



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO ESTRUCTURAL, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE
VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA BAJO CÓDIGO API 650**

Erwin Antonio Marroquín Ortiz

Asesorado por el Ing. Ronny Ramiro Bran Palomo

Guatemala, enero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO ESTRUCTURAL, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE
VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA BAJO CÓDIGO API 650**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERWIN ANTONIO MARROQUÍN ORTIZ
ASESORADO POR EL ING. RONNY RAMIRO BRAN PALOMO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

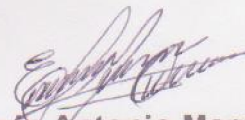
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Avila
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO ESTRUCTURAL, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA BAJO CÓDIGO API 650

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha octubre de 2011.



Erwin Antonio Marroquín Ortiz

Guatemala, 03 de Septiembre de 2012.

Ingeniero
Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del departamento de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero:

Por este medio le informo que el suscrito ha concluido con la revisión del trabajo de graduación titulado "**DISEÑO ESTRUCTURAL, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA BAJO CÓDIGO API 650**" elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil Erwin Antonio Marroquín Ortiz.

Considero que el trabajo en mención ha sido desarrollado satisfactoriamente cumpliendo los objetivos que motivaron el realizar dicho trabajo; por lo anterior, doy la aprobación y lo recomiendo para la autorización correspondiente.

Sin otro particular, me despido.

Atentamente,



Ing. Ronny Ramiro Bran Palomo
Asesor de trabajo de graduación
Colegiado 5999

Ronny Ramiro Bran Palomo
Colegiado 5,999



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt
5 de noviembre de 2012



Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de **DISEÑO ESTRUCTURAL, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA BAJO CÓDIGO API 650**, desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Civil Erwin Antonio Marroquín Ortiz, quien contó con la asesoría del Ing. Ronny Ramiro Bran Palomo.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

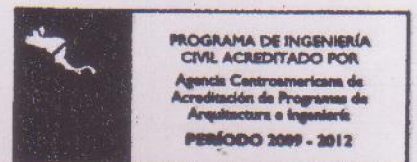

Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Ronny Ramiro Bran Palomo y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación del estudiante Erwin Antonio Marroquín Ortiz, titulado DISEÑO ESTRUCTURAL, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA BAJO CÓDIGO API 650, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

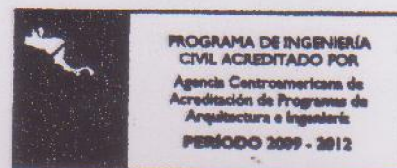

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero de 2013.

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 033 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO ESTRUCTURAL, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUE VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA BAJO CÓDIGO API 650**, presentado por el estudiante universitario: **Erwin Antonio Marroquín Ortiz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 29 de enero de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Mi luz, fuente de vida y sabiduría
Mis padres	Erwin Alberto Marroquín y Aura Marina Ortiz
Mis abuelos	Margarita Morales Alfredo Ortiz y Marco Antonio Marroquín
Mis hermanos	Lisbeth Marroquín Nieves Marroquín Luis Marroquín
Familia Marroquín en general	A mis tíos, tías y primos con mucho cariño
Familia Ortíz en general	A mis tíos, tías y primos con mucho cariño
La Universidad de San Carlos de Guatemala y Facultad de Ingeniería	Por haberme permitido ingresar, por los conocimientos adquiridos durante mi estadía en la facultad y por darme la oportunidad de cumplir mi meta

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por estar presente en cada paso que doy en mi vida, por darme sabiduría en todo momento, por la vida y por permitir que haya concluido con éxito la carrera de Ingeniería Civil.

Mis padres

Erwin Alberto Marroquín y Aura Marina Ortiz, por el apoyo incondicional en todo momento, por su amor, por cada uno de los consejos y por el gran ejemplo que son para mi vida.

Mis abuelos

Margarita Morales, Alfredo Ortiz y Marco Antonio Marroquín, por cada uno de sus sabios consejos, porque siempre tuvieron confianza en mí y porque son muy especiales para mi vida.

Mis hermanos

Lisbeth, Nieves y Luis Marroquín, por siempre confiar en mí y por el apoyo que siempre me dan.

Mi novia

Por estar conmigo en los buenos y malos momentos y por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.

Mi asesor

Ing. Ronny Bran, por su amistad, por la ayuda que me brindo para finalizar mis estudios, por sus consejos y experiencias compartidas.

Mi familia y amigos en general

Por todo el apoyo y cariño sincero que me han brindado durante mi vida y el transcurso de mi carrera.

Mis amigos de la facultad

Por haber compartido conmigo tantos buenos momentos y alegrías, por su amistad, y por su apoyo incondicional durante toda la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Definición de conceptos.....	1
1.2. Tipos de tanques.....	1
1.2.1. Según su geometría y posición.....	1
1.2.1.1. Cilíndricos horizontales.....	2
1.2.1.2. Cilíndricos verticales.....	2
1.2.2. Según su ubicación.....	2
1.2.2.1. Elevados.....	2
1.2.2.2. Enterrados.....	3
1.2.2.3. Semienterrados.....	3
1.2.2.4. Tanques a nivel del suelo.....	3
1.2.3. Según materiales de construcción.....	3
1.2.3.1. Metálicos.....	4
1.3. Códigos aplicables.....	4
1.4. Materiales utilizados.....	6
1.5. Soldaduras.....	8
1.5.1. Juntas verticales del cuerpo.....	9
1.5.2. Juntas horizontales.....	9

1.5.3.	Soldadura del fondo.....	10
1.5.3.1.	Soldaduras a tope.....	10
1.5.3.2.	Soldaduras a traslape.....	11
1.5.4.	Juntas de la placa anular del fondo.....	11
1.5.5.	Junta del cuerpo- fondo.....	12
1.5.6.	Juntas del techo y perfil de coronamiento.....	12
1.6.	Tipos de techos.....	12
1.6.1.	Techo fijo.....	12
1.6.2.	Sin techo o abiertos.....	13
1.7.	Tipos de fondos.....	13
1.7.1.	Unión traslapada.....	13
1.7.2.	Unión a tope.....	13
1.8.	Accesorios.....	14
1.8.1.	Boquillas.....	14
1.8.2.	Escaleras, plataformas y barandas.....	14
1.8.3.	Conexión a tierra.....	15
2.	ANÁLISIS Y DISEÑO.....	17
2.1.	Consideraciones de análisis y diseño.....	17
2.2.	Análisis y diseño de tanques de almacenamiento bajo código API 650.....	18
2.3.	Diseño del fondo.....	18
2.4.	Diseño del cuerpo.....	20
2.4.1.	Diseño de cuerpo método del pie.....	22
2.5.	Diseño de anillo de coronamiento.....	23
2.6.	Diseño por sismo.....	24
2.7.	Diseño por viento.....	26
2.7.1.	Rigidez.....	27
2.8.	Diseño de cimentación.....	32

2.8.1.	Esfuerzos verticales.....	33
2.8.2.	Esfuerzos horizontales.....	34
2.8.3.	Consideraciones del código API 650.....	37
2.8.4.	Consideraciones del ACI 318.....	37
3.	PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN.....	39
3.1.	Procedimiento de fabricación de la estructura en taller.....	39
3.2.	Corte de fondo.....	40
3.3.	Corte y rolado de cuerpo.....	41
3.3.1.	Corte del cuerpo.....	41
3.3.2.	Rolado de cuerpo.....	42
3.4.	Corte y rolado de accesorios.....	44
3.4.1.	Corte de accesorios.....	45
3.4.2.	Rolado de accesorios.....	45
3.5.	Acabados y aplicación de pintura.....	46
3.5.1.	Limpieza.....	46
3.5.2.	Pintura.....	47
4.	PROCEDIMIENTO DE MONTAJE.....	49
4.1.	Montaje y controles en campo.....	49
4.2.	Montaje y controles de fondo.....	50
4.3.	Montaje y controles de cuerpo.....	52
4.3.1.	Unión de juntas verticales.....	54
4.3.2.	Soldadura circunferencial fondo-cuerpo.....	54
4.3.3.	Montaje de los demás anillos.....	55
4.3.4.	Ángulos de coronamiento.....	55
4.3.5.	Montaje protección contra vientos.....	55
4.4.	Montaje y controles de accesorios.....	56
4.4.1.	Soldeo de accesorios.....	57

4.5.	Acabados y aplicación de pintura final.....	57
4.5.1.	Pintura interior y exterior.....	59
5.	ENSAYOS.....	61
5.1.	Tipos de ensayos.....	61
5.2.	Ensayos no destructivos.....	61
5.2.1.	Rayos X.....	62
5.2.2.	Ultrasonidos.....	65
5.2.3.	Líquidos penetrantes.....	67
5.3.	Ensayos destructivos.....	69
5.3.1.	Ensayo de tensión.....	70
5.3.2.	Ensayo de doblez.....	72
5.4.	Prueba de vacío.....	74
5.5.	Prueba hidrostática.....	76
6.	APLICACIÓN DE DISEÑO.....	79
6.1.	Diseño de tanque para almacenamiento de agua.....	79
6.1.1.	Diseño de paredes del cuerpo.....	81
6.1.2.	Diseño de placas del fondo.....	81
6.1.3.	Diseño por sismo.....	82
6.1.4.	Diseño por viento.....	85
6.2.	Diseño de cimentación.....	86
6.3.	Fabricación.....	89
6.3.1.	Fabricación de fondo.....	90
6.3.2.	Fabricación del cuerpo.....	92
6.4.	Montaje.....	94
	CONCLUSIONES.....	97
	RECOMENDACIONES.....	99

BIBLIOGRAFÍA.....	101
APÉNDICES.....	103
ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Uniones típicas verticales.....	9
2.	Uniones típicas horizontales.....	10
3.	Uniones placa de fondo.....	11
4.	Detalle de rigidizador.....	28
5.	Acción de carga de viento en el tanque.....	31
6.	Consideraciones para el rolado de placas.....	44
7.	Defecto por escorias.....	63
8.	Equipo para ultrasonidos en soldaduras.....	65
9.	Ensayo de líquidos penetrantes.....	68
10.	Dimensiones de probeta para ensayo a tracción.....	71
11.	Probetas de doblado de raíz y de cara.....	73
12.	Caja de vacío.....	75
13.	Nivel máximo de llenado.....	77
14.	Detalle de cimentación.....	89
15.	Armado del fondo para el tanque.....	91
16.	Sistema de corte semiautomático.....	91
17.	Rolado de planchas metálicas.....	93
18.	Procedimiento de <i>Sandblast</i>	93
19.	Montaje de fondo.....	94
20.	Montaje del cuerpo del tanque.....	95
21.	<i>Sandblasting</i> en juntas.....	96

TABLAS

I.	Espesores para planchas de fondo anular.....	20
II.	Espesores para planchas del cuerpo.....	21
III.	Datos para diseño de tanque.....	79
IV.	Tabla de resumen.....	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
V_A	Ajuste de velocidad mayor a 100 Mph
X_s	Altura desde el fondo al centro de gravedad del tanque
X₁	Altura desde el fondo del tanque al centroide de W1
X₂	Altura desde el fondo del tanque al centroide W2
H_t	Altura total del cuerpo tanque
b	Ancho de anillo de cimentación
A	Ancho de la placa anular
W_{tr}	Ancho transformado del anillo
A	Área
A	Área de refuerzo en pulgadas cuadradas
A_l	Área del refuerzo longitudinal
A_t	Área del refuerzo transversal
S	Coefficiente de amplificación según el terreno
C1	Coefficiente de fuerza lateral sísmica 1
C2	Coefficiente de fuerza lateral sísmica 2
K_a	Coefficiente de presión activa
Z	Coefficiente sísmico
CA	Corrosión Admisible
d_{bl}	Diámetro de varilla corrugada longitudinal
d_{bt}	Diámetro de varilla corrugada transversal
D	Diámetro nominal del tanque

H1	Distancia vertical entre la viga contra viento intermedia y el ángulo superior o la viga superior contra viento de un tanque de extremo abierto.
σ_c	Esfuerzo de compresión sobre el suelo
f_s	Esfuerzo de tensión con cargas de servicio
Sd	Esfuerzo permisible por condiciones de diseño
St	Esfuerzo permisible por prueba hidrostática
@	Espaciamiento de estribos
t_b	Espesor de la placa anular
t	Espesor nominal de planchas
t_t	Espesor por prueba hidrostática
t_d	Espesores por condiciones de diseño
I	Factor de importancia
S	Factor de sitio obtenido
σ_P	Fuerza de tensión en libras por pie lineal
Ft	Fuerza total a tensión
C°	Grados centígrados
G	Gravedad específica del líquido a almacenar
KPa	Kilo Pascales
b	La fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo
MPa	Mega Pascales
m	Metros
mm	Milímetro
MPH	Millas por hora
Fby	Mínimo esfuerzo de cedencia de la placa del fondo
z	Mínimo módulo de sección requerido
M	Momento de volteo por sismo
Mw	Momento de volteo por viento
H	Nivel máximo de diseño del líquido

Pa	Pascal
h_s	Peralte de cimiento en pies
P_{tanque}	Perímetro del tanque
T	Período natural de ondulación
W1	Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve conforme al cuerpo del tanque.
W_{fondo}	Peso del fondo
Wl	Peso del líquido contenido
W'	Peso distribuido sobre el cimiento
W2	Peso efectivo de la masa contenida en el tanque que se mueve en el primer oleaje.
γ_L	Peso específico del líquido
γ_s	Peso específico del suelo
Ws	Peso total del cuerpo del tanque
Wr	Peso total del techo del tanque más la carga viva
'	Pies
Pv	Presión del viento
PL	Presión sobre el suelo provocado por el líquido
''	Pulgadas
R	Radio de tanque
V	Velocidad del viento

GLOSARIO

ACI	Instituto Americano del Concreto.
Anclaje	Evitar desplazamientos de la estructura en todas las direcciones y bajo ciertas condiciones contrarrestar el efecto de volteo.
API	Instituto Americano del Petróleo.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
ASTM	American Society of Testing Material
Carga hidrostática	La presión ejercida por un líquido en reposo.
Capacidad soporte	Propiedad que posee el suelo para poder resistir las cargas externas que actúan sobre él.
Carga muerta	La fuerza debida al peso propio de los elementos a considerar.
Carga viva	La fuerza ejercida por cuerpos externos.
Código	Conjunto de mandatos dictados por una autoridad competente.

Corrosión	Desgaste que se presenta en elementos estructurales por factores externos como humedad, óxido, etc.
Espesor mínimo	Se refiere al requerido para las placas del tanque atmosférico o cualquiera de sus partes, antes de agregar el espesor por corrosión.
Espesores de diseño	Se refiere al valor obtenido mediante cálculos tomando en consideración las condiciones de servicio del tanque atmosférico, incluyendo la tolerancia por corrosión.
Gravedad específica	Propiedad física que posee un líquido, esta resulta entre la relación de peso específico de un líquido por el peso específico del agua.
Momento	Magnitud que resulta de la multiplicación de una fuerza por una distancia a un punto referente.
Nivel de diseño	Es la altura o nivel del producto manejado, medida desde el fondo del tanque, considerada para el diseño.
Norma	Conjunto de reglas para el dimensionamiento y cálculo de accesorios.
Peso específico	Propiedad física que posee cualquier material este resulta de su peso por unidad de volumen.

Presión atmosférica	Es la producida por el peso del aire y su valor depende de la altura del sitio indicado sobre el nivel del mar.
Presión de operación	Presión manométrica a la cual estará sometido el tanque en condiciones normales de trabajo.
Presión de prueba	Valor de la presión manométrica que sirve para realizar la prueba hidrostática o neumática.
Tanque	Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presiones internas relativamente bajas.

RESUMEN

En el presente trabajo describe en forma general los conceptos básicos para el diseño de tanques verticales de acero, cimentados a nivel del suelo, enfocándose en el diseño del cuerpo, fondo y cimentación de éste. Además se presentan consideraciones para la fabricación de cada elemento que conforman el tanque, como también en éste se encuentran algunos de los procedimientos y controles para efectuar un buen montaje de estos tipos de tanques.

El primer capítulo se enfoca en presentar información sobre algunos tipos de tanques y generalidades de los tanques verticales de acero (tanques API), que van desde los tipos de materiales utilizados para su fabricación, códigos aplicables, funcionamiento, hasta características de mayor importancia. Seguido se encuentra el capítulo dos, el cual describe los parámetros para lograr el diseño más adecuado para la estructura, basado en el código API 650, enfocándose en el diseño del cuerpo, fondo y cimentación del tanque.

El objetivo es diseñar la estructura que será capaz de almacenar un volumen de agua determinado, la cual sea capaz de resistir la presión inducida por el agua como también las fuerzas externas del sismo y viento, las cuales pueden producir deformaciones y volcamientos en la estructura.

Las consideraciones y controles para la fabricación, montaje y pruebas o ensayos, para estas estructuras, son temas muy importantes, ya que si no se conocen, se pueden tener deficiencias que perjudiquen al diseño o al proyecto total, estas pueden producir problemas graves y afectar directamente a la estructura ocasionando malos funcionamientos o el colapso de la misma, por lo

que en los capítulos tres, cuatro y cinco, se hace mención de los aspectos más importantes para la fabricación, montaje y pruebas necesarias para garantizar el buen funcionamiento de estos tanques.

Ya con toda la información descrita anteriormente, se muestra un último capítulo, el cual encierra toda la información en una guía práctica, la cual describe el procedimiento para el diseño del cuerpo, fondo y cimentación, como también la fabricación y procedimientos de montaje, para esta estructura tomando como base las consideraciones descritas en el código API 650.

OBJETIVOS

General

Plantear un procedimiento práctico y sencillo para el diseño, fabricación y montaje de tanques para almacenamiento de agua, enfocado en el diseño del cuerpo, fondo y cimentación, bajo el código API 650.

Específicos

1. Dar a conocer las características y ventajas que pueden tener este tipo de tanques, enfocados al almacenamiento de agua.
2. Conocer los factores que influyen en el diseño para este tipo de tanque como también los que influyen para el diseño de una cimentación que se adecúe a esta estructura.
3. Conocer aspectos básicos sobre la fabricación y controles para montaje de estas estructuras.
4. Realizar una guía práctica que incluya el diseño, fabricación y montaje de la estructura y su cimentación.

INTRODUCCIÓN

Para Guatemala como para todo el mundo, el agua es un recurso muy importante e indispensable para todos los seres del planeta, tanto para su supervivencia como para realizar desde labores tan simples como el regado de un patio, hasta labores grandes como procesos industriales. El agua es tan importante que se ve la necesidad de buscar métodos y formas para contenerla, ya que esta se utiliza en grandes cantidades, en áreas industriales, agrícolas, municipales, etc.

El método más utilizado para el almacenamiento del agua es a través de la construcción de cuerpos o estructuras capaces de contener dicho líquido. Las estructuras utilizadas para esto son conocidas como tanques para almacenamiento de fluidos, estos tanques son capaces de almacenar líquidos de distintas densidades tomando en cuenta que el diseño de estos tanques, depende de lo que se almacenará en ellos.

Por tanto, este trabajo propone el diseño, fabricación y montaje de tanques verticales de acero, enfocándose en el diseño del cuerpo, fondo y cimentación para este tipo de estructuras. Estos tanques presentan ventajas como, gran capacidad de almacenaje, rapidez para la construcción y montaje de la estructura, etc.

El diseño del cuerpo y fondo está basado según lo especificado en la Norma API 650 la cual indica los parámetros y requisitos mínimos de diseño para tanques cilíndricos verticales, cimentados sobre el nivel del suelo y el

diseño de la cimentación está basado en las recomendaciones dadas por la Norma API 650, auxiliándose de recomendaciones dadas por el código ACI 318.

1. GENERALIDADES

1.1. Definición de conceptos

Con la finalidad de facilitar y aumentar la comprensión en el presente trabajo, se presentan algunas definiciones, las cuales se deben conocer ya que son importantes para el desarrollo de este trabajo.

1.2. Tipos de tanques

Un tanque es un cuerpo que permite la retención o almacenamiento de fluidos individuales o mezclas en su interior.

Existen distintos tipos de tanques para almacenamiento de fluidos, los tanques utilizados para el almacenamiento de líquidos, se clasificarse según:

- Según su geometría y posición
- Según su ubicación
- Según materiales de construcción

1.2.1. Según su geometría y posición

La geometría de un tanque es una característica muy importante ya que con esta se pueden realizar análisis económicos para así tener un máximo aprovechamiento de los materiales y obtener una reducción de costos. Por su geometría los más conocidos son: cilíndricos horizontales y cilíndricos verticales de fondo plano.

1.2.1.1. Cilíndricos horizontales

Los tanques cilíndricos horizontales, generalmente contienen volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión.

1.2.1.2. Cilíndricos verticales

Los tanques de este tipo son muy utilizados ya que tienen la cualidad de almacenar volúmenes muy grandes de líquidos y a un bajo costo, ya sea para retención o para abastecimiento. Se recomienda que estos tanques sean diseñados con una forma cilíndrica, y además estos pueden ser con techo o sin techo, estos tipos de diseños dependen del uso final o requerido que tendrá el tanque.

1.2.2. Según su ubicación

Otra forma en la que se pueden clasificar los tanques de almacenamiento es la clasificación respecto a su ubicación, está a su vez se divide en: elevados, semienterrados, enterrados, y los que están a nivel de suelo.

1.2.2.1. Elevados

Los tanques elevados son construidos sobre el nivel del suelo, estos pueden estar apoyados en torres, columnas, pilotes, etc. Estos tipos de tanques generalmente tienen forma cilíndrica pero también pueden tener forma esférica.

1.2.2.2. Enterrados

Estos tanques son a los que comúnmente se les conoce como tanques cisternas y son muy utilizados para el almacenamiento de combustibles en gasolinera. Estos normalmente son construidos con forma cilíndrica pero también pueden construirse con forma rectangular.

1.2.2.3. Semienterrados

Estos tipos de tanques son construidos para que un porcentaje de su volumen se encuentre bajo la superficie del suelo y lo demás sobre la superficie. Estos poseen forma rectangular y circular.

1.2.2.4. Tanques a nivel del suelo

Estos son conocidos como tanques verticales de fondo plano. Estos poseen todo su volumen sobre la superficie del suelo, estos deben de estar soportados al centro por cimentaciones de concreto en forma de anillo. Dependiendo de las condiciones del suelo esta puede variar.

1.2.3. Según materiales de construcción

En esta clasificación los materiales más comunes que se utilizan se pueden clasificar en: metálicos y no metálicos. El seleccionar el material es muy importante ya que de esto depende el costo que tendrá la construcción del tanque como también la facilidad y rapidez de la construcción, resistencia a la corrosión, mantenimiento, etc.

1.2.3.1. Metálicos

En estos tanques es utilizado principalmente como material, el acero y sus variaciones como el inoxidable, además del aluminio. Los estanques de acero son los más comunes debido a que es un material abundante, muy fácil de adquirir; además que la construcción con este material es rápida, eficiente y de bajo costo. Estos tanques pueden ser utilizados para contener líquidos o gases.

1.3. Códigos aplicables

En la actualidad, los tanques para almacenamiento de agua pueden ser diseñados basándose en distintas normas y códigos. Los códigos y normas a utilizarse van de acuerdo con el tipo de material que será almacenado.

Los códigos que se utilizan para construir estas estructuras desarrollados, revisados y editados por instituciones u organismos como ASME, AWS, API, NFPA, AISC, etc. Estas realizan una combinación entre el conocimiento teórico y experiencia lo cual mejora los diseños y métodos de construcción.

En este trabajo, el tanque en estudio es atmosférico, por lo que el código a aplicar es el API-650. Este estándar cubre requerimientos para materiales, diseño, fabricación, montaje y pruebas de tanques soldados verticales cilíndricos, no enterrados con extremo superior abierto. El código no establece tamaños específicos de tanques, por el contrario, se puede escoger cualquier tamaño que sea necesario.

Se recomienda que se utilice la última edición del código para realizar el diseño de estas estructuras. La siguiente es una lista de los principales códigos y estándares referenciados:

API

- Spec 5L. Especificación para tubería de líneas.
- TD 620. Diseño y construcción de tanques grandes, soldados, de baja presión.
- RP 651. Protección Catódica.
- RP 652. Recubrimientos de los fondos de tanques.
- RP 653. Reparaciones de tanques.
- STD 2 000. Venteo de tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión.
- RP 2 350. Protección de sobre-llenado para tanques de almacenamiento en instalaciones petroleras.

AISC

- Manual de construcción de acero. Diseño por esfuerzos admisibles ASD.

ASCE

- STD 7. Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras.

ASME

- B1.20.1. Roscas en tuberías, propósito general.
- B16.1. Bridas y accesorios bridados de tuberías, en fundición de hierro.
- B16.5. Bridas y accesorios bridados de tuberías.
- B16.47. Bridas de acero de gran diámetro: 26 NPS hasta 60 NPS.

ASTM

- Especificaciones de materiales y pruebas y ensayos de materiales.

AWS

- A5.1. Especificación de electrodos revestidos de acero al carbono para soldadura de arco.
- A5.5. Especificación de electrodos revestidos de acero de baja aleación para soldadura de arco.
- D1.2. Código de estructuras soldadas - Aluminio.

NFPA

- 11. Estándar para espuma de baja expansión.
- 30. Código de líquidos inflamables y combustibles.

1.4. Materiales utilizados

Las características y especificaciones de los materiales utilizados para el diseño de tanques serán las citadas en la Norma A.P.I. 650, sección 2. En esta sección se encuentran los tipos de planchas y aceros que son recomendados para la construcción de los tanques.

También es posible el utilizar y aplicar materiales que no aparezcan en la norma, siempre y cuando cumplan con los requisitos del apéndice B del estándar. A continuación listamos los materiales más usados con su aplicación.

Estándar ASTM

A-36. Acero estructural.

- Sólo para espesores iguales o menores de 38 milímetros. Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

A-131. Acero estructural.

- GRADO A para espesor menor o igual 12,7 milímetros.
- GRADO B para espesor menor o igual a 25,4 milímetros.
- GRADO C para espesores iguales o menores a 38,1 milímetros.
- GRADO EH36 para espesores iguales o menores a 44,5 milímetros.

A-283. Placas de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión.

- GRADO C. Para espesores iguales o menores a 25,4 milímetros. Este es uno de los más utilizados ya que puede ser usado para pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

A-285. Placa de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión.

- GRADO C. Para espesores iguales o menores de una pulgada. Es el material recomendable para la construcción del tanque, el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.

A-516. Placa de acero al carbón para temperaturas de servicio moderado.

- GRADOS 55, 60, 65 y 70. Para espesores iguales o menores a 38,1 milímetros. Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo. (Tanques a presión alta).

A-53. Grados a y b. Utilizados en tubería en general.

A-106. Grados a y b. Tubos de acero al carbón sin costura para servicios de alta temperatura.

1.5. Soldaduras

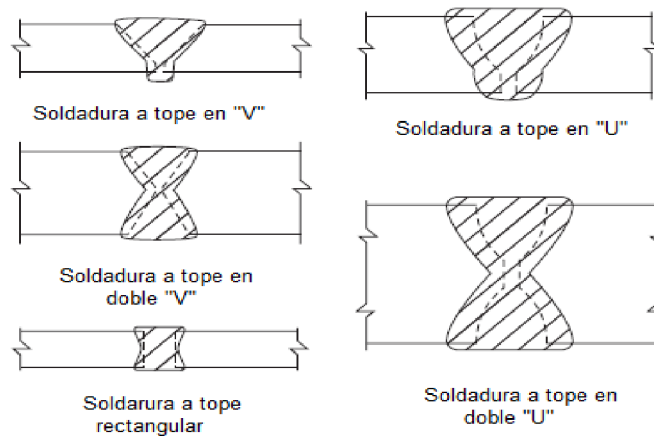
Esta es una parte fundamental para la fabricación de estas estructuras, ya que esta hace la integración de todas las partes en un solo elemento. Estas pueden realizarse por procesos manuales o automáticos, ambos procesos deberán tener penetración completa, eliminando la escoria dejada al aplicar un cordón de soldadura.

Se debe de tener en cuenta que el diseño del tanque debe ser diseñado procurando que todos los cordones de soldadura se apliquen de forma horizontal y vertical. Además los cordones deben de ser paralelos, para el cuerpo y fondo.

1.5.1. Juntas verticales del cuerpo

Esta soldadura debe ser penetración completa, se debe obtener la misma calidad del metal en el interior y exterior para así cumplir con los requerimientos de soldadura. Las juntas deben ser paralelas entre si y tener una distancia mínima de 5 veces el espesor de la placa ($5t$) y no deben de coincidir longitudinalmente. Este tipo de juntas se muestra en la figura 1.

Figura 1. Uniones típicas verticales

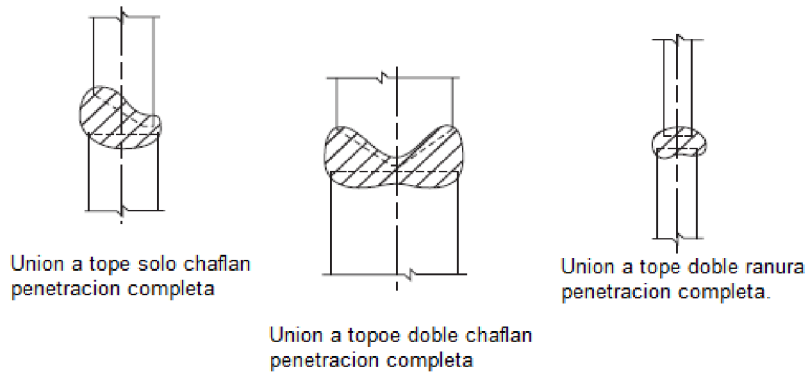


Fuente: código API 650-07, p. 5-2.

1.5.2. Juntas horizontales

Al igual que las verticales deben ser de penetración completa, excepto la que se realiza entre el ángulo de coronamiento y el cuerpo. La junta a tope con o sin bisel entre las placas del cuerpo, deberá tener una línea de centros o fibra media común, o alinearla hacia el extremo interno del tanque por conveniencia. En la figura 2, se muestra este tipo de juntas.

Figura 2. **Uniones típicas horizontales**



Fuente: código API 650-07, p. 5-2.

1.5.3. **Soldadura del fondo**

Es muy importante que estas se realicen de manera adecuada, ya que de ellas depende la buena integración de las partes que conforman el fondo. Estas deben realizarse de acuerdo a la Norma API 650 y pueden utilizarse procesos tanto manuales como automáticos.

1.5.3.1. **Soldaduras a tope**

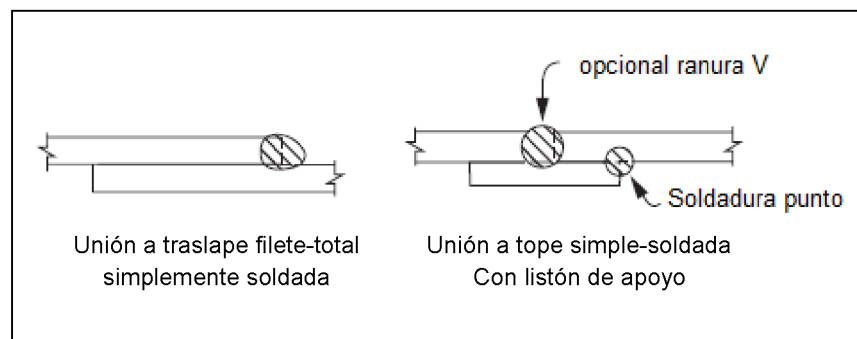
Si se utilizan biseles tipo V, la raíz de la abertura no deberá ser mayor a 1/4 de pulgada o 6,35 milímetros. Se recomienda que las placas del fondo tengan punteada una placa de respaldo de 1/8 pulgadas o 3,2 milímetros de espesor o mayor que la abertura entre placas. Si se hacen uniones de tres placas en el fondo, éstas deberán tener una distancia mínima un pie entre sí o con respecto a la pared del tanque. Este tipo de soldadura se puede ver en la figura 3.

1.5.3.2. Soldaduras a traslape

Es importante el tener en cuenta que el traslape entre placas no debe ser menor de $1\frac{1}{4}$ de pulgada además deben de estar a escuadra y tener forma rectangular.

Las placas del fondo deben ser soldadas con un filete continuo a lo largo de toda la unión. En la unión de una placa anular, la menor distancia que se debe de tener a cualquier cordón de soldadura del interior del tanque o del fondo, será de dos pies. En la siguiente figura se muestra los dos tipos de soldadura en el fondo.

Figura 3. Uniones placa de fondo



Fuente: código API 650-07, p. 5-3.

1.5.4. Juntas de la placa anular del fondo

En el fondo la placa anular tendrá las mismas características que el material de fondo y deberá tener las mismas características de soldadura que las juntas a tope además deben de tener una penetración y fusión completa.

1.5.5. Junta del cuerpo- fondo

En estas juntas si las placas del fondo y cuerpo son de espesor menor o igual a media pulgada, la unión entre el fondo y las placas del cuerpo tendrá que ser hecha con un filete continuo de soldadura que descansa de ambos lados de la placa del cuerpo.

1.5.6. Juntas del techo y perfil de coronamiento

Las placas del techo se soldaran al anillo de coronamiento con un filete continuo por el lado superior únicamente. Es importante saber que el tamaño del filete debe de ser igual al espesor más pequeño. Todas las secciones que conformen el perfil de coronamiento estarán unidas por cordones de soldadura que tengan penetración completa.

1.6. Tipos de techos

La clasificación para los tipos de techos, será de acuerdo a lo citado en el código A.P.I. 650, el clasificar los techos proporciona información acerca del servicio recomendable para éstos.

1.6.1. Techo fijo

Este tipo de techo es muy utilizado para el almacenamiento de fluidos no volátiles y no inflamables como son: agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc. Estos se utilizan también para dar protección del polvo y de partículas que puedan dañar o afectar el líquido contenido.

1.6.2. Sin techo o abiertos

Estos techos son muy utilizados en industrias agrícolas, alimenticias, etc., ya que 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.

1.7. Tipos de fondos

El fondo es una parte importante de los tanques de almacenamiento ya que evitan que los líquidos tengan contacto directamente con el suelo. Se debe tener en cuenta, que este no requiere de un diseño tan minucioso ya que el peso del líquido que este almacena es soportado por la fuerza de reacción que ejerce el suelo al tanque.

Los tipos de fondos se clasifican por la forma, en que las planchas que conforman a estos, se encuentran unidas. Entre los tipos de fondos tenemos los fondos de unión traslapada y los de unión a tope.

1.7.1. Unión traslapada

Este tipo de fondo se caracteriza por que las planchas están unidas por medio de traslapes no mayores a 2,54 centímetros. Este tipo de fondo tiene como ventaja de que puede ser económico, y de colocación rápida y sencilla.

1.7.2. Unión a tope

Estos fondos se caracterizan en que las placas de acero están colocadas continuamente una a la par de la otra y unidas a tope. Para evitar deformaciones

por soldadura se recomienda al realizar esta unión se utilice un filete de acero delgado como respaldo.

1.8. Accesorios

Los accesorios, son cada uno de los elementos que complementan al tanque estos sirven tanto para la introducción como para el desfogue de los líquidos a retener, como también los que ayudan a la entrada y salida de personas a la estructura.

1.8.1. Boquillas

Las boquillas son muy importantes en estos tanques, ya que a través de estas se permite la entrada o salida del producto, personas para dar mantenimiento y servicio, venteo, etc. Los tanques de almacenamiento deben estar provistos de boquillas, las mínimas requeridas que deben ser instaladas en los tanques de almacenamiento son:

- Entrada de hombre
- Entrada y salida de de producto
- Drene
- Puerta de limpieza (opcional)
- Venteo

1.8.2. Escaleras, plataformas y barandas

El fin de estas instalaciones es el facilitar que el personal llegue a una zona determinada del tanque, ya sea por necesidad de limpieza o constante mantenimiento. Son muy útiles para facilitar la supervisión, además son

obligatorias ya que brindan protección y seguridad al personal de mantenimiento y supervisión. Se deben de tener ciertas consideraciones para las plataformas y escaleras a continuación se mencionan algunas.

Requerimientos para plataformas

- Todos los componentes deben ser metálicos.
- El ancho mínimo del piso es de 610 milímetros.
- Todo el piso debe ser de material antiderrapante.
- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del espesor de la placa del pasillo es de 6,35 milímetros.

Requerimientos para escaleras

- Todas las partes de la escalera son metálicas.
- El ancho mínimo de la escalera es de 610 milímetros.
- El ancho mínimo de los peldaños es de 203 milímetros.
- Los peldaños deben estar hechos de rejilla o material antiderrapante.

1.8.3. Conexión a tierra

Esta es muy importante ya que es una conexión que se efectúa con el fin de proteger el tanque contra descargas eléctricas producidas por rayos, por campos electrostáticos producidos por formaciones nubosas. Esta conexión debe de estar diseñada de acuerdo a las características y requerimientos del proyecto.

2. ANÁLISIS Y DISEÑO

2.1. Consideraciones de análisis y diseño

Se debe de tener en cuenta que el diseño de estos tanques está en función de las características del líquido que almacenara, además de características del lugar y la zona de donde se planea ubicar dicha estructura. La información que se necesita como mínimo para realizar el diseño de estas estructuras es: volumen, temperatura, peso específico del líquido, corrosión permisible, velocidad del viento, coeficientes sísmicos de la zona, etc.

La información requerida para el diseño debe de ser proporcionada por el usuario ya que es él quien conoce con exactitud el fluido que se almacenará y el lugar en donde necesita instalar el tanque.

Además del líquido a almacenarse, se debe de tener en consideración las fuerzas de carácter natural que son ejercidas en el tanque las más importantes para análisis son las fuerzas de viento y de sismo.

El viento es uno de los factores que no se pueden pasar por alto al diseñar estas estructuras ya que este afecta al tanque de maneras diferentes dependiendo del área o región en donde este se encuentre instalado. El viento introduce fuerzas en la estructura causando lo que se puede llamar como un momento de volteo por lo cual se debe de determinar la estabilidad del estanque bajo carga o presión del viento. Es muy importante el tener esto en cuenta para evitar daños a la estructura.

Otro de los factores muy importantes es la consideración de las cargas de sismos la cuales también producen un momento de volteo el cual afecta directamente a la estructura. El código API 650 indica que el momento de volteo, es provocado por la fuerza ejercida en el centro de gravedad del estanque con el brazo de palanca respecto del fondo.

2.2. Análisis y diseño de tanques de almacenamiento bajo código API 650

Como se ha mencionado anteriormente la Norma API-650 es aplicable en diseños de tanques verticales, cilíndricos, construidos sobre el nivel de piso, los cuales pueden ser con techo cerrado o cielo abierto. La norma recomienda usar como parámetro de diseño una presión que no sobrepase los 2,5 libras sobre pulgada cuadrada.

Esta norma nos provee de muchos parámetros para realizar un diseño que cubra las necesidades que busca el usuario además proporciona parámetros que se pueden utilizar para el diseño de tanque de almacenamiento para distintos líquidos o fluidos. Algo muy importante y conveniente de esta norma es que no limita el tamaño de los tanques a construirse, por lo que es posible construir tanques para volúmenes grandes.

2.3. Diseño del fondo

Esta es una parte muy importante ya que en el fondo del tanque se producen grandes presiones y de no estar bien diseñado este puede fallar ocasionando daños en la estructura. El diseño del fondo de los tanques de almacenamiento depende de las siguientes consideraciones:

- El tamaño del tanque
- La corrosión que puede producirse en el fondo del tanque
- El tipo y calidad de cimiento utilizado para soportar el tanque
- El líquido o fluido almacenado en el tanque
- El grado de sedimentación de sólidos en suspensión
- La forma o método a emplearse para drenar el líquido almacenado

Comúnmente se utilizan placas de acero para fabricar el fondo de estos tanques, estas placas por lo general tiene un espesor menor al utilizado en el cuerpo del tanque. El tipo de fondo que satisface las condiciones es el fondo plano, pero se debe de tener en cuenta que la resistencia permisible del suelo no deberá de ser menor que 1 465 kilogramos sobre centímetro cuadrado.

Se debe de tener en cuenta que el fondo siempre debe de tener un diámetro más grande que el diámetro exterior del tanque, por lo menos debe de tener 51 milímetros. Más en el ancho del filete de soldadura de la unión entre cuerpo y el fondo. De acuerdo con el API 650 cuando el análisis sísmico indica que se requiere el uso de la placa anular, ésta no debe de tener un ancho radial menor a 610 milímetros. El ancho radial se puede determinar de acuerdo a lo que indique la siguiente ecuación.

$$A = \frac{215 t_b}{(HG)^{0,5}}$$

Donde:

t_b = Espesor de la placa anular (milímetros)

H = Nivel máximo de diseño del líquido (metros)

G = Densidad relativa del líquido a almacenar, nunca < 1

En el fondo las placas pueden ser soldadas a tope con placa de respaldo o traslape. Para conocer los espesores que puede tener la placa anular se muestra la siguiente tabla, en la que se encuentra dicha información.

Tabla I. **Espesores para planchas de fondo anular**

Espesor Mínimo (mm.) del Primer Anillo del Cuerpo	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo (MPa)			
	<190	<210	<230	<250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 38$	8	11	14	17
$38 < t \leq 45$	9	13	16	19

Fuente: código API 650-07, p. 5-10.

Estos espesores están basados en una cimentación que proporcione un soporte uniforme debajo de toda la placa anular. La cimentación debe estar bien compactada para evitar esfuerzos adicionales en la placa anular además el espesor nominal de la placa está en referencia a la construcción del tanque.

2.4. Diseño del cuerpo

En el cuerpo del tanque, para diseñar el espesor de las placas que lo conformaran, este espesor debe de ser mayor al encontrado mediante cálculos acorde a las condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática. El espesor en ningún caso deberá de ser menor a los espesores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla II. **Espesores para planchas del cuerpo**

Diametro nominal del tanque (m)	Espesor de placa (mm)
< 15	5
15 to < 36	6
36 to 60	8
> 60	10

Fuente: código API 650-07, p. 5-11.

Para el cálculo de los espesores de las placas de acero, que conformaran el cuerpo o paredes del tanque, el cálculo se hace en base a que estará lleno hasta un nivel “H” y que la densidad relativa del fluido a almacenar estará basada según el fluido que especifique el usuario. El espesor por condiciones de prueba hidrostática se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua.

El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no debe ser mayor que el permitido por el material y su espesor no es menor que el de los anillos subsecuentes. Para conocer los esfuerzos máximo permisible de diseño (Sd) y de prueba hidrostática (St), se muestra la siguiente tabla, recomendada por la Norma API 650. Cuando se considera la denominación ASTM.

Los valores de Sd y St de los materiales que se muestran en el anexo 1, tabla I, son para obtener los espesores de la pared, utilizando el método del pie. El método del pie puede aplicarse para tanques que tengan un diámetro menor o igual a 60 metros, para tanques de mayor diámetro se debe utilizar el método de diseño del punto variable.

Cuando no se utilizan las especificaciones ASTM, el esfuerzo de diseño y de prueba hidrostática se obtiene de las siguientes relaciones, seleccionando el de mayor valor:

$$\text{Esfuerzo de diseño:} \quad S_d = \frac{2}{3} S_y \quad \text{o} \quad S_d = \frac{2}{5} S_T$$

$$\text{Esfuerzo por prueba hidrostática:} \quad S_t = \frac{3}{4} S_y \quad \text{o} \quad S_t = \frac{3}{7} S_T$$

2.4.1. Diseño de cuerpo método del pie

Este método sirve para calcular el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, este método considera una sección transversal ubicada a 1 pie por debajo de la unión de cada anillo.

Este método consiste en seleccionar un valor más grande que los calculados mediante las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$t_d = \frac{4,9D(H - 0,3)G}{S_d} + C_A$$

$$t_t = \frac{4,9D(H - 0,3)}{S_t}$$

Donde:

t_d = Espesores por condiciones de diseño, en milímetros

t_t = Espesor por prueba hidrostática, en milímetros

D = Diámetro nominal del tanque, en metros

H = Nivel de diseño del líquido en metros. (Altura desde la parte baja del anillo considerado al perfil de coronamiento, o cualquier nivel indicado por el usuario, restringido por techos flotantes o cálculos por sismo).

G = Gravedad específica de diseño del líquido a almacenar o del agua para cálculo por prueba hidrostática.

CA = Corrosión Admisible, en milímetros

Sd= Esfuerzo permisible por condiciones de diseño, en mega pascales

St = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática, en mega pascales

Se debe de recordar que con respecto a la soldadura, todas las juntas deben ser de penetración y fusión completa, da tal manera que se obtenga la misma calidad del metal depositado en el interior y el exterior. Las juntas no deben ser colineales, pero deben de ser paralelo entre sí a una distancia mínima de 5 veces el espesor de la placa.

2.5. Diseño de anillo de coronamiento

Todos los estanques deben tener un perfil o anillo de coronamiento ubicado en la parte superior del tanque, este con el fin de darle una mayor resistencia y conformación al tanque ya que las fuerzas que se introducen por el viento pueden ocasionar deformaciones en la estructura.

Además del perfil de coronamiento, la estructura en algunos casos también necesitara de un refuerzo intermedio, para otorgar igualmente rigidez en esa zona. La forma de diseñar estos refuerzos se ampliara más en la sección 2.7.1 (Diseño por viento).

2.6. Diseño por sismo

Este diseño es muy importante ya que la norma API indica que las cargas de sismo generan lo que se conoce como un momento de volteo.

Los sismos provocan dos tipos de reacciones en el tanque:

- Los movimientos de alta frecuencia provocan un movimiento lateral del terreno donde está instalado el tanque.
- Los movimientos de baja frecuencia provocan un movimiento de masa del líquido contenido, provocando oleaje dentro del tanque.

El momento de volteo es generado por el movimiento lateral de las masas, las cuales genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque, que multiplicado por el brazo de palanca respecto al fondo, originan dicho momento. Por esta razón es que el tanque debe de ser diseñado para resistir este fenómeno. A continuación se indica el momento de volteo, en función de la base del tanque.

$$M = ZI(C_1 W_S X_S + C_1 W_r H_t + C_1 W_1 X_1 + C_2 W_2 X_2)$$

Donde:

M = Momento de volteo provocado en el fondo del manto del tanque, en kilogramo-metro

Z = Factor de zona sísmica, depende del lugar del estanque. Para Guatemala se muestra en el anexo en la figura 1, donde se indica las zonas sísmicas y además se muestra en el anexo, tabla 2, el valor correspondiente para cada zona.

I = Factor de importancia, API considera 1,0 para todo tipo de tanque, y como valor máximo de 1,25 para tanques que estén potencialmente en riesgo o esenciales para las personas

C1, C2 = Coeficientes laterales sísmicos

Ws = Peso total del cuerpo del estanque, en kilogramos

Xs = Altura desde el fondo al centro de gravedad del estanque, en metros

Wr = Peso total del techo, incluida la carga viva, en kilogramos

Ht = Altura total del cuerpo del estanque, en metros

W1 = Peso de la masa efectiva contenida en el estanque que se mueve conforme al cuerpo del estanque, en kilogramos

X1 = Altura desde el fondo del estanque al centro de gravedad de W1, en metros

W2 = Peso efectivo de la masa contenida en el estanque que se mueve en el primer oleaje.

X2 = Altura desde el fondo del estanque al centro de gravedad de W2, en metros.

Para encontrar los pesos efectivos de las masas W1 y W2, se determinan multiplicando el peso total del líquido (Wt), por las relaciones W1/Wt y W2/Wt utilizando la información que se da en la figura 2 del anexo.

$$W1 = Wt \cdot \frac{W1}{Wt} \quad y \quad W2 = Wt \cdot \frac{W2}{Wt}$$

Para el cálculo de las alturas X1 y X2, se utiliza de manera similar el procedimiento anterior el cual se apoya de la siguiente figura 3 del anexo.

$$X1 = H \cdot \frac{X1}{H} \quad y \quad X2 = H \cdot \frac{X2}{H}$$

El valor de C1 será igual a 0,24 por lo que el valor de C2 se calculara con las siguientes condiciones.

$$T \leq 4,5; C_2 = \frac{0,3 S}{T} \quad \text{o} \quad T > 4,5; C_2 = \frac{1,35 S}{T^2}$$

Donde:

S= Coeficiente de amplificación según el terreno. Para Guatemala se utiliza la siguiente tabla III del anexo.

Para calcular el coeficiente de amplificación se utiliza la tabla IV del apéndice.

El período natural de ondas del primer oleaje, en segundos, se calcula con la siguiente expresión:

$$T = K(D^{0,5})$$

Donde:

D = Diámetro del tanque en centímetros

Para el cálculo del factor K se utilizara la información proporcionada por la figura 4 del anexo, la cual está en función de la relación D/H.

2.7. Diseño por viento

El análisis que se utiliza para determinar cómo afecta el viento al tanque, consiste en determinar la estabilidad del tanque bajo carga o presión del viento.

El API indica que la carga de viento actúa en dos situaciones distintas las cuales son:

- La carga de viento en superficies planas verticales, debe ser como mínimo 0,86 kilo pascales
- Sobre superficies cilíndricas, cónicas y doble curvadas será de 0,72 kilo pascales

Estas cargas se basan en una velocidad determinada por la Norma de 160 kilómetros por hora, si hubiera una velocidad más grande esta se debe ajustar mediante la siguiente ecuación de proporción:

$$V_A = \left(\frac{V}{160}\right)^2$$

Para los tanques sin anclaje el momento de volteo provocado en, no debe ser mayor que los dos tercios de la carga muerta total

$$M \leq \frac{2}{3} \left(\frac{W_t * D}{2}\right)$$

2.7.1. Rigidez

Para evitar deformaciones, en los tanques sin techo, estos deben de tener en el extremo superior un anillo rigidizador el cual mantiene la redondez del cuerpo cuando en este actúan fuerzas producidas por el viento. En la figura 8 se pueden observar los detalles para los rigidizadores. Si un anillo rigidizante se coloca a mas de 0,6 metros por debajo de la parte superior del cuerpo, se debe de tener en cuenta que el tanque debe tener un ángulo superior de 64 x 64 x 4,8 milímetros.

Para placas del cuerpo, de espesor igual a 5 milímetros o un ángulo de 76 x 76 x 6,35 milímetros. Para placas del cuerpo de más de 6 milímetros. Para determinar el módulo de sección mínimo, que se requiere para el anillo rigidizador superior, se puede determinar mediante la ecuación:

$$Z = \frac{D^2 H_2}{17}$$

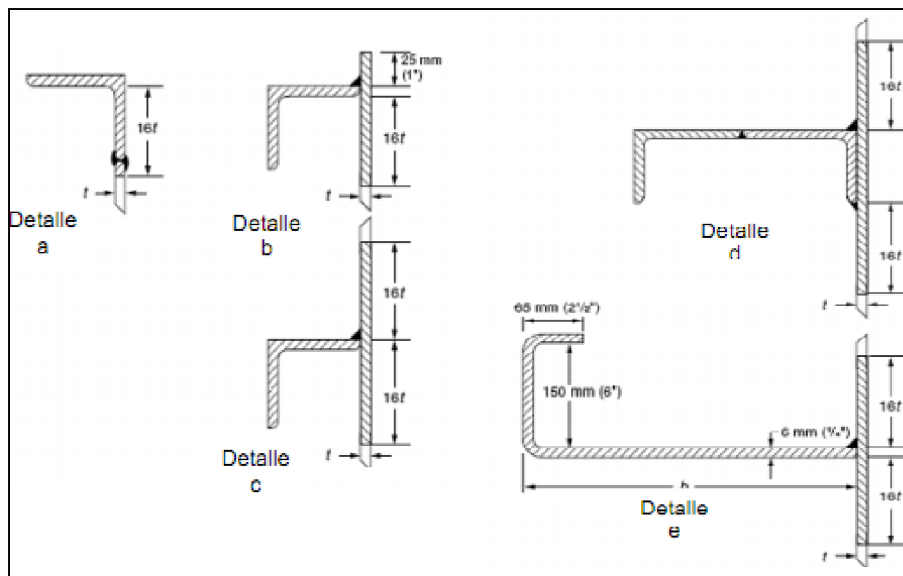
Donde:

Z = mínimo módulo de sección requerido, en centímetros cúbicos

D = diámetro nominal del tanque, en metros

H2= altura del tanque, en metros

Figura 4. **Detalle de rigidizador**



Fuente: código API 650-07, p. 5-54.

La máxima altura del cuerpo sin rigidizadores se calcula como indica la siguiente ecuación:

$$H1 = 9,47t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{190}{V}\right)^2}$$

Donde:

H1= distancia vertical, en metros, entre la viga contra viento intermedia y el ángulo superior o la viga superior contra viento de un tanque de extremo abierto.

t= espesor nominal como se ordena, a menos que sea especificada otra cosa, del anillo superior del cuerpo, en milímetros.

D = diámetro nominal del tanque, en metros.

V = Velocidad el viento, en kilómetros por hora.

Luego se debe cambiar el ancho actual de cada anillo del cuerpo por un ancho transformado de cada anillo del cuerpo que tiene un espesor igual al del anillo superior del cuerpo:

$$W_{tr} = \sqrt{\left(\frac{t_{uniforme}}{t_{actual}}\right)^5}$$

Donde:

W_{tr} = ancho transformado del anillo (metros)

W = ancho actual del anillo (metros)

$t_{uniforme}$ = espesor del anillo superior (milímetros)

t_{actual} = espesor del anillo para el ancho está transformando (milímetros)

Además del rigidizante en la parte superior del tanque muchas veces es necesario un rigidizante en la parte intermedia. Para conocer si se debe colocar un refuerzo en medio, se debe encontrar la altura del cuerpo transformado sumando los anchos transformados. Si esta altura del cuerpo transformado es mayor que la máxima altura del cuerpo, H_1 , entonces se debe colocar el refuerzo intermedio.

Para que el refuerzo intermedio tenga una estabilidad igual por arriba y por abajo de la viga contra viento intermedia, esta debe ser localizada en la mitad de la altura del cuerpo transformado.

Para calcular el módulo de sección mínimo, que requiere una viga intermedia contra viento, se utiliza la ecuación:

$$Z = \frac{DH_1}{17}$$

Donde:

Z= mínimo módulo de sección requerido (centímetros cúbicos)

D= diámetro nominal del tanque (metros)

H1= distancia vertical, en m, entre la viga contra viento intermedia y el ángulo superior o la viga superior contra viento de un tanque de extremo abierto.

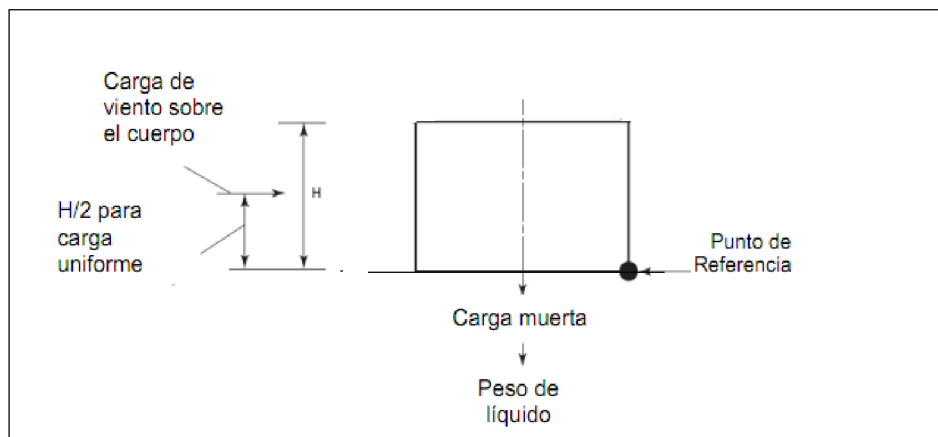
Se debe de calcular también, por la fuerza de viento, el momento de volteo pero antes de este cálculo se debe de tener en cuenta que para que un tanque sea, debe satisfacer los siguientes criterios de levantamiento:

$$0.6M_w + M_{pi} < M_{Dl}/1.5$$

$$M_w + 0.4M_{pi} < M_{Dl} + M_F/2$$

En la figura que se muestra a continuación, se puede observar cómo es que actúa el viento sobre la superficie de tanques sin techo.

Figura 5. **Acción de carga de viento en el tanque**



Fuente: código API 650-07, p. 5-67.

Por lo que el momento de volteo producido por el viento (M_w) se considerar como:

$$M_w = \frac{P_v D (H_t)^2}{2}$$

Donde:

P_v = Presión del viento sobre el cuerpo, en pascales.

D = Diámetro exterior del tanque, en metros.

H_t = Altura del cuerpo del tanque, en metros.

El peso del tanque, fondo más cuerpo, es el que genera el momento de carga muerta. Para el momento producido por el líquido, M_f , se considera solo la mitad del volumen máximo almacenado en el tanque por lo que M_F es determinado por:

$$M_F = W_a \pi D^2 / 4$$

2.8. Diseño de cimentación

Para tanques de almacenamiento de gran tamaño y para este caso el, tipo de cimentación a utilizar es la cimentación de anillo de concreto. Este tipo de cimentación es comúnmente utilizada para tanques grandes, ya que la pared del tanque ejerce una carga de gran magnitud y directa al cimiento.

Esta cimentación consiste en fabricar un anillo de concreto con refuerzo de acero estructural. Además esta tiene como característica, el lograr de forma satisfactoria la distribución de las cargas ejercidas por las paredes del tanque.

Antes de comenzar a dimensionar el anillo de cimentación, se debe tener en cuenta, el realizar el chequeo que nos proporcionara información, para saber si el suelo es capaz de resistir correctamente el peso de la estructura y del líquido contenido.

Para realizar el chequeo de esfuerzo de compresión sobre el suelo se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_c = \frac{W_1 + W_{\text{fondo}}}{A}$$

Donde:

W_L = Peso de líquido, en libras.

W_{fondo} = Peso de plancha de acero, en libras.

A = área en pie cuadrado.

σ_c = Esfuerzo de compresión sobre el suelo en libras pie cuadrado.

si $\sigma_c <$ valor soporte del suelo, se concluye que el suelo es capaz de resistir correctamente el peso y se puede continuar con el diseño.

Una vez se haya chequeado que el suelo es capaz de soportar el peso de la estructura en conjunto con el líquido contenido, se continúa con el dimensionamiento del anillo de cimentación. Para esto hay que considerar que sobre estas cimentaciones se crean esfuerzos tanto verticales como horizontales, los cuales se analizan de la forma descrita a continuación.

2.8.1. Esfuerzos verticales

Este esfuerzo es soportado o resistido por el concreto de la cimentación y es generado por la fuerza que ejercen los pesos de los materiales, que conforman el cuerpo y fondo del tanque. El analizar los esfuerzos verticales permite encontrar la dimensión de la base o espesor del anillo, esta se puede obtener mediante las siguientes expresiones.

$$W' = \frac{W_{\text{pared}}}{P_{\text{tanque}}}$$

$$b = \frac{24W'}{H\gamma L - 80h_s}$$

Donde:

W' = Peso distribuido en libras, sobre el cimiento por pie lineal.

W_{pared} = Peso de pared del tanque, en libras.

P_{tanque} = Perímetro del tanque, en pies.

b = Espesor de cimiento, en pulgadas.

H = Altura de operación del líquido almacenado, en pies.

γ_L = Peso unitario de líquido, en libras pie cúbico.

h_s = Peralte de cimiento, en pies.

Para el cálculo de la base o espesor del anillo de cimentación, se debe de proponer un peralte para el cimiento, con lo que se encontrara la base adecuada para el peralte supuesto.

2.8.2. Esfuerzos horizontales

Estos esfuerzos son soportados por el acero de refuerzo en el anillo de cimentación y son generados por la presión activa del suelo, la cual es provocada por el peso propio del líquido almacenado, mas sobrecargas. Ya que estos esfuerzos son soportados por el acero, el analizar estos, permite calcular el área de la sección transversal del acero capaz de soportar dichos esfuerzos. Antes de determinar la sección de acero a utilizar, es necesario calcular la presión que ejerce el líquido sobre el suelo, luego de esto se podrá calcular el acero. Para obtener estos datos se pueden utilizar las siguientes expresiones.

$$PL = H \times \gamma_L$$

Donde:

PL= Presión sobre el suelo provocado por el líquido, en lb/pie².

H= Altura de operación del líquido, en pies.

γL= Peso específico del producto, en lb/pie³.

Al encontrar la presión sobre el suelo provocada por el líquido “PL”, se puede proceder a calcular la fuerza de tensión con la ecuación de presión activa del suelo.

$$\sigma P = \frac{K_a \cdot \gamma_s \cdot h_s^2}{2} + K_a \cdot PL \cdot h_s$$

Donde:

σP= Fuerza de tensión, en libras por pie lineal.

K_a= Coeficiente de presión activa

γ_s= Peso de suelo, en lb/pie².

PI= Presión sobre el suelo, en lb/pie².

h_s= Peralte de cemento, en pies.

Para encontrar el área de acero requerida, primero se debe de calcular la fuerza total de tensión, esto se puede realizar utilizando la siguiente expresión.

$$F_t = \frac{D \cdot \sigma P}{2}$$

Donde:

F_t= Fuerza total de tensión, en libras.

D= Diámetro del tanque, en pies.

σ_P = Fuerza de tensión, en libras por pie lineal.

La norma ACI 318 requiere que el esfuerzo en el refuerzo calculado para las cargas de servicio f_s es $0,6f_y$.

$$A_l = \frac{F_t}{f_s}$$

Donde:

A_l = Área de refuerzo, en pulgadas cuadradas.

F_t = Fuerza total de tensión.

f_s = Esfuerzo permisible de refuerzo de acero para cargas de servicio, en lb/in^2 .

Por ser un elemento estructural, se debe colocar un refuerzo transversal para confinar el concreto. El área para el refuerzo transversal puede ser calculada por la siguiente expresión.

$$A_t = R \cdot h_s \cdot K_a \frac{62,5H + \frac{v_s \cdot h_s}{2}}{f_s}$$

Donde:

A_t = Área de refuerzo transversal, en pulgadas².

R = Radio del tanque, en pies.

h_s = Peralte del cimiento, en pies.

H= Altura del líquido de operación, en pies.

γ_s = Peso unitario del suelo en lb/pie³.

f_s = Esfuerzo permisible del acero para cargas de servicio, en lb/in².

K_a = Coeficiente activo del suelo.

Se debe tener en cuenta que, además de los cálculos anteriormente explicados, se debe de considerar las especificaciones del código API 650 en la sección B.4 y respetar ciertas consideraciones del código ACI 318. A continuación se muestran dichas consideraciones.

2.8.3. Consideraciones del código API 650

- El espesor del anillo debe de ser como mínimo 12 pulgadas.
- El lugar de contacto entre el tanque y el suelo debe de ser material compactado y libre de arena.
- La pared del tanque debe descansar sobre el cimiento de forma concéntrica es decir en el centro del cimiento.
- Los bordes superiores del anillo de cimentación deben tener pendientes de 100 y 50 por ciento respectivamente.
- Debe de existir una diferencia de nivel entre la parte superior del anillo y el nivel del suelo esta diferencia debe de ser de 1 pie.
- Alrededor del tanque debe existir una pendiente para drenar toda el agua producto de lluvia o por otra causa.

2.8.4. Consideraciones del ACI 318

- Cuando el concreto este expuesto contra el suelo se debe dar un recubrimiento de 3 pulgadas como mínimo al refuerzo para protegerlo de cualquier corrosión.

- Cuando se utilicen estribos para el refuerzo transversal usualmente No.3 y No.4 este debe de tener ganchos a 45 grados y una longitud de 6 veces su diámetro.
- El traslape mínimo a tracción para barras (corrugadas) longitudinales debe ser de 12 pulgadas.

3. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN

3.1. Procedimiento de fabricación de la estructura en taller

Esta es una parte muy importante en la cual el constructor, basándose en los planos de proyecto, se elegirá como van a trabajarse cada uno de los elementos de la estructura. En los planos de taller se debe de indicar aspectos como las dimensiones, elementos de la estructura, diámetro y posición de boquillas, accesorios, etc.

Para la fabricación es muy importante que en los planos se encuentren bien detallados los perfiles, clase de acero, etc., con el fin de evitar y reducir el trabajo innecesario. Si en el proceso de fabricación se diera la necesidad de algunas modificaciones, se pueden realizar siempre y cuando exista la aprobación del ingeniero o encargado del proyecto, por lo que se debe de incluir estas modificaciones en los planos.

Antes de comenzar con la fabricación se deberá revisar si los materiales a utilizarse son los especificados y si cumplen con lo requerido para el proyecto. Se debe de trabajar con material que no posea imperfecciones o que no sean aptos. Para los materiales que necesiten enderezarse, el trabajo deberá efectuarse por presión u otro método no dañino.

Para no tener problemas con inspectores de parte de los compradores, se debe de eliminar o descartar cualquier material o mano de obra, que de alguna manera no cumplan con los requisitos que indica el código API 650.

Para estas estructuras, todo trabajo de fabricación en taller, deberán ser hechos de acuerdo con lo que se especifica en el código API 650. La mano de obra y el acabo de estas estructuras deberán ser de primera clase en todos los aspectos y sujeta a una inspección muy estrecha por parte del inspector.

En taller es donde se fabrican todas las partes que conforman estos tanques y se hace un pre-ensamblaje de las piezas que lo permitan. En taller se fabrica el fondo, cuerpo y techo de los tanques, etc. Estas partes se obtienen mediante los procesos de:

- Corte de Planchas Metálicas
- Rolado de Planchas Metálicas

3.2. Corte de fondo

El corte del fondo generalmente se hace mediante uno de los procesos más utilizados, el cual se conoce como corte por soplete. Este método logra efectuar el corte mediante calentar un punto del acero a temperatura de corte es decir 1 200 a 1 300 grados centígrados.

Para este proceso se puede utilizar cualquier tipo de combustible gaseoso entre los cuales se puede mencionar el acetileno, hidrógeno, gas de ciudad, butano, etc.

Para iniciar el procedimiento de corte se debe de tener seleccionadas e indicadas cada una de las placas que pasaran por el proceso de corte, ya que se desea optimizar y agilizar este proceso. Ya tenidas las secciones cortadas se deben de identificar, esta identificación debe estar en base a los planos.

Para el proceso de corte de fondo se recomienda el utilizar las placas que poseen más longitud siempre y cuando estas estén disponibles en el mercado. Se recomienda el uso de placas de longitud mayor a las que se utilizan generalmente ya que para construir el fondo, estas si se utilizan y se hace una distribución correcta, resultan ser las más económicas para la fabricación del fondo.

Las dimensiones de las placas metálicas más utilizadas, para la fabricación del fondo son; 1,83 o 2,44 metros (6 u 8 pies) en su ancho por 6,10 o 9,14 metros (20 ó 30 pies) de largo. Se debe tener en cuenta que el tener un fondo asimétrico a lo largo de ambas líneas de centros, dará como resultado utilizar un mayor número de placas de diferentes tamaños para lograr formar el fondo lo que se convierte en trabajo extra y más costos.

Se recomienda que luego de tener todas las piezas que conforman el fondo, se realice un plano con todos los detalles de las piezas del fondo, como los detalles de soldadura, espesores, pesos, etc.

3.3. Corte y rolado de cuerpo

Estos procesos pertenecen al área de fabricación en taller y son los encargados de que el tanque posea la forma y tamaño requerido. Es muy importante que se efectúen de manera óptima para tener costos mínimos.

3.3.1. Corte del cuerpo

Antes de comenzar con el proceso de corte se debe de marcar e identificar cada una de las planchas queridas para conformar el cuerpo del tanque esto con el fin de tener un control y registro de cada parte del cuerpo

para así poder saber a qué número de anillo pertenece y que posición le corresponde a cada una de las planchas en los anillos.

Generalmente cuando se adquieren las placas metálicas, se puede notar que las dimensiones varían, no todas traen dimensiones idénticas, por lo cual se debe de cortar las orillas de las placas con el fin de que todas sean uniformes y que tengan ángulos rectos en cada una de sus esquinas.

Para realizar el corte del cuerpo se puede utilizar el mismo sistema que para el corte de las placas de fondo, el cual es un sistema de corte semiautomático el cual trabaja utilizando acetileno y oxígeno. Una vez se haya terminado por completado el proceso de corte, la plancha ya con las medidas requeridas, se coloca en posición adecuada para realizar el desgaste y eliminación de filos o rebabas en exceso.

Luego de que los cortes y desgastes de filos se terminan y son aprobados por el encargado o jefe de área, se continúa el proceso de fabricación.

3.3.2. Rolado de cuerpo

En este proceso se logra el darle a las placas del cuerpo el diámetro requerido para formar cada uno de los anillos que conforman el tanque. El proceso de rolado consiste en hacer que las placas de acero se curven mediante la utilización de máquinas de rodillos especiales para estos trabajos.

Como se mencionó, en esta etapa se procede a dar la forma curva requerida, la cual se indica en las características técnicas del tanque. Luego de tener cada una de las placas con la curvatura necesaria, se debe verificar si el radio de curvatura es correcto. Para verificar si la placa tiene la curvatura

correcta se puede utilizar una plantilla guía, la cual debe de tener la forma de una sección perimetral del diámetro requerido.

Hay que tener en cuenta que al existir distintos tamaños de tanques varían los espesores de las placas que conforman el cuerpo y además varían los radios de los tanques, por lo que no todas las planchas de acero tienen que pasar por el proceso de rolado o pre-rolado para llegar al diámetro final.

Para saber que planchas necesitan de un prerolado se muestra en la figura 6, información en donde dependiendo al diámetro del tanque y del espesor de las placas, se indica si es necesario este prerolado.

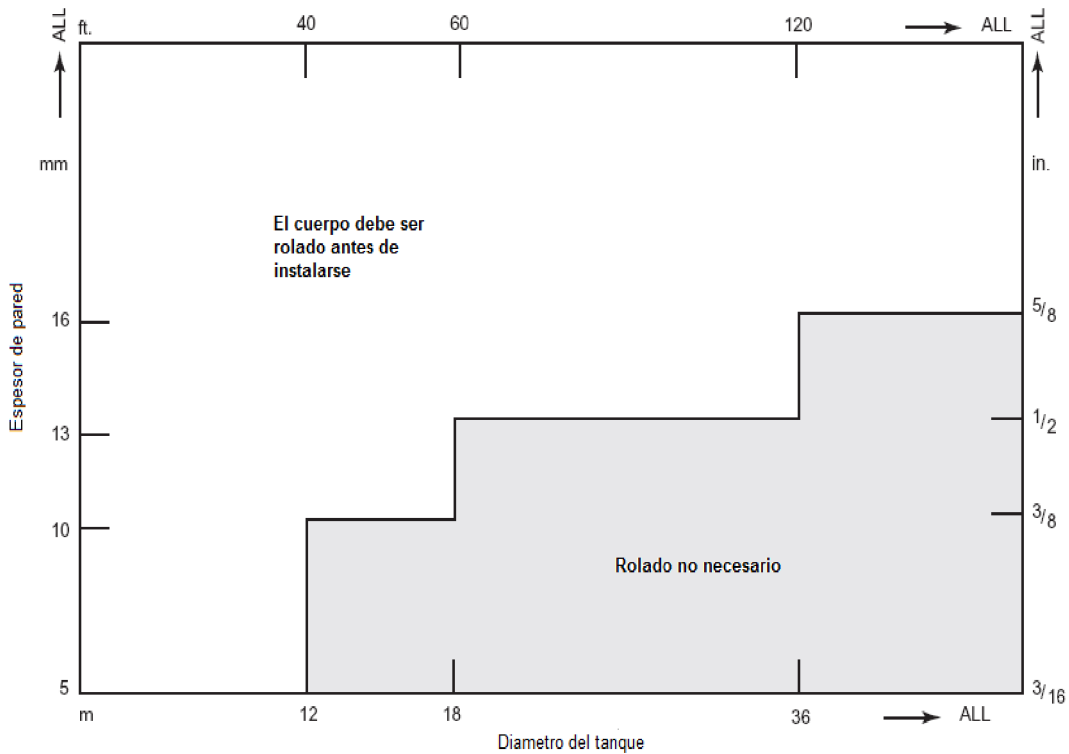
El API-650 establece una combinación de diámetros y espesores para los cuales se puede considerar no rolar las placas pero esta decisión puede ser tomada por el ingeniero a cargo del proyecto.

Si se utiliza el procedimiento indicado en el API 650, para determinar si las placas se someterán al procedimiento de rolado, se debe de tener en cuenta que la combinación de diámetros y espesores que se encuentra en el límite entre las placas roladas y no roladas deben ser roladas.

Para saber si se debe o no rolar las placas, según el código API 560, se utiliza la información mostrada en la figura 6.

Se debe de tener cuidado para transportar las planchas que ya están roladas ya que estas pierden su curvatura fácilmente.

Figura 6. Consideraciones para el rolado de placas



Fuente: código API 650-07, p. 6-2.

3.4. Corte y rolado de accesorios

En esta sección se desarrollara un poco el tema relacionado con corte y rolado de accesorios para tanques de almacenamiento, en este caso agua. Por lo que se aclara que se entenderá como accesorios todo tipo de tubería que se necesite para que el tanque funcione correctamente, como tubería de entrada y drenaje de fluidos.

3.4.1. Corte de accesorios

Al igual que para el cuerpo y el fondo, para realizar el corte de la tubería o accesorios de acero, primero se debe tener los planos detallados en donde se muestre cada una de las secciones que forman los accesorios.

Para fabricar los diferentes accesorios útiles para el tanque, es necesario que el acero se presente en, láminas o placas, alambres, tubos, o perfiles estructurales, generalmente los tipos de acero utilizados para fabricar los accesorios son, A-53 y A-242.

Antes de comenzar con el proceso de corte se debe de marcar e identificar cada una de las planchas requeridas esto con el fin de tener un buen control y evitar al máximo los desperdicios.

Para realizar el corte del cuerpo se puede utilizar el mismo sistema que para el corte de las placas del cuerpo y fondo, el cual es un sistema de corte semiautomático. Una vez se haya terminado por completado el proceso de corte, se puede pasar al proceso de rolado, las piezas que no necesiten de rolado pueden pasar a soldadura.

3.4.2. Rolado de accesorios

El proceso de rolado consiste en hacer pasar al acero por unos rodillos, de la misma forma en que se rolan las planchas del cuerpo. Se debe rolar cada una de las partes que necesiten hasta tener la forma necesaria especificada en planos.

Una vez se tenga cada una de las piezas o secciones con la curvatura necesaria, se debe verificar si el radio de curvatura es correcto. Para verificar si la placa tiene la curvatura correcta se puede utilizar una plantilla a escala como guía, la cual debe de tener la forma y medidas requeridas por la pieza.

Al tener todas las piezas cortadas y roladas se debe verificar que cada pieza este marcada o enumerada conforme a los planos, e indicar a que accesorio pertenece, para evitar confusiones y agilizar el procedimiento de soldadura y armado.

3.5. Acabados y aplicación de pintura

Una vez se tengan completos, los procesos de taller, se debe preparar cada una de las partes del tanque, para los acabados finales y pintura, si es que se especifica en planos el realizarlo.

3.5.1. Limpieza

Entre los acabados se puede mencionar la limpieza de las partes que conforman el tanque. En esta etapa se encuentra el retirar todo remanente en las placas como además el prepararlas para la aplicación de pintura.

Se sabe que si no se tiene una buena preparación de superficies entonces no se lograra tener un acabado de pintura de buena calidad. Es muy importante el retirar las imperfecciones que se puedan presentar en las partes del tanque, imperfecciones como suciedad, grasas, aceites, óxido visible, cascarilla de laminación, o cualquier materia. El procedimiento utilizado para lograr la limpieza en las placas, es utilizando el *sandblast* o *sandblasting*.

El *sandblast* es un sistema muy utilizado, este consiste en la limpieza de una superficie por medio de hacer chocar contra la superficie un abrasivo granulado, en este caso arena, con la ayuda de aire comprimido a través de una boquilla. La limpieza este tipo de limpieza nos permite remover óxido, escama de laminación y cualquier tipo de recubrimiento de las superficies, creando anclaje y preparándolas para la aplicación de pintura o de algún recubrimiento.

Para la limpieza por *sandblast* también se tienen ciertos estándares los cuales definen los acabados finales por medio de esta limpieza. El que exista distintos estándares para la limpieza es por el hecho que muchas veces se da la necesidad de tener distintos acabados, ya que el acabado exterior no siempre es igual al interior.

Una vez se tenga completado el proceso de preparación y limpieza de cada una de las partes del tanque, se procede a realizar un control de calidad, para que el resultado final sea óptimo. Se comienza verificando por inspección visual si el tipo de limpieza es el adecuado y si cumple con lo requerido para la aplicación de pintura, de hecho para todos los procesos se debe llevar un control de calidad e inspección.

3.5.2. Pintura

Esta etapa es muy importante ya que de ella depende que exista una buena protección para el acero y así evitar que aparezca óxido en la superficie del tanque. Una vez se tenga las áreas de las placas ya listas, con la superficie con rugosidad adecuada y el grado de limpieza deseado, se puede empezar a aplicar la pintura en las partes que conforman del tanque.

Son varias las formas para preparar las pinturas que se aplicaran a las placas de acero, pueden tener una combinación de resinas, solventes y frecuentemente aditivos. Para saber qué tipo de mezcla o qué tipo de pintura se necesita, se debe de tener claro el tipo de acabado que requiere el tanque como además las características requeridas, color, dureza, brillo, resistencia, etc. Además depende del tipo de líquido que se tendrá almacenado en el tanque y las dimensiones del mismo.

Para las superficies internas y externas es muy importante el control del espesor de la capa de pintura. Este control puede ser realizado tanto en húmedo como en seco y debe de realizarse sobre distintos puntos de la plancha para asegurar que el espesor sea uniforme en toda la plancha.

4. PROCEDIMIENTO DE MONTAJE

4.1. Montaje y controles en campo

Antes de empezar con la instalación del tanque, se debe de tener un buen control para que todas las actividades sean realizadas correctamente. Se debe de tener un juego completo de planos de montaje y de fabricación de las partes del tanque, fondo, cuerpo, techo y accesorios. Además se debe de contar con una guía de cómo y dónde se colocaran elementos como, escaleras interiores y exteriores, puertas de limpieza, entradas de hombre, boquillas, etc. Esta guía será muy útil para los encargados de supervisión y montaje.

Otro aspecto importante es el revisar la llegada de los materiales y accesorios, para llevar un buen control del estado de los mismos. Revisar el material del tanque que se va a montar, y verificar que sean los correctos en base a los envíos, para asegurar la totalidad de las piezas en el campo.

Es importante el tener un buen control para almacenamiento de los materiales que se emplearan para montar el tanque. Ya que todos estos se encontraran a la intemperie, por lo que se necesita protegerlos de la forma más adecuada, en el caso de las placas del cuerpo se debe de proteger para que estas no pierdan su curvatura. Muchas veces se aplican dos capas de pintura anticorrosiva para asegurar la protección de los materiales tanto estructural como de los accesorios.

Luego de tener un buen control sobre el almacenamiento y manejo de los materiales, un aspecto muy importante es el localizar el centro del tanque en la base, esto debe de realizarse antes que se coloquen las placas del fondo, muchas veces para simplificar la localización del centro, se utiliza el mismo centro que se utilizó para la construcción de la cimentación.

Una vez se tenga bien localizado el centro, se debe corroborar que el radio sea uniforme en todas las direcciones, para así asegurar que el radio es adecuado para colocar el fondo y confirmar que el centro está bien localizado.

Se debe de tener bien ubicados cada uno de los ejes, estos se encuentran indicados los planos, generalmente en los planos el tanque está referenciado a un norte. No siempre el eje norte coincide con el norte real, ya que este es un eje constructivo o de dibujo. Por lo que es muy importante el verificar que las boquillas, puertas, etc., se encuentren ubicadas de acuerdo con los planos.

Para tener una mejor referencia, luego de tener ubicado el eje norte, se deben de trazar los demás ejes, sur, este y oeste, esto de acuerdo con las indicaciones de los planos. Se recomienda que estos ejes se marquen de tal manera que no se borren, pueden marcarse en la cimentación. Ya teniendo los ejes marcados e indicados será más fácil el montar el tanque y tener menos complicaciones con los accesorios.

4.2. Montaje y controles de fondo

Antes de fijar el fondo se deben de tener en cuenta varios aspectos, entre estos se tiene la forma en que se distribuirán y tenderán las placas del fondo del tanque. Para la distribución y colocación del fondo del tanque se debe de tener entre el equipo, grúa, pluma, montacargas, etc., con esta maquinaria será

fácil la colocación del fondo. Se deben de colocar cada una de las placas siguiendo lo que esta especificado en los planos de montaje, se debe de puntear las placas no más de lo requerido para aseguralas, y se debe de empezar a colocarlas del centro hacia la periferia.

Se debe de cuidar que no se presenten deformaciones en las placas del fondo por la soldadura. Mientras más grande sea el tanque, el cuidado que debe de tenerse para que no se ocasionen las deformaciones por soldadura, es mayor.

Cuando se tenga todo preparado para montar el fondo, se puede comenzar con el armado. A continuación se describen, en los siguientes párrafos, unas indicaciones para el montaje de tanques.

Primero se debe de colocar la placa que corresponde al centro del tanque, se debe de hacer coincidir la intersección de los ejes N-S y E-W con la intersección de las diagonales de la placa. Se recomienda el soldar en el centro, un perno o guía ya que esta marca puede ser muy importante ya que sirve de guía para realizar posteriormente trazos y algunas mediciones.

Luego se deben de tender y ajustar las placas anulares con el fin de obtener una buena separación entre placa y placa, se debe de utilizar el radio que está definido en los planos para la periferia de las placas, y se debe de aumentar algunos milímetros, ya teniendo esto se puede iniciar el montaje de las placas rectangulares del fondo.

Luego se debe montar el primer anillo de la envolvente y soldar las juntas verticales. Fijar la junta entre fondo y envolvente.

Se deben de soldar las juntas circulares del primer anillo del cuerpo y la placa anular y/o fondo. Al soldar, estas originan que el lado interior de las placas anulares se levante debido a la contracción. Para evitar o controlar esta deformación se recomienda el uso de los siguientes métodos.

- Colocar sobre los anulares contrapesos para que estos ayuden a evitar que las placas anulares se levanten.
- Puntear canales entre la envolvente y las placas anulares.
- Soldar primero el cordón exterior de la junta fondo-envolvente para que de esta forma las placa deformadas vuelvan a su posición horizontal.

Se deben de soldar completamente las juntas de las placas anulares, pero antes de esto se debe de examinar el fondeo ya que si las placas irregulares han sido colocadas antes de soldar las placas anulares, se deben de levantar por la orilla.

Luego se debe de soldar y dejar fijas las placas irregulares entre sí. Cuando hayan sido soldadas todas las placas rectangulares, soldar las irregulares a las placas rectangulares. Se recomienda el uso de contrapesos en el fondo para ayudar a que las placas del fondo se mantengan planas.

4.3. Montaje y controles de cuerpo

Antes de montar el cuerpo se debe de asegurar que el centro ha sido exactamente transferido de la base a la placa central del fondo. Para asegurar el montaje correcto de un tanque y para que funcione sin problemas, se necesita revisar la cimentación y luego la nivelación, verticalidad y redondez en los distintos anillos del cuerpo.

Es conveniente revisar las dimensiones de las placas que conforman el cuerpo ya que pueden haber un anillos más angostos que los otros y en el mismo puede haber placas más largas que otras.

Se debe soldar en cada placa, las tuercas lisas para los sujetadores a las juntas verticales y para los rigidizantes en las juntas horizontales, así como las soleras para apoyar las ménsulas. Las marcas señaladas con puntos en el fondo son de mucha utilidad ya que con estas se pueden localizar problemas de montaje como también errores de fabricación.

Se debe plomear cada placa con plomada y puntear con soldadura tres canales entre la placa y el fondo para sostenerla en su lugar. Luego de tener colocada una placa, montar sin soldar la segunda placa, debe coincidir su orilla vertical con la de la placa montada y fijar ambas placas con los candados requeridos. Para poder sostener las placas plomeadas se debe puntear un canal a 0,6 metros del extremo libre y por el lado interior y otra a la mitad de la placa. Continuar montando placas del primer anillo de la manera descrita hasta cerrarlo.

Para las placas que contengan puertas de limpieza, deben ser fabricadas en los talleres. Estas no se podrán cortar en el campo. Para asegurar que el montaje de estas placas no quede incompleto, se debe de revisar si el material de la puerta está completo. Estas placas se deben de manejar en la instalación de la misma forma que las demás placas de los anillos.

Se debe de tener accesos al interior del tanque para permitir la entrada y salida de los materiales necesarios para el montaje. Por lo cual se deben de remover las placas de las puertas pero estas no se quitarán hasta que se realicen las operaciones descritas en el siguiente párrafo.

Se deben de tener por lo menos dos anillos superiores soldados, la junta del fondo-cuerpo y la primera junta horizontal entre el primero y el segundo anillo deben estar soldadas y la abertura que deja la placa al retirarla ha sido perfectamente reforzada.

4.3.1. Unión de juntas verticales

Estas se deben de soldar de acuerdo con el procedimiento de soldadura indicado ya sea por soldadura manual o automática. Primero se debe soldar el lado que no tiene herrajes, saltando sobre los herrajes. Los candados y los demás herrajes pueden ser removidos después que se ha soldado completamente el lado libre. Puede dejarse si es necesario el rigidizante extremo para mantener una curvatura correcta.

4.3.2. Soldadura circunferencial fondo-cuerpo

Una vez se tenga el primer anillo montado y todas las juntas verticales estén ajustadas y ensambladas por completo, se puede empezar a trabajar con la soldadura del fondo-cuerpo. Dependiendo del detalle de fondo, si se utiliza placa anular si se puede iniciar a soldar, pero si no, esta soldadura se realiza hasta que todas las soldaduras del fondo se hayan realizado, esto con el fin de evitar deformaciones.

Se puede empezar con el ajuste de estas juntas antes que todas las verticales sean soldadas pero no se puede soldar bajo una vertical que no ha sido completamente soldada. Se recomienda que para evitar deformaciones, se empiece con la soldadura fondo-envolvente hasta tener soldado por completo el tercer anillo.

4.3.3. Montaje de los demás anillos

Para el montaje de los demás anillos se debe de fijar cada placa al anillo anterior utilizando canales rigidizantes y separadores. Se debe tener el cuidado de asegurar el borde extremo de la primera placa montada y utilizar por lo menos tres canales rigidizantes por placa.

Cuando hay anillos formados por placas que tengan la misma longitud, se debe tener el cuidado de que si las placas del anillo no son montadas y ajustadas en su posición correcta, puede ocasionar dificultades al momento de montar la última placa por lo que por cada placa montada se debe pasar plomada. Se puede dar este problema ya que con la junta horizontal ya soldada puede ser muy dificultoso distribuir el exceso de placa en la envolvente ya montada.

4.3.4. Ángulos de coronamiento

Para esta instalación se debe de verificar que estos elementos estén de acuerdo con los planos de fabricación, antes de proceder al montaje de estos. Entre los factores más importantes de revisión se tienen: revisar que cada pieza se encuentre rolada apropiadamente, plomear el ala vertical del ángulo antes de soldar el ángulo de coronamiento a la envolvente y por ultimo soldar el ángulo de coronamiento.

4.3.5. Montaje protección contra vientos

Estos elementos son muy importantes ya que ayudan a la estructura a no sufrir deformaciones ocasionadas por las fuerzas del viento. Se debe de revisar la redondez de la parte superior del tanque antes de instalar estos elementos.

Si el tanque no estuviera redondo o a plomo, se debe revisar la horizontalidad del anillo de cimentación y hacer las correcciones.

En resumen se muestra a continuación el método general de montaje:

- Montar el anillo número 1 y fijar y soldar las juntas verticales.
- Ajustar y soldar la junta circunferencial entre las placas del primer anillo de la envolvente y las anulares.
- Montar dos placas del segundo anillo.
- Ajustar, fijar y soldar la junta vertical en estas dos placas.
- Terminar el montaje del segundo anillo ajustando, fijado y soldando sus juntas verticales.
- Ajustar y soldar la junta horizontal entre el primero y el segundo anillo.
- Montar los anillos restantes y soldar siempre las juntas verticales antes que las horizontales, verificando que todas las láminas sean verificadas en su nivel y plomada.

4.4. Montaje y controles de accesorios

Es de importancia el tener los controles adecuados para instalar los accesorios del tanque, como: entradas de hombre, boquillas y otros accesorios. En base a los planos, se debe tener clara la ubicación en que se colocaran estos para lograr una instalación y soldadura apropiada, para así lograr una buena instalación e impedir deformaciones y grietas.

No se debe de pasar por alto el remover toda la escoria, rebabas y recortes antes de soldar, como también el redondear todas las esquinas con esmeril.

Se recomienda que de ser posible no se diseñen entradas rectangulares o cuadradas, pero si esto es necesario, se deben redondear todas las esquinas. Se recomienda hacer los cortes para las entradas de boquillas con exactitud para evitar reparaciones posteriores y reforzar las láminas de la envolvente según sea el caso.

Para agilizar la localización de los accesorios, se recomienda el utilizar siempre, un plano de localización de accesorios, este plano normalmente está referido al norte de construcción. Puede darse en algunos casos, que se necesite localizar una boquilla o accesorio en el campo a petición del usuario ya sea por alguna función o requerimiento especial para este accesorio.

4.4.1. Soldeo de accesorios

Se debe tener el cuidado de utilizar procedimientos apropiados para realizar esta operación ya que durante este proceso se crean esfuerzos, al soldar las entradas de las boquillas o accesorios por lo que al hacerlo apropiadamente se pueden reducir estos esfuerzos.

Para todo procedimiento de soldadura en los accesorios o entradas, se recomienda el no depositar cantidades en exceso de electrodo fundido y procurar que las soldaduras de filete sean de las dimensiones que se especifican en los planos de diseño.

4.5. Acabados y aplicación de pintura final

Se debe de realizar pruebas de inspección antes de empezar con la aplicación de pintura y acabados finales. Para asegurar un buen procedimiento

se recomienda el seguir requerimientos del Código API-650, en el cual se encuentran los trabajos necesarios para llevar a cabo dichas pruebas.

Para asegurar un trabajo exitoso, antes de entregar el tanque, se debe realizar una revisión final al trabajo realizado, para confirmar que está completo y que cumple con lo requerido por la norma y por el usuario.

Entre los aspectos mínimos que se deben de supervisar se tienen los siguientes:

- Barrer todo el fondo para dejarlo limpio y revisar si se encuentran imperfecciones en el. Revisar, buscando juntas sin soldar, soldaduras defectuosas, socavaciones y remover la escoria de todas las soldaduras y realizar las pruebas de fugas correspondientes.
- Se debe de tener un cuidado especial en las áreas alrededor de las escaleras. Todas las soldaduras verticales y horizontales serán inspeccionadas y los refuerzos y porosidades estén dentro de las tolerancias especificadas, así como plomadas, niveles y redondez.
- Todas las soldaduras serán del tamaño indicado en planos. Las rebabas alrededor de las boquillas serán removidas. Las bridas, tapas de entradas de hombres, pernos y empaques deben instalarse adecuadamente.
- Se debe de verificar que las escaleras sean apropiadas, los barandales estén a plomo, las huellas de las escaleras estén a nivel y todas las soldaduras completas.

4.5.1. Pintura interior y exterior

Para empezar con la aplicación de la pintura en los tanques, se debe de aplicar de acuerdo a las especificaciones citadas en la Norma API 650. Para tener resultados óptimos. Antes de la aplicación se debe de tener limpias y preparadas las áreas en las que se aplicara la pintura, pero además se debe de tener concluidos los trabajos que impidan esta aplicación.

Entre los trabajos que se deben tener concluidos antes de comenzar con la aplicación de pintura interior son:

- Armado y soldado del fondo
- Prueba del fondo
- Limpieza y resane general del interior del tanque

Antes de iniciar con la aplicación de la pintura interior se debe de tener limpias y preparadas todas las áreas en las que se aplicara la pintura. Además se debe de tener en cuenta los trabajos a realizarse después de la aplicación de pintura.

- La pintura debe de ser aplicada antes de hacer la prueba de flotabilidad e hidrostática.
- Se debe de resanar las imperfecciones ocasionadas por los trabajos de soldadura.
- No armar el sello y la banda de desgaste antes de haber terminado la pintura inferior y superior del diafragma.

Para iniciar la etapa de pintura exterior del cuerpo se debe de tener preparadas y listas las áreas pero además se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Se debe de iniciar con esta aplicación una vez se haya terminado de aplicar la pintura interior y tener terminada la limpieza de rebabas de soldadura.
- Para el montaje del tubo-sello se debe de tener en cuenta que este se puede instalar simultáneamente con la aplicación de pintura exterior.

5. ENSAYOS

5.1. Tipos de ensayos

En este capítulo únicamente se hará mención de la utilidad de los ensayos, finalidades y del procedimiento utilizado para realizar algunos de estos, los cuales son necesarios para comprobar el buen funcionamiento y desarrollo del tanque para almacenamiento.

Estos ensayos son utilizados para probar y verificar que las uniones del tanque hayan sido desarrolladas exitosamente y así evitar cualquier imperfección en la estructura y así evitar daños posteriores al tanque.

Por lo general los ensayos se dividen en dos categorías entre las cuales se encuentran:

- Ensayos no destructivos
- Ensayos destructivos

5.2. Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos son procedimientos que se pueden utilizar para conocer, evaluar y tener una visión del estado de los materiales, como aceros, soldaduras, etc., utilizados o por utilizar para desarrollar una estructura.

Una de las ventajas que se puede obtener al realizar este tipo de ensayos es que estos no afectan las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se están examinando.

En el caso de este trabajo, los ensayos no destructivos serán de mucha utilidad para conocer características o deficiencias en las uniones del cuerpo y fondo del tanque. En este tipo de estructuras, en las uniones pueden presentarse grietas o defectos, estos pueden ocasionar problemas graves, como consecuencia se originarían reparaciones las cuales pueden ser muy costosas. Por lo anterior se aconseja realizar estos ensayos o pruebas para así poder localizar y determinar los defectos que puedan afectar al tanque.

Entre los ensayos o pruebas que generalmente se utilizan para revisar las uniones en los tanques, se encuentran los siguientes:

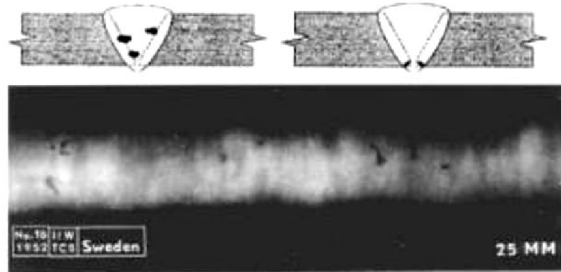
- Prueba de rayos X
- Ultrasonidos
- Líquidos penetrantes

5.2.1. Rayos X

Este ensayo es conocido como radiografía y es utilizado para poder observar deficiencias o defectos, los cuales no son fáciles de ver a simple vista, mediante los rayos X, estos atraviesan el material y permiten observar el interior de las soldaduras, ya que nos muestra una fotografía interior del tramo que se está analizando.

Para entender mejor como trabaja la radiografía, se muestra la figura 7, la cual muestra un tipo de defecto que puede ocurrir en las uniones.

Figura 7. Defecto por escorias



Fuente. <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/11/soldadura22.jpg>. Consulta: 5 de mayo de 2012.

Para efectuar esta prueba se deberá realizar según lo indicado en el código A.P.I. 650, en la sección 6. Este ensayo se requiere solo para uniones del casco soldados a tope y planchas anulares soldadas a tope. Este no es necesario para las soldaduras del fondo.

A continuación se describen las consideraciones que se deben de utilizar para realizar este ensayo, estas son propuestas por el código API 650.

Cuando la plancha más delgada del casco tiene un espesor menor o igual a 10 milímetros, con uniones soldadas a tope.

- Una radiografía deberá ser tomada en los primeros 3 metros de la unión vertical.
- Tomar muestras radiográficas adicionales, una a cada 30 metros y cualquier fracción residual mayor de ella, de la junta vertical del mismo tipo y espesor.
- Por lo menos el 25 por ciento de las muestras seleccionadas deberán corresponder a la intersección de las uniones horizontales y verticales.

Cuando la plancha más delgada del casco tiene un espesor entre 10 milímetros y 25 milímetros, con uniones soldadas a tope.

- Las muestras radiográficas serán tomadas de acuerdo a las especificaciones para planchas menores a 10 milímetros de espesor.
- Serán radiografiadas todas las soldaduras de las juntas verticales y horizontales.
- Cada película de radiografía deberá mostrar como mínimo 75 milímetros de soldadura vertical y 50 milímetros de longitud de soldadura en cada intersección con las verticales.

Cuando la planchas del casco tiene un espesor mayor a 1 pulgada, con uniones soldadas a tope.

- Las uniones verticales serán totalmente radiografiadas.
- Todas las juntas de las uniones horizontales y verticales en este rango de espesor serán radiografiadas.
- Cada película de radiografía deberá mostrar como mínimo 75 milímetros de soldadura vertical y 50 milímetros de longitud de soldadura en cada lado de la intersección vertical.

Las consideraciones descritas anteriormente se muestran en las figuras 5, 6 y 7 del anexo.

5.2.2. Ultrasonidos

Este es otro de los ensayos no destructivos, la finalidad de este es el de identificar discontinuidades externas o internas como también puede ser utilizado para medir los espesores en las paredes.

Este ensayo se logra gracias a que trabaja por medio de ondas sonoras de alta frecuencia, las cuales son emitidas por un aparato especial para realizar este trabajo. Cuando las ondas emitidas inciden con la superficie que se desea evaluar, y estas se encuentran con discontinuidades, se produce una reflexión de la onda la cual es detectada y se provoca una señal eléctrica, estas señales son catalogadas como posibles imperfecciones en el tramo evaluado.

Para llevar a cabo este ensayo existen una gran variedad de equipos, los cuales tienen la misma finalidad, estos equipos pueden variar en tecnología, apariencia, etc. En la figura 8 se muestra un dispositivo para tomar lecturas ultrasónicas.

Figura 8. **Equipo para ultrasonidos en soldaduras**



Fuente. <http://www.enodest.com/images/inspeccion.jpg>. Consulta: 5 de mayo de 2012.

Entre las ventajas de este ensayo se tienen:

- Tiene alta capacidad de penetración.
- Permite detectar imperfecciones en la superficie y sub-superficie.
- Solo se requiere acceso por un lado del material a inspeccionar.
- Su nivel de precisión permite determinar el tamaño, localización y su orientación.

Entre las desventajas de este ensayo se encuentran:

- Está limitado por la geometría, espesor y acabado superficial.
- Se deben contar con personal con mucha experiencia para interpretar resultados.
- El equipo puede tener costos muy elevados.

Para utilizar este ensayo, en la inspección de las juntas o espesores en tanques de almacenamiento, se recomienda realizarlo mediante los procedimientos indicados en la Norma API 650 en la sección 6.3. Los requerimientos necesarios, para realizar este ensayo, son descritos a continuación.

Requerimientos de la Norma API 650 para ensayo ultrasónico.

- Cuando se deba realizar este ensayo, el método empleado deberá estar de acuerdo con la sección V, artículo 5, del código ASME.
- Los examinadores que realizan este ensayo deberán ser calificados y certificados por el fabricante.

5.2.3. Líquidos penetrantes

Este ensayo también es catalogado como no destructivo, este también es utilizado para detectar discontinuidades o deficiencias en la superficie de las uniones soldadas. Este método se basa en el principio de capilaridad.

Este ensayo es muy fácil de realizar, ya que no requiere equipo sofisticado ni personal altamente capacitado, el procedimiento utilizado para este ensayo se describe a continuación.

Primero se debe aplicar un primer líquido con baja tensión superficial, en el área que se desea inspeccionar, este penetra en los poros y es retenido en las discontinuidades.

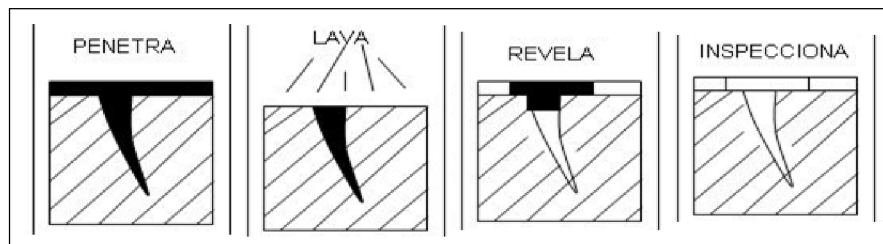
Luego se debe limpiar y lavar el exceso del primer líquido, existen líquidos que son lavables con agua y lavables con solventes.

Luego de tener el área sin remanentes se debe aplicar un segundo líquido con propiedades absorbentes, este líquido se conoce como revelador y este tiene diferente color que el primer líquido.

Con la aplicación del líquido revelador se facilita la visión de las imperfecciones, por último se debe inspeccionar la piezas ya visualmente o por

medio de luz negra. En la figura 9, se muestra lo descrito en el procedimiento anterior.

Figura 9. **Ensayo de líquidos penetrantes**



Fuente. <http://www.sabetodo.com/contenidos/multimedia/eb-liq65.gif>. Consulta: 5 de mayo de 2012.

Ventajas del ensayo de líquidos penetrantes.

- Permite ensayar toda la superficie de la pieza.
- No se destruye la pieza.
- Se obtiene resultados inmediatos.
- Permite identificar defectos más profundos que los superficiales.
- No se necesita personal altamente capacitado.

Desventajas del ensayo de líquidos penetrantes.

- Este ensayo es únicamente aplicable a defectos superficiales
- Se puede utilizar solo en materiales no porosos.
- No se puede utilizar en piezas pintadas o con recubrimientos protectores.

La Norma API 650, en la sección 6.4 hace mención de unos requerimientos los cuales deben ser cumplidos para aplicar este tipo de ensayo, en la superficie y uniones de tanques de almacenamiento. Estos se describen a continuación.

- El método de exanimación deberá estar de acuerdo con la sección V, Artículo 6, del código ASME.
- El fabricante determinará y certificará a los examinadores de líquidos penetrantes.
- Los examinadores deben tener visión para que sean capaces de leer una carta hidrográfica normada *Jaeger* tipo 2, a una distancia no menor que 300 milímetros.
- Los examinadores deben ser competentes en la técnica de los líquidos penetrantes por lo que deben ser certificados.

5.3. Ensayos destructivos

Estos tipos de ensayos son conocidos también como ensayos mecánicos y se conocen por este nombre ya que estos permiten verificar y determinar las características, mecánicas, elásticas y de resistencia de los materiales que puedan estar sometidos a esfuerzos o deformaciones ocasionadas por fuerzas exteriores.

Los ensayos destructivos tienen la característica, que necesitan alterar físicamente la pieza o área en análisis, hasta el punto de ocasionar rupturas o fallos en dichas piezas, para así poder efectuar los procedimientos necesarios

que se necesitan para encontrar y conocer las características mecánicas de los materiales puestos en estudio, como aceros, soldaduras, etc.

Estos ensayos, aplicados para investigación y análisis en materiales utilizados en tanques de almacenamiento, son de mucha utilidad para conocer cómo es que estos pueden comportarse bajo la acción de fuerzas aplicadas sobre ellos.

Las propiedades mecánicas que más interesa conocer para estos tipos de estructuras son la resistencia, la rigidez, la elasticidad y la plasticidad. Estas propiedades se encuentran mediante distintos ensayos, en el caso de este trabajo, los ensayos son aplicados sobre metales y soldaduras.

Entre los ensayos que generalmente se utilizan en los tanques para almacenamiento, se encuentran los siguientes:

- Ensayo de tensión
- Ensayo de dobléz

5.3.1. Ensayo de tensión

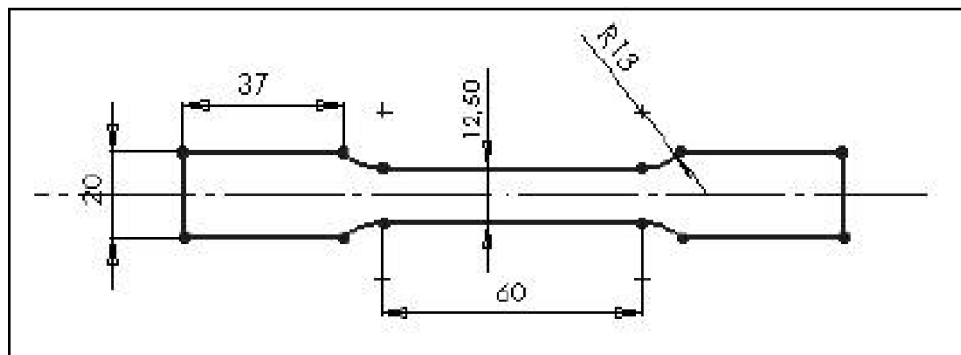
Este ensayo es utilizado para evaluar las propiedades mecánicas de las soldaduras aplicadas a las uniones del tanque, para corroborar si el material utilizado en es el adecuado para las uniones y para certificación de procedimientos y soldadores.

Este es también conocido como ensayo de tracción, este consiste en estirar una probeta con la ayuda de maquinaria especial, bajo ciertos requerimientos a una velocidad de deformación constante hasta conseguir la

ruptura de la probeta y verificar así si la soldadura tiene la resistencia adecuada.

Para poder realizar este ensayo se necesita contar con probetas adecuadas. Las probetas que se utilizan en este ensayo deben cumplir con las características y dimensiones que se especifican en la figura 10.

Figura 10. **Dimensiones de probeta para ensayo a tracción**



Fuente. <http://www.scielo.org.ve/img/fbpe/uct/v12n49/art10.4.jpg>. Consulta: 7 mayo de 2012.

Para saber si la soldadura tiene las características adecuadas para ser utilizada, esta deben de tener una resistencia a la tracción que no sea menor que la tracción mínima del metal. Para aprobar o aceptar la soldadura en una prueba de tracción la probeta debe de fallar fuera de la soldadura o línea de fusión. Si falla en la soldadura esta debe tener una resistencia mayor a la del electrodo utilizado.

5.3.2. Ensayo de doblez

Este es otro ensayo considerado como destructivo, ya que ocasiona cambios físicos en el material estudiado, con el fin de conocer propiedades mecánicas y saber si el material es apto para su uso. Este consiste en doblar una probeta preparada y que cumpla con los requisitos para la prueba.

Para realizar este ensayo se debe efectuar el doblez, con la ayuda de maquinaria especial para este trabajo, y debe ser efectuado bajo condiciones controladas que rigen los códigos de soldaduras.

Este ensayo se usa para determinar si la ductilidad, la rigidez y la soldabilidad en un material son adecuadas. En este caso es de interés saber si la soldadura es apta para ser utilizada en las juntas del tanque, para comprobar esto, se pondrá a prueba una probeta, si esta tolera ser doblada hasta 180 grados quiere decir que la soldadura es apropiada para que ese material soporte las condiciones de trabajo.

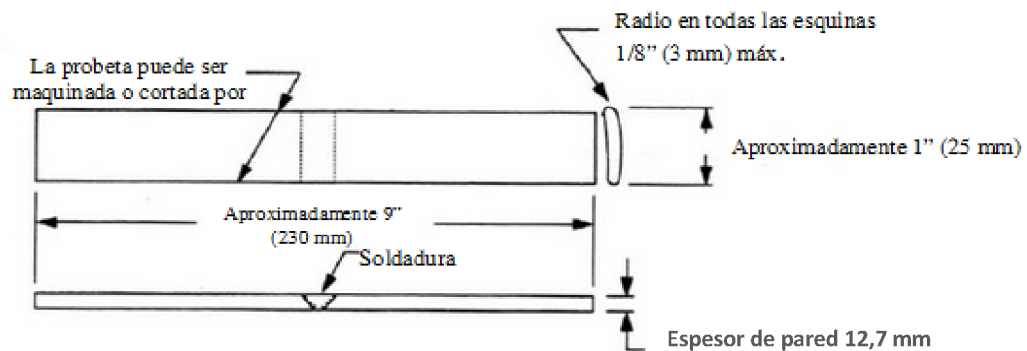
Este ensayo puede realizarse ya sea por doblez de raíz o doblez lateral. Estos se describen a continuación.

- El de raíz se realiza de forma que la cara de la soldadura ya terminada se ubica en el exterior y se dobla al máximo.
- El lateral consiste en imprimir un esfuerzo grande en uno de los lados de la soldadura.

Las probetas para el ensayo de doblez de cara deben ser de aproximadamente 230 milímetros de longitud y 25 milímetros de ancho, y sus

cantos longitudinales deben ser redondeados. En la figura 11, se muestra la probeta para este ensayo.

Figura 11. **Probetas de doblado de raíz y de cara**



Fuente. OVIDEO RICARDO, Desarrollo de un proceso y procedimiento de soldadura en estructura metálica.

Para saber si la soldadura posee las capacidades y características necesarias, para ser utilizada, esta únicamente será aceptada si:

- Al mostrarse grietas en la superficie estirada, estas tengan un largo menor a 1/8 de pulgada.
- Si se forman grupos de grietas, Ninguno de estos tengan una longitud combinada de 1/8 de pulgada.

Para realizar esta prueba no se debe de olvidar el redondear las cuatro orillas a lo largo de la muestra ya que si no se hace, se puede formar grietas en alguno de los bordes provocando así que la soldadura falle.

5.4. Prueba de vacío

Esta prueba es muy utilizada para realizar las inspecciones en los pisos o fondos de tanques para almacenamiento, Esta prueba es utilizada para inspeccionar juntas de soldaduras, donde no se puede utilizar pruebas como radiografía.

Para poder llevar a cabo esta prueba se necesita, de la herramienta conocida como caja de vacío, esta es una caja rectangular la cual tiene como función formar un vacío en la zona o área a inspeccionar.

La caja de vacío, utilizada para esta prueba, funciona a través de la activación de una bomba la cual se encarga de succionar o extraer todo el aire dentro de la caja y así generar vacío.

Con la caja de vacío se pueden ver y localizar defectos, grietas o imperfecciones, ya que si existen algunas de estas, el aire entrara a través de estas grietas. La entrada del aire a la caja por medio de las grietas provoca burbujas las cuales son observadas, a través del material transparente que se encuentra en la parte superior de las cajas de vacío.

Para poder observar las burbujas a través de la ventana de observación, la soldadura debe ser impregnada con una solución jabonosa. El operador debe observar la superficie de la soldadura y si se observa un burbujeo en la soldadura inspeccionada quiere decir que la soldadura posee fugas.

A continuación en la figura 12, se presenta uno de los tipos de equipo utilizado para realizar esta prueba.

Figura 12. **Caja de vacío**



Fuente. <http://www.piesadec.net/PICTURES/CV1.jpg>. Consulta: 9 de mayo de 2012.

En la Norma API 650, sección 5.3.3., se encuentran los requerimientos necesarios para realizar la prueba de vacío. Los requerimientos que deben ser cumplidos para esta prueba se describen a continuación.

- La caja de vacío debe tener dimensiones de 150 milímetros de ancho por 750 milímetros de largo.
- La caja debe poseer en la parte superior una ventana de vidrio o policarbonato y fondo abierto.
- El fondo debe poseer un empaque de neopreno esponjoso.
- Las juntas a inspeccionarse deben ser cubiertas por una solución jabonosa o aceite de linaza.
- En lugares fríos puede necesitarse una solución descongelante.
- El manómetro debe poder medir un vacío parcial de por lo menos 21 kilo pascales.

5.5. Prueba hidrostática

La prueba hidrostática es empleada cuando se tiene el tanque conformado en su totalidad. Esta prueba permite determinar el estado de deformaciones en el cuerpo de la estructura ya que el fin de esta prueba es el evaluar las paredes del tanque para almacenamiento.

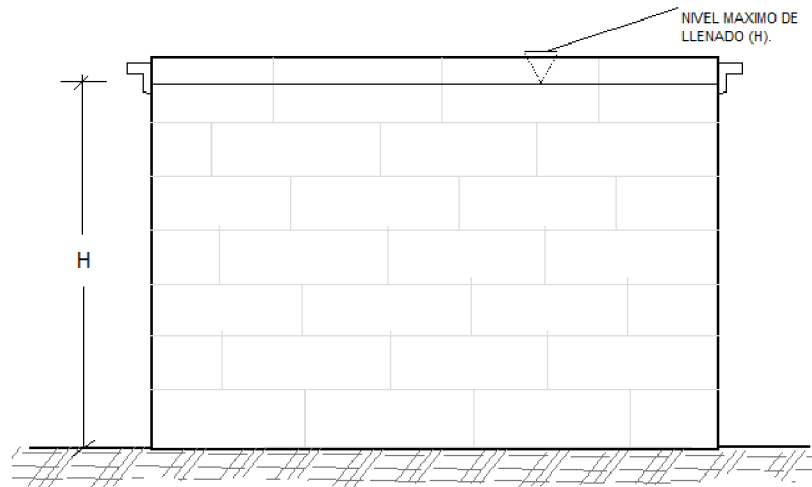
Esta prueba consiste en llenar el tanque hasta su nivel máximo de diseño de líquido H como se puede ver en la figura 13. Una vez se tenga lleno el tanque, se procede a verificar de manera visual, si existen fugas, las cuales se dan en las juntas del tanque a través de posibles grietas.

Se debe de tener en cuenta que al ser llenado el tanque hasta su nivel máximo de diseño, este puede presentar deformaciones tales como elongaciones en las paredes, como también asentamientos. Por lo que es muy importantes tomar medidas cuando el tanque esta vacio y así poder hacer comparaciones luego del llenado.

Al tener el tanque lleno hasta el nivel máximo de diseño, se pueden realizar las mediciones de asentamientos y elongaciones utilizando para estos el equipo necesario para desarrollar las mediciones.

Unos de los inconvenientes que muchas veces causan problemas o no permiten realizar la prueba hidrostática, son la poca disponibilidad del agua para lograr el llenado del tanque hasta la altura requerida por la prueba. Además de no poder contar con el agua suficiente, muchas veces se da el inconveniente de que no se tiene el equipo necesario para llenar el tanque.

Figura 13. Nivel máximo de llenado



Fuente. elaboración propia.

Para llenar el tanque se aconseja el uso de bombas con la capacidad suficiente para trasportar el agua hasta el tanque, también se puede utilizar sistemas como los utilizados contra incendios o con la ayuda de tanques elevados los cuales facilitarían el llenado del tanque.

La Norma API 650 en la sección 5.3.6. Provee otra alternativa, para evaluar las juntas soldadas del tanque, al momento de no contar con el agua suficiente para el llenado del tanque. La norma indica que se pueden pintar todas las juntas en el lado interno, con un aceite de alta penetración, por ejemplo aceite para resortes de automóviles y observar del lado externo la aparición de grietas.

Otra alternativa dada por la Norma API 650 es el aplicar vacío a cualquiera de los lados de las juntas y examinar cuidadosamente las uniones en busca de grietas.

6. APLICACIÓN DE DISEÑO

6.1. Diseño de tanque para almacenamiento de agua

A continuación se muestran los datos necesarios para realizar el cálculo de los elementos que conforman el tanque para almacenamiento de agua.

Tabla III. Datos para diseño de tanque

Características del tanque	
Diámetro interno (D)	12 m
Altura (H)	10 m
Corrosión permisible (C.A.)	1/16"= 1,6 mm
Material	ASTM A-36
Techo	No
Dimensiones de placas escuadradas a usar	
Ancho	6 m
Largo	1,8 m
Líquido almacenado	
Fluido	Agua
Peso específico del líquido (γ_L)	1 000 kg/m ³ o 62,4 lb/pie ³
Gravedad específica (G)	1
Suelo	
Peso específico del suelo (γ_s)	1 600 kg/m ³ o 100 lb/pie ³
Capacidad soporte	18 ton/m ² o 3 680,8 lb/pie ²
Zona sísmica	4
Condición de suelo	Duro y denso
Coefficiente de presión activa K_a	0,4
Viento	
Velocidad de viento	120 Mph
Presión de viento	114 kg/m ²

Fuente. elaboración propia.

Lo primero que se debe realizar es estimar la cantidad de anillos que conformaran el tanque, realizando este cálculo de la siguiente forma:

$$\# \text{ Anillos} = H/\text{Ancho de placa} = 10 \text{ m}/1,80 \text{ m} = 5,55 \text{ anillos} = 6 \text{ anillos}$$

Con esto se sabe que se tendrá 5 anillos de 1,80 metros de ancho y el último será de 1 metro de ancho.

Según lo especificado en la tabla II, el espesor mínimo de las placas del cuerpo es de 5 milímetros.

Para el cálculo de espesores por condiciones de diseño y por condiciones de prueba hidrostática se utilizara para S_d y S_t los valores dados en la tabla I del anexo.

Espesor por condiciones de diseño

$$t_d = \frac{4,9D(H - 0,3)G}{S_d} + C_A = \frac{4,9(12)(10 - 0,3)1}{160} + 1,6 = 5,16 \text{ mm}$$

Espesor por prueba hidrostática

$$t_t = \frac{4,9D(H - 0,3)}{S_t} = \frac{4,9(12)(10 - 0,3)}{171} = 3,33 \text{ mm}$$

Ya que el espesor por condiciones de diseño es el mayor, para el cálculo de espesores de los demás anillos será utilizada la ecuación por condiciones de diseño.

6.1.1. Diseño de paredes del cuerpo

Primer anillo

Según lo calculado anteriormente el espesor para el primer anillo es de 5,16 milímetros pero comercialmente el espesor a utilizarse como mínimo será de 6,4 milímetros.

Espeso Anillo 1 = 6,4 mm

Segundo anillo

$$t_d = \frac{4,9D(H - 0,3)G}{S_d} + C_A = \frac{4,9(12)(9 - 0,3)1}{160} + 1,6 = 4,79 \text{ mm}$$

Espesor anillo 2 = 6,4 mm

Se puede observar que el espesor va disminuyendo con forme se analiza el anillo siguiente superior, por lo que se puede concluir que el espesor para los anillos 3, 4, 5 y 6 será de 4.8 milímetros.

Espesor anillos 3, 4, 5 y 6 = 4,8 mm

6.1.2. Diseño de placas del fondo

Para el cálculo del espesor de las placas del fondo se utilizaran los datos indicados en la tabla I y la expresión para el cálculo de espesor por prueba hidrostática, despejando de esta el esfuerzo por prueba hidrostática y utilizando como espesor el dato del primer anillo.

$$Sh = \frac{4,9D(H - 0,3)}{t} = \frac{4,9(12)(10 - 0,3)}{6,4} = 89,11 \text{ MPa}$$

Espesor anillo 1 = 6,4 milímetros según tabla I, para $t < 19 \text{ mm}$. Y $Sh < 190 \text{ mega pascales}$ el espesor a utilizarse es 6 milímetros.

El espesor de la placa del fondo comercialmente será de 6,4 milímetros pero por motivos de corrosión se adicionara 1/16 de pulgada (1,5 milímetros), por lo que el espesor del fondo será 7,9 milímetros.

Espesor placa de fondo = 7,9 mm

6.1.3. Diseño por sismo

Este se calcula para determinar si la estructura es capaz de resistir las fuerzas generadas por los sismos y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$M = ZI(C_1W_sX_s + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Se diseñara para una zona sísmica 4 por lo que el factor $Z=0,4$

Factor de importancia será $I = 1$

Altura de centroide del tanque $X_s = 5 \text{ m}$.

Relación $D/H = 1,2$

Cálculo del peso total del cuerpo.

$$W_s = \text{Área del cuerpo} * \text{Espesor del cuerpo} * 199,27$$

$$W_s = 376,99 \text{ m}^2 * 0,20833 * 199,27 = 15\ 650,33 \text{ kg}$$

Cálculo del peso del líquido retenido

$W_t = \text{Volumen de líquido} * \text{Peso específico}$

$$W_t = \frac{\pi D^2}{4} H * \gamma_l = \frac{\pi (12)^2}{4} (10) * 1000 = 1\,130\,973,4 \text{ kg}$$

Cálculo de masas efectivas

Como la relación $D/H = 1,2$, de la figura 2 del anexo se obtiene que $W_1/W_t = 0,78$ y $W_2/W_t = 0,35$

$$W_1 = 0,78 * 1\,130\,973,4 = 882\,159,3 \text{ kg}$$

$$W_2 = 0,35 * 1\,130\,973,4 = 395\,840,7 \text{ kg}$$

Cálculo de masas efectivas.

Como la relación $D/H = 1,2$, de la figura 3 del anexo se obtiene que $X_1/H = 0,4$ y $X_2/H = 0,73$

$$X_1 = 0,4 * 10 = 4 \text{ m}$$

$$X_2 = 0,73 * 10 = 7,3 \text{ m}$$

Cálculo coeficientes laterales C_1 y C_2 .

Según la figura 4 del anexo, para una relación $D/H = 1,2$, el valor de $K = 0,6$.

$T = K * D^{0,5} = 0,6(1200)^{0,5} = 20,78$ segundos. Como $T > 4,5$ entonces el valor para C2 se calculara como:

$C2 = (1,35 * S)/(T)^2$, según la tabla IV del anexo, para el tipo de suelo el valor de $S = 1,2$

$$C2 = (1,35 * 1,2)/(20,78)^2 = 0,00375$$

$$C1 = 0,24$$

Cálculo de momento de volteo

$$M = 0,4 * 1(0,24 * 15\ 650,33 * 5 + 0,24 * 882\ 159,3 * 4 + 0,00375 * 395\ 840,7 * 7,3)$$

$$M = 350\ 595,92 \text{ kg-m.}$$

Chequeo por compresión en el cuerpo del tanque

$$M / (D^2 * Wt) = 350\ 595,92 / (12^2 * 15\ 650,33) = 0,1556$$

$$b = Wt + 1,2731M/D^2 = 15\ 650,33 + 1,2731(350\ 595,92)/(12)^2$$

$$b = 18\ 749,93$$

$$b / 1\ 000t = 18\ 749,93 / 1\ 000(6,4) = 2,953$$

$$GHD^2/t^2 = 1 * 10 * 12^2 / 6,4^2 = 35,2 < 44$$

$$Fa = 83t / 2,5D + 7,5(G * H)^{0,5} = 83(6,4) / 2,5(12) + 7,5(10)^{0,5}$$

$$Fa = 41,42$$

$$0,5F_{ty} = 0,5(399,89) = 199,95$$

Como $b / 1\ 000 t < Fa < F_{ty}$ se concluye que el tanque resiste los esfuerzos de compresión, a los cuales está sometido el tanque al momento de un sismo.

6.1.4. Diseño por viento

Este es otro de los diseños importantes, ya que al igual que las fuerzas de sismo, esta también provoca volteo por lo que se debe chequear si la estructura es capaz de resistir esta fuerza.

Según la tabla III, la presión de viento a utilizarse para una velocidad de 120 millas por hora será de 95 kilogramos por metro cuadrado.

$$M = P_v D (H_t)^2 / 2 = 95(12)(10)^2 / 2 = 57\,000 \text{ kg-m}$$

Chequeo por volteo

$$2/3 * (W_t * D) / 2 = 2/3 * (15\,650,33 * 12) / 2 = 62\,601,32 \text{ kg-m}$$

Como $M < 2/3 * (W_t * D) / 2$, entonces se puede concluir que el tanque resiste al volteo inducido por la fuerza de viento y no necesita anclajes.

Determinación anillo de rigidez.

Se debe determinar si el tanque requiere un anillo rigidizante para evitar deformaciones en el cuerpo, producidas por las fuerzas de viento.

$$H_1 = 9,47t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{190}{V}\right)^2} = 9,47(4,8) \sqrt{\left(\frac{4,8}{12}\right)^3 * \left(\frac{190}{160}\right)^2} = 16,227 \text{ m}$$

Como H_1 es mayor a la altura total del tanque H se puede decir que el tanque no necesita de algún anillo rigidizante, por lo que el cuerpo no se deformara ante las presiones de viento.

Tabla IV. **Tabla de resumen**

Tabla de resumen				
Diámetro del tanque	12 m		39,36 pies	
altura	10 m		32,8 pies	
Perímetro	37,7 m		123,7 pies	
Cuerpo				
	Espesor		Peso	
Primer anillo	6,4 mm	1/4 "	3 380,5 kg	7 437,1 lb
Segundo anillo	6,4 mm	1/4 "	3 380,5 kg	7 437,1 lb
Tercer anillo	4,8 mm	3/16 "	2 535,5 kg	5 578,1 lb
Cuarto anillo	4,8 mm	3/16 "	2 535,5 kg	5 578,1 lb
Quinto anillo	4,8 mm	3/16 "	2 535,5 kg	5 578,1 lb
Sexto anillo	4,8 mm	3/16 "	1 408,6 kg	3 098,9 lb
Peso total cuerpo	15 776,1 kg		34 707,4 lb	
Fondo				
Fondo	7,9 mm	5/16 "	7 042,8 kg	15 494,1 lb
Peso total fondo	7 042,8 kg		15 494,1 lb	
Peso total liquido	1 130 973,4 kg		2 488 141,5 lb	

Fuente. elaboración propia.

6.2. **Diseño de cimentación**

Con la ayuda de los resultados obtenidos, en los cálculos anteriores, se diseña la cimentación que más se adecue a lo requerido por las características del tanque para almacenamiento.

Para el diseño del cimiento uno de los aspectos más importantes es el análisis de suelos, por motivos de ejemplo se utilizara los valores que se muestran en la tabla IV.

Para el tanque diseñado anteriormente se utilizara una cimentación de concreto, tipo anillo, ya que esta es adecuada para este tanque.

Chequeo de esfuerzo por compresión

W_l y W_{fondo} son obtenidos de la tabla IV.

$$\sigma_c = \frac{W_l + W_{\text{fondo}}}{A} = \frac{2\,488\,141,5 + 15\,494,1}{1\,216,7} = 2\,057,6 \text{ lb/pie}^2$$

Se puede ver que $\sigma_c = 2\,057,6 \text{ lb/pie}^2$ es menor que la capacidad soporte del suelo $3\,680,8$ Libras pie cuadrado por lo que se confirma que el suelo es capaz de resistir el peso que se induce sobre él.

Dimensionamiento de la cimentación.

$$W' = \frac{W_{\text{pared}}}{P_{\text{tanque}}} = \frac{34\,707,4}{123,65} = 280,69 \text{ lb/pie}$$

Para el dimensionamiento de la base del cimientamiento se asumirá un peralte o altura, el cual para este caso será $h_s = 3$ pies.

$$b = \frac{24W'}{H\gamma L - 80h_s} = \frac{24 * 280,69}{32,8 * 62,4 - 80 * 3} = 3,73 \text{ in}$$

Según las consideraciones del API 650 la base del anillo no debe ser menor que 12 pulgadas por lo que se usara como base 14 pulgadas.

$$b = 14 \text{ in} = 0,35 \text{ m}$$

Cálculo presión de líquido sobre suelo

$$PL = H \times \gamma L = 32,8 * 62,4 = 2\,044,9 \text{ lb/pie}^2$$

Cálculo de fuerza de tensión

$$\sigma P = \frac{K_a \cdot \gamma_s \cdot h_s^2}{2} + K_a \cdot PL \cdot h_s = \frac{0,4 * 100 * 3^2}{2} + 0,4 * 2\,044,9 * 3$$

$$\sigma P = 2\,633,9 \text{ lb/pie}$$

Cálculo de fuerza total de tensión.

$$F_t = D \cdot \sigma P / 2 = 39,36 * 2\,633,9 / 2 = 51\,835,1 \text{ lb}$$

Cálculo de área requerida para acero longitudinal.

$$A_l = \frac{F_t}{f_s} = \frac{51\,835,1}{24\,000} = 2,16 \text{ in}^2$$

Como el cimiento necesita 2,16 pulgadas cuadradas se considerara el utilizar varillas No.5 para el refuerzo longitudinal.

Según la figura 8 del anexo, el área de varilla No. 6 = 0,4 in²

$$\# \text{ de varillas} = A_l / A_{\text{varilla}} = 2,16 / 0,4 = 5,4 = 6 \text{ varillas No. 6}$$

Cálculo de área requerida para acero transversal.

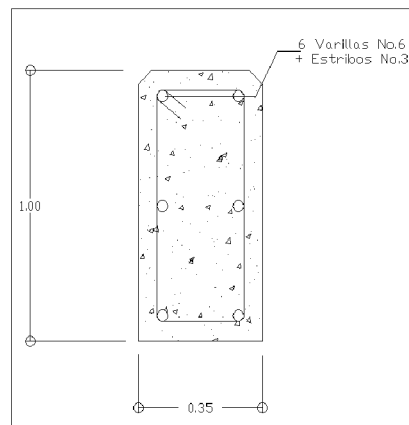
$$A_t = R \cdot h_s \cdot K_a \frac{62,5H + \frac{\gamma_s \cdot h_s}{2}}{f_s} = 19,68 * 3 * 0,4 \frac{62,5(32,8) + \frac{100 * 3}{2}}{24\,000} = 2,2 \text{ in}^2$$

Para el refuerzo transversal se usara varilla No. 3 la cual posee un área de 0,11 pulgadas cuadradas según la figura 8 del anexo.

de estribos = $2,2/0,11 = 20$ estribos → utilizar 40 estribos No. 3

En la figura 14 se muestra una sección del cimiento. En el apéndice, se encuentra mejor detallado el cimiento para el tanque de almacenamiento.

Figura 14. **Detalle de cimentación**



Fuente. elaboración propia.

6.3. **Fabricación**

Para la fabricación del tanque diseñado anteriormente, se utilizara el procedimiento descrito en el capítulo 3. Además se hará únicamente mención del procedimiento de fabricación del cuerpo y fondo.

Ya que el procedimiento de fabricación se encuentra descrito en el capítulo 3 de este trabajo, se resumirá y en este dicho procedimiento.

Una vez se tenga diseñado el cuerpo y fondo del tanque se debe elaborar planos o esquemas para que los encargados de fabricación puedan entender e iniciar con el proceso.

6.3.1. Fabricación de fondo

Antes de realizar cualquier tipo de corte en las planchas de acero, se debe de acomodar cada una de las piezas que forman el fondo en las planchas que se tienen disponibles para reducir desperdicios. Para este caso se utilizó el programa Auto CAD 2007 para hacer la distribución de las piezas sobre las planchas del fondo. Esta distribución se puede observar en la figura 15.

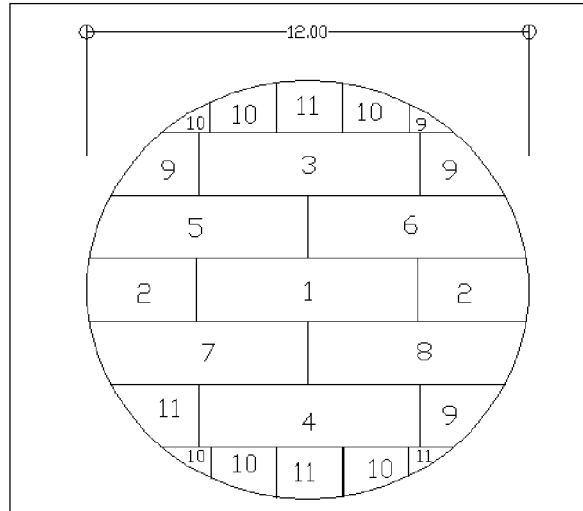
Según el apéndice, se necesitara emplear 11 planchas con dimensiones de 1,8 X 6 metros ya escuadradas. En la siguiente figura se muestra como quedara armado el fondo.

Una vez que se tengan los planos o esquemas se procede a realizar el corte de las piezas del fondo. El procedimiento para corte ya dependerá del lugar en donde se fabricaran las piezas. En la figura 16, se puede observar un tipo de corte para planchas.

Para cortar las piezas, que necesitan tener un determinado radio, se pueden cortar mediante maquinaria que cuente con la tecnología para hacer este tipo de corte o también por medio de plantillas a escala.

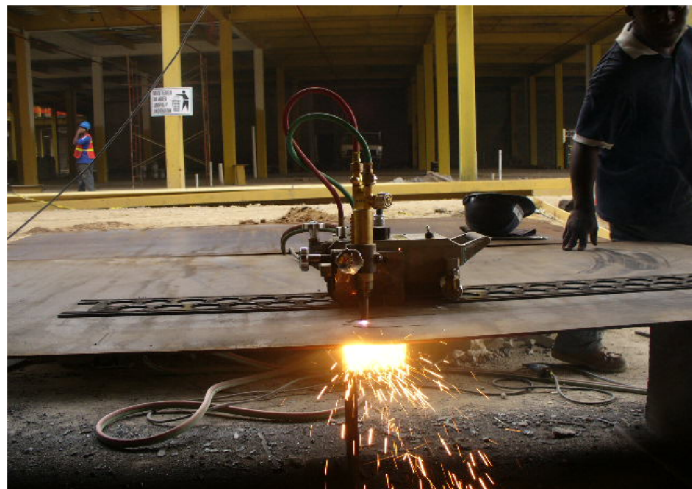
Una vez se tengan cortadas las piezas se deben de marcar conforme a los planos para que no haya confusión al momento de armar. Los detalles para el armado del fondo se encuentran en el apéndice.

Figura 15. **Armado del fondo para el tanque**



Fuente. elaboración propia.

Figura 16. **Sistema de corte semiautomático**



Fuente. http://www.acerosmaster.com.mx/fotospagina/Corte_de_Lamina_en_Plasma.jpg.

Consulta: 20 de mayo de 2012.

6.3.2. Fabricación del cuerpo

Al igual que el procedimiento utilizado en el fondo, se deben tener los planos o esquemas, donde se encuentre detallado la cantidad de láminas y los cortes necesarios para formar el cuerpo del tanque. Ya que el tanque no requiere de tantos cortes se debe de aprovechar al máximo las planchas a utilizar. De la misma manera que para el fondo se utilizó el programa Auto CAD 2007 para hacer la distribución de las planchas que forman el cuerpo.

En el apéndice, se pueden observar los detalles del cuerpo como también la cantidad de planchas que se necesitan para formarlo, las dimensiones de las planchas son de 1,8 X 6 metros ya escuadradas.

Ya que se tengan identificados los cortes que se realizarán, se procede a realizar el proceso. Para el corte de las planchas se recomienda utilizar un sistema automático o semiautomático como se muestra en la figura 16.

Una vez se tengan realizados los cortes de las planchas ya identificadas se realiza el procedimiento de rolado, utilizando el procedimiento descrito en el capítulo 3. En la figura 17, se muestra el rolado de las planchas metálicas.

Al terminar con el proceso de rolado, ya teniendo las placas identificadas y con el radio adecuado para formar el tanque, se pueden preparar todas las partes para ser enviadas al lugar en donde se montará el tanque. Si se especifica o si es necesario, el cuerpo y el fondo del tanque se prepararán para una aplicación de pintura epóxica en taller.

Figura 17. **Rolado de planchas metálicas**



Fuente. <http://www.alme.com.mx/servicios/rlgd4.jpg>. Consulta: 20 de mayo de 2012.

Cada pieza deberá pasar por el proceso de *Sandblast*, el cual se muestra en la figura 18, para eliminar todo tipo de impurezas u óxidos y así dejar la superficie limpia y con poros para que la pintura tenga una buena adherencia.

Figura 18. **Procedimiento de *Sandblast***



Fuente. <http://trainweb.org/horseshoecurve-nrhs/Photos/MU%20Cars/sandblast.jpg>. Consulta: 20 de mayo de 2012.

6.4. Montaje

Para el montaje de este tanque, se utilizara el procedimiento descrito en el capítulo 4 de este trabajo. Por lo que se resumirá este procedimiento.

Para que el montaje sea lo más rápido y eficiente, se deberán guiar por los planos o esquemas. En la sección de apéndices se muestra los esquemas del cuerpo y fondo.

A continuación se describe el procedimiento para el montaje del tanque.

- Revisión de cimentación y localización de ejes. Estos ejes pueden ser ejes referidos a un Norte magnético o a un Norte de referencia.
- Montar el fondo del tanque. Esto se muestra en la figura 19.

Figura 19. **Montaje de fondo**



Fuente. MAZARIEGOS PABLO, Diseño y construcción de un tanque atmosférico. p. 103

- Montar el anillo 1 del cuerpo y soldar las juntas verticales.

- Montar el segundo anillo, fijar y soldar las juntas verticales.
- Ajustar y soldar juntas horizontales entre primer y segundo anillo.
- Seguir el procedimiento anterior hasta montar todo el cuerpo del tanque. En la figura 20 se muestra un montaje de tanque utilizando una grúa.
- Verificar nivel y plomada.
- Una vez se tenga todo el tanque montado y soldado se realiza las preparaciones previas a pintura.

Figura 20. **Montaje del cuerpo del tanque**



Fuente. http://www.pertdpm.com/images/noti_chevron1.jpg. Consulta: 21 de mayo de 2012.

- Se hace uso del *sandblasting* para limpiar las juntas del tanque y luego aplicar un recubrimiento epóxico como protección. En la figura 21, se muestra el procedimiento de *sandblast* para las juntas.

- Por último se aplica la capa de pintura epóxica para protección del tanque, con el espesor especificado para dicha protección.

Figura 21. ***Sandblasting en juntas***



Fuente. Tipic-Demesa S.A., Tanque desarrollado en el departamento de Cobán.

Con todo el procedimiento descrito anteriormente se cumple el objetivo de este capítulo, el cual es mostrar una de las formas en que se puede desarrollar, el diseño, fabricación y montaje de un tanque para almacenamiento de agua, enfocándose en el diseño del cuerpo y fondo del tanque como también desarrollando el diseño de un cimiento adecuado para esta estructura.

CONCLUSIONES

1. La Norma API 650, plantea el procedimiento para el diseño de tanques verticales de acero, cimentados sobre el nivel del suelo, por lo que si se realiza una buena interpretación de ésta se obtendrán diseños seguros y confiables, los cuales cumplirán con lo requerido por los usuarios.
2. Existen una gran variedad de tanques para almacenamiento de agua, pero los propuestos por la Norma API 650 son muy interesantes, ya que estos poseen la ventaja de almacenar grandes volúmenes produciendo costos menores que otras estructuras ya que el desarrollo de estos es sumamente fácil y rápido.
3. La Norma API 650, presenta distintos factores que se deben analizar para lograr un buen diseño, entre los cuales están el volumen a contenerse, tipos de materiales, ubicación, etc. La Norma API 650 también presenta consideraciones para realizar el diseño de una buena cimentación. Ya que la cimentación anular de concreto distribuye eficientemente el peso de las paredes y el contenido, esta es considerada como la más adecuada para estos tanques.
4. La fabricación y montaje de estas estructuras deben contar con procedimientos adecuados, para reducir al máximo cualquier error y lograr así que la estructura trabaje con forme a lo diseñado o requerido por el usuario, y no sufra daños o colapsos. Si se sigue adecuadamente las recomendaciones dadas por la Norma API 650 se garantiza la reducción de errores y un desempeño óptimo de la estructura.

RECOMENDACIONES

1. Antes de iniciar con el diseño, se debe conocer el uso que tendrá el tanque, como también el tipo de líquido que se desea almacenar, ya que de esto depende la correcta funcionalidad de la estructura. Además es recomendable hacer primero un estudio de campo completo, para tener en consideración factores externos que puedan afectar la estructura.
2. Se debe considerar, para la construcción de este tipo de tanque, los materiales que se pueden encontrar en el mercado, ya que esto puede ayudar a tener diseños más óptimos y así evitar problemas de fabricación. También se debe comprobar que los materiales a utilizarse, sean de buena calidad y que califiquen para ser utilizados.
3. Para el diseño, se debe tomar la decisión de anclar o no el tanque a la cimentación, esto se hará dependiendo a los chequeos para las fuerzas de sismo y viento. Puede presentarse que el tanque sea inestable o que no resista estas fuerzas, en estos casos se recomienda anclar el tanque a la cimentación o aumentar ya sea espesor del cuerpo del tanque o el diámetro, tratando de variar las dimensiones para que el volumen a retener sea el demandado por el usuario.
4. El aumentar el diámetro o aumentar el espesor del cuerpo, puede dar como resultado, que el tanque no necesite anclajes, pero se recomienda anclarlo ya que reduce la posibilidad de volteo por las fuerzas de sismo y viento. Si el tanque no necesita anclajes, pero si se desea colocarlos, por seguridad, se pueden colocar a cada 3 pies y así asegurar la estructura.

5. Es muy importante, antes de montar la estructura, realizar chequeos en la cimentación como, ubicar ejes, chequear redondez y plomadas conforme se van montando los anillos del cuerpo. Además para garantizar un buen funcionamiento y aumentar la vida útil del tanque es necesario realizar el mantenimiento adecuado como protección por recubrimientos, chequeos en tuberías, etc.

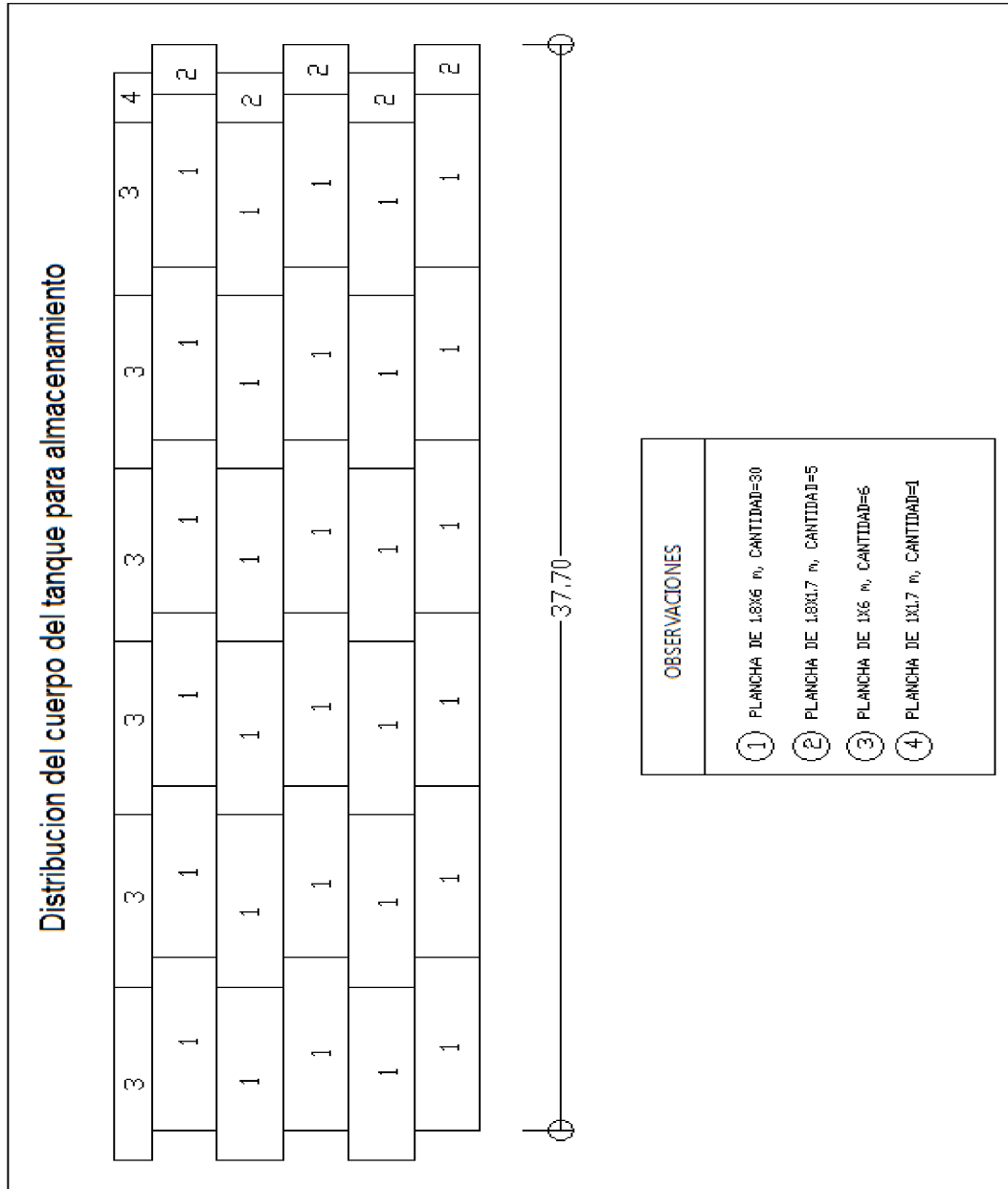
BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca De Ingeniería Estructural Y Sísmica. *Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección: NSE 2-10*. Guatemala: AGIES, 2010. 63 p.
2. American Concrete Institute. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural: ACI 318S-05*. Farmington Hills, Michigan: ACI, 2005. 518 p.
3. American Petroleum Institute. *API 650-98*. 10a ed. USA: API, 2003. p. irr.
4. _____. *API 650-07*. 11a ed. USA: API, 2007. p. irr.
5. CEJA RODRÍGUEZ, Juan. *Procedimiento general para la fabricación y montaje de tanques de almacenamiento*. [en línea]. <http://upcommons.upc.edu/bitstream/209.1/12874/1/MemB2ria.pdf>. [Consulta: 16 de febrero de 2012].
6. DÁVILA, Fernando. *Curso de diseño y construcción, protección catódica, inspección, reparación, y modificación de tanques de acero: Normas API-650, 651, y 653, inversiones fighercas*. Caracas: API, 2006. 390 p.
7. HOWARD, Cary. *Manual de soldadura moderna*. Tomo 1. 2a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamerican, 1992. 841 p. ISBN 968-880-246-8.

8. MATEUS HERRERA, Mario David. *Mantenimiento de tanques hidrostáticos de techo fijo para la industria petrolera*. Director Carlos Baldeón. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional de Quito, Escuela de Ingeniería, 2007. 30 p.
9. RESTREPO, Jorge. *Curso código API 650 y 653 diseño, montaje y construcción de tanques soldados de acero*. Bogotá: Elite training, 2007. 56 p.
10. SANTANA, Guillermo. *Evaluación de código sísmico Guatemala*. [en línea]. <http://ebookbrowse.com/evaluacion-de-codigo-sismico-guatemala-pdf-d75345338>. [Consulta: 23 de enero de 2012].
11. Uniform Building Code. *UBC 97'*. volumen 2. USA: UBC, 1997. p. irr.

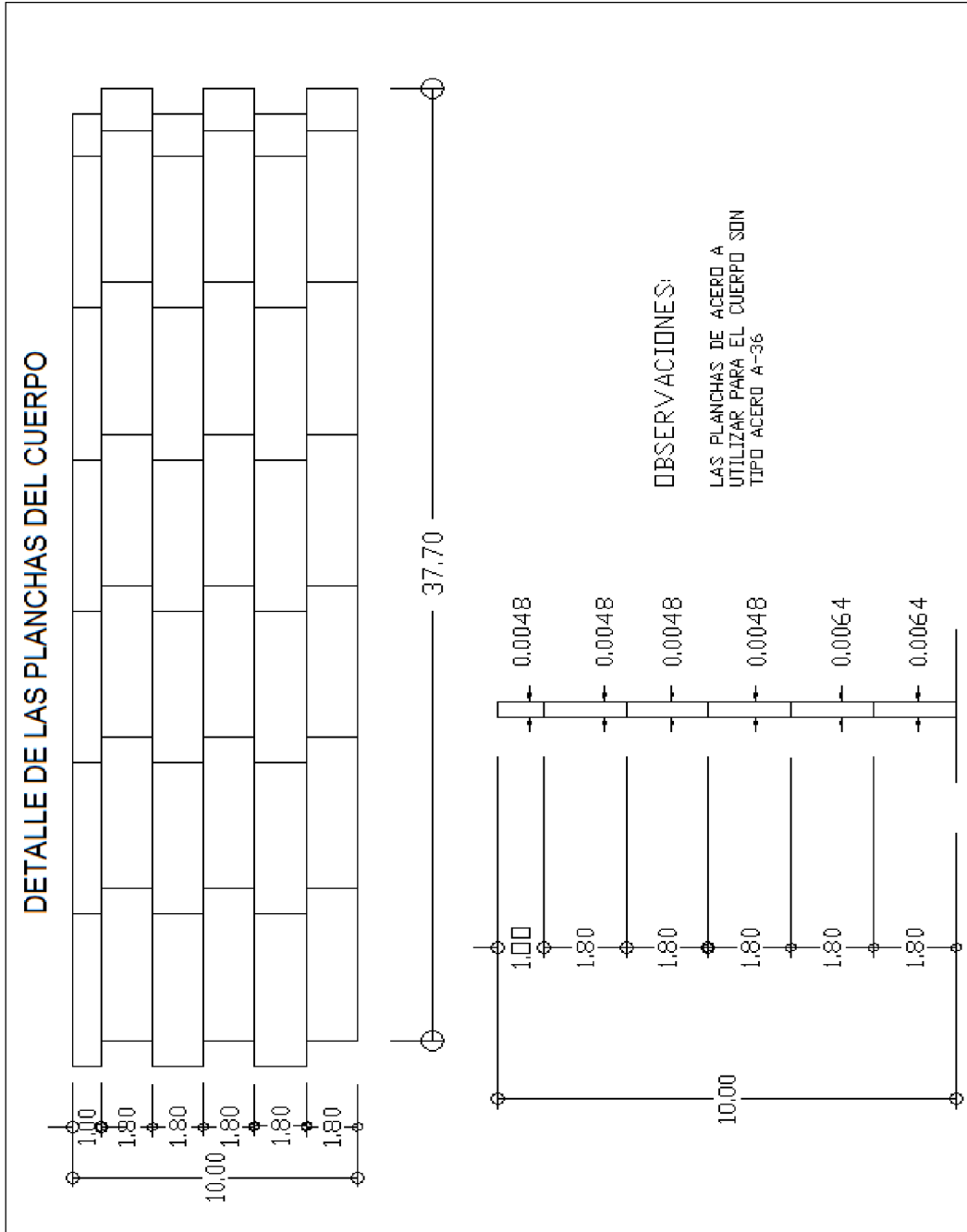
APÉNDICES

Desarrollo de cuerpo



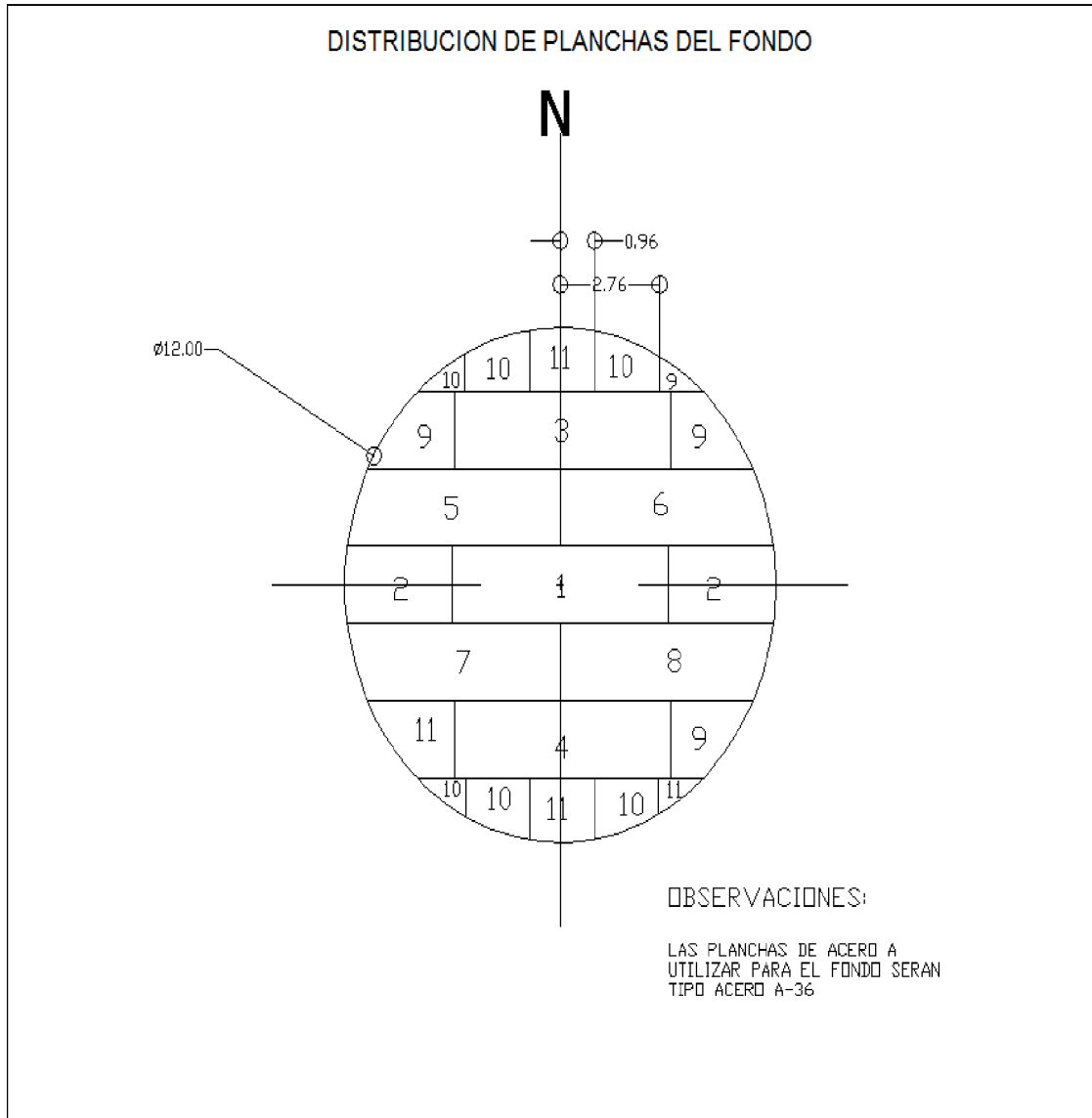
Fuente. elaboración propia.

Detalle de planchas



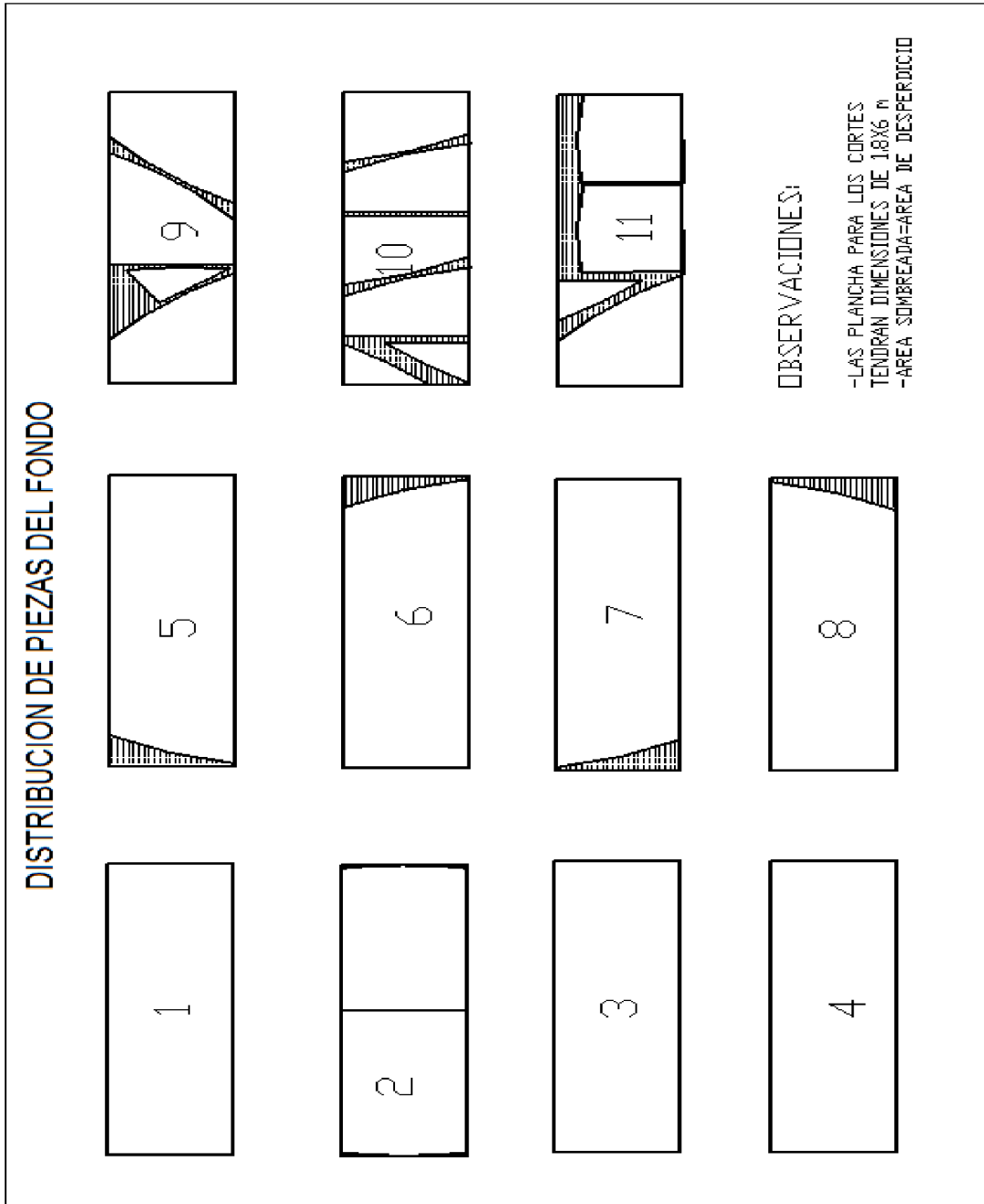
Fuente. elaboración propia.

Detalle del fondo



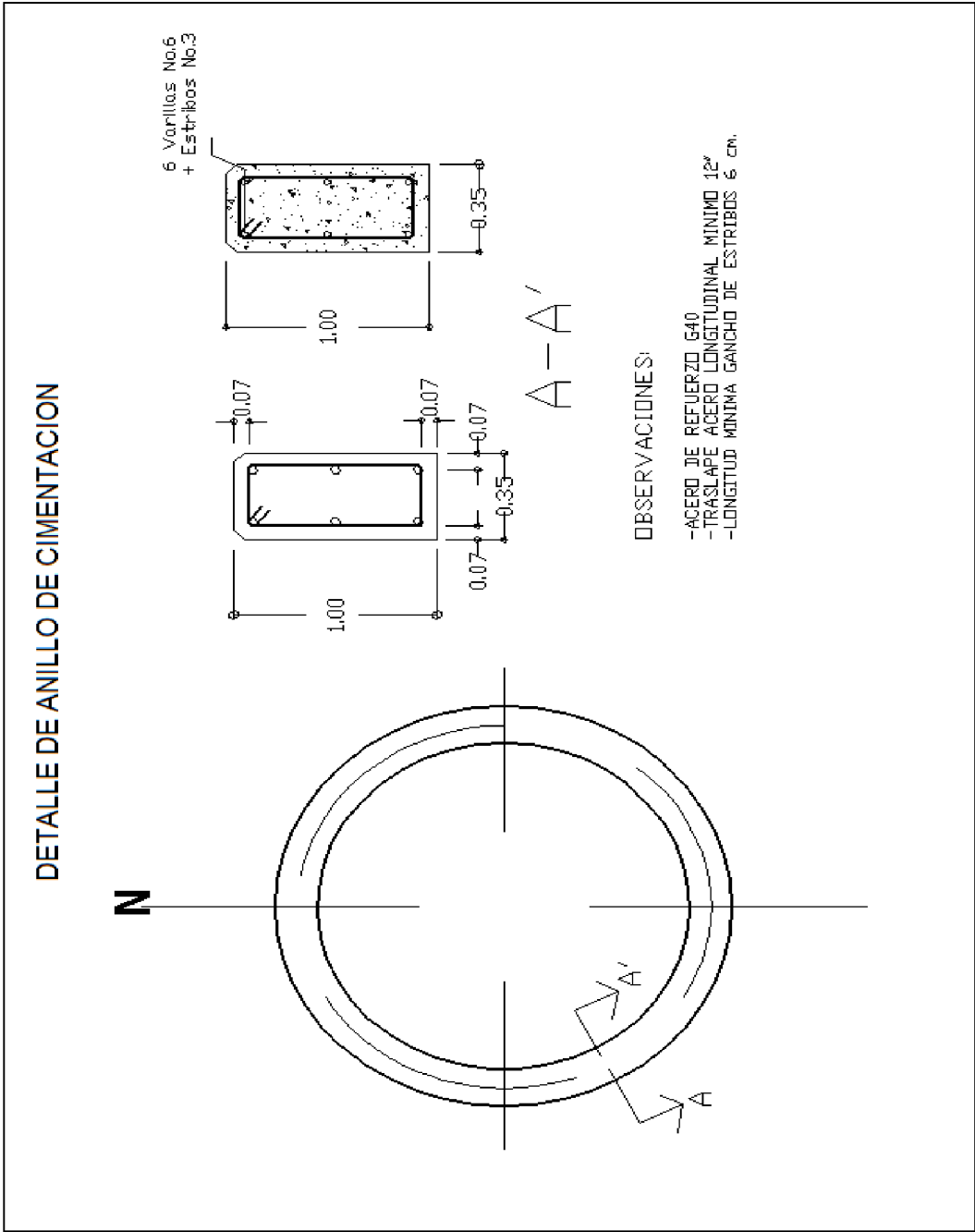
Fuente. elaboración propia.

Detalle piezas del fondo



Fuente. elaboración propia.

Detalle de cimiento anular



Fuente. elaboración propia.

ANEXOS

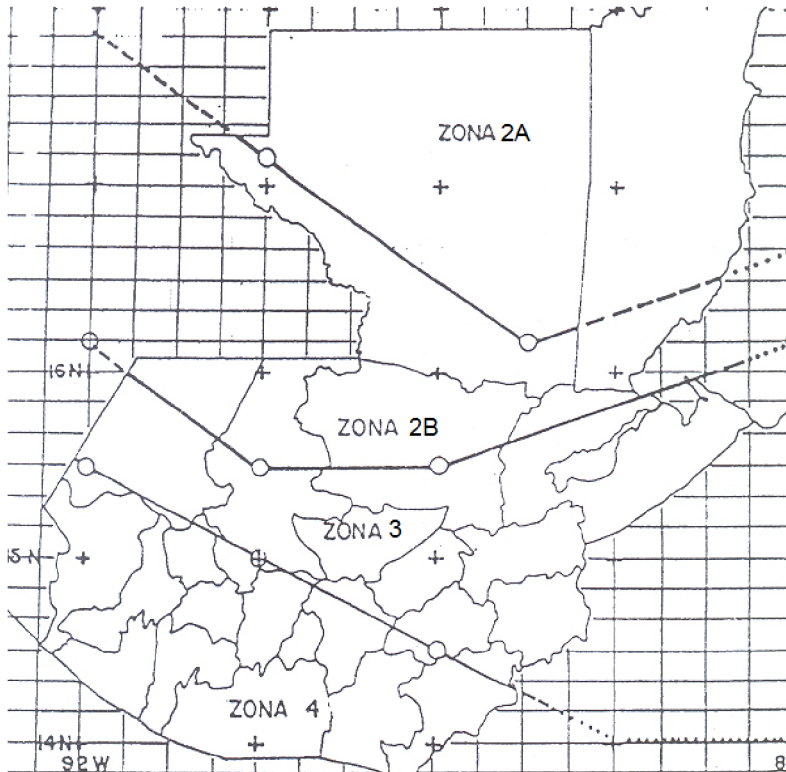
Tipos de materiales y esfuerzos permisibles

API STANDARD 650					
TABLA 5.2- Materiales permisibles de planchas y esfuerzos					
Especificación de la placa	Grado	Mínimo esfuerzo de fluencia (sy)	Máximo esfuerzo de Tensión (ST)	Esfuerzo de diseño (Sd)	Esfuerzo por prueba hidrostática (St)
ASTM Specifications					
A 283M (A 283)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 285M (A 285)	C (C)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 131M (A 131)	A, B, CS (A, B, CS)	235 (34,000)	400 (58,000)	157 (22,700)	171 (24,900)
A 36M (A 36)	—	250 (36,000)	400 (58,000)	160 (23,200)	171 (24,900)
A 131M (A 131)	EH 36 (EH 36)	360 (51,000)	490 ^a (71,000 ^a)	196 (28,400)	210 (30,400)
A 573M (A 573)	400 (58)	220 (32,000)	400 (58,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 573M (A 573)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 573M (A 573)	485 (70)	290 (42,000)	485 ^a (70,000 ^a)	193 (28,000)	208 (30,000)
A 516M (A 516)	380 (55)	205 (30,000)	380 (55,000)	137 (20,000)	154 (22,500)
A 516M (A 516)	415 (60)	220 (32,000)	415 (60,000)	147 (21,300)	165 (24,000)
A 516M (A 516)	450 (65)	240 (35,000)	450 (65,000)	160 (23,300)	180 (26,300)
A 516M (A 516)	485 (70)	260 (38,000)	485 (70,000)	173 (25,300)	195 (28,500)
A 662M (A 662)	B (B)	275 (40,000)	450 (65,000)	180 (26,000)	193 (27,900)
A 662M (A 662)	C (C)	295 (43,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	1 (1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 537M (A 537)	2 (2)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 633M (A 633)	C, D (C, D)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	A (A)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 678M (A 678)	B (B)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)
A 737M (A 737)	B (B)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 841M (A 841)	Class 1 (Class 1)	345 (50,000)	485 ^a (70,000 ^a)	194 (28,000)	208 (30,000)
A 841M (A 841)	Class 2 (Class 2)	415 (60,000)	550 ^a (80,000 ^a)	220 (32,000)	236 (34,300)

Fuente: código API 650-07, p. 5-12.

Factores de diseño sísmico

Figura 1. Zonas sísmicas de Guatemala



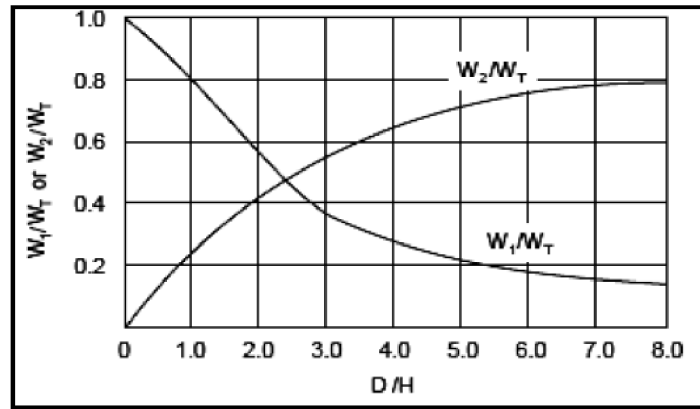
Fuente: evaluación de código sísmico Guatemala, p. 2.

Tabla II. Factor de zona sísmica z

Zona	Z
2A	0,15
2B	0,2
3	0,3
4	0,4

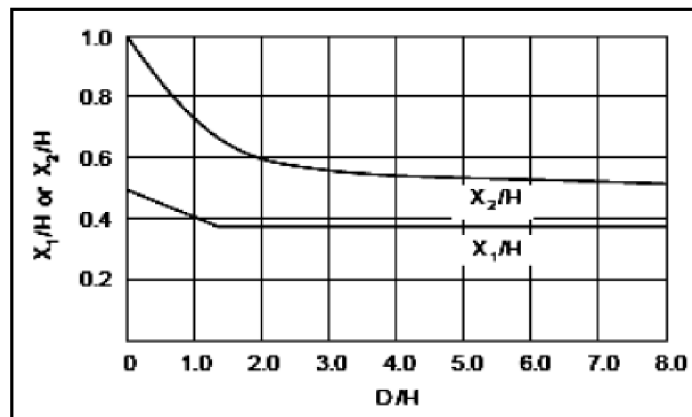
Fuente: código UBC 97', p. 16-35.

Figura 2. **Gráfica de masas efectivas**



Fuente: código API 650-98, Apéndice E, figura E-2.

Figura 3. **Gráfica centroides de fuerza sísmica**



Fuente: código API 650-98, Apéndice E, figura E-3

Tabla III. Coeficientes de sitio

CUADRO 1. COEFICIENTES DE SITIO	
Tipo	Descripción
S ₁	Un perfil de suelo con: (a) Roca de cualquier característica. Dicho material puede caracterizado por una velocidad de onda de sismorresistencia mayor que 800/s, o (b) Condiciones de suelo rígido donde la profundidad del suelo es menos de 50 m y los tipos de suelo que recubren roca son depósitos estables de cenizas volcánicas, arenas, gravas o arcillas duras.
S ₂	Un perfil de suelo con condiciones profundas no cohesivas o de arcilla rígida, incluyendo sitios donde la profundidad del suelo excede 50 m y los tipos de suelo que recubren roca son depósitos estables de cenizas volcánicas, arenas, gravas o arcillas rígidas.
S ₃	Un perfil de suelo con arcillas suaves a medianamente rígidas, cenizas y arenas volcánicas, caracterizadas por 10 m o más de arcillas suaves a medianamente rígidas con o sin capas intermedias de arena u otros suelos no cohesivos. En general los perfiles de suelo caracterizados por una velocidad de onda sismorresistente de menos de 200 m/s.

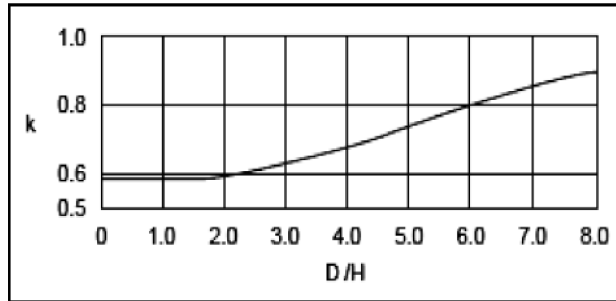
Fuente: evaluación de código sísmico Guatemala, p. 3.

Tabla IV. Coeficientes de lugar

TABLA E-3- coeficientes de lugar (vea nota)		
Tipo	Descripción	Factor S
S ₁	un contorno de terreno con: a) un material de roca viva caracterizada por una velocidad de onda de corte mayor que 760m/seg.(2500pies/seg) o por otra medida de clasificación apropiada o b) condiciones de terreno duro o denso donde la profundidad del terreno es menor que 60m(200 pies).	1.0
S ₂	un contorno de terreno con condiciones de terreno Duro o denso donde la profundidad del terreno excede 60 m(200 pies).	1.2
S ₃	un contorno de terreno de 12m(40 pies) o más en profundidad conteniendo más de 6 m(20 pies) de arcilla media dura o blanda pero mayores que 12m(40 pies) de arcilla blanda.	1.5
S ₄	un contorno de terreno conteniendo más de 12 m(40 pies) de arcilla blanda.	2.0

Fuente: código API 650-98, Apéndice E, tabla E-3.

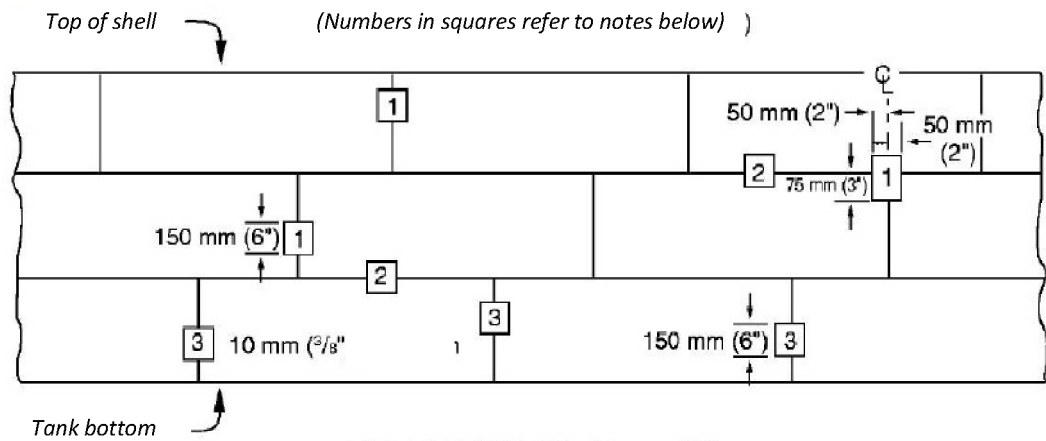
Figura 4. Gráfica de factor K



Fuente: código API 650-98, apéndice E, figura E-4.

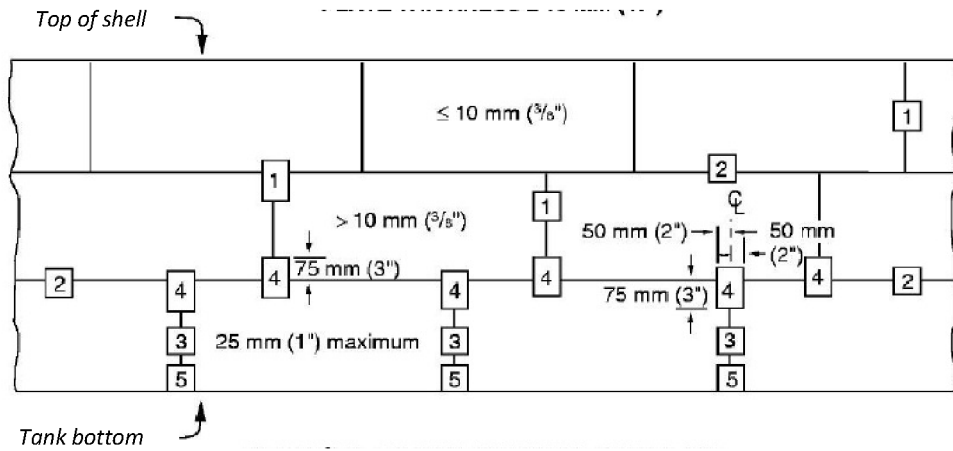
Condiciones para realizar prueba de rayos x

Figura 5. Cuando la plancha más delgada del casco posee $t \leq 10$ mm



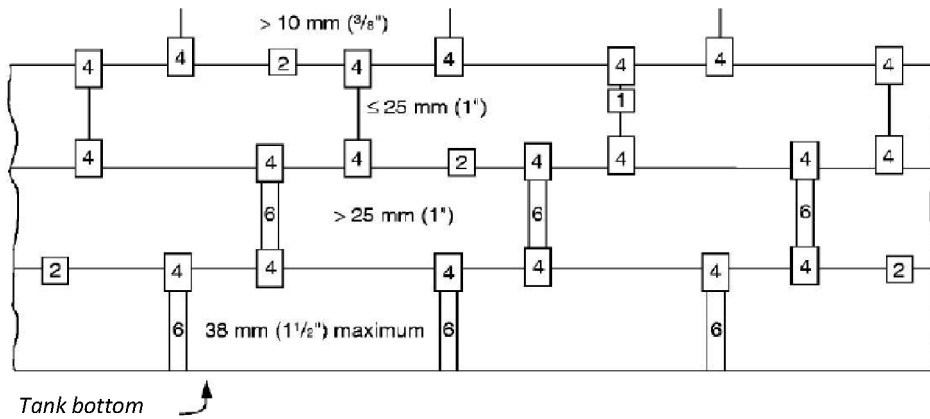
Fuente. código API 650-07, p. 8-2.

Figura 6. Cuando la plancha más delgada posee $10\text{mm} < t < 25\text{ mm}$



Fuente. código API 650-07, p. 8-2.

Figura 7. Cuando la planchas del casco posee $t > 1$ pulgada



Fuente. código API 650-07, p. 8-2.

Propiedades de barras corrugadas para refuerzo

Figura 8. Varillas de acero corrugadas

Número Designación	Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro (mm) Nominal	Especificaciones del empaque Varilla por Quintal		
			6 mts.	9 mts.	12 mts.
3	3/8	9.50	13.500	9.000	6.750
4	1/2	12.70	7.606	5.070	3.803
5	5/8	15.90	4.871	3.247	2.436
6	3/4	19.10	3.382	2.255	1.691
7	7/8	22.20	2.485	1.657	1.243
8	1	25.40	1.903	1.269	0.951
9	1 1/8	28.70	1.494	0.996	0.747
10	1 1/4	32.30	1.180	0.787	0.590
11	1 3/8	35.80	0.956	0.637	0.478

Fuente. <http://www.acerosdeguatemala.com/images/stories/especificaciones-varilla-acero-corrugado.jpg>. Consulta: 2 de junio de 2012.