



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**GUÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CIMIENTOS Y ANCLAJES DE
TANQUES DE ALMACENAMIENTO TIPO API 650**

Juan Pablo De León Arreaga

Asesorado por el Ing. Francisco Luis Antonio Luarca Saracho

Guatemala, mayo de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CIMIENTOS Y ANCLAJES DE
TANQUES DE ALMACENAMIENTO TIPO API 650**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN PABLO DE LEÓN ARREAGA

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO LUÍS ANTONIO LUARCA
SARACHO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V:	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR:	Inga. Evelyn Morales Ramírez
EXAMINADOR:	Ing. Alfredo Beber Aceituno
EXAMINADOR:	Ing. Renzo Gracioso Sierra
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

GUÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CIMIENTOS Y ANCLAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO TIPO API 650,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 17 noviembre de 2008.

Juan Pablo De León Arreaga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios: Por darme la fortaleza y sabiduría para seguir el camino correcto

Mi padre Luis Francisco por su apoyo incondicional

Mi madre: Thelmita por su abnegada tarea educándome, cuidándome y queriéndome siempre

Mis hermanos Javier y Luchi, por contar siempre con ellos

Mi esposa Mary, por estar a mi lado en todo momento y caminar juntos de la mano

Mi hijo Juan Pablo, por ser mi inspiración y fuerza para seguir adelante

AGRADECIMIENTOS A:

Deseo expresar mis agradecimientos a todas las personas que han sido parte de mi vida académica, laboral y personal.

Mis compañeros de la Universidad:

Javier Francisco De León Arreaga

Víctor Manuel Rivera Esteban

Diego García

Randy Javier Prera

Mis asesores:

Ing. Luis Antonio Luarca Saracho

Ing. Daniel Luarca De León

Mis compañeros y amigos de trabajo:

Otto Estuardo Mejía

Hilda de Salvador

Mis amigos de la vida:

Juan David Gonzáles

Estuardo Vásquez

Juan Carlos Dubón

Francisco Roca

LUARCA

ingenieros civiles

Guatemala, noviembre de 2009

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Jefe del Departamento de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente:

Estimado Ingeniero:

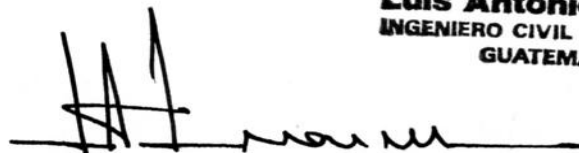
Cumpliendo con lo resuelto por la dirección de la escuela de ingeniería civil, lleve a cabo la asesoría y revisión del trabajo de graduación, titulado:

“Guía para el diseño estructural de cimientos y anclajes de tanques de almacenamiento tipo API 650”, presentado por el estudiante Juan Pablo De León Arreaga.

Considero que el trabajo de graduación ha sido desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema; por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado.

Sin otro particular, atentamente;

Luis Antonio Luarda S.
INGENIERO CIVIL COL. No. 1014
GUATEMALA C.A.



Luis Antonio Luarda Saracho
INGENIERO CIVIL
COL. 1014
Asesor de Trabajo de Graduación

Página 1 de 1

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala,
17 de febrero 2010

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **GUÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CIMIENTOS Y ANCLAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO TIPO API 650**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan Pablo de León Arreaga, quien contó con la asesoría del Ing. Luis Antonio Luarca Saracho.

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.



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. Francisco Luis Antonio Luarca Saracho y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación del estudiante Juan Pablo De León Arreaga, titulado GUÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CIMIENTOS Y ANCLAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO TIPO API 650, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2010

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG:159.2010

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: **GUÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CIMIENTOS Y ANCLAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO TIPO API 650**, presentado por el estudiante universitario **Juan Pablo De León Arreaga**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, mayo de 2010

/gdech

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR API 650 PARA TANQUES DE ACERO SOLDADOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS	1
1.1 Contenido y división del estándar	2
1.1.1 Sección 1, alcance	2
1.1.2 Sección 2, materiales	2
1.1.3 Sección 3, diseño	3
1.1.3.1 Diseño de juntas	3
1.1.3.2 Consideraciones del diseño	3
1.1.3.3 Consideraciones especiales	4
1.1.3.4 Láminas del fondo	4
1.1.3.5 Láminas anulares del fondo	4
1.1.3.6 Diseño del cuerpo	4
1.1.3.7 Aberturas en el cuerpo	5
1.1.3.8 Elementos de fijación al tanque	5

1.1.3.9 Rigidizantes por viento superiores e intermedios	5
1.1.3.10 Techos	6
1.1.3.11 Carga por viento en tanques (estabilidad contra el volteo)	6
1.1.4 Sección 4, fabricación	6
1.1.5 Sección 5, montaje	7
1.1.5.1 Requisitos generales	7
1.1.5.2 Detalles de soldadura	7
1.1.5.3 Inspección, pruebas y reparaciones	8
1.1.5.4 Reparación de soldaduras	8
1.1.5.5 Tolerancias dimensionales	9
1.1.6 Sección 6, método de inspección de juntas	9
1.1.6.1 Examen radiográfico	9
1.1.6.2 Examen por medio de partículas magnéticas	10
1.1.6.3 Examen por medio de ultrasonido	10
1.1.6.4 Examen por medio de líquidos penetrantes	10
1.1.6.5 Examen visual	11
1.1.7 Sección 7, calificación de procedimientos de soldadura y soldadores	11
1.1.8 Sección 8, identificación	11
1.1.9 Apéndices	11
2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO	13
2.1 Tipos de tanques	13
2.1.1 Tanques subterráneos	13
2.1.2 Tanques superficiales	14
2.1.2.1 Tanques atmosféricos	14
2.1.2.2 Tanques de baja presión	15

2.1.2.3 Tanques esferoidales de presión intermedia	15
2.1.2.4 Esferas presurizadas	15
2.1.2.5 Tanques atmosféricos refrigerados	15
2.1.3 Tanques estándar API 650	16

3. PARTES QUE CONFORMAN UN TANQUE

ATMOSFÉRICO SUPERFICIAL ESTÁNDAR API 650	19
3.1 Techo	19
3.1.1 Techos cónicos soportados	20
3.1.2 Techos auto soportados	21
3.1.3 Techos de domos	21
3.1.4 Techos tipo sombrilla	21
3.1.5 Techos flotantes	22
3.1.5.1 Internos	23
3.1.5.2 Externos	24
3.2 Paredes	24
3.3 Fondo	25
3.3.1 Unión traslapada	26
3.3.2 Unión a tope	26
3.4 Aperturas y conexiones	27
3.4.1 Pasos de hombres	27
3.4.1.1 De techo	28
3.4.1.2 De pared	28
3.4.2 Ventilaciones	29
3.4.2.1 Pasivas	30
3.4.2.2 Activas	30
3.4.3 Conexiones	30
3.4.4 Escalera	31

3.5 Cimentación	31
3.5.1 Cimiento anular y de roca triturada	32
3.5.1.11 Consideraciones para cimiento anular de roca triturada, según API 650	32
3.5.2 Cimiento anular de concreto	33
3.5.2.1 Diseño estructural de anillo de concreto	34
3.5.2.1.1 Esfuerzos verticales	35
3.5.2.1.2 Esfuerzos horizontales	36
3.5.2.2 Consideraciones para cimiento anular de concreto, según API 650	39
3.5.3 Cimiento de losa y pilotes	43
3.5.4 Anclajes	44
3.5.4.1 Anclajes por sismo	45
3.5.4.2 Anclajes por viento	45
3.5.4.3 Anclajes por riesgo de inundación	45
3.5.4.4 Anclajes por requerimiento del propietario	45

4. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL CIMIENTO PARA UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO API 650	47
4.1 Condiciones del entorno	47
4.1.1 Sismo	47
4.1.2 Viento	47
4.1.3 Condiciones geográficas	48
4.1.4 Condiciones ambientales	48
4.1.4.1 Corrosión permisible	48
4.2 Cargas	49

4.2.1 Carga muerta	50
4.2.2 Carga viva	50
4.2.3 Carga hidrostática	50
4.2.3.1 Presión vertical	51
4.2.3.2 Presión horizontal	51
4.2.4 Carga de viento	51
4.2.5 Carga de sismo	52
5. CONSIDERACIÓN DE DISEÑO DE ANCLAJES SEGÚN EL ESTÁNDAR API 650	53
5.1 Consideración de sismo según el estándar API 650	53
5.1.1 Determinación de momento de volteo por sismo	54
5.1.2 Determinación de fuerza de estabilización	58
5.1.3 Chequeo por compresión en la pared	59
5.1.3.1 Tanques no anclados	59
5.1.3.2 Tanques anclados	62
5.2 Consideración de viento según el estándar API 650	63
5.2.1 Determinación de momento de volteo por viento	64
5.2.2 Determinación de fuerza de estabilización	65
5.3 Anclajes	66
5.3.1 Diseño de anclajes por sismo	68
5.3.2 Diseño de anclajes por viento	69
6. GUÍA PARA DISEÑO DE CIMIENTO DE TANQUES API 650	71
6.1 Anillo de concreto	75
6.1.1 Chequeo de presión sobre el suelo debido al líquido y	75

peso de fondo	
6.1.2 Dimensiones de sección transversal de anillo de cimentación	76
6.1.3 Cálculo de esfuerzos horizontales	77
6.1.4 Cálculo de área de refuerzo longitudinal	78
6.1.5 Cálculo de área de refuerzo transversal	79
6.2 Determinación de uso de anclaje debido a sismo	80
6.2.1 Cálculo de momento de volteo	80
6.2.1.1 Cálculo de masas efectivas y Centroide	80
6.2.1.2 Cálculo de coeficientes laterales C1 y C2	81
6.2.2 Cálculo de fuerza estabilizante	82
6.2.2.1 Cálculo de momento estabilizante	83
6.2.3 Chequeo por compresión en la pared debido a sismo	83
6.2.3.1 Cálculo de esfuerzo sobre pared	84
6.2.3.2 Cálculo de esfuerzo permisible de compresión	84
6.3 Determinación de uso de anclaje debido a viento	85
6.3.1 Cálculo de momento de volteo	85
6.3.1.1 Momento producido por proyección de pared	85
6.3.1.2 Momento producido por proyección de techo (forma de cono)	85
6.3.2 Cálculo de momento de estabilización	86

7. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE PROYECTOS ESPECÍFICOS EN GUATEMALA, ASÍ COMO ESTADO ACTUAL DE TALES ESTRUCTURAS	87
---	-----------

CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Tanque atmosférico cilíndrico superficial	17
2	Tanque atmosférico cilíndrico superficial con techo tipo sombrilla	17
3	Techo de tanque superficial tipo sombrilla.	22
4	Pared de tanque compuesta por planchas de acero	25
5	Paso de hombre de techo	28
6	Paso de hombre de pared	29
7	Escaleras de tanque atmosférico superficial	31
8	Cimiento anular de piedra aplastada o grava (grava o roca triturada)	33
9	Sección típica de anillo de cimentación	34
10	Anillo de cimentación esfuerzos verticales y horizontales	35
11	Plano de cimiento anular de concreto	40
12	Sección transversal y condiciones de entorno	41
13	Sección transversal de anillo	41
14	Sección transversal de anillo de cimentación	42
15	Longitud de traslape a tensión	43
16	Anclaje de anillo de cimentación y tanque	44
17	Gráficas de masas efectivas	55
18	Centroide de fuerzas sísmicas	56
19	Gráfica factor k	57
20	Fuerza compresiva	60
21	Dimensiones de tanque atmosférico superficial	73

22	Detalle B plancha de acero estructural	74
23	Corte A – A espesores de pared, techo y fondo	74
24	Dimensiones de sección transversal de anillo de cimentación	77
25	Detalle de refuerzo transversal y longitudinal	79
26	Tanque de Bio Etanol, ubicado en la terminal de exportación Puerto Quetzal	89
27	Tanque de Jugo Tándem, ubicado en el Ingenio la Unión	90
28	Cimiento de tanque anillo de concreto con refuerzo longitudinal y transversal ubicado en la costa sur	91
29	Anillo a tensión	110

TABLAS

I	Coeficiente de sitio	58
II	Presiones de diseño para una velocidad de 100 MPH (160 km/h)	64
III	Cargas de levantamiento, formula y esfuerzo en el sistema inglés	67
IV	Materiales, condiciones de entorno, análisis de suelos y propiedades del líquido almacenado	71
V	Dimensiones de tanque de almacenamiento	72
VI	Peso de tanque con y sin corrosión permisible CA	75
VII	Aéreas y perímetro de secciones geométricas	100
VIII	Esfuerzos mínimos de tipos de acero según ASTM	102
IX	Diámetro y aéreas de acero de refuerzo corrugadas	104
X	Factores de conversión	106
XI	Factor de zona sísmica	108
XII	Pesos y gravedades específicas de algunos líquidos	111

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Tanto por ciento
@	A cada
'	Pies
''	Pulgadas
A	Área de refuerzo en pulgadas cuadradas
b	Espesor de cimiento en pies
b	Compresión máxima longitudinal en la parte baja de la pared del tanque en lbs/pie de circunferencia
B	Brazo en pies
C1,C2	Coeficiente de fuerzas laterales
CA	Corrosión permisible
C°	Grados celcios o centígrados
D	Diámetro de tanque en pies
d	Peralte de cimiento en pies
db	Diámetro de varilla corrugada
F	Grado Fahrenheit
Fa	Esfuerzo máximo de compresión permisible en lb/pul ²
F_{by}	Esfuerzo mínimo de fluencia del fondo en PSI
fs	Esfuerzo de tensión con cargas de servicio
Ft	Fuerza total a tensión en lb
Ft	Fuerza total de tensión
Fty	Esfuerzo mínimo de la carrera en compresión en lb/pul ²
G	Gravedad específica del líquido especificada por el fabricante
γ_L	Peso unitario de líquido en lb/pie ³

γ_s	Peso de suelo en lb/pie ²
H	Altura de operación del líquido almacenado en pies
H_r	Altura total de la pared del tanque en pies
hs	Peralte de cimiento en pies
I	Factor de importancia
k	Factor obtenido de la figura 19 para la relación D/H
K_a	Coeficiente de presión activa
ka	Coeficiente activo del suelo
KPA	1000 Newton por metro cuadrado
K_{si}	1000 libras por pulgadas cuadrada
M	Velocidad de diseño en MPH
mm	Milímetros
mm^2	Milímetros cuadrados
MPA	1000000 Newton por metro cuadrado
MPH	Millas por hora
M_s	Momento de volteo por sismo en lb-Pie
N	Numero de anclajes
P	Presión sobre el suelo en lb/pie ²
P	Presión de diseño en pulgadas de columna de agua
P_f	Presión de falla en pulgadas de columna de agua
P _L	Presión sobre el suelo provocado por el líquido en lb/pie ²
PSI	Libras fuerza por pulgadas cuadradas
P _t	Presión de prueba en pulgadas de columna de agua
P _{tanque}	Perímetro del tanque
pul^2	Pulgadas cuadradas
P _v	Presión del viento
R	Radio de tanque en pies
S	Factor de sitio obtenido de la tabla I, o por estudios Geotécnicos

T_b	Espesor del fondo del tanque sin CA en pulgadas
t_b	Carga por anclaje
t_h	Espesor de las planchas del techo en pulgadas
U	Carga neta de levantamiento, la carga depende del caso y se obtiene de la tabla III
V	Velocidad de diseño en MPH
w'	Peso distribuido sobre cimientto por pie lineal
W1	Masa del contenido del tanque que se mueve al unísono con la pared en lb
W_1	Carga muerta de la pared excluyendo permisión por corrosión(CA) en lb
W2	Masa del contenido del tanque que se mueve en el primer modo fundamental de vaivén en lb
W_2	Carga muerta de la pared y el techo, excluyendo ca, en lbs
W3	Carga muerta de la pared incluyendo ca
WL	Peso máximo del contenido que resiste el volteo en sistema en lbs/pie
Wpared	Peso de pared
Wr	Peso total del techo del tanque en lb
Ws	Peso total de la pared del tanque en lb
Wt	Peso de la pared del tanque y el peso del techo soportado por la pared en lbs/pie de circunferencia.
Wtecho	Peso de techo
X1	Centroide de masa de W_1 en pies
X2	Centroide de masa de W2 en pies.
Xs	Altura del Centroide de la pared del tanque en pies
z	Factor de zona sísmica obtenido de la tabla X
σ_P	Fuerza de tensión en lb por pie lineal

σ_t Esfuerzo permisible de refuerzo de acero en lb/pul²

GLOSARIO

API 650	Norma Estándar del Instituto Americano de Petróleo
Licuefacción	Acción que tiene un suelo en las cuales las partículas se desintegran y pasan de estado sólido a líquido, provocando que dicho suelo sea inestable estructuralmente.
Momento	Magnitud que resulta de la multiplicación de un fuerza por una distancia a un punto referente.
ACI 318	<i>Norma del American Concrete Institute</i> (Instituto Americano de Concreto)
Diseño	Planificación de algo.
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.
Peso específico	Propiedad física que posee cualquier material este resulta de su peso por unidad de volumen.
Precipitación	Agua procedente de la atmosfera, y que en forma

líquida o sólida se deposita en la superficie de la tierra

Capacidad soporte Propiedad que posee el suelo para poder resistir las cargas externas a la cual estará sometido.

Esfuerzo Es la relación de una fuerza por unidad de área, esta puede ser provocada por una fuerza de tensión o compresión

Peralte Profundidad o dimensión del cimiento

Sección transversal Área o superficie perpendicular a la dirección del elemento estructural analizado

Pilote Estructura de madera o concreto, que se hinca o se funde en la tierra para consolidar un cimiento

Corrosión permisible Capa o espesor de desgaste en elementos estructurales con el propósito de que los elementos puedan corroerse sin comprometer sus capacidades estructurales

Vaivén Movimiento alternativo de un cuerpo que después de recorrer un línea vuelve a describirla, caminado en sentido contrario

Compresión Acción o efecto de oprimir o apretar

Hidrostática	Parte de la mecánica que estudia el equilibrio de los líquidos
Nivel de operación	Nivel o altura del líquido almacenado a la cual el tanque trabajará con eficiencia
Corrugada	Estrías o resaltos que posee una barra de refuerzo, con el fin de aumentar la adherencia entre el concreto y las barras de refuerzo
Etanol	Alcohol etílico
Tensión	Acción o efecto de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen
Vinaza	Especie de vino en estado líquido

RESUMEN

En la actualidad la industria está utilizando cada vez más tanques de acero para el almacenamiento de líquidos de grandes capacidades para el proceso de diferentes productos, debido a la demanda de estos tanques, es necesario contar con parámetros y guías de diseño para tanques de almacenamiento superficial de grandes capacidades, es por ello que se han creado normas y códigos que rigen los métodos constructivos y la calidad de los materiales para la elaboración de estos tanques, una de éstas es el Estándar API 650.

A continuación se presenta una guía práctica para el diseño del cimiento y el uso de anclajes para tanques de almacenamiento, cumpliendo con los requisitos que dicta el estándar API 650. También se incluye un marco teórico que abarca toda la descripción del estándar API 650.

Con los parámetros incluidos en esta guía práctica se podrá identificar todas las variables a considerar en el diseño de cimentaciones y anclajes para tanques de almacenamiento superficial tipo API 650.

OBJETIVOS

General

- Proporcionar un documento para describir el estándar API 650, dando a conocer los tanques estándar API 650 y los parámetros que dicho estándar establece para el diseño de cimentación.

Específicos:

1. Dar a conocer los tipos de cimentación para tanques superficiales que admite el estándar API 650.
2. Determinar el uso adecuado de anclajes para tanques de almacenamiento estándar API 650 considerando las fuerzas naturales sísmicas y eólicas.
3. Elaborar una guía minuciosa y práctica para el diseño estructural de cimiento anular de concreto.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consta de siete capítulos los primeros cinco capítulos describen el estándar API 650 (Instituto Americano de Petróleo), especifica los diferentes tipos de tanques de almacenamiento que existen, las partes que conforman un tanque de almacenamiento superficial estándar API 650, tipos de cimentación para tanques superficiales y las consideraciones que el estándar API 650 dicta para el diseño de las cimentación y el uso de anclajes para este tipo de tanques.

El capítulo seis se conforma de una guía práctica para elaborar el diseño del cimiento de un tanque de almacenamiento, y finalmente, el capítulo siete desarrolla el tema del estado actual de dichas estructuras.

La guía para el diseño estructural de cimientos y anclajes de tanques de almacenamiento tipo API 650 describe todo el proceso y las consideraciones para elaborar efectivamente el diseño de estas estructuras industriales.

1. DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR API 650 PARA TANQUES DE ACERO SOLDADOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS

Este estándar determina los requisitos para materiales, diseño y ejecución del proyecto, fabricación, montaje y pruebas para tanques cilíndricos verticales situados encima del suelo, techados o abiertos, de acero soldado, en varios tamaños y capacidades, para presiones internas aproximadamente iguales a la atmosférica, excepto para casos cuando los requisitos adicionales del apéndice F (estándar API 650) son atendidos (admite presiones internas más altas que la atmosférica).

Este estándar se basa en el conocimiento adquirido a través de la experiencia de los clientes y fabricantes de tanques de acero, de diferentes tamaños y capacidades.

La intención de este estándar es plantear especificaciones para el comprador y así facilitar la manufactura y obtención del tanque de almacenamiento para la industria del petróleo. Si se compran los tanques de acuerdo con este estándar, se necesita que el comprador especifique ciertos requisitos básicos indicados por el estándar.

El comprador puede modificar, omitir o ampliar secciones de este estándar, sin embargo, en ese caso no deberá indicarse ninguna referencia de este estándar en las placas descriptivas (nameplates) o en la certificación del

fabricante ya que no llevaría los requisitos mínimos o excedería las limitaciones de este estándar.

Este estándar se aplica únicamente a aquellos tanques cuyo fondo es completo y uniformemente soportado.

1.1 Contenido y división del estándar

El estándar API 650 se divide en 8 secciones y 16 apéndices distribuidos de la siguiente forma:

1.1.1 Sección 1, alcance

Describe el alcance y la aplicación de la normas, con la presencia suscrita de la aplicación de varios volúmenes y apéndices. Determina las responsabilidades del fabricante así como la participación de clientes en las inspecciones.

1.1.2 Sección 2, materiales

Describe las especificaciones que se debe tener en todos los materiales utilizados en la fabricación de tanques, entre las que se mencionan por ejemplo: electrodos, tornillos, láminas, perfiles estructurales, fundiciones, placas, etc.

Establece también, qué materiales producidos por especificaciones diferentes a los prescritos en esta sección; pueden usarse siempre y cuando estos cumplan con los requisitos mínimos certificados.

También menciona el tratamiento térmico que debe de dársele a las láminas (para producir un refinamiento del grano), prueba de impacto en las láminas, tubos y elementos forjados, bridas, etc.

1.1.3 Sección 3, diseño

Esta sección se subdivide en 6 secciones. Las mismas se describen a continuación.

1.1.3.1 Diseño de juntas

Contiene definiciones para tipos de juntas, bases para el establecimiento del tamaño de la soldadura (dimensiones), restricciones en cuanto al uso de diversos tipos de juntas, símbolos de soldadura y juntas típicas para la fabricación y montaje.

1.1.3.2 Consideraciones del diseño

Proporciona definiciones acerca de los factores del diseño, cargas externas, medidas de protección y presión externa.

1.1.3.3 Consideraciones especiales

Aquí se toca el tema de la cimentación, corrosión, condiciones servicio y dureza de la soldadura.

1.1.3.4 Láminas del fondo

Establece dimensiones mínimas para las láminas del fondo, métodos de construcción, y detalles relativos a las uniones del fondo y costados, además de las dimensiones de los ángulos que se sueldan en estas uniones.

1.1.3.5 Láminas anulares del fondo

Proporciona el parámetro para utilizar láminas traslapadas, fórmulas para este tipo de cálculo (para determinar el ancho radial), calculo para determinar el espesor nominal del primer anillo.

1.1.3.6 Diseño del cuerpo

Establece dimensiones máximas de trabajo admisible, espesores y dimensiones de las laminas del cuerpo (el espesor requerido para el cuerpo del tanque, deberá ser mayor del espesor del cuerpo que resulte del diseño, incluyendo cualquier incremento por corrosión o el espesor del cuerpo para prueba hidrostática), arreglo de los miembros, definición de las uniones para las soldadura verticales y horizontales (de las que se hace referencia en la sección 7.2 de la misma norma, calificación de procedimientos de soldadura, para este tipo de juntas), abertura en los costados (Manway).

También se incluye, en esta sección, la tabla 3-2 de la norma API 650, que hace referencia a materiales y esfuerzos permisibles (en PSI). Incluye también el diseño de paredes por medio del método de punto variable.

1.1.3.7 Aberturas en el cuerpo

Describe aspectos generales, requisitos para aberturas en el cuerpo que son colocadas por medio de soldadura, bocas en el casco y el tejado, puerta de limpieza (tipo flush), plataformas, escaleras y pasadizos, apoyos para los cables de andamios, bocas de visita, conexiones en el cuerpo (tipo flush), accesorios de limpieza (tipo flush), etc.

1.1.3.8 Elementos de fijación al tanque

Se hace referencia a este elemento de fijación, los cuales muchas veces son superficiales, usados para ajustar equipos, plataformas, angulares, clips y peldaños de escalera. Pueden colocarse al tanque, inspeccionarse o quitarse de acuerdo con la sección 5 de este estándar.

1.1.3.9 Rigidizantes por viento superior e intermedio

Solo se aplica a tanques abiertos (de techo flotante).

Describe dimensiones, tipos y restricciones aplicables a los anillos Rigidizantes para mantener la redondez del tanque cuando este es sometido a cargas de viento así como los requisitos para el caso de anillos que los utilizan para trabajos en pasadizos, anillos con aperturas para las escaleras, carga de los anillos y finalmente los requisitos de soldadura.

1.1.3.10 Techos

Define los diferentes tipos de techos, requisitos de orden general, incluidos algunos aspectos de soldadura de ángulo, techo y dimensiones de secciones necesarias, tensiones admisibles, flexión esfuerzos de corte permisible, elementos de fijación al angular de coronación en techos auto soportantes, varios requisitos para tanques de techos cónicos soportados y auto soportados, techo domico auto soportado, techo sombrilla auto soportado.

1.1.3.11 Carga por viento en tanques (estabilidad contra el volteo)

Se refiere a que cuando así lo especifique el comprador y se requiera estabilidad contra el volteo, se deberá calcular la carga que el viento puede ejercer en el tanque usando el procedimiento descrito en esta sección. Se presenta una serie de forma usual para el cálculo. Se menciona tanques anclados y no anclados, mostrando igualmente formulas para el cálculo de estabilidad contra el viento para ellos.

Para el cálculo del diseño de los anclajes y su cajas de unión al tanque, este deberá ser un asunto de mutuo acuerdo entre el fabricante y el comprador obviamente, deberá satisfacer algunos requisitos que se mencione en esta sección.

1.1.4 Sección 4, fabricación

Describe requisitos generales referentes a procedimientos de fabricación, acabado de las orillas de las láminas, conformado de las láminas de costado, marcado de las láminas de almacenamiento y movimiento de materiales.

Además de eso, establece requisitos referentes a la inspección de los clientes o comprador, en el que el fabricante y los vendedores de la empresa encargada del montaje, adquieren responsabilidades y límites de participación en la fabricación.

1.1.5 Sección 5, montaje

Se subdivide en 4 secciones adicionales.

1.1.5.1 Requisitos generales

Aquí el fabricante proporciona la mano de obra, herramienta, equipo de soldar y cables, obras falsas, andamio, pintura, etc. La energía para la soldadura deberá ser proporcionada por el fabricante al menos que se indique lo contrario.

1.1.5.2 Detalles de soldadura

Determina los procesos de soldadura utilizados y permitidos, condiciones medioambientales para soldadura, detalles de procedimientos, refuerzos de soldadura admisibles, etc.

También establece, tolerancias para el desalineamiento previamente a soldar, limpieza de juntas (superficie) para los casos de costados o cuerpo y fondo del tanque. No establece ningún requisito especial con respecto al montaje del techo.

1.1.5.3 Inspección, pruebas y reparaciones

Establece requisitos para la inspección de soldaduras a tope y soldaduras de filete, así como facilidades al inspector por parte del fabricante o dueño del tanque, para que este pueda corroborar que los trabajos se realicen de acuerdo a esta norma.

Describe métodos para realizar la inspección para la soldadura de fondo del tanque, inspección de la soldadura en las placas de refuerzo, pruebas par el cuerpo del tanque e inspección de las soldaduras del fondo del tanque. Además, describe criterios para la ejecución de reparaciones, limpieza del tanque después de realizar el montaje, criterios de aceptación y prueba con caja de vacío.

1.1.5.4 Reparación de soldaduras

Todos los defectos encontrados en las soldaduras deberán ser conocidos por el inspector del cliente y deber tenerse la probación de dicho inspector antes de proceder a su reparación. Los criterios de aceptación están especificados en los puntos 6.2, 6.4 y 6.5 de esta norma.

Así mismo, se hace una pequeña referencia de los posibles defectos que se suelen encontrar en las soldaduras y el método para eliminarlos.

1.1.5.5 Tolerancias dimensionales

El propósito de las tolerancias dadas en esta sección es el de producir un tanque de apariencia aceptable y permitir un adecuado funcionamiento de los techos flotantes.

La verticalidad, las desviaciones, la cimentación, cuando existe un anillo de concreto, cuando no existe anillo de concreto, etc., son algunos de los temas que se tocan en esta sección.

1.1.6 Sección 6, método de inspección de juntas

Esta sección se subdivide en 4 secciones adicionales.

1.1.6.1 Examen radiográfico

Determina si el método es aplicable, el número y localización de radiografías a usarse, describe la técnica a emplearse, determina la aprobación de los defectos detectados por el examen, además define, las reparaciones de defectos de soldadura y el registro de resultados. Para seguir este método, las láminas deberán considerarse del mismo espesor cuando la diferencia en su espesor especificado o diseñado no exceda de 1/8".

Por lo menos un 25% de las radiografías seleccionadas incluirse en las intersecciones entre las soldadura verticales y horizontales, con un mínimo de dos de estas intersecciones por tanque.

No se requerirá inspección radiográfica en las láminas del techo, láminas del fondo, unión de la lámina del techo con el angular coronación unión del cuerpo con el fondo y accesorios en el tanque.

1.1.6.2 Examen por medio de partículas magnéticas

Define procedimientos y criterio de aceptación, cuando se especifica examen por partículas magnéticas, el método deberá esta acorde con la sección V, Artículo 7 del Código ASME. El fabricante deberá determinar que cada examinador por el método de partículas magnéticas llena los requisitos que se mencionan en esta sección.

1.1.6.3 Examen por medio de ultrasonido

Define procedimientos y criterio de aceptación. Cuando se especifique un examen por ultrasonido, el método del examen deberá hacerse de acuerdo con la sección V, Artículo 5 del código ASME. El personal que realice los exámenes bajo esta sección, deberá ser calificado y certificado por el fabricante, de que cumple con los requisitos de certificación como se indica para el Nivel II o Nivel III del ASNT, SNT, TC, IA. (Incluyendo los suplementos que apliquen).

1.1.6.4 Examen por medio de líquidos penetrantes

Define procedimientos y criterio de aceptación, cuando se especifique un examen por líquidos penetrantes, el método de examen deber elaborarse acorde con la sección V, articulo 6 del código ASME, el fabricante determinara y certificara, que cada examinado con líquidos penetrantes llena los requisitos descritos en esta sección.

1.1.6.5 Examen visual

Define procedimientos y criterios de aceptación.

1.1.7 Sección 7, calificación de procedimientos de soldadura y soldadores

Contiene definiciones generales y establece los requisitos necesarios para calificar soldadores u operadores de soldadura y calificación de procedimientos de soldadura. En ese estándar, los términos relacionados a la soldadura deberán ser interpretando tal como se definen en la sección IX del código ASME.

1.1.8 Sección 8, identificación

Define el uso de láminas o placas de identificación, división de responsabilidades en el caso de que el fabricante y el montador o ensamblador no sean de la misma empresa, también las restricciones en el uso de monograma del estándar API 650.

1.1.9 Apéndices

Como se mencionó anteriormente en la sección 1.1 el estándar API 650 contiene 16 apéndices, en los cuales se describen condiciones de diseño, recomendaciones, exámenes técnicos y otros. A continuación se mencionan los título de los mismos.

- Apéndice A, Diseño optativo par la base de tanques pequeños
- Apéndice B, recomendaciones par el diseño y construcción de fundiciones sobre el terreno para tanques que almacenan petróleo.
- Apéndice C, techos flotantes externos
- Apéndice D, exámenes técnicos
- Apéndice E, diseño sísmico para tanques de almacenamiento
- Apéndice F, diseño de tanques que manejan presiones internas bajas
- Apéndice G, domo de aluminio estructuralmente apoyado en el techo
- Apéndice H, techos flotantes internos
- Apéndice I, protecciones e inspecciones en al parte baja y subsuelo del tanque
- Apéndice J, (taller) armado de tanques de almacenamiento
- Apéndice K, aplicación simple de la variable (diseño) por el método de punto para determinar el cuerpo (espesor de la lámina)
- Apéndice L, hojas de datos de la norma API 650 para tanques de almacenamiento
- Apéndice M, requerimientos para tanques que operan a elevadas temperaturas
- Apéndice N, uso de materiales nuevos no identificados
- Apéndice O, recomendaciones para las conexiones del fondo
- Apéndice P, cargas externas permisibles sobre el tanque, puede provocar aperturas en el cuerpo.

Para profundizar más sobre dichos apéndices consultar, el estándar API 650.

2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento son la principal manera de almacenar cantidades grandes de productos líquidos, fluidos y gaseosos. Algunos de estos productos pueden ser inestables, corrosivos e inflamables haciendo necesario que se tomen precauciones especiales para su almacenamiento y uso. El objetivo de un almacenamiento satisfactorio es asegurarse que los productos se puedan conservar de una manera práctica, económica y ambientalmente segura.

2.1 Tipos de tanques

Los tanques de almacenamiento pueden ser divididos de una manera general, basándose en su forma de instalación, siendo estas divisiones la de tanques superficiales y tanques subterráneos. Cada una de estas categorías puede ser dividida bajo criterios más específicos, dependiendo del uso, topología, o requerimientos. Todas estas opciones se pueden usar de manera indistinta en la mayoría de aplicaciones, aunque algunas de estas opciones funcionen mejor que otras para requerimientos específicos.

2.1.1 Tanques subterráneos

Como su nombre lo indican estos se encuentran enterrados, manteniendo el fluido almacenado separado del suelo por medio de una pared o membrana. Estos tanques no están expuestos a los elementos atmosféricos,

pero sí lo están a las acciones corrosivas del suelo. Tienen la ventaja sobre los superficiales que son menos visibles y que no ocupan espacio vertical, aunque tienen la desventaja que son propensos a sufrir fugas y filtrar contenido hacia el suelo.

2.1.2 Tanques superficiales

Estos tanques mantienen el fluido almacenado sobre la superficie del terreno, teniendo una estructura que aísla la sustancia, como también le da soporte. Estos están expuestos al viento, lluvia y sol. Es usual que se le proporcione sistemas contra incendios ya que por su composición tienen el riesgo de incendiarse. También por cuestiones ambientales, se les puede dotar de un sistema de retención secundario, tal como un muro o montículo de suelo, con el propósito de retener el fluido en el caso de un derrame.

Los tanques de almacenamiento superficiales también pueden dividirse en:

2.1.2.1 Tanques atmosféricos

Este tipo de tanque mantiene su contenido a una presión igual a la atmosférica por medio de ventilaciones pasivas y/o activas. Su estructura no está capacitada para soportar presiones internas ni externas.

2.1.2.2 Tanques de baja presión

Similar al tanque atmosférico en su construcción, diferenciándose de éste ya que su estructura es capaz de soportar presiones internas y externas de una baja magnitud. Éste posee ventilaciones activas que permiten que se desarrolle cierta presión interna, liberándola cuando esta sobrepasa un límite establecido.

2.1.2.3 Tanques esferoidales de presión intermedia

Estos tanques por lo general son de forma cilíndrica, con tapas esferoidales o elipsoidales en los extremos. Estos manejan presiones intermedias entre los tanques de baja presión y las esferas presurizadas. Almacenan gases licuados a bajas presiones.

2.1.2.4 Esferas presurizadas

Estas esferas son utilizadas para almacenar líquidos de alta volatilidad, tales como gases licuados. Su estructura tiene que ser capaz de soportar presiones considerables, haciendo que esta tome una forma esferoidal, ya que de esa manera se optimizan los esfuerzos y el uso de materiales.

2.1.2.5 Tanques atmosféricos refrigerados

De forma parecida a la de los tanques atmosféricos, estos tienen mecanismos de enfriamiento para disminuir la temperatura del contenido con el

propósito de reducir la presión de vapor del producto. De esta manera, se puede almacenar el producto más compactamente.

2.1.3 Tanques estándar API 650

Se definen como tanques, cilíndricos verticales, sobre tierra, no refrigerados de tope abierto o cerrado, construidos con planchas de acero soldadas, para almacenar crudos y sus derivados, donde la temperatura no excede 500 F (260 C°) y de presión manométrica de 2.5 psig (1700 mm de agua), dichos tanques cubren los requisitos mínimos, para diseño, fabricación, materiales e inspección en fin cumplen con la mayoría de requisitos del estándar de tanques de acero soldados para almacenamiento de petróleo API 650.

Para tener una idea de la dimensiones, forma y condiciones de dichos tanques ver figuras 1 & 2.

Figura 1. Tanque atmosférico cilíndrico superficial



Fuente: Cortesía de LUARCA Ingenieros Civiles

Figura 2. Tanque atmosférico cilíndrico superficial con techo tipo sombrilla



Fuente: Cortesía de LUARCA Ingenieros Civiles

3. PARTES QUE CONFORMAN UN TANQUE ATMOSFÉRICO SUPERFICIAL CILÍNDRICO

Las partes básicas o elementos que forman un tanque de almacenamiento son:

3.1 Techo

El techo de un tanque tiene el propósito de proteger el contenido de los elementos, tales como lluvia, viento y sol. Estos pueden tener forma plana, cónica o esferoidal. Estructuralmente pueden clasificarse como soportados, auto soportantes o flotantes.

La pendiente mínima aplicada al cono del techo recomendada por el estándar API 650 es del 6.25%, aunque es más recomendable una pendiente mayor, sin que sobrepase algunos límites particulares para tipos de techo específicos (de no tener pendiente, el techo tiene que ser proporcionado de medios alternos para drenar el agua de lluvia, tal como bombas).

Por lo general, los techos están formados por una estructura soportante y una capa no estructural de planchas de acero, las cuales forman la cubierta. Las placas del techo (excepto para techos auto soportados) tienen que tener un espesor mínimo de 3/16 de pulgada. Cualquier consideración por corrosión

será añadida al espesor escogido o el espesor diseñado, de igual manera a los miembros estructurales.

De ser necesario, se requerirá un refuerzo de tensión en el anillo superior del tanque, el cual puede ser proporcionado por la inclusión de secciones adicionales de acero roladas al diámetro del anillo o planchas adicionales. Para la determinación del área seccional de tensión se puede considerar parte de la estructura de pared y de techos, siempre que la unión entre la pared y el techo lo permita.

Existen varios tipos de techo utilizados comúnmente en la aplicación de tanques de almacenamiento. La selección del tipo depende de varios factores, tales como el costo, cuestiones de servicio, criterios sanitarios, proceso de elaboración, tiempo de erección, exposición al entorno y requerimientos por parte del cliente. Cada techo presenta características distintitas de desempeño que pueden cumplir o no con los requerimientos para un tanque de almacenamiento dado. Las opciones de Techo consideradas por el estándar API 650 siguen a continuación, las cuales enumeran, pero no limitan, los tipos de techo posibles.

3.1.1 Techos cónicos soportados

Un techo cónico soportado es un techo formado aproximadamente a la superficie de un cono recto, que es soportado principalmente por travesaños sobre vigas y columnas o por travesaños sobre armaduras con o sin columnas.

3.1.2 Techos auto soportados

Un techo cónico auto soportado es un techo formado aproximadamente a la superficie de un cono recto soportado solamente en su periferia, haciendo que la lámina de recubrimiento se soporte a sí misma, siendo la estructura en sí. Ésta puede tener secciones que actúen como rigidizantes, como también un anillo de compresión en el centro del cono.

3.1.3 Techos de domo

Un techo de domo es un techo auto soportado formado aproximadamente a la superficie de una esfera o un elipsoide, siendo soportado solamente en su periferia.

3.1.4 Techos tipo sombrilla

Un techo de sombrilla (ver figura 3) es un techo de domo auto soportante modificado, haciendo que cualquier sección horizontal del mismo sea formada por un polígono regular con tantos lados como placas que forman el techo, soportado solamente en su periferia.

Figura 3 Techo de tanque superficial tipo sombrilla.



Fuente: cortesía LUARCA Ingenieros Civiles

3.1.5 Techos flotantes

Un techo flotante consta en un dispositivo que flota sobre el líquido contenido dentro del tanque, aislándolo de los elementos, inclusive del aire atmosférico. Este techo sube y baja dentro del tanque conforme lo hace el nivel del líquido contenido. Este dispositivo se utiliza cuando no se quiere utilizar un techo convencional o el líquido almacenado dentro del tanque es muy volátil o higroscópico, lo cual hace necesario que tenga un sello hermético que separe el contenido del tanque de la atmósfera. Esto hace que la emisión de vapor se lleve a un mínimo, lo cual hace que esta opción sea deseable para evitar contaminación ambiental.

Un techo flotante se puede usar en sustitución de un techo convencional, o se puede usar en conjunto con un techo convencional. Este parámetro se establece a partir de los requerimientos de servicio al que estará sometido el tanque.

El techo flotante utiliza dispositivos que ejercen presión sobre el interior de las paredes del tanque, creando un sello hermético. Este sello puede ser creado por medio de la utilización de zapatas metálicas que resbalan sobre la superficie interior, como también con textiles flexibles que se amoldan al interior del tanque creando una junta hermética.

La flotabilidad del techo depende de su estructura, existiendo varios tipos de mecanismos de flotación. Entre las opciones usuales existen pontones, techos de balsa, con compartimientos estancos, y de balsa de doble pared.

Existen dos tipos básicos de techos flotantes los internos y los externos.

3.1.5.1 Internos

Estos techos son los que se utilizan en conjunto con un techo convencional. Sólo tienen la finalidad de reducir el escape de vapores del contenido, ya que la protección contra los elementos atmosféricos la proporciona el techo convencional.

Para estos techos es deseable (aunque no indispensable) que el techo convencional no tenga columnas, ya que obstaculizan la colocación, los sellos, y movimiento del techo flotante. Existe la opción de colocar sellos deslizantes alrededor de las columnas, similares a los que se encuentran en el perímetro del tanque, pero hacen que el sistema sea más complicado, y por lo tanto, más caro y propenso a fallas.

3.1.5.2 Externos

Similar al interno, excepto que éste se utiliza en vez de un techo convencional. Éste, a causa de su exposición directa a los elementos, tiene que tener la capacidad de soportarlos, a diferencia del techo interno que está protegido por el techo convencional. Esta opción debe estar dotada de una bomba de achique que bombee afuera del tanque el agua de lluvia acumulada sobre el techo, por medio de una manguera o medio similar. Por lo general, se especifica que adicionalmente a los mecanismos de drenaje, tenga la capacidad de soportar una acumulación de agua de lluvia moderada, en el caso de que los mecanismos de bombeo llegasen a fallar.

3.2 Paredes

La pared del tanque es el elemento principal de su estructura. Ésta tiene la función de confinar el contenido, darle soporte y unidad a todas las demás partes que forman el tanque.

La pared del tanque está formada por planchas rectangulares de acero unidas en sucesión que constituyen anillos de tensión ver figura 4.

Figura 4. Pared de tanque compuesta por planchas de acero



Fuente: Cortesía LUARCA Ingenieros Civiles

3.3 Fondo

El fondo del tanque tiene la función de aislar el contenido del tanque del suelo que soporta el tanque, evitando filtraciones y pérdidas de líquido, así como contaminación del contenido por elementos del suelo y viceversa. Este elemento no es estructural, ya que el peso de la columna de líquido almacenado es resistido por una fuerza de igual magnitud proporcionada por el suelo, por lo que no requiere diseño directo.

El fondo comúnmente está formado por planchas rectangulares de acero, colocadas una a la par de las otras, alternando las juntas en un sentido,

tapizando toda el área debajo del tanque. Estas planchas usualmente tienen un espesor mínimo de ¼ de pulgada, sin contar el espesor adicional por corrosión, ya que éstas están muy expuestas a los elementos corrosivos que el suelo pueda presentar. Estas planchas pueden ser unidas de dos maneras distintas, siendo las de unión traslapada y de soldadura a tope, cada una con sus ventajas y desventajas.

3.3.1 Unión traslapada

Esta distribución de planchas de fondo consiste en colocar las planchas a manera que al elaborar el piso, parte de la plancha se traslape 1 pulgada como mínimo sobre las adyacentes, continuando la colocación de manera sucesiva. Posteriormente a la colocación, las planchas son unidas con soldadura de filete, asegurando un sello hermético.

Esta disposición tiene la ventaja de que es más económica, sencilla y que se puede realizar con mayor rapidez. Tiene la desventaja que su superficie es irregular, lo cual forma una superficie poco sanitaria, difícil de limpiar. Esto hace que no sea elegible para el almacenamiento de ciertos productos, que requieren altos índices de pureza y requerimientos sanitarios.

3.3.2 Unión a tope

Esta alternativa implica la colocación de las planchas una a la par de la otra con sus bordes unidos a tope ya sea por soldadura de penetración cuadrada o en V. Es deseable que la unión sea realizada con una plancha de acero delgada de respaldo, aunque no es indispensable.

Entre las ventajas que presenta es el hecho que su superficie es uniforme, lo cual facilita su limpieza e inspección, lo que la hace una disposición bastante sanitaria. Las desventajas son el costo, el volumen de trabajo, y el tiempo de elaboración, ya que en contraste con la otra alternativa, es más complicada.

3.4 Aperturas y conexiones

Todo tanque tiene que tener accesos a su interior así como entradas y salidas para su contenido. Éstas consisten en entradas suficientemente grandes para el paso de personas así también como aperturas más pequeñas utilizadas para el ingreso y extracción de líquido, para la toma de muestras, ventilación y control.

3.4.1 Pasos de hombre

Son aperturas de alrededor de 2 pies de diámetro con la función de permitir el ingreso y el egreso de una persona al interior del tanque para realizar trabajos de índole variada, tales como labores constructivas, inspección, reparación y mantenimiento. El paso posee un cuello alrededor de la apertura y una brida en su otro extremo, en donde se atornilla una tapadera y un empaque que sellan el acceso herméticamente. Existen dos tipos de pasos de hombre, los de techo y los de pared, aunque de aspecto similar, tienen algunas diferencias a causa de su posición en el tanque y a la presión a la que están sometidos.

3.4.1.1 De techo

Se encuentran el techo del tanque ver figura 5, su cuello esta sesgado con el propósito de que la tapadera y el reborde que la soportan queden horizontales. Estos pueden ser circulares o cuadrados, dependiendo de los requerimientos del tanque. A causa de que prácticamente no resisten cargas, son elaborados a partir de láminas delgadas, a diferencia de los pasos de pared.

Figura 5. Paso de hombre de techo



Fuente: Cortesía LUARCA Ingenieros Civiles

3.4.1.2 De pared

Estos se encuentran en la pared del tanque (ver figura 6) cerca del suelo. A causa de su posición estos tienen que estar diseñados para resistir la presión hidrostática del contenido, por lo que su construcción es más robusta que la de los pasos de techo. Estos adicionalmente tienen una lámina alrededor de la apertura para reforzar la pared. Adicionalmente, son proporcionados con un dispositivo para detectar fugas (tell hole).

Figura 6. Paso de hombre de pared



Fuente: Cortesía LUARCA Ingenieros Civiles

3.4.2 Ventilaciones

Su función es liberar las presiones que se pueden desarrollar adentro del tanque. Dependiendo de su comportamiento, se definen en dos tipos, las activas y las pasivas. Estas están normadas por el estándar API 2000.

3.4.2.1 Pasivas

Éstas permiten el flujo de aire libremente del interior del tanque hacia el exterior y viceversa. Son aperturas sencillas que pueden tener una vuelta en “u” para no permitir el ingreso de agua de lluvia al interior del tanque.

3.4.2.2 Activas

Éstas permiten el flujo de aire en una sola dirección ya sea del exterior hacia el interior o al contrario. También existen las que liberan presión sólo si ésta llega un nivel determinado, de lo contrario se mantienen selladas. Éstas tienen la función de reducir escapes de vapor del contenido sin crear presiones internas que puedan llegar a dañar el tanque, manteniendo a un mínimo el flujo de gases en ambas direcciones entre el tanque y la atmósfera.

3.4.3 Conexiones

Son boquillas colocadas en varias partes del tanque con el propósito de permitir el flujo del contenido u objetos en ambos sentidos. Estas conexiones, dependiendo de su propósito, pueden estar colocadas en el techo, pared o fondo del tanque. Estas deben estar diseñadas a manera de asegurar su hermeticidad y que mantengan la integridad estructural del elemento que perforan, así como también de soportar la presión a la cual podrían estar sometidas.

3.4.4 Escalera

La escalera (ver figura 7) un elemento importante en un tanque de almacenamiento mediante el cual se tiene acceso al techo, se utiliza para una constante supervisión del estado del techo y también para revisar periódicamente las conexiones, pasos de hombre que esta pueda tener.

Figura 7. Escaleras de tanque atmosférico superficial



Fuente: Cortesía de LUARCA Ingenieros Civiles

3.5 Cimentación

La cimentación tiene la función de soportar las cargas del tanque y distribuirlas de la manera más uniforme posible sobre el suelo, para evitar

asentamientos diferenciales indeseables. Brinda además una superficie uniforme donde se realiza el montaje de la estructura del tanque, como también sirve de protección contra la humedad, ya que separa al tanque de la humedad del suelo. A continuación se describen los tipos de cimentación posibles para tanques según el estándar API 650.

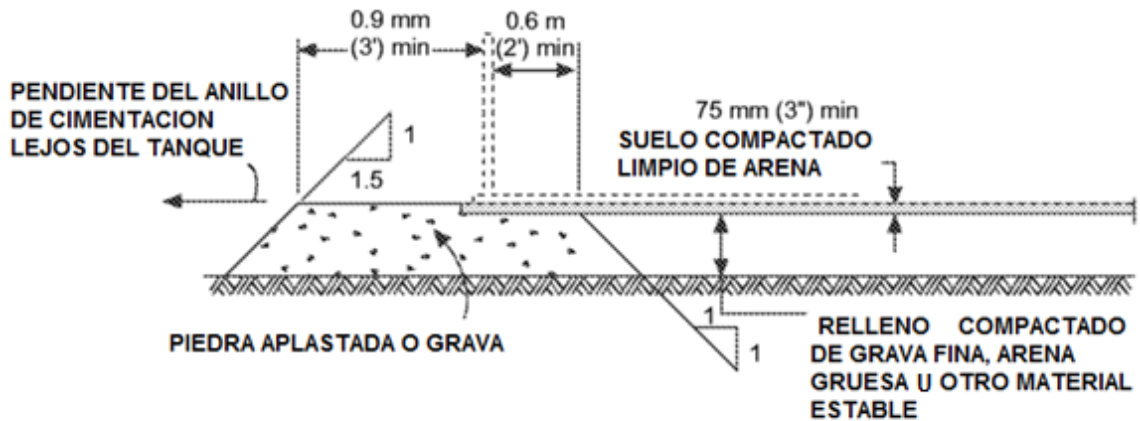
3.5.1 Cimiento anular de grava y roca triturada

Este cimiento está formado por un anillo de grava y roca triturada de manera similar al anillo de concreto, teniendo características de desempeño similares, aunque no iguales. Sus prestaciones difieren en que el anillo de grava absorbe mejor los asentamientos diferenciales del suelo ya que es más flexible, pero es más difícil de dejarla a nivel, dentro de tolerancias permisibles.

3.5.1.1 Consideraciones para cimiento anular de roca triturada según API 650

El estándar API 650 en la sección B.4.3 requiere que se respeten algunas consideraciones sobre este tipo de cimentación las misma se pueden apreciar en la figura 8.

Figura 8. Cimiento anular de piedra aplastada o grava (grava o roca triturada)



NOTA: ALGUNOS MATERIALES INCONVENIENTES DEBEN SER REMOVIDOS Y REEMPLAZADOS CON RELLENO ADECUADO; EL RELLENO A EMPLEARSE DEBE SER COMPACTADO

Fuente: Estándar API 650, Pág. B-4

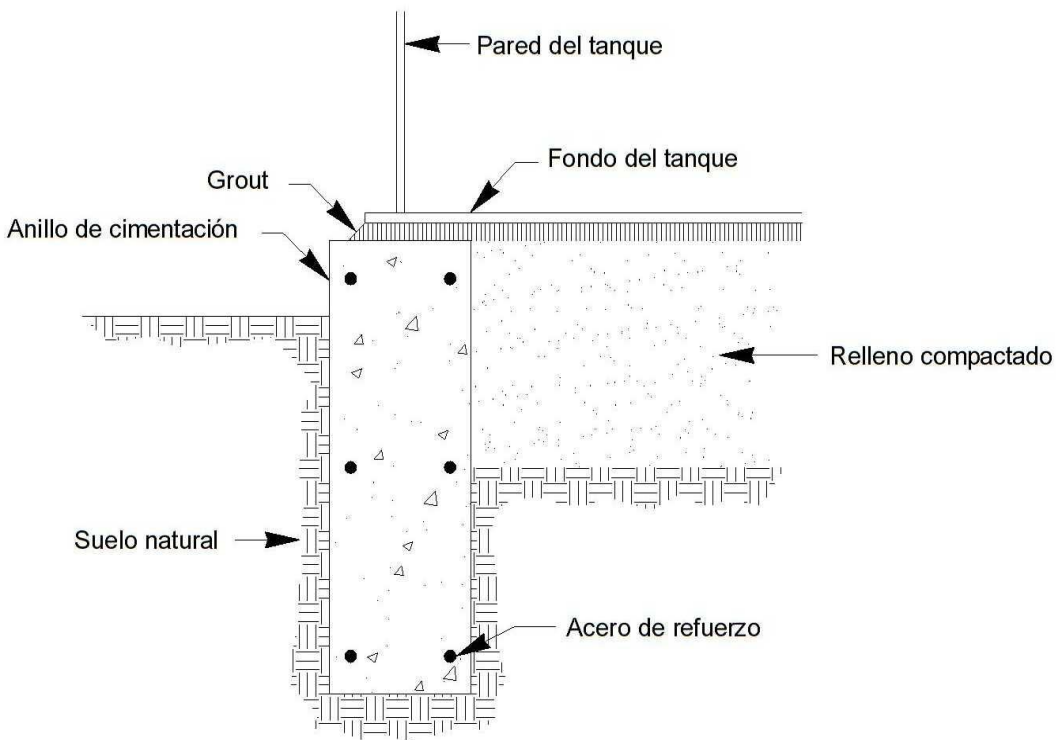
3.5.2 Cimiento anular de concreto

Este cimiento consiste en un anillo de concreto reforzado (ver figura 9) con acero estructural, el cual sigue el perímetro del tanque, confinando el material de relleno dentro del mismo, formando una placa de suelo en estado de compresión triaxial. Este cimiento es utilizado cuando se considera que el suelo no será capaz de darle un soporte adecuado a la pared del tanque y su contenido. Los tanques de gran diámetro, especialmente los que tienen techos auto soportantes, tienden a acumular cargas en la pared, lo que hace que el suelo no pueda soportar la pared solo por contacto directo.

Un cimiento anular de concreto proporciona una buena distribución de las cargas que transmiten las paredes del tanque, como también una superficie sólida y nivelada que no se moverá durante la erección del tanque.

El confinamiento del anillo minimiza la humedad por debajo del tanque al mismo tiempo que evita la erosión del material de relleno.

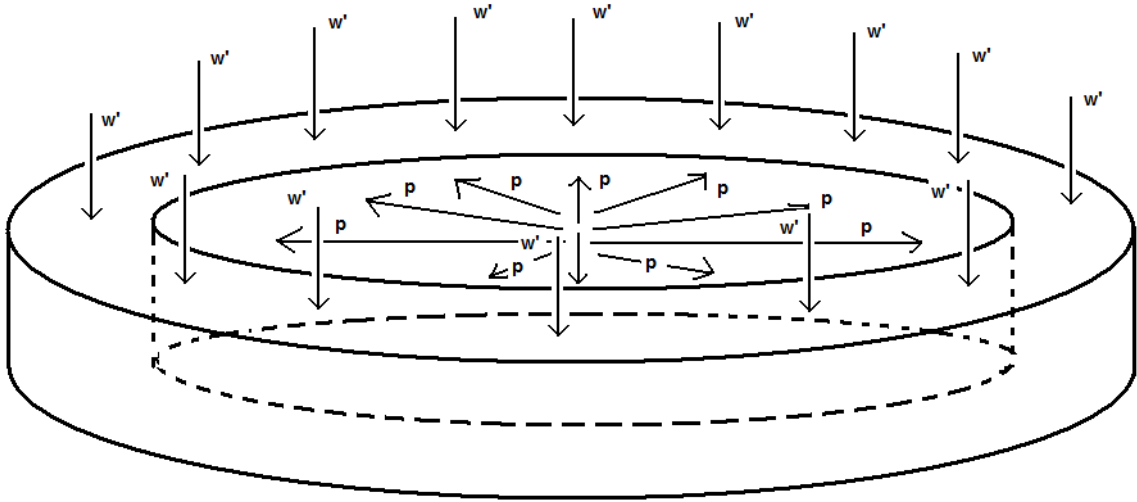
Figura 9. Sección típica de anillo de cimentación



3.5.2.1 Diseño estructural de anillo de concreto

El anillo de cimentación de concreto está sujeto a esfuerzos verticales y esfuerzos horizontales (ver figura 10), los esfuerzos verticales lo resiste el concreto y los esfuerzos horizontales lo resiste el acero de refuerzo, el diseño de los mismos se describe a continuación.

Figura 10 Anillo de cimentación esfuerzos verticales y horizontales



3.5.2.1.1 Esfuerzos verticales

El esfuerzo vertical está basado en la carga o peso de los materiales que conforman la pared del tanque y el techo (ver figura 10). La dimensión o área de contacto del anillo de cimentación está prevista para que la presión de los materiales sea menor que la capacidad soporte del suelo. La dimensión del anillo la obtenemos mediante las siguientes ecuaciones:

$$W' = \frac{W_{techo} + W_{pared}}{P_{tanque}} \quad (1.1)$$

$$b = \frac{24W'}{H\gamma L - 80hs} \quad (1.2)$$

Donde:

b = Espesor de cemento en pulgadas

W' = Peso distribuido sobre cimiento por pie lineal

W_{techo} = Peso de techo en lb

W_{pared} = Peso de pared del tanque en lb

P_{tanque} = Perímetro del tanque en pies

H = Altura de operación del líquido almacenado en pies

γ_L = Peso unitario de líquido en lb/pie³

h_s = Peralte de cimiento en pies

3.5.2.1.2 Esfuerzos horizontales

Los esfuerzos horizontales son provocados por la presión activa del suelo esta a su vez es provocada por el peso propio del líquido almacenado mas sus sobrecargas (ver figura 10 y 29). Para calcular dicho esfuerzo es necesario calcular la presión que ejerce el líquido sobre el suelo por columna del líquido la misma se calcula mediante la siguiente expresión.

$$P_L = H * \gamma_L \quad (1.3)$$

Donde:

P_L = Presión sobre el suelo provocado por el líquido en lb/pie²

H = Altura de operación del líquido en pies

γ_L = Peso específico del producto en lb/pie³

Finalmente encontramos la fuerza de tensión con la ecuación de presión activa del suelo.

$$\sigma_P = \frac{K_a \gamma_s h_s^2}{2} + K_a P h_s \quad (1.4)$$

Donde:

σ_P = Fuerza de tensión en lb por pie lineal

K_a = Coeficiente de presión activa

γ_s = Peso de suelo en lb/pie²

P = Presión sobre el suelo en lb/pie²

h_s = Peralte de cemento en pies

Como se menciona anteriormente la fuerza o esfuerzo a tensión lo resiste únicamente el refuerzo, para encontrar el área de acero requerida procedemos primero a encontrar la fuerza total de tensión, mediante la siguiente expresión:

$$F_t = \frac{D \cdot \sigma_P}{2} \quad (1.5)$$

Donde:

F_t = Fuerza total a tensión en lb

D = Diámetro de tanque en pies

σ_P = Fuerza de tensión por pie lineal en lb

La norma ACI 318 requiere que el esfuerzo permisible para el refuerzo con una tensión de fluencia de 420 Mpa (60,000 psi) bajo condiciones de servicio sea de 24000lb/pul², teniendo esto en cuenta el refuerzo requerido para la fuerza total en tensión y el esfuerzo permisible es de.

$$A = \frac{F_t}{\sigma_t} \quad (1.6)$$

Donde:

A= Área de refuerzo en pulgadas cuadradas

F_t= Fuerza total de tensión

σ_t= Esfuerzo permisible de refuerzo de acero en lb/pul²

Adicionalmente cuando colocamos acero de refuerzo necesitamos refuerzo transversal el área de refuerzo transversal la calculamos con la siguiente ecuación.

$$A = R d K a \frac{(62.5H + \frac{y_s d}{2})}{f_s} \quad (1.7)$$

Donde:

A = Área de refuerzo transversal en pul²

R = Radio de tanque en pies

d= Peralte de cimiento en pies

H= Altura del liquido de operación en pies

γ_s = Peso unitario del suelo en lb/pie³

f_s = Esfuerzo de tensión con cargas de servicio

K_a = Coeficiente activo del suelo

3.5.2.2 Consideraciones para cimiento anular de concreto, según API 650

El estándar API 650 en la sección B.4 hace referencia del tipo de cimentación típico el cual consta de un anillo de concreto. Dicho anillo debe de cumplir las siguientes especificaciones.

El espesor del anillo debe de ser como mínimo 12 pulgadas como se puede ver en la figura 11.

El lugar de contacto entre el tanque y el suelo debe de ser material compactado y libre de arena como se ve en la figura 12.

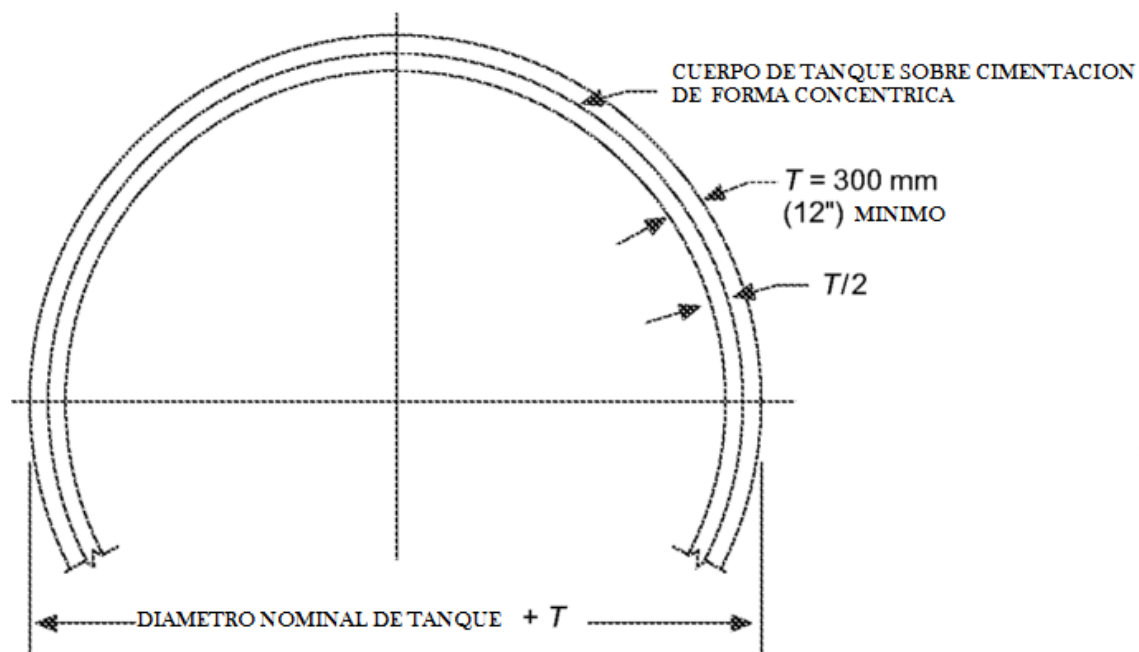
La pared del tanque debe descansar sobre el cimiento de forma concéntrica es decir en el centro del cimiento como se ve en la figura 11.

Los bordes superiores del anillo de cimentación deben tener pendientes de 100% y 50% respectivamente como se ve en la figura 13.

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 como se puede ver en al figura 12.

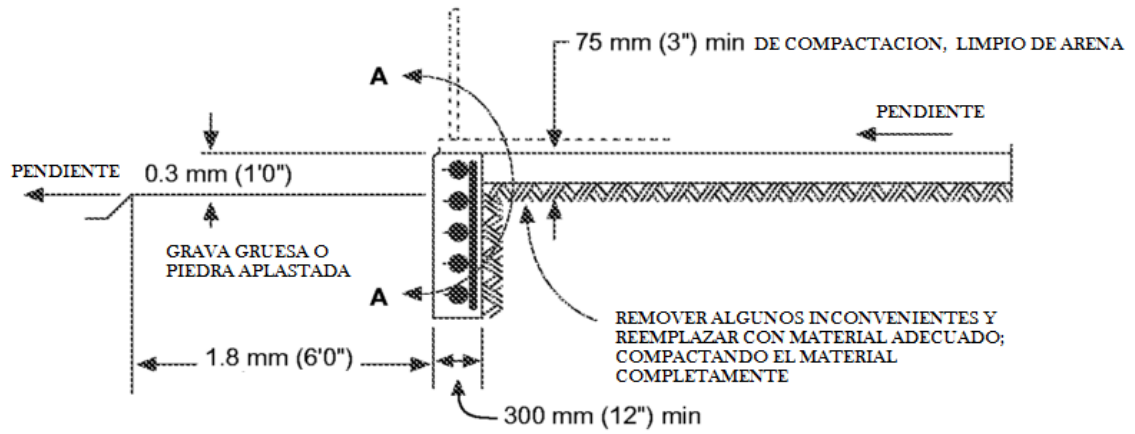
Alrededor del tanque debe existir una pendiente para drenar toda el agua producto de lluvia o por otra causa como se ve en la figura 12.

Figura 11. Plano de cimiento anular de concreto



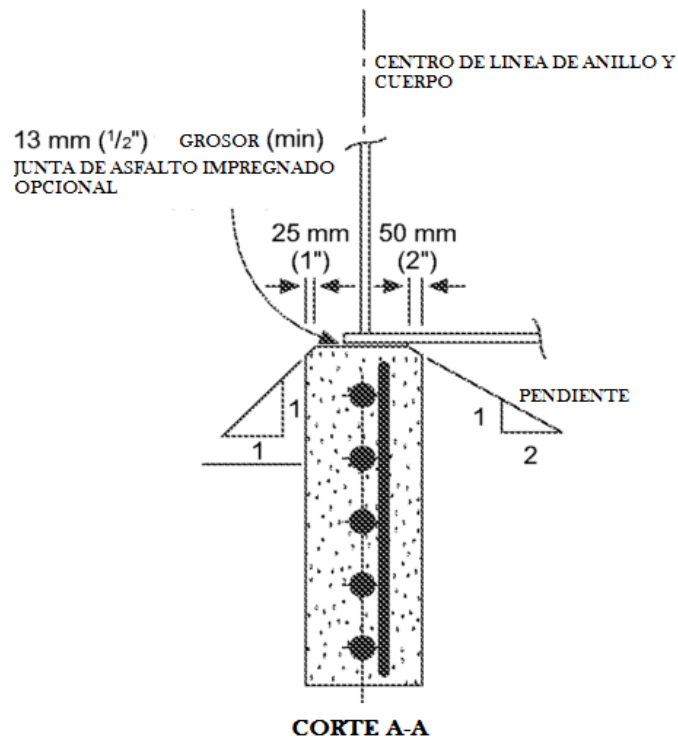
Fuente: Estándar API 650, pág. B-3

Figura 12. Sección transversal y condiciones de entorno



Fuente: Estándar API 650, pág. B-3

Figura 13. Sección transversal de anillo



Fuente: Estándar API 650, pág. B-3

Además de las consideraciones anteriores el estándar API 650 requiere que se respeten ciertas consideraciones del código ACI 318, tales como:

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 como se ve en la figura 14.

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 como se ve en la figura 14.

El traslape mínimo a tracción para barras (corrugadas) longitudinales debe ser de 12 pulgadas como se muestra en la figura 15.

Figura 14. Sección transversal de anillo de cimentación

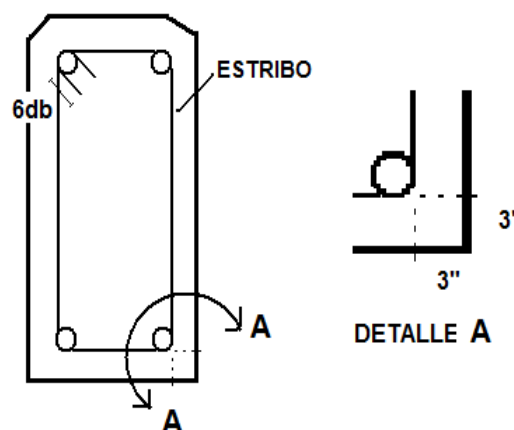
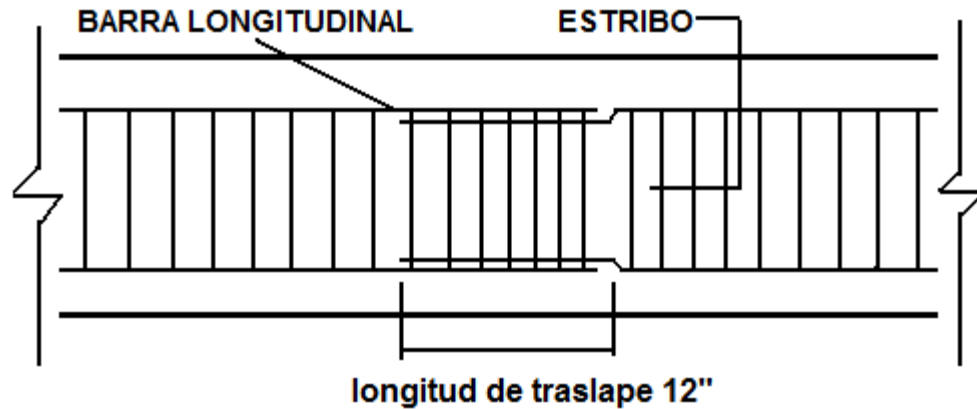


Figura 15. Longitud de traslape a tensión



3.5.3 Cimiento de losa y pilotes

Este cimiento consta en una losa de concreto reforzado que es soportada por una área igual o más grande a la del fondo del tanque. Esta losa, a su vez, se puede apoyar sobre pilotes. La losa tiene que ser capaz de soportar todas las cargas impuestas por el tanque y transmitir las de manera satisfactoria al suelo.

Esta opción se utiliza cuando la capacidad soporte del suelo requiere un área de soporte mayor que la del fondo del tanque, el suelo es propenso a asentamientos diferenciales, o sí se tuviera que utilizar pilotes para soportar el tanque, ya sea por capacidad de carga o por el riesgo de licuefacción del suelo.

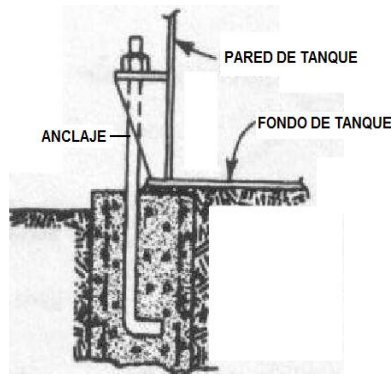
La gran desventaja de esta opción es su costo, ya que implica una gran cantidad de materiales, como también de mano de obra.

El estándar API 650 en la sección B.4.4 requiere que cuando se utilice este sistema (losa o losa con pilotes) el diseño estructural del mismo (dimensiones y refuerzo) debe de diseñarse con forme al código ACI 318.

3.5.4 Anclajes

Los anclajes de un tanque consisten en varillas de acero fijadas al suelo o cimiento ver figura 16, las cuales se fijan en silletas, que a su vez, se encuentran unidas a la pared del tanque. Estos tienen la finalidad de resistir las cargas que tienden a levantar el tanque, como también las fuerzas que pudieran tratar de deslizar el tanque lateralmente.

Figura 16. Anclaje de anillo de cimentación y tanque



Fuente: Robert S. Wosniak Steel Tanks, Pág. 29-8

Un tanque tiene que ser anclado si no cumple con ciertas características de estabilidad, pero no es imperativo que sea anclado, según el estándar API 650, si las cumple con márgenes de seguridad satisfactorios.

3.5.4.1 Anclaje por sismo

El tanque no es capaz de soportar por estabilidad propia el deslizamiento y/o volteo causado por la masa del contenido y la de su estructura, siendo afectados por aceleraciones sísmicas.

3.5.4.2 Anclaje por viento

El tanque no es capaz de soportar por estabilidad propia el deslizamiento y/o volteo causado por la presión del viento siendo ejercida sobre la proyección del la pared y el techo.

3.5.4.3 Anclaje por riesgo de inundación

Si el sitio de erección del tanque presenta la posibilidad de que se inunde, implica el riesgo de que el tanque llegue a flotar y moverse de su sitio. Con el fin de contrarrestar este riesgo, se requieren anclajes para fijarlo al suelo y evitar movimientos del mismo.

3.5.4.4 Anclaje por requerimiento del propietario

El propietario del tanque puede llegar a requerir la implementación de anclajes por requerimientos propios, de seguridad, y/o económicos.

4. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL CIMIENTO PARA UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO API 650

4.1 Condiciones del entorno

Las condiciones del entorno afectan el diseño ya que varían otros parámetros del diseño, especialmente las cargas. Las condiciones bajo las cuales trabajará el tanque durante su vida de servicio varían según el sitio donde éste será erigido.

4.1.1 Sismo

La amenaza sísmica depende del sitio. Se debe establecer el peligro al que podría estar expuesto el tanque, y calcular las fuerzas equivalentes, haciendo que el diseño las pueda resistir adecuadamente.

4.1.2 Viento

El viento es variable de lugar en lugar, además la intensidad del viento depende de la exposición. Si el tanque se encuentra entre edificaciones o obstáculos que le hagan resistencia al viento será afectado menos por éste, a que si se encuentra en un llano descampado.

4.1.3 Condiciones geográficas

Afectan el suelo como también condiciones atmosféricas. Masas de agua, montañas, bosques, o ríos son de especial consideración a causa de las variantes que estos pueden producir a los otros parámetros de diseño.

4.1.4 Condiciones ambientales

La atmósfera y químicos en el suelo pueden afectar adversamente la estructura de un tanque, por lo que se deben de tomar en cuenta en el diseño. Esos factores pueden acelerar la corrosión del tanque, así como afectar las soldaduras que unen sus elementos.

El riesgo de inundación del sitio también ha de ser considerado. Éste puede ser mitigado por medio de la ubicación del tanque, anclajes, o la construcción del tanque sobre un terraplén elevado.

4.1.4.1 Corrosión permisible

Los tanques de almacenamiento superficiales a causa de su contacto directo con su contenido, el suelo y los elementos de la atmósfera, se hallan sometidos a grandes efectos corrosivos. A causa de esto, es común que se especifique un sobre espesor en todos sus elementos, con el fin de tener un porcentaje del material del tanque que puede perderse a la corrosión. Este material será prescindible, ya que la estructura del tanque tiene que ser capaz

de cumplir su función satisfactoriamente y con seguridad sin este material. Es conocido como corrosión permisible o CA por sus siglas en inglés (corrosión allowance).

La cantidad de material adicional que se especifica con el fin de tener una reserva permisible de corrosión, depende principalmente de las condiciones del entorno, la naturaleza del contenido, el mantenimiento del tanque, las previsiones que se tomarán, criterios de protección y las especificaciones del cliente. Éstas tienen que ser estudiadas y evaluadas, y posteriormente aplicadas al diseño.

De ser necesaria esta protección, el cliente deberá especificar la magnitud de este sobre espesor por corrosión. Éste será aplicado a cada anillo de la pared del tanque, al fondo, techo, boquillas, conexiones, pasos de hombre y miembros estructurales.

4.2 Cargas

Son todas las fuerzas externas o internas que afectan la estructura del tanque, causando esfuerzo en sus elementos. El tanque ha de ser diseñado para que pueda resistirlas satisfactoriamente, con márgenes aceptables de seguridad.

4.2.1 Carga muerta

La carga muerta considerada en los tanques es el peso propio de todos los elementos estructurales. Esto incluye el techo, las paredes, y cualquier otro accesorio que se encuentre fijo a la estructura, tal como escaleras, válvulas y similares.

Es importante que a causa de la naturaleza de desgaste que pueden tener los tanques, en algunos casos sea requerido que se calcule el peso estructural con las admisiones de corrosión y sin ellas. Esto se debe a que en algunos casos éstas pueden dar estabilidad, pero en otros no, y por lo tanto, se tienen que considerar ambos extremos de carga.

4.2.2 Carga viva

La carga viva que se considera es aplicada en los techos de los tanques, el estándar API 650, por ejemplo, especifica una carga distribuida mínima de 25 PSF(lb/pies²), aunque puede variar dependiendo del código utilizado, o por requerimientos del cliente.

4.2.3 Carga hidrostática

A causa de la naturaleza de los líquidos, estos ejercen presiones de manera horizontal como vertical, por lo que hay que considerarlos y determinar los esfuerzos que estas presiones causan.

4.2.3.1 Presión vertical

Ésta es la que se ejerce sobre el suelo a causa del peso de la columna de líquido que yace sobre este. Esta carga es de magnitud proporcional a la altura de líquido contenido en el tanque, como también lo es del peso específico del mismo.

4.2.3.2 Presión horizontal

Es ejercida sobre las paredes del tanque, y al igual que la presión vertical depende del peso del líquido y la profundidad de este al punto de diseño. Esta presión varía a lo largo de la altura de la pared del tanque, por lo que el diseño requiere varios puntos de referencia.

4.2.4 Viento

Éste afecta al tanque en la proyección de su área lateral en la forma de presión horizontal. Esta carga, por lo general, se considera como la presión causada por un viento de 100 MPH (velocidad mínima de diseño según el estándar API 650), pero puede variar dependiendo de la exposición del tanque y de la velocidad promedio del lugar y/o el código utilizado. El viento presenta la posibilidad de deslizar el tanque horizontalmente y/o de producirle un momento de volteo, especialmente cuando este se encuentra vacío. Esto sucede a causa que el contenido del tanque tiende a estabilizarlo bajo cargas laterales externas, dándole mayor resistencia a las mismas. Es por ello que

para el diseño del tanque bajo cargas de viento, es necesario considerar el tanque bajo condiciones críticas, que sería sin contenido.

4.2.5 Sismo

El sismo es la aceleración horizontal de la masa del tanque y su contenido a causa de fuerzas geotécnicas. El sismo afecta todas las estructuras del tanque, pero primordialmente la pared del tanque. El contenido del tanque también se ve afectado, ya que durante un evento de sismo, éste puede llegar a oscilar periódicamente en el interior del tanque, en un modo de vaivén, causando empujes adicionales a la pared del tanque.

Al igual que el viento, el sismo presenta la posibilidad de deslizar el tanque horizontalmente y de producirle un momento de volteo, pero a diferencia del viento, el sismo es crítico cuando el tanque está lleno. La condición del tanque bajo capacidad máxima es la que producirá cargas críticas, por lo que esta condición es la utilizada para el diseño.

5. CONSIDERACIÓN DE DISEÑO DE ANCLAJES SEGÚN EL ESTÁNDAR API 650

5.1 Consideración de sismo según el estándar API 650

Los movimientos telúricos o sísmicos son un tema muy especial dentro del diseño de tanques verticales de almacenamiento, sobre todo en zonas con un alto grado de sismicidad

Estos movimientos telúricos provocan dos tipos de reacciones sobre el tanque, las cuales son:

1. Cuando la alta frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento lateral del terreno sobre el que esta situado el tanque, posteriormente la cantidad de líquido que el recipiente contiene, se mueve al unisonó con el cuerpo del tanque.
2. Cuando la baja frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento de la masa del liquido contenido, ocasionando oleaje dentro del tanque.

El movimiento lateral de la masa, genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque, ocasionando la inestabilidad del conjunto, que multiplicado por el brazo de palanca respecto del fondo, originan un momento

de volcadura, produciendo una compresión longitudinal y este a su vez la deformación del cuerpo, por lo que el tanque debe de ser diseñado contra el volteo.

5.1.1 Determinación de momento de volteo por sismo

El estándar API 650 en la sección E.3.1 requiere que el momento de volteo sea determinado con la siguiente ecuación:

$$M_s = ZI(C_1W_sX_s + C_1W_rH_r + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2) \quad (1.8)$$

Donde:

M_s = Momento de volteo por sismo en lb-Pie

Z = Factor de zona sísmica obtenido de la tabla X

I = Factor de importancia

C_1 = Coeficiente de fuerzas laterales 1

C_2 = Coeficiente de fuerzas laterales 2

W_s = Peso total de la pared del tanque en lb

X_s = Altura del centroide de la pared del tanque en pies

W_r = Peso total del techo del tanque en lb

H_r = Altura total de la pared del tanque en pies

W_1 = Masa del contenido del tanque que se mueve al unísono con la pared en lb

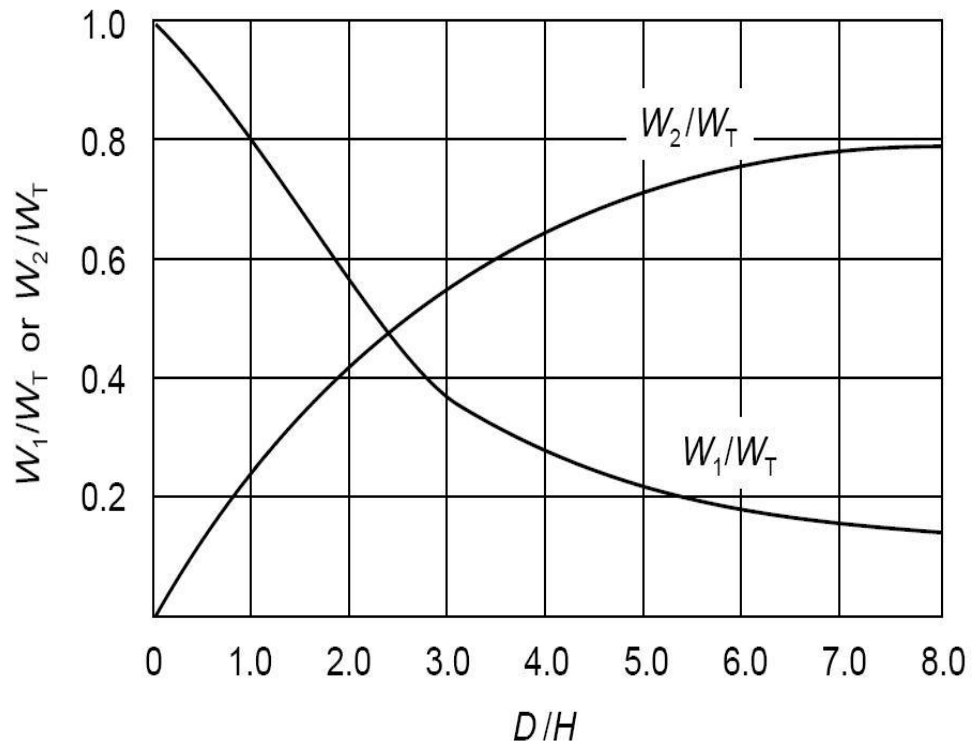
X_1 = Centroides de masa de W_1 en pies

W_2 = Masa del contenido del tanque que se mueve en el primer modo fundamental de vaivén en lb

X_2 = Centroide de masa de W_2 en pies.

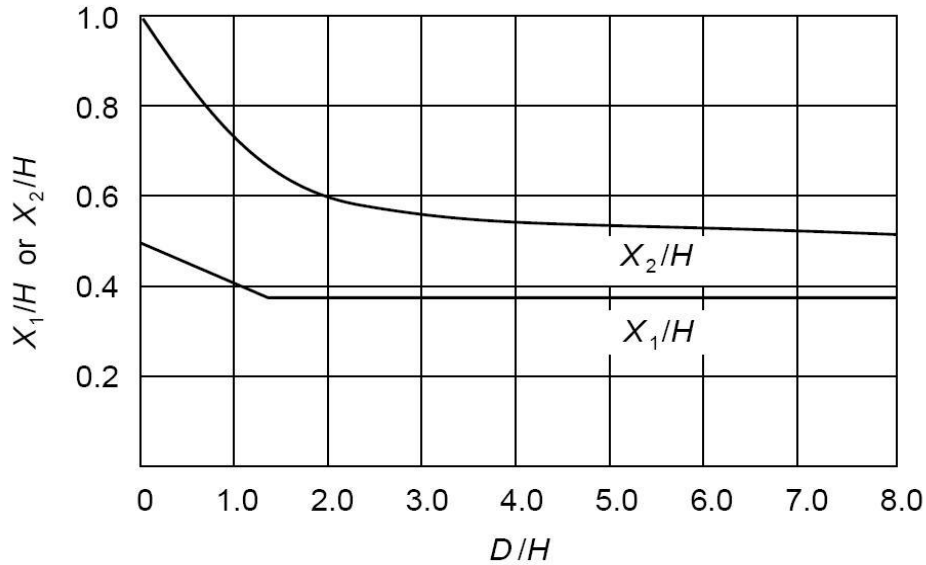
Las masas efectivas W_1 y W_2 se determinan a partir de multiplicar W_T (el peso total de contenido del tanque, en lb) por el valor obtenido de la figura 17, a partir de la relación D/H . De manera similar, las alturas centroidales X_1 y X_2 se obtienen multiplicando el valor de la figura de relación por H .

Figura 17. Gráficas de masas efectivas



Fuente: Estándar API 650 apéndice E, pág. E-5

Figura 18. Centroide de fuerzas sísmicas



Fuente: Estándar API 650 apéndice E, pág. E-5

El estándar API 650 en la sección E 3.3.1 requiere que el coeficiente de fuerza lateral C_1 debe de calcularse como 0.6.

El estándar API 650 en la sección E 3.3.2 requiere que el coeficiente C_2 sea determinado como una función del primer modo fundamental de vaivén, T (en segundos), y las condiciones del suelo en el sitio del tanque. T puede ser calculada utilizando la siguiente ecuación:

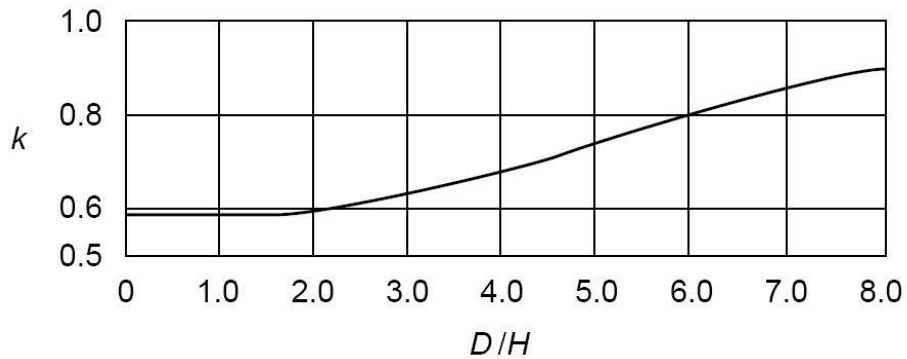
$$T = kD^{0.5} \quad (1.9)$$

Donde:

k= Factor obtenido de la figura 19 para la relación D/H .

D= diámetro nominal en pies

Figura 19. Gráfica factor k



Fuente: Estándar API 650, pág. E-5

Si $T \leq 4.5$ segundos:

$$C_2 = \frac{0.75S}{T} \quad (1.10)$$

Si $T > 4.5$ segundos:

$$C_2 = \frac{3.375S}{T^2} \quad (1.11)$$

Donde:

S= Factor de sitio obtenido de la tabla I, o por estudios geotécnicos

Apropiados

Tabla I Coeficiente de sitio

Tipo	Descripción del perfil del suelo	Factor S
S ₁	Material rocoso y/o suelo duro o denso donde su profundidad no excede los 200 pies.	1.0
S ₂	Suelo duro o denso donde su profundidad excede los 200 pies.	1.2
S ₃	Suelo con 40 pies o más que contenga mas de 20 pies de arcilla suave a medio dura pero más de 40 pies de arcilla suave.	1.5
S ₄	Suelo que contenga más de 40 pies de arcilla suave.	2.0

Fuente: Estándar API 650, pág. E-6

5.1.2 Determinación de fuerza de estabilización

El estándar API 650 en la sección E 4.1 requiere que la resistencia al volteo sea proporcionada por el peso del tanque y sus anclajes, o para tanques no anclados, parte del contenido del tanque adyacente a la pared. Esta puede ser calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$WL = 7.9tb\sqrt{FbyGH} \quad (1.12)$$

Siempre que no exceda

$$1.25GHD \quad (1.13)$$

Donde:

W_L = Peso máximo del contenido que resiste el volteo en sistema en lbs/pie
de circunferencia

T_b = Espesor del fondo del tanque sin CA en pulgadas

F_{by} = Esfuerzo mínimo de fluencia del fondo en PSI

G = Gravedad específica del líquido especificada por el fabricante

H = Máximo nivel del líquido en pies

D = Diámetro nominal en pies

5.1.3 Chequeo por compresión en la pared

A causa de las cargas de sismo que afectan el tanque, se puede presentar una falla en la pared del tanque por compresión longitudinal en la parte baja de la pared, por lo que es necesario establecer su capacidad de soportar compresión.

5.1.3.1 Tanques no anclados

El estándar API 650 en la sección E 5.1 requiere que la máxima fuerza compresiva longitudinal se determina utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\frac{Ms}{D^2(wt+wL)} \leq 0.785 \quad (1.14)$$

Entonces:

$$b = Wt + \frac{1.273Ms}{D^2} \quad (1.15)$$

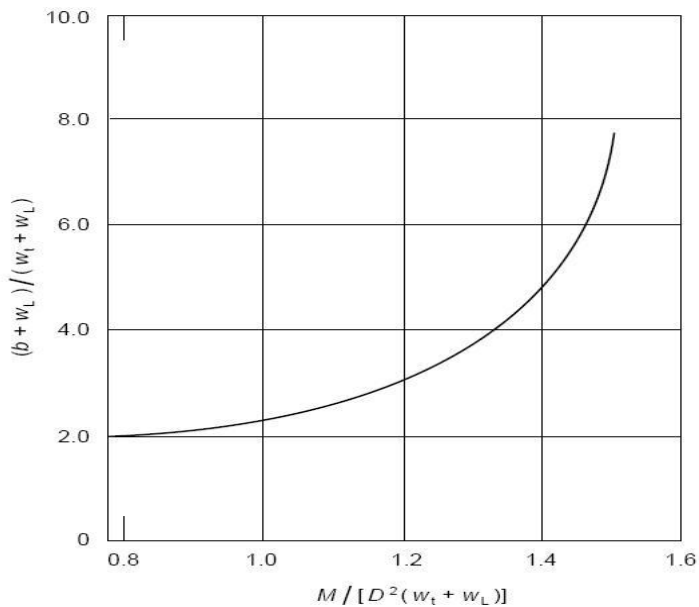
Si:

$$0.785 < \frac{Ms}{D^2(wt+wL)} \leq 1.5 \quad (1.16)$$

b puede ser calculada a partir del siguiente parámetro y la figura 20.

$$\frac{b+Wl}{Wt+Wl} \quad (1.17)$$

Figura 20. Fuerza compresiva b



Fuente: Estándar API 650 Apéndice E, pág. E-6

Por último, si:

$$1.5 < \frac{Ms}{D^2(Wt+Wl)} \leq 1.57 \quad (1.18)$$

b se obtiene a partir de:

$$\frac{b+Wl}{Wt+Wl} = \frac{1.490}{\sqrt{1 - \frac{0.627Ms}{D^2(Wt+Wl)}}} \quad (1.19)$$

Donde:

b = Compresión máxima longitudinal en la parte baja de la pared del tanque en lbs/pie de circunferencia

w_t = Peso de la pared del tanque y el peso del techo soportado por la pared en lbs/pie de circunferencia.

Si:

$$\frac{Ms}{D^2(Wt+Wl)} > 1.57 \quad \text{Ó} \quad \frac{b}{12t} > Fa \quad (1.20)$$

El tanque es estructuralmente inestable, por lo que habría que tomar algunas medidas precautorias, tales como

- a. Incrementar el espesor del fondo del tanque
- b. Incrementar el espesor de la pared,
- c. Cambiar las proporciones del tanque para incrementar diámetro y reducir altura
- d. Anclar el tanque para eliminar la inestabilidad.

5.1.3.2 Tanques anclados

El estándar API 650 en la sección E 5.2 requiere que para tanques anclados la fuerza máxima compresiva puede ser determinada con la siguiente ecuación.

$$b = \frac{Wt + 1.273Ms}{D^2} \quad (1.21)$$

El esfuerzo máximo permisible en compresión, F_a (en psi), puede ser determinado a partir de las siguientes fórmulas.

$$\frac{GHD^2}{t^2} \geq 10^6 \rightarrow Fa = \frac{10^6 t}{D} \quad (1.22)$$

$$\frac{GHD^2}{t^2} < 10^6 \rightarrow Fa = \frac{10^6 t}{D} + 600\sqrt{GH} \quad (1.23)$$

Sin embargo, F_a nunca debe de ser mayor que $0.5F_t$

Donde:

G= Gravedad específica del líquido proporcionada por el diseñador.

H= Máximo nivel del líquido en pies

D= Diámetro nominal en pies

t= Espesor de la carrera de la pared adyacente al fondo en pulgadas

F_a= Esfuerzo máximo de compresión permisible en lb/pul²

F_{ty}= Esfuerzo mínimo de la carrera en compresión en lb/pul²

5.2 Consideración de viento según el estándar API 650

Como todos sabemos el viento ejerce una presión sobre una superficie que se interponga en su recorrido, los tanques de almacenamiento por su gran tamaño y gran proyección de su cuerpo están sujetos a las grandes presiones que ejerce el viento y por consiguiente causan un momento de volteo sobre ellos y por ello los tanques tienen que diseñarse contra momentos de volteo por viento.

El estándar API 650 en la sección 3.11.1 requiere que la velocidad mínima de viento debe de ser 100 MPH (160 km/h), esta velocidad causa distintas presiones dependiendo del tipo de área del tanque afectada por el viento. Las presiones especificadas por el estándar API 650 para esta velocidad mínima se presentan en la siguiente tabla.

Tabla II. Presiones de diseño para una velocidad de 100 MPH (160 km/h)

Tipo de superficie	Presión	
	lb/pie2	Kpa
Superficies verticales planas	30	1.4
Áreas proyectadas de superficies cilíndricas	18	0.86
Áreas proyectadas de superficies cónicas o de doble curva	15	0.72

Fuente: Estándar API 650, pág. 51

Para estructuras que se diseñan con velocidades mayores a las de 100MPH, las presiones de la tabla anterior deben de ser afectadas por un factor, dicho factor debe de ser calculado de la siguiente manera.

$$\left(\frac{v}{100}\right)^2 \quad (1.24)$$

Donde:

V= velocidad de diseño en sistema en MPH (millas por hora)

Cuando la velocidad no sea especificada, la máxima velocidad debe ser calculada y debe de ser reportada al cliente.

5.2.1 Determinación de momento de volteo viento

El momento de volteo producido por el viento se considera una carga uniformemente repartida sobre una viga empotrada en un extremo, por lo que el momento será igual a:

$$M_w = P_v A * B \quad (1.25)$$

Donde:

M = Momento de volteo en lb-pie

P_v = Presión de viento en lb-pie

B = Brazo en pies

5.2.2 Determinación de fuerza de estabilización

El estándar API 650 en la sección 3.11.2 requiere que cuando un tanque no necesita de anclajes el momento de volteo producido por el viento no debe exceder 2/3 del momento estabilizante por cargas muertas, excluyendo cualquier contenido de almacenado, dicho momento estabilizante debe ser calculado de la siguiente manera.

$$M \leq \frac{2}{3} \frac{WD}{2} \quad (1.26)$$

Donde:

M = Momento de volteo en lb-pie

W = Peso de la carga muerta, excluyendo cualquier permisión por corrosión (CA) en lb

D = Diámetro del tanque en pies

5.3 Anclajes

El estándar API 650 en la sección 3.11.3 requiere que cuando el tanque necesita ser anclado este debe de cumplir con los requisitos de la sección 3.12 de dicha norma.

El estándar API 650 en la sección 3.12.2 requiere que cuando se necesiten anclajes, la carga por anclaje debe de ser calculada con la siguiente ecuación.

$$t_b = \frac{U}{N} \quad (1.27)$$

Donde:

t_b = Carga por anclaje,

U = Carga neta de levantamiento, la carga depende del caso y se obtiene de la tabla III

N = número de anclajes

Tabla III. Cargas de levantamiento, fórmula y esfuerzo en el sistema inglés

Caso de carga de levantamiento	Fórmula de levantamiento neto	Esfuerzo permisible del perno de anclaje
	lb	lb/pul ²
Presión de diseño	$[(P-8t_h)xD^2 \times 4.08]-W_1$	15000
Presión de prueba	$[(P_t-8t_h)xD^2 \times 4.08]-W_1$	20000
Presión de falla	$[(1.5 \times P_f - 8t_h)xD^2 \times 4.08]-W_3$	F_y
Carga de viento	$[4 \times M_w/D]-W_2$	$0.8 \times F_y$
Carga de sismo	$[4 \times M_s/D]-W_2$	$0.8 \times F_y$
Presión de diseño + viento	$[(P-8t_h)xD^2 \times 4.08] + [4M_w/D]-W_1$	20000
Presión de diseño + sismo	$[(P-8t_h)xD^2 \times 4.08] + [4M_s/D]-W_1$	$0.8 \times F_y$

Fuente: Estándar API 650, pág. 3-53

Donde:

$P =$ Presión de diseño en pulgadas de columna de agua

$P_t =$ Presión de prueba en pulgadas de columna de agua

$P_f =$ Presión de falla en pulgadas de columna de agua

$t_h =$ Espesor de las planchas del techo en pulgadas

$W_1 =$ Carga muerta de la pared excluyendo permisión por corrosión(CA) en lbs

$W_2 =$ Carga muerta de la pared y el techo, excluyendo ca, en lbs

$W_3 =$ Carga muerta de la pared incluyendo ca

El estándar API 650 en la sección 3.12.3 requiere que el espaciamiento máximo de anclas medidos de centro a centro no debe de exceder 3 metros (10 pies), la sección E.6.2.2 requiere que para tanques de menos de 50 pies de diámetro la separación máxima debe de ser 1.8 metro (6 pies).

El estándar API 650 en la sección 3.12.5 requiere que el diámetro mínimo del perno de anclaje sea de 1 pulgada, mas cualquier permisión de corrosión especificada. Para el diseño se tomará el área neta del perno descontando la rosca. El anclaje deberá estar unido a la pared del tanque por medio de ensamblajes de tipo silleta o anillos de anclaje de una tamaño adecuado.

El estándar API 650 en la sección 3.12.8 requiere que los esfuerzos permisibles de las partes accesorias de los anclajes y de la pared del tanque en la unión podrán ser incrementaos en un 33% para cargas temporales.

El estándar API 650 en la sección 3.12.9 requiere que los esfuerzos permisibles de los anclajes y de la pared nunca deberá sobre pasar 170Mpa (25000 psi).

El diseño de la unión debe realizarse a manera de que el perno del anclaje falle antes que la unión, para que la pared del tanque no llegue a rasgarse.

Al ser un tanque anclado, w_L no se podrá considerar como aportación a las fuerzas estabilizantes del tanque. Adicionalmente, el cimientto deberá ser diseñado para tener la capacidad de soportar las cargas de volteo y deslizamiento a las cuales será sometido, proveyendo un contrapeso.

5.3.1 Anclajes por sismo

De acuerdo con lo anterior si necesitamos anclajes debido a sismo procedemos a sustituir.

De la tabla III tenemos el caso de levantamiento por sismo

$$U = \frac{4Ms - W2}{D} \rightarrow tb = \frac{U}{N} \quad (1.28)$$

$$tb = \frac{4Ms}{ND} - \frac{W2}{N} \quad (1.29)$$

El esfuerzo del anclaje permisible por ancla o perno debe de ser a 0.8 del esfuerzo de fluencia.

5.3.2 Anclajes por viento

De acuerdo con lo anterior si necesitamos anclajes debido a viento procedemos a sustituir.

De la tabla III tenemos el caso de levantamiento por viento

$$U = \frac{4Mw - W2}{D} \rightarrow tb = \frac{U}{N} \quad (1.30)$$

$$tb = \frac{4Mw}{ND} - \frac{W2}{N} \quad (1.31)$$

El esfuerzo del anclaje permisible por ancla o perno debe de ser a 0.8 del esfuerzo de fluencia.

6. GUÍA PARA DISEÑO DE CIMIENTO DE TANQUES API 650

Como primer paso para el diseño del cimiento tenemos que tener definido el análisis de suelos, materiales, condiciones de entorno y tipo de contenido que será almacenado como se puede ver en la tabla IV.

Tabla IV Materiales, condiciones de entorno, análisis de suelos y propiedades del líquido almacenado

MATERIALES		
Acero estructural ver tabla VIII	A36M	36 ksi (klb/pul ²)
Esfuerzo mínimo de fluencia ver tabla VIII	36,000	psi
Esfuerzo mínimo de tensión ver tabla VIII	58,000	psi
Esfuerzo de diseño de producto ver tabla VIII	23,200	psi
Esfuerzo de prueba hidrostática ver tabla VIII	24,900	psi
Peso específico de acero estructural	489.71898	lb/pie ³
Concreto	f'c	4 ksi (klb/pul ²)
Acero de refuerzo	grado 60	60,000 lb/pul ²
Tamaño de planchas de acero	8*20pies	
CONTENIDO		
Líquido almacenado	petróleo	
Gravedad específica (ver tabla XI)	0.87	
Peso específico	54	lb/pie ³
Capacidad	400000	pie ³
SUELO		
Condiciones del suelo	suelo duro y denso	
Peligro de licuefacción	no	
Estratos altamente compresibles	no	
Capacidad de soporte	2500	lb/pie ²
Incremento a cargas temporales	33%	
Coeficiente de presión activa (Ka)	0.4	

Coeficiente presión pasiva (Kp)	4
Peso de suelo	1000 lb/pie3
Condiciones químicas del suelo	Benignas
ENTORNO	
Precipitación pluvial (no hay riesgo de inundación)	moderada
Sismo	alto (zona 4)
Viento	100 MPH
CORROSIÓN PERMISIBLE CA	
Espesor del sobre ancho	1/16"

A continuación se presentan las dimensiones del tanque y sus características ver tabla V, figura 21, 22 y 23.

Tabla V Dimensiones de tanque de almacenamiento

Descripción		Dimensiones
Diámetro	127.32	pies
Nivel de operación de líquido	31	pies
Espesor de techo	con CA 0.31 sin CA 0.25	pul
Espesor de primera carrera	con CA 0.31 sin CA 0.25	pul
Espesor de segunda carrera	con CA 0.31 sin CA 0.25	pul
Espesor de tercera carrera	con CA 0.31 sin CA 0.25	pul
Espesor de cuarta carrera	con CA 0.35 sin CA 0.29	pul
Espesor de quinta carrera	con CA 0.45 sin CA 0.39	pul
Espesor de fondo tanque	con CA 0.38 sin CA 0.26	pul

El diámetro y altura del tanque fueron moduladas de acuerdo al tamaño de la plancha estructural (8pies*20pies), el nivel de operación de líquido fue calculada para que la presión que ejerza sobre el suelo fuera inferior al valor soporte del suelo dicha presión es aproximadamente un 68% del valor soporte del suelo.

El diámetro, altura de tanque, espesores de paredes, espesor de fondo, nivel de operación de líquido y techo; fueron calculados y diseñadas de acuerdo a la norma API 650 y condiciones del suelo. Para poder diseñar el cuerpo del tanque consultar la norma API 650 o tesis GUÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS BAJO PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Autor Daniel Luarca De León, año 2007 (Universidad del Valle de Guatemala).

Figura 21 Dimensiones de tanque atmosférico superficial

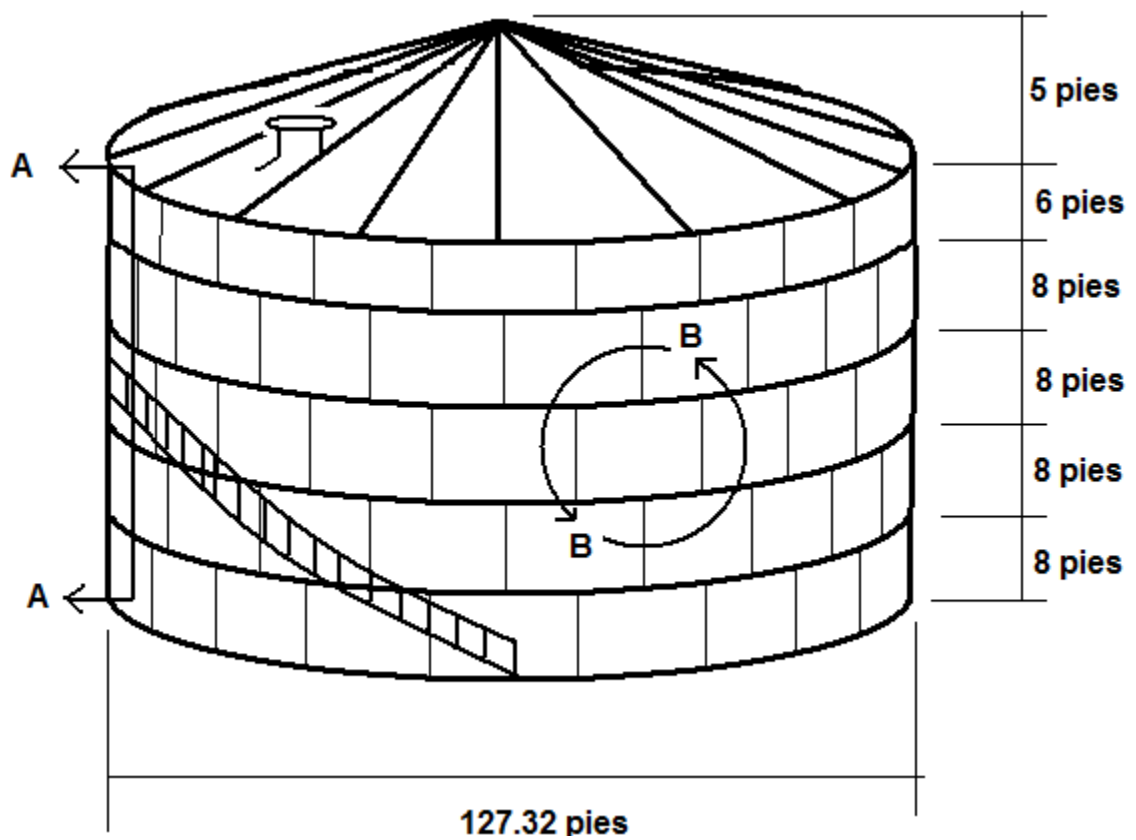


Figura 22 Detalle B plancha de acero estructural

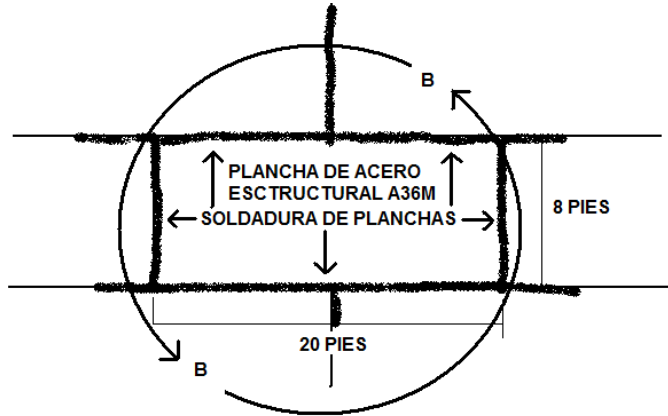
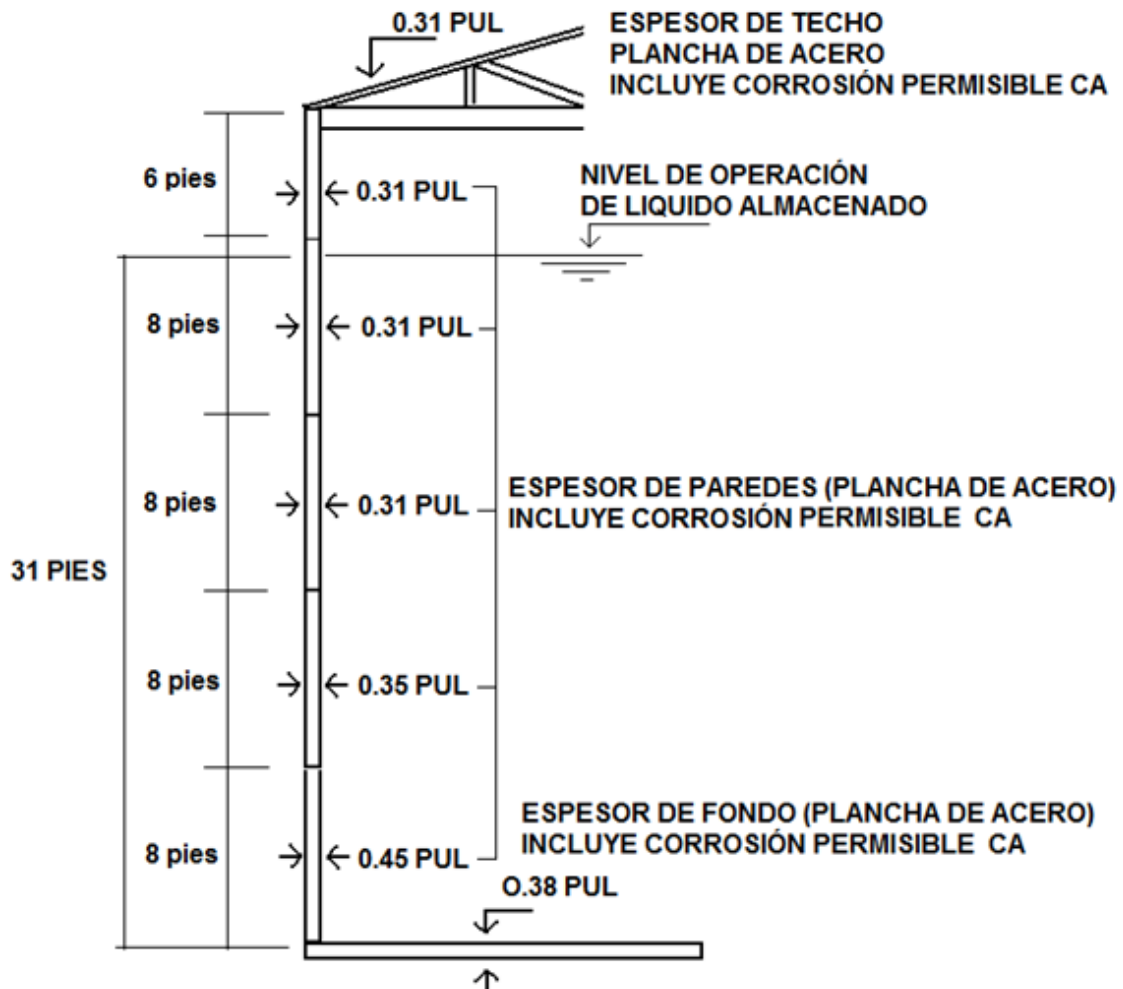


Figura 23 Corte A – A espesores de pared, techo y fondo



Con las dimensiones del tanque ya determinadas procedemos a calcular el peso total del tanque (paredes, fondo y techo), a continuación se presenta el peso total del tanque ver tabla VI.

Tabla VI Peso de tanque con y sin corrosión permisible CA

Descripción	Peso en lb	
	Con CA	Sin CA
Techo (incluye carga viva mínima)	320,126.56	319,773.96
Paredes	216,693.92	177,925.70
Fondo	194,840.89	129,893.93
TOTAL	731308.77	627,946.19

6.1 Anillo de concreto

La clase de cimentación para este tanque será de anillo de concreto ya que las condiciones del suelo lo permiten y el peso de las paredes lo exigen.

6.1.1 Chequeo de presión ejercida sobre el suelo, debido al líquido y peso de fondo

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

Donde:

WL= Peso de líquido en pies

Wfondo= Peso de plancha de acero en pies

A = área en pie²

σ_c = Esfuerzo de compresión sobre el suelo en lb/pie²

$$Wl = \frac{\pi}{4} 127.32^2 * 31 * 54 = 21,312,706.04 \text{ lb}$$

$$Wl = \frac{\pi}{4} 127.32^2 * 0.03167 \text{ pie} * 489.71898 = 197,459.55 \text{ lb}$$

$$A = \frac{\pi}{4} 127.32^2 = 12,731.60 \text{ pies}^2$$

$$\sigma_c = \frac{21,312,706.04 + 197,459.55}{12,731.60} = 1689.51 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2}$$

De acuerdo al cálculo la presión sobre el suelo es de 1689.51 lb/pie² este es menor que el valor soporte del suelo 2500 lb/pie² por lo que el suelo es capaz de resistir satisfactoriamente el peso.

6.1.2 Dimensiones de sección transversal de anillo de cimentación

$$W' = \frac{W_{techo} + W_{pared}}{P_{tanque}} \quad (1.1)$$

W_{techo} y W_{pared} ver. tabla VI

$$W' = \frac{320,126.56 + 216,693.92}{127.32 * 3.1415926} = 1342.17 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$$

$$b = \frac{24W'}{H\gamma_L - 80hs} \quad (1.2)$$

Nivel de operación de líquido $H = 31$ pies ver tabla V

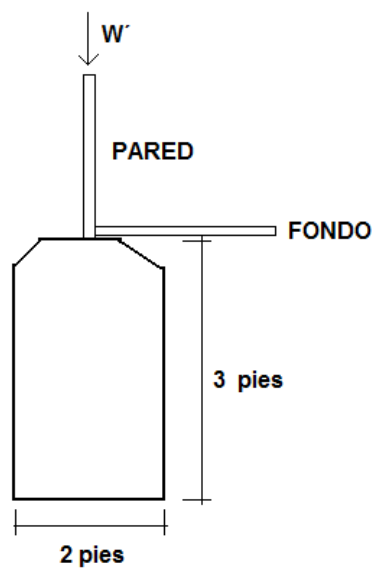
Peso específico de líquido $\gamma_L = 54$ lb/pie³ ver tabla IV

Profundidad o peralte del anillo de cimentación propuesto $h_s = 3$ pies

$$b = \frac{24 * 1342.17}{31 * 54 - 80 * 3} = 22.46 \text{ pul} = 1.87 \text{ pies}$$

Redondeando la cifra tenemos 2 pies de base, finalmente nuestra sección de anillo transversal tendrá las siguientes dimensiones ver figura 24.

Figura 24 Dimensiones de sección transversal de anillo de cimentación



6.1.3 Cálculo de esfuerzos horizontales

Presión de líquido sobre suelo

$$PL = H * \gamma_L \quad (1.3)$$

$$PL = 31 * 54 = 1674.00 \frac{lb}{pie^2}$$

Fuerza de tensión por pie lineal

$$\sigma P = \frac{K_a \gamma s h^2}{2} + K_a P h s \quad (1.4)$$

Constante $K_a=0.4$ ver tabla IV

$$\sigma P = \frac{0.4 * 54 * 3^2}{2} + 0.4 * 1674 * 3 = 2106 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$$

Fuerza de tensión total

$$F_t = \frac{D * \sigma P}{2} \quad (1.5)$$

$$F_t = \frac{127.32 * 2106}{2} = 134,067.96 \text{ lb}$$

6.1.4 Cálculo de área de refuerzo longitudinal

Área de acero requerida por la fuerza de tensión $\sigma_t=24,000 \text{ lb/pul}^2$ por cargas de servicio.

$$A = \frac{F_t}{\sigma_t} \quad (1.6)$$

$$A = \frac{134,067.96}{24,000} = 5.59 \text{ pul}^2$$

Proponiendo que se usen barras corrugadas No.8 (No.25 ver tabla IX) y sabiendo que el área de esta es 0.79 pul^2 (510 mm^2) esto da un total de 8 barras No.8 (6.32 pul^2) ver figura 25.

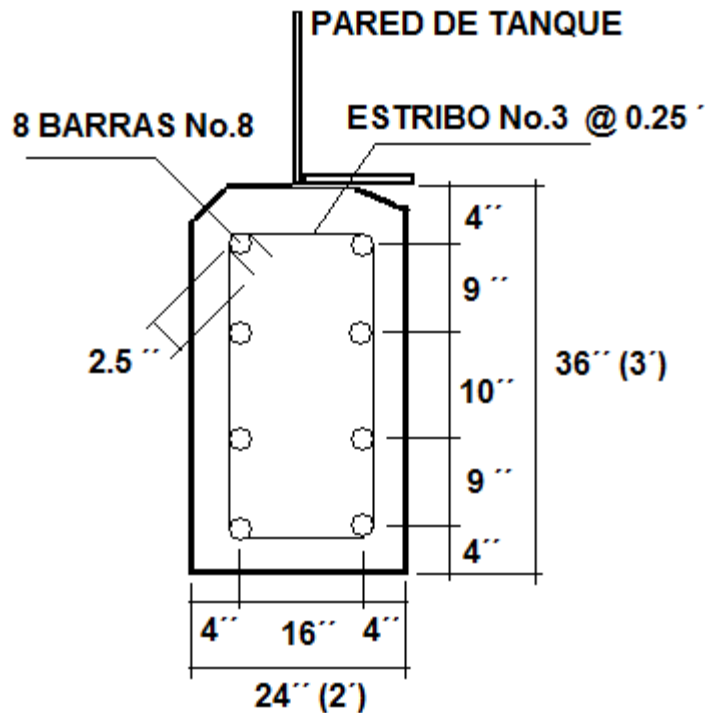
6.1.5 Cálculo de área de refuerzo transversal

$$A = RdKa \frac{(62.5H + \frac{\gamma Sd}{2})}{f_s} \quad (1.7)$$

$$A = 63.66 * 3 * 0.4 \frac{(62.5 * 31 + 1000 * \frac{3}{2})}{24,000} = 10.94 \text{ pul}^2$$

Proponiendo que se use barra corrugada No.3 (No.10 ver tabla IX) y sabiendo que el área de esta es 0.11 pul² (71 mm²) esto da un total de 99 estribos repartidos en todo el perímetro de anillo de cimentación por lo que se deberá colocar estribo No.3 @ 0.25 pies ver figura 25.

Figura 25 Detalle de refuerzo transversal y longitudinal



6.2 Determinación de uso de anclaje debido a sismo

6.2.1 Cálculo de momento producido por sismo

$$M_s = ZI(C_1W_sX_s + C_1W_rH_r + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2) \quad (1.8)$$

Zona de alto riesgo sísmico, zona 4 utilizar $Z=0.4$

El factor de importancia es $I=1.25$ puesto que el contenido es petróleo y es toxico

EL peso del tanque $W_s = 216,693.92$ lb ver tabla V

El peso total del techo $W_r = 320,126.56$ lb ver tabla V

La altura del Centroide del tanque es 19 pies

Peso total del contenido del tanque

$$\frac{54 * 2 * \pi * 127.32^2}{4} = 687,506.65 \text{ lb}$$

6.2.1.1 Cálculo de masas efectivas y centroides

Relación D/H

$D/H = 127.32/38 = 3.35$ leyendo este valor de la figura 17 obtenemos

$$\frac{W_1}{W_t} = 0.35 \quad \text{despejando} \quad W_1 = 0.35 * 687,506.65 = 240,627.33 \text{ lb}$$

$$\frac{W_2}{W_t} = 0.60 \quad \text{despejando} \quad W_2 = 0.60 * 687,506.65 = 412,503.99 \text{ lb}$$

De igual forma con la relación D/H leyendo este valor de la figura 18 obtenemos

$$\frac{X_1}{H} = 0.38 \quad \text{despejando} \quad X_1 = 0.38 * 38 = 14.44 \text{ pies}$$

$$\frac{X_2}{H} = 0.57 \quad \text{despejando} \quad X_2 = 0.57 * 38 = 21.66 \text{ pies}$$

6.2.1.2 Cálculo de coeficientes laterales de C1 y C2

Considerar C1= 0.6, Con la relación D/H=0.35 leyendo este valor en la figura 19 obtenemos que K =0.68

$$T = kD^{0.5} \quad (1.9)$$

$$T = 0.68 * 127.32^{0.5} = 7.67 \text{ segundos} > 4.5$$

$$C_2 = \frac{3.375 * 1.2}{7.67^2} = 0.069$$

$$M_s = 0.4 * 1.25 * (0.6 * 216,693.92 * 19 + 0.6 * 320,126.56 * 38 + 0.6 * 240,627.33 * 14.44 + 0.069 * 412,503.99 * 21.66) \\ = 6,235,247.58 \text{ lb-pie}$$

6.2.2 Cálculo de fuerza estabilizante

$$WL = 7.9tb\sqrt{F_{by}GH} \quad (1.12)$$

Espesor del fondo del tanque sin corrosión permisible CA $t_b = 0.26$ ver tabla V

Esfuerzo mínimo de fluencia de acero estructural de fondo $F_{by} = 36,000$ psi ver tabla IV

Gravedad específica de contenido $G = 0.87$ ver tabla IV

Nivel operativo del contenido $H = 31$ pies ver tabla V

$$WL = 7.9 * 0.26 * \sqrt{36,000 * 0.87 * 31} = 202.39 \frac{lb}{pie}$$

$$1.25GHD \quad (1.13)$$

$$1.25 * 0.87 * 31 * 127.32 = 4,292.27 \text{ lb/pie de circunferencia}$$

$$202.39 * 400 = 80,956.00 \text{ lb}$$

Peso total estabilizante	80,956.00 lb
Peso de techo con CA ver tabla VI	320,126.56 lb
Peso de pared con CA ver tabla VI	216,693.92 lb
Peso de fondo con CA ver tabla VI	<u>194,840.00 lb</u>
Peso total estabilizante	812,616.48 lb

6.2.2.1 Cálculo de momento estabilizante

Brazo de peso estabilizante

$$B=D/2=127.32/2=63.66 \text{ pies}$$

$$M_{es}=812,616.48*63.66=51,731,165.12 \text{ lb-pie}$$

$M_{es} > M_s$

$$51,731,165.12 \text{ lb-pie} > 6,235,247.58 \text{ lb-pie}$$

El momento estabilizante es mayor que el momento producido por sismo **por lo tanto el tanque no se levantara debido a la presencia de un sismo y, por consiguiente, no necesita ser anclado.**

6.2.3 Chequeo por compresión en la pared debido a sismo

$$\frac{M_s}{D^2(wt+wL)} \leq 0.785 \quad (1.14)$$

$$\frac{6,235,247.58}{127.32^2 \left(\frac{320,126.56+216,693.92}{400} + 202.39 \right)} = 0.25 \leq 0.785$$

$$b = Wt + \frac{1.273M_s}{D^2} \quad (1.15)$$

$$b = \frac{320,126.56+216,693.92}{400} + \frac{1.273*6,235,247.58}{127.32^2} = 1,831.70 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$$

6.2.3.1 Cálculo de esfuerzo sobre la pared

$$\frac{b}{12t} > Fa \quad (1.20)$$

$$\frac{1831.70}{12 \cdot 0.39} = 391.39 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2}$$

6.2.3.2 Cálculo de esfuerzo permisible de compresión

$$\frac{GHD^2}{t^2} < 10^6 \rightarrow Fa = \frac{10^6 t}{D} + 600\sqrt{GH} \quad (1.23)$$

$$\frac{0.87 \cdot 31 \cdot 127.32^2}{0.39^2} = 2,874,385.36 = 0.29 \cdot 10^6 < 10^6$$

$$Fa = \frac{10^6 \cdot 0.39}{2.5 \cdot 127.32} + 600\sqrt{0.87 \cdot 31} = 15,368.55 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$$

$$Fa = 0.5 F_t$$

$$Fa = 0.5 \cdot 58000 = 29000.00 \text{ lb/pul}^2$$

El esfuerzo mínimo de carrera en compresión $F_t = 5800$ psi

Como el esfuerzo sobre la pared $fa = 391.39$ lb/pie² es < esfuerzo permisible sobre $Fa = 15,368.55$ lb/pul² < 29000.00 lb/pul², por lo que la pared resiste satisfactoriamente los esfuerzos de compresión inducido por sismo.

6.3 Determinación de uso de anclajes debido a viento

6.3.1 Cálculo de momento de volteo

$$M_w = P_v A * B \quad (1.25)$$

Presión de viento para una velocidad de 100 MPH, para una superficie plana $P_v = 30 \text{ lb/pie}^2$ ver tabla II.

Altura total de tanque $H = 38$ pies ver figura 21

6.3.1.1 Momento producido por proyección de pared

$$A = 127.32 * 38 = 4,838.16 \text{ pies}^2$$

$$B = 38/2 = 19 \text{ pies}$$

$$M_w = 18 * 4,838.16 * 19 = 1,654,650.72 \text{ lb} - \text{pie}$$

6.3.1.2 Momento producido por proyección de techo (forma de cono)

Presión de viento para una velocidad de 100 MPH, para una superficie cónica o doble curvatura $P_v = 15 \text{ lb/pie}^2$ ver tabla II.

$$A = \frac{127.32 * 5}{2} = 318.30 \text{ pies}^2$$

$$B = 38 + \frac{5}{3} = 39.67 \text{ pies}$$

$$M_t = 15 * 318.30 * 39.65 = 189,308.93 \text{ lb-pie}$$

$$M_w = 1,654,650.72 + 189,308.93 = 1,843,959.65 \text{ lb-pie}$$

6.3.2 Cálculo de momento de estabilización

$$M \leq \frac{2}{3} \frac{WD}{2} \quad (1.26)$$

Peso de paredes si corrosión permisible CA W=177,925.70 lb ver tabla VI

$$M \leq \frac{2}{3} \frac{177,925.70 * 127.32}{2} = 7,551,166.71 \text{ lb - pie} \quad (1.26)$$

Momento de volteo por viento < Momento estabilizante

Por lo tanto, el tanque no tendrá levantamiento producido por viento, por consiguiente, no requiere anclajes.

Con los cálculos anteriores consideramos que el tanque no necesita ser anclado por lo tanto el cimiento quedará como la figura 25.

7. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE PROYECTOS ESPECÍFICOS EN GUATEMALA, ASÍ COMO ESTADO ACTUAL DE DICHAS ESTRUCTURAS

Desde hace algunos años se produce petróleo en Guatemala, específicamente en la zona norte y sur del país. Actualmente es en el departamento del Peten donde se ha logrado la mayor producción de petróleo, con una producción de veinte a veinticinco mil barriles diarios de petróleo crudo. Se pretende en un futuro cercano, producir la cantidad que se consume en el mercado local del petróleo y sus derivados.

Con tal cantidad de petróleo producido diariamente, obviamente es necesario almacenar el producto en tanques que contengan grandes dimensiones para almacenar dichos volúmenes de producción, aunque la producción de petróleo en Guatemala sigue siendo pequeña comparada con la de otros países productores, el uso de tanques para almacenar petróleo es necesaria.

Actualmente se están construyendo tanques con una capacidad de 1,000 y 1,500 barriles (1,590 y 2,385 metros cúbicos) que tienen una altura de 40 pies (12.2 metros) y diámetros de 42 y 52 pies (12.8 y 15.85 metros).

A medida que la producción de petróleo aumenta también la cantidad de tanques se tiene que construir con una mayor capacidad. Por ejemplo, los tanques con capacidad de 2,000 y 3,000 barriles ya casi no se usan, por lo que se han tenido que modificar para que tengan una capacidad de 4,500 barriles

(7,154 metros cúbicos) logrando de esta forma un mayor espacio para almacenar las cantidades de petróleo crudo que a diario se producen.

Los tanques utilizados son de forma superficial y contruidos con acero, estos se denominan tanques estándar API 650 (ver la sección 2.1.3). La construcción de los mismos va en paralelo de acuerdo a la demanda del petróleo y sus derivados, en Guatemala encontramos muchos tanques de este tipo. Dichos tanques los encontramos en las siguientes localidades de Guatemala.

1. En el departamento de El Petén, por la alta producción de petróleo.
2. En la costa sur, generalmente en los puertos ya sea por exportación e importación (ver 26 figura).
3. En los distintos Ingenios de Guatemala y en otros lugares (ver figuras 27 y 28)

Adicionalmente al petróleo se producen carburantes, como el etanol, además aunque el estándar API 650 fue elaborada en un principio para el almacenamiento de petróleo, permite almacenar cualquier cosa, desde agua a vinaza, siempre que se respeten los parámetros del estándar.

Figura 26 Tanque de Bio Etanol, ubicado en la terminal de exportación Puerto Quetzal



Fuente: Cortesía de LUARCA Ingenieros Civiles.

Figura 27. Tanque de jugo de tándem B, ubicado en el Ingenio La Unión



Fuente: Cortesía LUARCA Ingeniero Civiles

Figura 28 Cimiento de tanque anillo de concreto con refuerzo longitudinal y transversal ubicado en la costa sur.



Fuente: Cortesía de LUARCA Ingenieros Civiles.

El estado actual de los Tanques de almacenamiento (tanques Estándar API 650) hablando acerca del mantenimiento varían, puesto que hay proyectos en los cuales a los tanques les dan el mantenimiento necesario controlando la corrosión permisible (CA) de los mismo y las distintas reparaciones que se le hacen a los tanques cuando estos lo requieren. Y a su vez existen proyectos que han cerrado o clausurado dejando a estas estructuras sin mantenimiento y por consiguiente los tanques son deteriorados por la corrosión causada por los elementos.

El estado actual de los tanques en cuanto a la demanda de los mismos, como se mencionó a principios de este capítulo con la producción de petróleo y sus derivados, y otros líquidos el consumo de los mismos cada día

se incrementan de forma acelerada y la construcción de tanques de este tipo.

CONCLUSIONES

1. La interpretación y aplicación adecuada del estándar API 650 conduce a buenos diseños seguros y confiables.
2. La utilización de anclajes asegura la permanencia estable del tanque de almacenamiento con el cimiento, y reduce la posibilidad de volteo del tanque debido a la presencia de sismos y vientos.
3. Existen varios tipos de cimentación para tanques superficiales API 650, la selección de ellos depende de las condiciones del suelo y de los requerimientos del cliente, pero sin duda alguna la mejor forma de cimentación es la del anillo anular de concreto, ya que distribuye de forma eficiente el peso de las paredes y el techo. Siempre que se haga un buen tratamiento de suelo.

RECOMENDACIONES

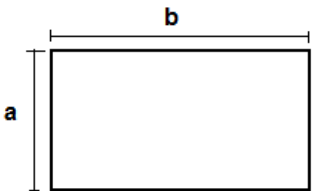
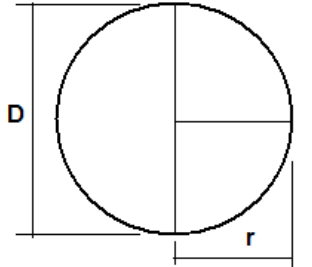
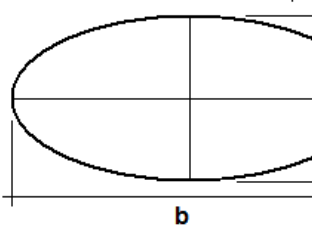
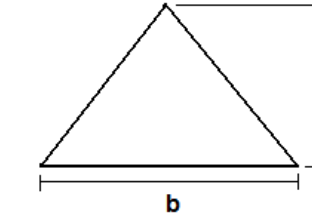
1. El diseñador debe de considerar todas las cargas de diseño (carga muerta, viva, sismo, viento, etc.) que sean necesarias y no exagerar con las mismas, puesto que si exagera la estructura (Cimiento) será sobre diseñada y por lo tanto poco económica.
2. Aunque la estructura (Cimiento) no necesite anclaje demostrado a través del cálculo, es correcto colocarle anclajes mínimos es decir colocarle anclajes a cada 3 pies y con un diámetro mínimo de una pulgada sin contar la corrosión permisible.
3. Para una larga vida útil de un tanque de almacenamiento estándar API 650 es de vital importancia darle el mantenimiento necesario periódicamente, para ello existe la norma API 653 donde exige los parámetros necesarios de mantenimiento y reparación de los mismos.
4. Consultar las necesidades del cliente, ya que de esto depende definir y diseñar la mejor opción que se ajuste a las exigencias del cliente y la correcta funcionalidad de la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Petroleum Institute. **Norma Estándar API 650**. Estados Unidos: se. sa.
2. Argueta Valdez, Jorge Bohanerges. Experiencias obtenidas en la inspección de tanques de almacenamiento de acuerdo a las norma API 650 Y API 653. Trabajo de graduación Ing. Mecánico Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001.
3. Comité ACI 318 *American Concrete Institute*. **Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario (ACI 318 - 99)**. Estados Unidos: s.e. 1999.
4. Luarca De León, Daniel. Guía para el diseño estructural de tanques de almacenamiento de líquidos bajo presión atmosférica. Trabajo de graduación Ing. Civil Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007.

ANEXO 1
PROPIEDADES DE SECCIONES GEOMÉTRICAS

Tablas VII Áreas y perímetro de secciones geométricas

	<p>rectangulo</p>	<p>Área = $a \cdot b$ Perimetro = $2(a+b)$</p>
	<p>circulo</p>	<p>Área = $\pi \cdot D = \pi \cdot r^2$ Perimetro = $2 \cdot \pi \cdot r = D \cdot \pi$</p>
	<p>elipse</p>	<p>Área = $a \cdot b \cdot \pi$ Perimetro = $(a+b) \cdot \pi / 2$</p>
	<p>triangulo equilatero</p>	<p>Área = $a \cdot h / 2$ Perimetro = $b + 2 \cdot \sqrt{(h^2 + b^2 / 4)}$</p>

ANEXO 2
ESFUERZOS DE RESISTENCIA MÁXIMOS DE ALGUNOS TIPOS
DE ACEROS (PLANCHAS)

Tabla VIII Esfuerzos mínimos de tipos de acero según ASTM

Especificación de plancha	Grado	Esfuerzo mínimo de fluencia	Esfuerzo mínimo de tensión	Esfuerzo de diseño de producto	Esfuerzo de prueba hidrostática
		psi	psi	psi	psi
A 283	C	30,000	55,000	20,000	22,500
A 285	C	30,000	55,000	20,000	22,500
A 131	A, B, CS	34,000	58,000	22,700	24,900
A 36	--	36,000	58,000	23,200	24,900
A 131	EH 36	51,000	71,000	28,400	30,400
A 573	58	32,000	58,000	21,300	24,000
A 573	65	35,000	65,000	23,300	26,300
A 573	70	42,000	70,000	28,000	30,000
A 516	55	30,000	55,000	20,000	22,500
A 516	60	32,000	60,000	21,300	24,000
A 516	65	35,000	65,000	23,300	26,300
A 516	70	38,000	70,000	25,300	28,500
A 662	B	40,000	65,000	26,000	27,900
A 662	C	43,000	70,000	28,000	30,000
A 537	1	50,000	70,000	28,000	30,000
A 537	2	60,000	80,000	32,000	34,300
A 633	C, D	50,000	70,000	28,000	30,000
A 678	A	50,000	70,000	28,000	30,000
A 678	B	60,000	80,000	32,000	34,300
A 737	B	50,000	70,000	28,000	30,000
A 841	Clase 1	50,000	70,000	28,000	30,000

Fuente: Estándar API 650, pág. 3-8

ANEXO 3
ÁREAS SECCIONALES DE BARRAS DE REFUERZO

Tabla IX Diámetros y áreas de acero seccionales de varillas de refuerzo corrugadas

BARRAS DE REFUERZO ESTÁNDAR DE LA ASTM

Barra No.*	Diámetro nominal, mm	Área nominal, mm ²	Masa nominal, kg/m
10	9.5	71	0.560
13	12.7	129	0.994
16	15.9	199	1.552
19	19.1	284	2.235
22	22.2	387	3.042
25	25.4	510	3.973
29	28.7	645	5.060
32	32.3	819	6.404
36	35.8	1006	7.907
43	43.0	1452	11.38
57	57.3	2581	20.24

*Los números de designación de las barras aproximan el número de milímetros del diámetro nominal de la barra.

Fuente: Código ACI 318 apéndice E, pág. 433

ANEXO 4
FACTORES DE CONVERSIÓN DE SISTEMA INGLES A SISTEMA
INTERNACIONAL

Tabla X Factores de conversión

geometría global		
luz	1pie	0.3048 m
desplazamientos	1pulg	25.4 mm
área superficial	1pie ²	0.0929 m ²
volumen	1yd ³	0.765 m ³
propiedades estructurales		
dimensiones de la sección transversal	1pulg	25.4 mm
área	1pulg ²	645.2 mm ²
modulo de la sección	1pulg ³	16.39 *10
Momento de inercia	1pulg ⁴	0.4162*106mm ⁴
propiedades de los materiales		
densidad	1 lb/pie ³	16.03 kN/m ³
módulos y esfuerzos	1 lb/pulg ²	0.006895 Mpa
	1 klb/pulg ²	6.895 Mpa
cargas		
cargas concentradas	1lb	4.448 N
	1 Klb	4.448 kN
densidad	1lb/pie ³	0.1571 KN/m ³
cargas lineales	1klb/pie	0.1571 kN/m
cargas superficie	1lb/pie ²	0.0479 kN/m ²
	1 klb/pie ²	47.9 kN/m ²
esfuerzos y momentos		
esfuerzos	1 lb/pulg ²	0.006895 Mpa
	1klb/pulg ²	6.895 Mpa
momento flector o torsor	1 klb-pie	1.356 kN-m

Fuente: Arthur H. Nilson , Diseño de estructuras de concreto. Pág. 707

ANEXO 5
FACTORES DE ZONA SÍSMICA

Tabla XI Factor de zona sísmica

FACTOR SÍSMICO	FACTOR DE ZONA SÍSMICA
	ACELERACIÓN HORIZONTAL
1	0.075
2A	0.15
3B	0.2
3	0.3
4	0.4

Fuente: Estándar API 650, pág. E-4

ANEXO 6

ESFUERZOS HORIZONTALES DE TENSIÓN Y FUERZA DE TENSIÓN EN ANILLO DE CIMENTACIÓN

Figura 29 Anillo a tensión

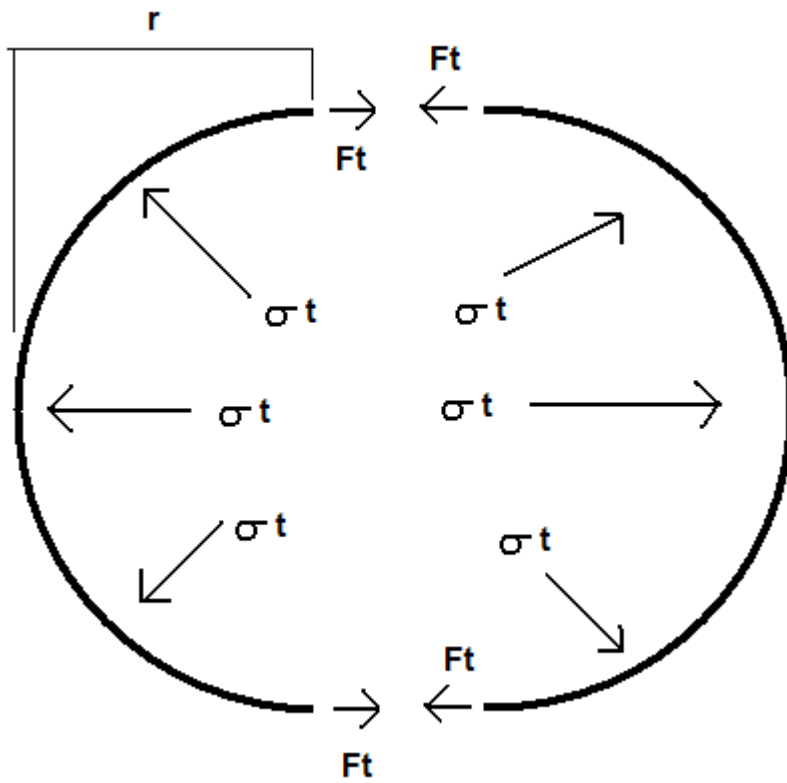


Tabla XII Pesos y gravedades específicas de distintos líquidos

Líquido	Peso	Gravedad específica
	Lbs / Pie ³	
Alcohol al 100%	49	0.79
Ácido muriático al 40%	75	1.2
Ácido nítrico al 98%	94	1.5
Ácido sulfúrico al 87%	112	1.8
Soda cáustica al 66%	106	1.7
Aceite vegetal	58	0.91-0.94
Aceite mineral	57	0.90-0.93
Agua a 4° C. (máxima densidad)	62.428	1.00
Agua a 100° C.	59.83	0.9584
Agua de mar	64	1.02-1.03
Petróleo	54	0.87
Petróleo refinado	50	0.79-0.82
Benzeno	46	0.73-0.75
Gasolina	42	0.66-0.69

