyente	Cantidad Diluyente
Thinner 21-06	<i>Sigmafast 302</i> 26 [gal]	18%	5 [gal]
Thinner 21-06	<i>Sigmadur 550</i> 20 [gal]	5%	1 [gal]
Thinner 91-92	<i>Sigmaguard 730</i> 80 [gal]	10%	8 [gal]
Thinner 91-92	<i>Sigmacover 435</i> 45 [gal]	13%	6 [gal]
TOTAL Thinner 21-06			6 [gal]
TOTAL Thinner 91-92			14 [gal]

12. Verificación del factor seguridad de la norma API 650

Para la verificación del factor de seguridad usado por la norma API 650, se utilizará los espesores calculados y materiales elegidos por la norma en el capítulo 4, para así obtener el factor de seguridad por medio de un método de diseño alternativo al de la norma API 650.

Estos cálculos se los va a realizar para dos zonas críticas del tanque: primer anillo del tanque y la tapa del manhole.

Según Blodgett Omer:

Para considerar a un cilindro de pared delgada debe cumplir con la siguiente relación:

$$\frac{r}{t} > 10 \quad [76]$$

Donde:

r = radio interno del cilindro [mm]

t = espesor del cilindro [mm]

$$\Rightarrow \frac{4825}{6} > 10$$

$$804,17 > 10$$

Por lo que se concluye que al cuerpo del tanque se lo puede considerar un cilindro de pared delgada.

Adicional el cálculo de los esfuerzos longitudinales y tangenciales se lo realiza mediante las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{mp} = \frac{Pr_c}{2t_s} \quad [77]$$

$$\sigma_{cp} = \frac{Pr_c}{t_s} \quad [78]$$

Donde:

σ_{mp} = esfuerzo longitudinal del cilindro de pared delgada [MPa]

σ_{cp} = esfuerzo tangencial del cilindro de pared delgada [MPa]

P = presión interna del cilindro [MPa]

r_c = radio interno del cilindro [mm]

t_s = espesor del cilindro [mm]

Para el cálculo del esfuerzo que soporta el primer anillo del cuerpo se tiene que calcular la presión interna a la que estará sometido el primer anillo, para lo cual se utiliza la fórmula de presión hidrostática:

$$P = \rho g H \quad [79]$$

Donde:

P = presión hidrostática (presión interna del cilindro) [Pa]

ρ = densidad del líquido almacenado $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

g = gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

H = altura de la columna del líquido [m]

$$\Rightarrow P = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 10,86 [m]$$

$$P = 106428 [Pa] = 0,106 [MPa]$$

$$\Rightarrow \sigma_{mp} = \frac{Pr_c}{2t_s} \quad [77]$$

$$\sigma_{mp} = \frac{0,106 * 4825}{2 * 6}$$

$$\sigma_{mp} = 42,62 [MPa]$$

$$\Rightarrow \sigma_{cp} = \frac{Pr_c}{t_s} \quad [78]$$

$$\sigma_{cp} = \frac{0,106 * 4825}{6}$$

$$\sigma_{cp} = 85,24 [MPa]$$

Se procede a obtener el valor del esfuerzo equivalente del estado general total del esfuerzo (esfuerzo de Von Mises):

Según Budynas & Nisbett:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{mp}^2 - \sigma_{cp}\sigma_{mp} + \sigma_{cp}^2} \quad [80]$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma'} \quad [81]$$

Donde:

σ' = esfuerzo de Von Mises (presión interna del cilindro) [Pa]

σ_{mp} = esfuerzo longitudinal del cilindro de pared delgada [MPa]

σ_{cp} = esfuerzo tangencial del cilindro de pared delgada [MPa]

σ_y = esfuerzo de flencia del material (anexo 2) [MPa]

$$\Rightarrow \sigma' = \sqrt{42,62^2 - 42,62(85,24) + 85,24^2}$$

$$\sigma' = 73,82 [MPa]$$

$$\Rightarrow n = \frac{250}{73,82}$$

$$n = 3,39$$

Entonces se puede concluir que el factor de seguridad que utiliza la API 650 en este caso para el primer anillo es de 3,39

Para determinar el factor de seguridad para la tapa del manhole se recurrirá a la norma API 620 que muestra una ecuación de cálculo para tapas planas.

Según la sección 5.21.1.1 de la norma API 620:

Los espesores requeridos para tapas planas de acero o bridas ciegas deben ser calculados por la siguiente ecuación:

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{s}} \quad [82]$$

Donde:

t = espesor mínimo requerido para la tapa plana [pulg]

d = diámetro del círculo de pernos del manhole [pulg]

P = presión de diseño (debe ser al menos igual a la presión en el cuerpo del tanque al nivel donde el manhole está ubicado) [psi]

c = corrosión admisible [pulg]

s = esfuerzo de fluencia, ver anexo 2 [psi]

$C = 0,25$ para placas rígidamente empernadas a la brida (esto aplica para cualquier clase de empaque

$$\Rightarrow P = \rho g H \quad [79]$$

Donde:

P = presión hidrostática (presión interna del cilindro) [Pa]

ρ = densidad del líquido almacenado $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$g = \text{gravedad} \left[\frac{m}{s^2} \right]$

$H = \text{altura de la columna del líquido a la altura del manhole} [m]$

$$\Rightarrow P = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] * (10,86 - 0,762) [m]$$

$$P = 98960,4 [Pa] = 14,35 [psi]$$

$$\Rightarrow t = 30,25 \sqrt{\frac{0,25(14,35)}{36000}}$$

$$t = 0,3 \text{ in} = 7,67 \text{ mm}$$

Para determinar el factor de seguridad se obtiene

$$\Rightarrow n = \frac{t_c}{t} \quad [83]$$

Donde:

$n = \text{factor de seguridad}$

$t_c = \text{espesor de tapa de manhole según API 650} [mm]$

$t = \text{espesor de tapa de manhole según método alternativo de diseño} [mm]$

$$\Rightarrow n = \frac{14}{7,67}$$

$$n = 1,83$$

El resumen de resultados se muestra en la tabla 33 tanto para el primer anillo como para la tapa del manhole.

Tabla 33:**Factor de seguridad API 650**

Item	Datos API	Factor de seguridad η
Primer Anillo	$t=6 \text{ mm}$	3,39
	$\sigma_y = 250 \text{ MPa}$	
	$r = 4825 \text{ mm}$	
Tapa Manhole	$t_c = 14 \text{ mm}$	1,83
	$\sigma_y = 36\,000 \text{ psi}$	
	$D_b = 756 \text{ mm}$	

13. Pruebas Constructivas

Las pruebas e inspecciones y sus respectivos criterios de aceptación, necesarias para asegurar que el tanque sea construido con total calidad y no presente ningún tipo de problema cuando ya esté en funcionamiento, son las siguientes:

13.1. Inspección de soldadura por radiografía

Los criterios de aceptación de las radiografías según API 650 serán los establecidos en el código ASME sección VIII división 1 en el párrafo UW-51(b) (radiografía total):

Indicaciones que aparecen en las radiografías de las soldaduras y caracterizadas como imperfecciones son inaceptables bajo las siguientes condiciones y deben ser reparadas, las reparaciones deben ser radiografiadas o a opción del fabricante, examinada mediante ultrasonido:

- Cualquier indicación que se caracteriza como una grieta o una zona de fusión o penetración incompleta
- Cualquier otra indicación alargada en la radiografía que tiene una longitud superior a:
 - a. 1/4 in. (6 mm) para t menor a 3/4 in. (19 mm)

- b. $(1/3)t$ para t (espesor de lámina) desde $3/4$ in. (19 mm) hasta $2 1/4$ in. (57 mm)
- c. $3/4$ in. (19 mm) para t por encima de $2 1/4$ in. (57 mm)

Donde t es el espesor de la soldadura con exclusión de cualquier refuerzo permisible. Para una soldadura a tope la unión de dos miembros que tienen diferentes espesores en la soldadura, t es el más delgado de estos dos espesores. Si una soldadura de penetración completa incluye una soldadura de filete, el espesor de la garganta del filete se incluirá en t .

- Cualquier grupo de indicaciones alineadas que tienen una longitud total mayor que t en una longitud de $12t$, excepto cuando la distancia entre las imperfecciones sucesivas excede $6L$, donde L es la longitud de la imperfección más larga en el grupo;
- Indicaciones redondeadas en exceso

Para obtener más información del procedimiento de inspección de soldadura por radiografía favor referirse al anexo 56.

13.2. Prueba neumática

La prueba neumática para refuerzos de boca es aprobada según la API 650 en el caso que no existiesen fugas en el área de la placa de refuerzo, esto implica que se mantendrá la presión manométrica constante, durante un tiempo prudencial acordado con el cliente y no existirán burbujas de detergente en la periferia del cordón de soldadura, caso contrario se reparará con un nuevo cordón de soldadura y se corroborará nuevamente si es que existen fugas.

Para obtener más información del procedimiento de prueba neumática, favor referirse al anexo 57.

13.3. Prueba de caja de vacío

El criterio de aceptación de la prueba de campana de vacío según la API 650 será, que al producirse el vacío manométrico, la caja no debe desprenderse del suelo, esto corrobora que no existe fugas de aire, lo que implica que el cordón o los cordones de soldadura son aceptables, caso contrario si la caja se desprende del fondo del cuerpo haciendo el mínimo esfuerzo, se afirmaría que existen fugas en los cordones del fondo del cuerpo, por lo tanto no pasaría la prueba de vacío. Además, no deberá producirse flujo de aire desde el interior del fondo del tanque, lo que se detecta por el movimiento de burbujas de jabón, detectándose de esta manera las porosidades de la soldadura, en cuyo caso, se debe reparar la soldadura, y realizar nuevamente la prueba.

Para obtener más información del procedimiento de prueba de caja de vacío, favor referirse al anexo 58.

13.4. Prueba diésel

La prueba diésel según la API 650 se aprueba si no existen fugas hacia el lado exterior del tanque, caso contrario, se repara la soldadura, para lo cual se esmerila las partes donde existe fugas, y se procederá a soldar en aquellas zonas donde se requiera. Seguidamente se volverá aplicar diésel en la periferia del tanque, y se corroborará nuevamente si es que existen fugas hacia el exterior.

Para obtener más información del procedimiento de prueba diésel, favor referirse al anexo 59.

13.5. Prueba hidrostática

La prueba hidrostática según la API 650 se aprueba en caso de que no se detecte alguna anomalía o fuga después del llenado hasta el nivel de prueba y durante el tiempo que dura la misma. De lo contrario se debe marcar para su reparación y si la fuga es en el fondo se suspende la prueba, se localiza la fuga, se repara y se repite la prueba hasta resultar satisfactoria.

Para obtener más información del procedimiento de prueba hidrostática, favor referirse al anexo 60.

13.6. Inspecciones de pintura

Para verificación de la calidad de los trabajos de pintura se debe inspeccionar los siguientes ítems:

- Perfil de Anclaje: el cual debe ser medido y debe ser el requerido por la pintura en particular
- Verificación de capas: los criterios de aceptación están basados en la norma SSPC-PA2, los cuales establecen que el espesor de cada spot debe estar entre el 80% y 120% del espesor recomendado por el fabricante.

Los valores de los datos individuales y de sectores no tienen ninguna restricción

- Adherencia: los criterios de aceptación están basados de acuerdo a la norma ASTM D3359, y detallados de la siguiente manera:

Tabla 34:***Criterios de aceptación y de rechazo de prueba de adherencia***

ACEPTACIÓN		RECHAZO	
Grado de Adherencia	%	Grado de Adherencia	%
5B	0	3B	15-35
4B	< 5	2B	35-65
		1B	> 65

Para obtener más información del procedimiento de pintura, favor referirse a los anexos 61 y 62.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO

1. Análisis Económico

1.1. Costos directos

Los costos directos son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la fabricación o producción de un artículo determinado o de una serie de artículos o de un proceso de manufactura.

Tabla 35:

Costos Directos

COSTOS DIRECTOS					
Mano de obra					
Ord.	Item	Cantidad	Cant. Dias	Costo/Dia	Costo Total
1	Supervisor Mecánico	1	42	-	2500
2	Control de Calidad	1	42	-	1000
3	Control de Proyectos	1	42	-	1000
4	Seguridad Industrial y Salud Ocupacional	1	42	-	1500
5	Administrador	1	42	-	900
6	Chofer	1	42	-	700
7	Soldadores Calificados	4	21	90	7560
8	Esmeriladores	4	21	34	2856
9	Montador	1	21	80	1680
10	Soldador de Segunda	1	21	50	1050
11	Ayudantes de Montaje	2	21	30	1260
12	Pintor/Sandblasteador	1	21	50	1050
13	Ayudantes de Pintura	3	21	28	1764
SUBTOTAL 1		22			24820

Continúa

Materia Prima				
Ord.	Item	Cant.	Cost. Unit	Costo Tot.
Planchas				
1	Plancha 6 x 1800 x 12000 mm	18	1119,10	20143,73
2	Plancha 6 x 1800 x 6000 mm	8	590,04	4720,35
3	Plancha 8 x 1800 x 12000 mm	5	1492,13	7460,64
4	Plancha 9,5 x 1800 x 6000 mm	1	885,95	885,95
5	Plancha 12,7 x 1800 x 6000 mm	1	1184,38	1184,38
6	Plancha 19,1 x 1800 x 6000 mm	1	1781,23	1781,23
Pletina				
7	Pletina 3/16" x 2" x 6000 mm	6	13,9	83,4
8	Pletina 3/16" x 3" x 6000 mm	6	20,85	125,1
9	Pletina 1/4" x 2" x 6000 mm	19	17,48	332,12
10	Pletina 3/8" x 2-1/2" x 6000 mm	5	34,75	173,75
Perfiles				
11	L 1-1/4" x 1-1/4" x 3/16" x 6000	2	15,31	30,62
12	L 1-1/2" x 1-1/2" x 3/16" x 6000	1	18,65	18,65
13	L 2" x 2" x 3/16" x 6000	3	20,4	61,2
14	L 2" x 2" x 1/4" x 6000	8	32,92	263,36
15	L 3" x 3" x 1/4" x 6000	3	50,74	152,22
16	UPN 140 x 6000	16	114,84	1837,44
Tubería				
17	Tubería $\phi= 1-1/4"$ Sch.40 x 6000	6	95	570
18	Tubería $\phi= 2"$ Sch.80 SMLS x 875	1	125,21	125,21
19	Tubería $\phi= 4"$ Sch.80 SMLS x 200	1	373,64	373,64
20	Tubería $\phi= 6"$ Sch.80 SMLS x 225	1	712,45	712,45
21	Tubería $\phi= 8"$ Sch.40 SMLS x 12000	1	712,29	712,29
22	Tubería $\phi= 8"$ Sch.80 SMLS x 460	1	1082,07	1082,07
23	Tubería $\phi= 10"$ Sch.60 SMLS x 225	1	1364,64	1364,64
24	Tubería $\phi= 12"$ Sch. XS SMLS x 575	2	1630,98	3261,96

Continúa 

Bridas				
25	Brida $\phi = 2"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	5	17,72	88,6
26	Brida $\phi = 4"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	1	27	27
27	Brida $\phi = 6"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	1	58,23	58,23
28	Brida $\phi = 8"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	3	80,5	241,5
29	Brida $\phi = 10"$ 150# W.N.R.F. SCH 80	1	132,45	132,45
Accesorios de tubería				
31	Coupling $\phi = 3/4"$ 3000 # NPT	1	18,2	18,2
32	Codo 90° $\phi = 8"$ Sch.40 SMLS	2	72	144
Pernos				
33	Perno $\phi = 3/4"$ x 2 con Tuerca	28	1,1	30,8
34	Perno $\phi = 3/4"$ x 2" con Tuerca y Arandela	128	1,25	160
35	Perno $\phi = 5/8"$ x 2" con Tuerca	20	0,77	15,4
36	Perno $\phi = 5/8"$ x 1-1/2" con Tuerca y Arandela	16	0,9	14,4
37	Perno $\phi = 3/8"$ x 1" con Tuerca y Arandela	4	0,42	1,68
38	Perno $\phi = 1/2"$ x 1-1/2" con Tuerca y Arandela	4	0,52	2,08
39	Perno $\phi = 3/4"$ x 2-1/2" con Tuerca	36	1,44	51,84
40	Espárrago $\phi = 3/4"$ x 4-1/2" con 2 Tuercas	8	2,1	16,8
Varillas				
41	Varilla $\phi = 3/4"$ x 6000	3	15,36	46,08
42	Varilla $\phi = 5/8"$ x 6000	1	10,73	10,73
SUBTOTAL 2				48864,42

Continúa 

Maquinaria y Equipos

Ord.	Item	Cantidad	Cant. Dias	Costo/Dia	Costo Total
1	Motosoldadoras	5	24	50	1200
2	Grúa 30 Ton	1	21	600	12600
3	Camioneta	1	42	45	1890
4	Equipos de Pintura	1	21	50	1050
5	Compresor 175cfm	1	21	150	3150
6	Tolva	1	21	30	630
7	Equipo de Oxicorte	1	-	-	900
SUBTOTAL 3					21420

Consumibles/Insumos

Ord.	Item	Cant.	Costo Unit	Costo Total
1	Electrodos E6010 1/8" Lincoln Americano [caja 22 kg]	16	179,69	2875,04
2	Electrodos E7018 1/8" Lincoln Americano [caja de 22 kg]	2	157,25	314,5
3	Grata 1/4" x 4"	7	6	41,58
4	Grata 1/4" x 7"	7	12	83,16
5	Disco de corte 7" x 1/16"	42	2	84
6	Disco de corte 7" x 1/8"	42	2,5	105
7	Disco de desbaste 7" x 1/4"	42	3,39	142,38
8	Disco de desbaste 7" x 3/16"	42	3,39	142,38
9	Disco de desbaste 7" x 5/32"	42	3,8	159,6
10	Kit Sigmafaste 302 [gal]	26	138,67	3605,42
11	Kit Sigmacover 435 [gal]	45	68,27	3072,15
12	Kit Sigmadur 550 [gal]	20	126,67	2533,4
13	Kit Sigmaguard 730 [gal]	80	96	7680
14	Thinner 91-92 [gal]	14	27,69	387,66
15	Thinner 21-06 [gal]	6	25,47	152,82
16	Thinner epóxico (para limpieza) [200 lts]	1	1	714
SUBTOTAL 4				22093.09

Continúa 

Herramientas

Ord.	Item	Cant.	Costo Unit	Costo Total
1	Amoladora 4"	4	125	500
2	Amoladora 9"	4	209	836
3	Motor Tool Industrial	2	355	710
4	Flexometros	5	2,8	14
5	Juego de llaves 9 pzs	1	33,2	33,2
6	Termos Portaelectrodos	4	97	388
7	Nivel 12"	5	8	40
8	Juego de alicates	1	30	30
9	Cinta metrica metálica	2	20	40
10	Llave de pico 12"	2	12,6	25,2
SUBTOTAL 5				2616,4

Equipo de Protección Personal EPP

1	Camisa	44	14,5	638
2	Jean	44	14	616
3	Botas de Seguridad	22	110	2420
4	Casco	22	5,9	129,8
5	Gafas de seguridad	162	3,5	567
6	Tapones auditivos	84	0,8	67,2
7	Guantes de Operador	66	2,25	148,5
8	Guantes de soldador API	36	5,8	208,8
9	Mangas	12	4	48
10	Camperas de soldador	5	20	100
11	Delantales	12	4	48
12	Facial	4	10,9	43,6
13	Mascarrilla para soldador	6	14,3	85,8
14	Filtro Mascarrilla de soldadores	18	6,05	108,9
15	Mascarrilla para polvo	105	0,85	89,25
16	Mascarrilla con filtro de carbono	84	1,25	105
17	Escafandra	1	200	200
SUBTOTAL 6				5623,85

1.2. Costos indirectos

Desembolsos que no pueden identificarse con la producción de mercancías o servicios específicos, pero que sí constituyen un costo aplicable a la producción en general.

Tabla 36:

Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS					
Mano de obra					
Ord.	Item	Cant.	Cant. Dias	Costo/Dia	Costo Total
1	Gerente General	1	-	-	4000
2	Gerente de Proyectos	1	-	-	3200
	<i>Aistente</i>				
3	Financiera/gerencia	1	-	-	600
4	Logística	1	-	-	650
SUBTOTAL 7					8450
Herramientas					
Ord.	Item	Cant.	Costo Unit	Costo Total	
1	Eslinga 2" x 6mt - 4 Tm	4	50,11	200,44	
2	Grillete 1"	4	55,78	223,12	
3	Grillete 7/8"	4	42,5	170	
4	Escalera Telescópica	1	337	337	
5	Cable acero 3/8" [mt]	60	1,9	114	
SUBTOTAL 8					1044,56

Continúa 

Alimentación y Hospedaje

Ord.	Item	#		Costo	Costo
		Personas	# Dias	Unitario	Total
1	<i>Alimentación</i>	6	42	11	2772
		16	21	11	3696
2	<i>Hospedaje</i>	6	42	11	2772
		16	21	11	3696
<i>SUBTOTAL 9</i>					<i>12936</i>

Miscelaneos

Ord	Item	Costo
1	<i>Complementos de oficina y papelería</i>	100
2	<i>Varios</i>	50
<i>SUBTOTAL 10</i>		<i>150</i>

1.3. Costo total

Para los costos totales se suma costos directos y costos indirectos, lo cual se muestra en la tabla 37

Tabla 37:

Costo Total

COSTO TOTAL		
Costos Directos		
Ord	Item	Costo
1	Subtotal 1	24820
2	Subtotal 2	48864,42
3	Subtotal 3	21420
4	Subtotal 4	22093,09
5	Subtotal 5	2616,4
6	Subtotal 6	5623,85
TOTAL COSTOS DIRECTOS		125437,76
Costos Indirectos		
Ord	Item	Costo
7	Subtotal 7	8450
8	Subtotal 8	1044,56
9	Subtotal 9	12936
10	Subtotal 10	150
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		22580,56
COSTO TOTAL		148018,32

CONCLUSIONES

- La ingeniería desarrollada en este proyecto sirve exitosamente en estos momentos para que la empresa FH-INGESERV/MATRYMEC construya el tanque en sitio para el cliente.
- Se identifican los siguientes requerimientos del cliente en la ingeniería conceptual: es necesario un tanque para el almacenamiento de agua del sistema contra incendios de la planta deshidratadora de gas en Bajo-Alto, Machala, de acero soldado, tipo vertical fuera de tierra y atmosférico, de capacidad 790 m³, de techo fijo cónico soportado con manhole de cuerpo y techo, puerta de limpieza, bocas de cuerpo y techo y escalera vertical
- En la ingeniería básica se llega a concluir después de analizar materiales disponibles en el mercado y los requerimientos del cliente que el tanque se construirá con planchas de acero A-36 de 1800mm de ancho y con espesor de 6 mm para el cuerpo y techo y 8 mm para el fondo. El tanque pesará aproximadamente 30 toneladas y tendrá un costo aproximado de materia prima de \$32 000.
- Se desarrollan en la ingeniería de detalle los planos aprobados para la construcción con todas las dimensiones y detalles de soldadura de todas las partes del tanque, se establece la cantidad necesaria de personal de ejecución con el tiempo de construcción necesario (4 soldadores calificados y esmeriladores, 1 montador y soldador de segunda, 2 ayudantes de montaje, 1 pintor y 3 ayudantes de pintura), insumos y consumibles; también se determina las pruebas e inspecciones necesarias para el control de calidad en la construcción que son las siguientes: inspección de soldadura, prueba neumática, prueba de caja de vacío, prueba diésel, prueba hidrostática, inspecciones de pintura. Adicional se pudo concluir que la norma API 650 maneja un factor de seguridad elevado, de 3.39 para el caso del primer anillo, relacionado con el aumento de espesor que se consideró por motivos constructivos y de 1.83 para la tapa del manhole, lo que conlleva a que el tanque no

falle mecánicamente, pero significa el aumento de costos directos del tanque, por lo que si se desea rebajar los costos especialmente de materiales, se podría realizar un diseño más detallado y específico de cada parte (por ejemplo cálculo de espesores)

- En el análisis económico se calculan los costos directos (mano de obra, materia prima, maquinaria y equipos, consumibles e insumos, herramientas, equipo de protección personal) que suman aproximadamente \$125 500 y los costos indirectos (mano de obra, herramientas, alimentación y hospedaje, misceláneos) que suman \$22 600; dando como resultado un costo total para la construcción del tanque de \$ 148 100.
- La norma API 650 tiene una amplia aplicación en la industria en la que se desarrolla la ingeniería mecánica, debido a que es una guía para el diseño de tanques de almacenamiento de cualquier clase de fluido que se encuentre a presión atmosférica.

RECOMENDACIONES

- Se debe manejar con un criterio de diseño apropiado la norma API 650, debido a que es solo una guía; por lo que se debe aplicar conocimientos de diseño mecánico determinando que es aplicable o no de la norma y la manera que el cliente desea realizarlo.
- Para futuros proyectos o investigaciones se sugiere realizar un análisis de diseño de espesores de materiales de la norma un poco más profundo, para así poder optimizar el material sin dejar de lado la certeza de que la construcción no fallará mecánicamente.
- Se sugiere realizar una medición de espesores después de 5 años de funcionamiento del tanque, para evaluar que estos estén dentro del límite de norma, debido a que en la zona de ubicación del tanque, éste está expuesto a condiciones de corrosión severas.

BIBLIOGRAFÍA

- American Institute of Steel Construction AISC. (1994). *Manual of Steel Construction Load and Resistance Factor Design*. Washington D.C.: American Institute of Steel Construction.
- American Petroleum Institute. (2004). *API Standard 620 Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks*. Washington D.C.: American Petroleum Institute.
- American Petroleum Institute. (2007). *API Standard 650 Welded Steel Tanks for Oil Storage*. Washington D.C.: American Petroleum Institute.
- American Society for Testing and Materials. (1997). *ASTM D 3359 Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test*. Washington D.C.: American Society for Testing and Materials.
- Blodget, O. W. (2000). *Design of Welded Structures*. Cleveland: The Jams F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Budynas, R. G., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Indura. (2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Cerrillos: Indura.
- Inglesa. (1994). *Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento*. México DF: Inglesa.
- León, J. (1994). *Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento*. México DF: Inglesa.
- León, J. (2001). *Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión*. México D.F.: Inglesa.
- Megyesy, E. F. (2001). *Pressure Vessel Handbook*. Tulsa: Pressure Vessel Publishing Inc.
- Myers, P. (1997). *Aboveground Storage Tanks*. Washington D.C.: McGraw-Hill.
- National Fire Protection Association NFPA. (2002). *NFPA 13 Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores*. Washington DC: NFPA.

- National Fire Protection Association NFPA. (2002). *NFPA 25 Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistema de Protección Contra Incendios a Base de Agua*. Dallas: NFPA.
- National Fire Protection Association NFPA. (2005). *NFPA 11 Norma para Espumas de Baja, Media y Alta Expansión*. Miami: NFPA.
- National Fire Protection Association NFPA. (2007). *NFPA 20 Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias de Protección contra Incendios*. Denver: NFPA.
- Petroamazonas EP - Ramiro Martínez/Henry Fonseca. (2013). *Especificación de Recubrimientos*. Quito: Petroamazonas EP.
- Petroecuador EP. (1992). *Norma PE-SHI-018 Sistemas de Agua Contra Incendios Para Instalaciones Petroleras*. Quito: Petroecuador EP.
- Restrepo, J. (2007). *Código API 650 y 653: Diseño, Montaje y Construcción de Tanques Soldados de Acero*. Bogotá: Elite Training.
- RNDS. (2004). Sistemas contra incendio. *Negocios de Seguridad*, 56-72.
- Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral España. (2003). *Guía Técnica Para la Prevención y Control de la Legionelosis en Instalaciones*. Madrid: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.
- The American Society of Mechanical Engineers. (2010). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code IX Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- The Lincoln Electric Company. (2002). *The Procedure Handbook of Arc Welding*. Cleveland: The Lincoln Electric Company.
- The Society for Protective Coatings. (2004). *SSPC Paint Application Standard No. 2 - Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gages*. Pittsburgh: The Society for Protective Coatings.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS IMÁGENES:

- Agar Corporation. (2012). *Automatic Tank Dewatering (ATD) System*.
Obtenido de Agar Corporation:
<http://www.agarcorp.com/literature/ATDKOCPerformance.html>
- AGI. (2012). *Tank Options*. Obtenido de AGI:
<http://www.envirotank.com/Tank-FieldErected.htm>
- Allbiz. (2013). *Instalación de Sistemas de Bombeo Contra Incendios*.
Obtenido de Allbiz: <http://www.mx.all.biz/instalacin-de-sistemas-de-bombeo-contra-incendio-s2043#.VE14bPmUe8B>
- ATN México. (2011). *Recipientes a Presión*. Obtenido de ATN México:
http://www.atnmexico.com/recipientes_a_presion.html
- Camin. (2013). *Construcción de Recipientes a Presión*. Obtenido de Camin:
<http://camin.com.ve/construccion-de-recipientes-a-presion/>
- CEAzul. (2013). *Fabricación y Montaje de Estructura Interior Para Soporte de Techo de Tanque de 100,000 Bls*. Obtenido de Construcciones y Edificaciones Azul: <http://www.ceazul.com/206/1/51/126.cfm?ii=112&bid=4&tid=155&id=113>
- Expower. (2011). *El Hidrante*. Obtenido de Expower:
<http://www.expower.es/hidrante-incendios.htm>
- Geo-Systems USA. (2014). *Field Erected Bolted Storage Tanks*. Obtenido de Geo-Systems USA: <http://geosystemsusa.com/fire-protection/fire-water-storage-tanks/field-erected-bolted-storage-tanks/>
- Grupo 3S. (2009). *Redes de Agua contra Incendios*. Obtenido de Grupo 3S:
http://www.grupo3s.pe/red_contra_incendios.php
- Grupo Almont. (s.f.). *Tanque Horizontal Para Almacenamiento de Agua Caliente*. Obtenido de Grupo Almont:
<http://www.grupoalmont.com.mx/es/tanques/135-tanque-vertical-para-almacenamiento-de-agua-caliente.html>
- IDM Uruguay. (2013). *Techos Flotantes Interno y Externo*. Obtenido de Ingeniería-Diseño-Montaje Uruguay: <http://www.idmuruguay.com/idm-old/techos-flotantes.php>

- Industria Agromecánica del Cauca. (2012). *Tanques, Tolvas y Silos*.
Obtenido de Industria Agromecánica del Cauca:
<http://www.inagromecanica.com/actividad-comercial/tanques-tolvas-y-silos-fabricante-de-bandas-transportadoras#>
- Osinergmin. (15 de Junio de 2012). *Segunda Ampliación de la Planta de Separación Malvinas*.
Obtenido de Osinergmin:
<http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Proyecto-Segunda-Ampliacion-Malvinas-15-06-Rev-0.pdf>
- Quiminet. (2013). *Realice el Venteo Libre de Forma Equilibrada Con el Mejor Elemento*.
Obtenido de Quiminet:
<http://www.quiminet.com/articulos/realice-el-venteo-libre-de-forma-equilibrada-con-el-mejor-elemento-3417487.htm>
- Recope. (23 de Agosto de 2013). *Contraloría Refrenda Contratación de Nuevos Tanques de Recope*.
Obtenido de Recope:
<https://www.recope.go.cr/contraloria-refrenda-contratacion-de-nuevos-tanques-de-recope/>
- Roldex. (2010). *Sistemas de Rociadores*.
Obtenido de Roldex:
<http://www.roldex.info/2008/12/sistemas-de-rociadores.html>
- Seguridad & Monitoreo. (2011). *Dispositivos de Alarmas de Incendio*.
Obtenido de Seguridad & Monitoreo:
<http://www.enseguridad.com.ar/biblioteca05.php3>
- Semper Chile. (2012). *Que es la protección pasiva contra incendios*.
Obtenido de Semper Chile: <http://semperchile.com/que-es-la-proteccion-pasiva-contra-incendios/>
- Servicios H&H. (2012). *Sistemas de Detectección de Incendios*.
Obtenido de Servicios H&H: <http://www.servicioshh.com/cincendio.html>
- SICA Metalúrgica Argentina. (2012). *PRODUCTOS*.
Obtenido de SICA Metalúrgica Argentina S.A.: <http://www.sica.com.ar/es/oilygas.php>
- Soluciones Para Agua. (2010). *Para Abastecimiento a Redes de Agua Fijas Contra Incendio de Hidrantes y/o Rociadores*.
Obtenido de Soluciones Para Agua: <http://www.solucionesparaagua.com.mx/Productos/EquipoContraIncendio.php>

- Suinca. (2010). *Formación*. Obtenido de Suinca:
http://www.suinca.com/?page_id=15
- Tankeros. (2014). *Productos*. Obtenido de Tankeros:
<http://www.tankeros.com/productos/>
- Textos Científicos. (2006). *Almacenaje de Fluidos*. Obtenido de Textos Científicos: <http://www.textoscientificos.com/quimica/almacenaje/almacenaje-fluidos>
- Vega, M. A., & Rodriguez, M. A. (6 de Agosto de 2009). *Se desploma tanque de agua acueducto de Sabana de la Mar* . Obtenido de El Nuevo Diario: <http://www.elnuevodiario.com.do/app/article.aspx?id=163118>