



INGLESA



Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento

Contenido

Capítulo

1. Generalidades
 - 1.1. Definición de conceptos
 - 1.2. Tipos de tanques
 - 1.3. Códigos aplicables
 - 1.4. Tipos de techos
 - 1.5. Materiales a emplear en tanques de almacenamiento
 - 1.6. Soldadura en tanques de almacenamiento
 - 1.7. Boquillas en tanques de almacenamiento
 - 1.8. Entradas de hombre y accesorios
 - 1.9. Escaleras y plataformas

2. Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento
 - 2.1. Consideraciones de diseño
 - 2.2. Diseño del fondo
 - 2.3. Diseño y cálculo del cuerpo
 - 2.4. Diseño y cálculo de techos
 - 2.5. Diseño y cálculo del perfil de coronamiento
 - 2.6. Diseño de techos flotantes
 - 2.7. Tanques ensamblados en taller

3. Cálculo por sismo y viento
 - 3.1. Cálculo por sismo
 - 3.2. Cálculo por viento

4. Cálculo por presión manométrica
 - 4.1. Alcance
 - 4.2. Cálculo de la presión máxima permisible
 - 4.3. Cálculo de la junta cuerpo-techo
 - 4.4. Prueba neumática

5. Ejemplo Ilustrativo
 - 5.1. Planteamiento
 - 5.2. Cálculo del espesor del tanque
 - 5.3. Cálculo y selección de la estructura
 - 5.4. Cálculo por sismo
 - 5.5. Cálculo por viento
 - 5.6. Dibujos de referencia



INDICE

Capítulo		
1.- Generalidades		6
1.1.- Definición de conceptos		6
1.2.- Tipos de tanques de almacenamiento		6
1.3.- Códigos aplicables		8
1.4.- Tipos de techos		10
1.5.- Materiales a emplear en la fabricación de tanques de almacenamiento		10
1.6.- Soldadura en tanques de almacenamiento		14
1.6.1.- Juntas verticales del cuerpo		15
1.6.2.- Juntas horizontales		17
1.6.3.- Soldaduras de fondo		17
1.6.4.- Juntas de la placa anular		17
1.6.5.- Juntas del cuerpo-fondo		18
1.6.6.- Juntas para anillos anulares		18
1.6.7.- Juntas del techo-perfil de coronamiento		19
1.6.8.- Recomendaciones para procedimientos de soldaduras		22
1.7.- Boquillas en tanques de almacenamiento		23
1.7.1.- Boquillas en la pared del tanque		24
1.7.2.- Boquillas en el techo		32
1.8.- Entradas de hombre y accesorios		35
1.8.1.- Entradas de hombre verticales y horizontales		35
1.8.2.- Venteos		35
1.8.3.- Drenes y sumideros		35
1.9.- Escaleras y plataformas		51
1.9.1.- Requerimientos para plataformas y pasillos		51
1.9.2.- Requerimientos para escaleras		52
2.- Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento cubiertos bajo el estándar API 650		54
2.1.- Consideraciones de diseño		54
2.2.- Diseño del fondo		54
2.3.- Diseño y Cálculo del cuerpo		58
2.3.1.- Cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie		58
2.3.2.- Cálculo de espesores del cuerpo por el método del punto de diseño variable		59
2.4.- Diseño y Cálculo de techos		62
2.4.1.- Diseño y Cálculo de techos cónicos autosoportados		63
2.4.2.- Diseño y Cálculo de techos tipo domo y sombrilla		65
		66
		66



2.4.3.- Diseño y Cálculo de techos cónicos soportados_____

2.4.3.1.- Esfuerzos permisibles_____



2.4.3.2.- Cálculo de vigas continuas con carga uniformemente repartida	69
2.4.3.3.- Espacios entre largueros, traveses y número de largueros	70
2.4.3.4.- Cálculo de vigas articuladas con carga uniformemente repartida	72
2.4.3.5.- Selección de traveses y largueros	73
2.4.3.6.- Cálculo de columnas con carga axial	74
2.4.3.7.- Selección de columnas	76
2.5.- Diseño y Cálculo del perfil de coronamiento para techos autosoportados	77
2.5.1.- Cálculo de perfil de coronamiento para tanques sin techo	78
2.5.2.- Cálculo del perfil de coronamiento para techos soportados	80
2.6.- Diseño de techos flotantes abiertos	81
2.6.1.- Diseño de techos flotantes cubiertos	82
2.6.1.1.- Requerimientos de diseño	82
2.6.1.2.- Diseño de juntas	83
2.6.1.3.- Diseño para tipos de techos específicos	84
2.6.1.4.- Aberturas y accesorios	84
2.6.2.- Diseño de techos flotantes externos	85
2.6.2.1.- Requerimientos	85
2.6.2.2.- Diseño de cubiertas específicas	85
2.6.2.3.- Diseño del pontón	86
2.6.2.4.- Columnas y soportes	86
2.6.2.5.- Pruebas	86
2.7.- Tanques ensamblados en taller	86
2.7.1.- Requerimientos de diseño	87
2.7.2.- Diseño y Cálculo del cuerpo, techo y perfil de coronamiento	88
2.7.3.- Prueba e inspección del tanque	89
3.- Cálculo por sismo y viento	89
3.1.- Cálculo por sismo	89
3.1.1.- Momento de volteo	91
3.1.1.1.- Masa efectiva contenida en el tanque	92
3.1.1.2.- Coeficientes de fuerzas laterales	93
3.1.2.- Resistencia a la volcadura	94
3.1.3.- Compresión del cuerpo	94
3.1.3.1.- Tanques no anclados	95
3.1.3.2.- Compresión máxima permisible del cuerpo	96
3.1.3.3.- Tanques anclados	97
3.2.- Presión de viento	97
3.2.1.- Momento de volteo	98
3.2.2.- Anillo de refuerzo superior o intermedio para viento	



4.- Cálculo por presión manométrica_____	103
4.1.- Alcance_____	103
4.2.- Cálculo de la presión máxima permisible_____	105
4.3.- Cálculo de la junta cuerpo-techo_____	105
4.4.- Prueba neumática_____	106
5.- Ejemplo ilustrativo del diseño de un tanque de almacenamiento_____	107
5.1.- Planteamiento_____	107
5.2.- Cálculo de los espesores del tanque_____	107
5.2.1.- Cálculo de los espesores del cuerpo_____	107
5.2.2.- Selección del fondo_____	109
5.3.- Cálculo y selección de la estructura_____	109
5.3.1.- Cálculo y selección de los largueros_____	110
5.3.2.- Cálculo y selección de trabes_____	111
5.3.3.- Cálculo y selección de las columnas_____	112
5.4.- Cálculo por sismo_____	112
5.5.- Cálculo por viento_____	114
5.6.- Dibujos de referencia_____	114



CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

A continuación, definiremos los conceptos más empleados en el presente libro, con la finalidad de facilitar su comprensión:

BOQUILLA.- Orificio practicado en un tanque para la entrada y/o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición, generalmente son bridas o roscadas.

BRIDA.- Accesorio para acoplamiento de tuberías, que facilita el armado y desarmado de las mismas.

CARGA HIDROSTÁTICA.- La presión ejercida por un líquido en reposo.

CARGA MUERTA.- La fuerza debida al peso propio de los elementos a considerar.

CARGA VIVA.- La fuerza ejercida por cuerpos externos, tales como: nieve, lluvia, viento, personas y/o objetos en tránsito, etc.

CÓDIGO.- Conjunto de mandatos dictados por una autoridad competente.

CORROSIÓN.- Desgaste no deseado, originado por la reacción química entre el fluido contenido y/o procesado y el material de construcción del equipo en contacto con el mismo.

EFICIENCIA DE JUNTAS SOLDADAS.- Valor numérico dado por el Código o Estándar correspondiente (Grado de Confiabilidad).

ESTÁNDAR.- Sugerencias para la fabricación y diseño, originadas por la experiencia.

NORMA.- Conjunto de reglas para el dimensionamiento y cálculo de accesorios.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA.- Es la producida por el peso del aire y su valor depende de la altura del sitio indicado sobre el nivel del mar.



PRESIÓN DE DISEÑO.- Es la presión manométrica considerada para efectuar los cálculos.

PRESIÓN DE OPERACIÓN.- Presión manométrica a la cual estará sometido el tanque en condiciones normales de trabajo.

PRESIÓN DE PRUEBA.- Valor de la presión manométrica que sirva para realizar la prueba hidrostática o neumática.

RECIPIENTE.- Depósito cerrado que aloja un fluido a una presión manométrica diferente a la atmosférica, ya sea positiva o negativa.

TANQUE.- Depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión internas relativamente bajas.

1.2. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización. Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

- 1.- Cilíndricos Horizontales.
- 2.- Cilíndricos Verticales de Fondo Plano.

Los Tanques Cilíndricos Horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños. Los Tanques Cilíndricos Verticales de Fondo Plano nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

Estos tipos de tanques se clasifican en:

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

En esta obra sólo trataremos los tanques de techo fijo (autosoportado y soportado por estructura) y tanques sin techo. Los de techo flotante no se tratarán a



fondo debido a que el diseño de los sistemas de flotación están patentados y solamente los titulares de esas patentes pueden divulgar información al respecto.

1.3. CÓDIGOS APLICABLES.

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, incluyendo el nuestro, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "STANDAR A.P.I. 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y "STANDAR A.P.I. 620", para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a 1 Kg/cm^2 (14 lb/pulg^2). El estándar A.P.I. 650 sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están construidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de $93 \text{ }^\circ\text{C}$ ($200 \text{ }^\circ\text{F}$), y que no se usen para servicios de refrigeración. Este estándar cubre el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque. En lista de los materiales de fabricación, se sugieren secuencias en la erección del tanque, recomendación de procedimientos de soldaduras, pruebas e inspecciones, así como lineamientos para su operación.

A continuación, mostramos la tabla 1.1 con los diferentes requerimientos de diversos estándares para la fabricación de tanques de almacenamiento.



TABLA 1.1 REQUERIMIENTOS DE DIVERSOS ESTÁNDARES PARA TANQUES DE FONDO PLANO.

Tabla 1.1	A.P.I. 650			A.P.I. 620			A.N.S.I.	AWWA
	Básico	Apéndice A	Apéndice F	Básico	Apéndice R	Apéndice Q	B96.1	
Presión Interna Máxima	Atm.	Atm.	0.17 Kg/cm ²	1 Kg/cm ²	1 Kg/cm ²	1 Kg/cm ²	Atm.	Atm.
Temperatura Mínima	NS	(-)28.8°C	NS	(-)45.5°C	(-)54.4°C	(-)167°C	(-)28.8°C	(-)48.3°C
Temperatura Máxima	93.3°C	93.3°C	93.3°C	93.3°C	(-)40°C	93.3°C	204°C	RT
Espesor Máximo del Cuerpo	44.4 cm.	12.7 cm.	44.4 mm.	NS	NS	NS	NS	50.8 mm.
Espesor Mínimo del Cuerpo								
D < 15.2 m.	4.76 mm.			4.76 mm.			4.76 mm.	
15.2 m. < D > 36.5 m.	6.35 mm.			6.35 mm.			6.36 mm.	
36.5 m. < D > 60.9 m.	7.93 mm.			7.93 mm.			7.93 mm.	
D > 60.9 m.	9.52 mm.			9.52 mm.				9.52 mm.
Espesor Mínimo del Techo	4.76 mm.			NS			4.76 mm.	4.76 mm.
Espesor Máximo del Techo	6.35 mm. + CA			NS			6.35 mm.	NS
Ángulo Mínimo de Coronamiento								
D < 10.6 m.	50.8 mm. x 50.8 mm. x 4.76 mm.			NS		63.5 mm. x 63.5 mm. x 6.35 mm.		NS
10.6 m. < D > 18.2 m.	50.8 mm. x 50.8 mm. x 6.35 mm.			NS		63.5 mm. x 63.5 mm. x 7.93 mm.		NS
D > 18.2 m.	76.2 mm. x 76.2 mm. x 9.52 mm.			NS		76.2 mm. x 76.2 mm. x 9.52 mm.		NS

NS = Sin Especificación CA = Corrosión Permisible RT = Temperatura Ambiente

- a) La temperatura puede ser elevada hasta 260° C cuando se cumplen ciertas especificaciones del material y requerimientos de diseño adicionales.
- b) Este espesor aplica para tanques con diámetros menores a 6.096 m.
- c) Este espesor aplica para tanques con diámetros entre 6.096 m. y 36.57 m.
- d) El espesor mínimo de cualquier placa es 4.76 mm. + corrosión.
- e) Para espesores mayores de 50.8 mm. se deben cumplir algunos requerimientos especiales
- f) Para techos cónicos, el espesor de placa puede ser calibre No. 7.



1.4. TIPOS DE TECHOS.

De acuerdo al estándar A.P.I. 650, clasificaremos los tanques de acuerdo al tipo de techo, lo que nos proporcionará el servicio recomendable para éstos.

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

Los techos fijos se clasifican en:

- Techos autosoportados.
- Techos soportados.

2.- Techo Flotante.- Se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general.

Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.

3.- Los Tanques sin Techo.- Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera como el caso del agua cruda, residual, contra incendios, etc. El diseño de este tipo de tanques requiere de un cálculo especial del anillo de coronamiento.

1.5. MATERIALES A EMPLEAR EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Para el mejor diseño, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado, por lo que a continuación listamos los materiales más usados con su aplicación y la tabla 1.2. muestra la agrupación de los mismos.



ESTÁNDAR A.S.T.M. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS).

A-36.- ACERO ESTRUCTURAL.

Sólo para espesores iguales o menores de 38 mm. (1 1/2 pulg.). Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

A-131.- ACERO ESTRUCTURAL.

GRADO A para espesor menor o igual a 12.7 mm (1/2 pulg.)

GRADO B para espesor menor o igual a 25.4 mm. (1 pulg.)

GRADO C para espesores iguales o menores a 38 mm. (1-1/2 pulg.)

GRADO EH36 para espesores iguales o menores a 44.5 mm. (1-3/4 pulg.)

A-283.- PLACAS DE ACERO AL CARBÓN CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN.

GRADO C Para espesores iguales o menores a 25 mm. (1 pulg.). Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

A-285.- PLACA DE ACERO AL CARBÓN CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN.

GRADO C Para espesores iguales o menores de 25.4 mm. (1 pulg.). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.

A-516.- PLACA DE ACERO AL CARBÓN PARA TEMPERATURAS DE SERVICIO MODERADO.

GRADOS 55, 60, 65 y 70. Para espesores iguales o menores a 38mm. (1-1/2 pulg.). Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo.



A- 53.- GRADOS A Y B. Para tubería en general.

A-106.-GRADOS A Y B. Tubos de acero al carbón sin costura para servicios de alta temperatura.

En el mercado nacional, es fácil la adquisición de cualquiera de estos dos materiales, por lo que puede usarse indistintamente, ya que ambos cumplen satisfactoriamente con los requerimientos exigidos por el estándar y la diferencia no es significativa en sus propiedades y costos.

A-105.- FORJA DE ACERO AL CARBÓN PARA ACCESORIOS DE ACOPLAMIENTO DE TUBERÍAS.

A-181.- FORJA DE ACERO AL CARBÓN PARA USOS EN GENERAL.

A-193.- GRADO B7. Material para tornillos sometidos a alta temperatura y de alta resistencia, menores a 64mm. (2-1/2 (pulg.), de diámetro.

A-194.- GRADO 2H. Material para tuercas a alta temperatura y de alta resistencia.

A-307.- GRADO B. Material de tornillos y tuercas para usos generales.

MATERIALES PARA SOLDADURA

Para el soldado de materiales con un esfuerzo mínimo a la tensión menor de 5625 Kg/cm^2 (80000 lb/pulg^2), los electrodos de arco manual deben estar hechos de materiales cuya clasificación sea AWS: E-60XX y E70XX.

Para soldado de materiales con un esfuerzo mínimo a la tensión de $5625\text{-}5976 \text{ Kg/cm}^2$ ($80000\text{-}85000 \text{ lb/pulg}^2$), el material del electrodo de arco manual debe ser E80XX-CX.

También podrán ser usados otros materiales que sean recomendados por otros Estándares, Códigos o Normas como: A.S.T.M., A.P.I., CSA (Canadian Standar for Standardization.)



TABLA 1.2. GRUPOS DE MATERIALES.

Grupo 1 Rolado Semicalmado		Grupo 2 Rolado Calmado y Semicalmado		Grupo 3 Rolado y Calmado Grano Fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A-283-C	2	A-31-B	7	A-573-58	
A-285-C	2	A-36	2 y 6	A-516-55	
A-131-A	2	A-422-55		A-516-60	
A-36	2 y 3	A-422-60		G40.21-260W	9
Fe-42-B	4	G40.21-260W		Fe-42-D	4 y 9
Gdo. 37	3 y 5	Fe-42-C	4	Gdo. 41	5 y 9
Gdo. 41	6	Gdo. 41	5 y 8		

Grupo 3A Normalizado, Calmado Grano Fino		Grupo 4 Rolado Calmado, Rolado Fino		Grupo 4A Rolado y Calmado Grano Fino	
Material	Notas	Material	Notas	Material	Notas
A-131-CS		A-573-65		A-662-C	
A-573-58	10	A-573-70		A-573-70	11
A-516-55	10	A-516-65		G40.21-300W	9, 11
A-516-60	10	A-516-70		G40.21-350W	9, 11
G40.20-260W	9 y 10	A-662-B			
Fe-42-D	4, 9 y 10	G40.21-300W	9		
Gdo. 41	5, 9 10	G40.21-350W	9		
		Fe-44-B,C,D	4 y 9		
		Fe-52-C,D	9		
		Gdo. 44	5 y 9		

Grupo 5 Normalizado, Calmado Grano Fino		Grupo 6 Normalizado, Reducido, Calmado por Temperatura Grano Fino y Reducción al Carbón	
Material	Notas	Material	Notas
A-573-70	10	A-131-EH,36	
A-516-65	10	A-633-C	
A-516-70	10	A-537-I	9
G40.21-300W	9 y 10	A-537-II	4 y 9
G40.21-350W	9 y 10	A-678-A	
		A-678-B	5 y 9
		A-737-B	



NOTAS:

- 1.- Todo lo especificado, nombrado y referido por A.S.T.M. excepto G40.21 que está especificado por el Estándar de la Asociación Canadiense, Re 42, Fe 44 y Fe 52 especificado y contenido en ISO 630 y los grados 37, 41 y 44 especificados por el Estándar Nacional Americano.
- 2.- Debe ser semimuerto y muerto.
- 3.- Espesor menor o igual a 12.7 mm. (1/2 pulg.).
- 4.- Máximo contenido de manganeso de 1.5%.
- 5.- Espesor menor o igual a 19.5 mm. (3/4 pulg.), cuando el rolado es controlado.
- 6.- Contenido de manganeso de 0.8% a 1.2%, haciendo análisis de calor en todos los espesores.
- 7.- Espesores menores o iguales a 25.4 mm. (1 pulg.).
- 8.- Debe ser muerto.
- 9.- Debe ser semimuerto y grano fino.
- 10.- Debe ser normalizado.
- 11.- Debe ser tratado térmicamente, con un máximo de carbón de 0.02% y un máximo de manganeso de 1.6%.

1.6. SOLDADURAS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

El estándar A.P.I. 650, se auxilia del Código A.S.M.E. sección IX para dar los alineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales.

El Código A.S.M.E. sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que lo acredite como soldador calificado, el cual le permite realizar cierto tipo de soldaduras de acuerdo con la clasificación de ésta. Una vez realizada la soldadura o soldaduras, éstas se someterán a pruebas y ensayos como: ultrasonido, radiografiado, líquidos penetrantes, dureza, etc., donde la calidad de la soldadura es responsabilidad del fabricante.

Al efectuar el diseño se deberán preparar procedimientos específicos de soldadura para cada caso.

Los procedimientos de soldadura serán presentados para su aprobación y estudio antes de aplicar cualquier cordón de soldadura para cada caso en



particular. Este procedimiento debe indicar la preparación de los elementos a soldar, así como la temperatura a la que se deberá precalentar tanto el material de aporte (electrodo, si lo hubiera), como los materiales a unir.

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico sumergido, arco con gas inerte o electrodos recubiertos. Estos procesos pueden ser manuales o automáticos. En cualquiera de los dos casos, deberán tener penetración completa, eliminando la escoria dejada al aplicar un cordón de soldadura antes de aplicar sobre éste el siguiente cordón.

Las soldaduras típicas entre elementos, se muestran en las figuras 1.1. y 1.2. La cara ancha de las juntas en "V" y en "U" podrán estar en el exterior o en el interior del cuerpo del tanque dependiendo de la facilidad que se tenga para realizar el soldado de la misma. El tanque deberá ser diseñado de tal forma que todos los cordones de soldadura sean verticales, horizontales y paralelos, para el cuerpo y fondo, en el caso del techo, podrán ser radiales y/o circunferenciales.

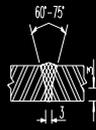
1.6.1. JUNTAS VERTICALES DEL CUERPO.

- A) Las juntas verticales deberán ser de penetración y fusión completa, lo cual se podrá lograr con soldadura doble, de tal forma que se obtenga la misma calidad del metal depositado en el interior y el exterior de las partes soldadas para cumplir con los requerimientos del procedimiento de soldaduras.
- B) Las juntas verticales no deberán ser colineales, pero deben ser paralelas entre sí en una distancia mínima de 5 veces el espesor de la placa (5t).



AP-1.016

DISEÑO DE ANQUE EN VERTICAL



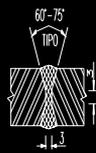
SOLDADURA A TOPE EN "V"



SOLDADURA A TOPE EN "U"



SOLDADURA A TOPE RECTANGULAR



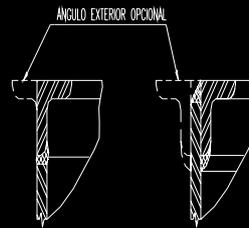
SOLDADURA A TOPE EN DOBLE "V"



SOLDADURA A TOPE EN DOBLE "U"

UNIONES DE ANQUE EN VERTICAL

(UNIONES)



UNION CUERPO-ANGULO DE CORONAMIENTO A TOPE (PENETRACION COMPLETA)

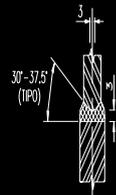
UNION CUERPO-ANGULO DE CORONAMIENTO A TRASLAPE (PENETRACION COMPLETA)



SOLDADURA A TOPE RECTANGULAR (PENETRACION COMPLETA)



SOLDADURA A TOPE CON BISEL (PENETRACION COMPLETA)



SOLDADURA A TOPE CON DOBLE BISEL (PENETRACION COMPLETA)

UNIONES DE ANQUE EN HORIZONTAL

(UNIONES)



1.6.2. JUNTAS HORIZONTALES.

A) Las juntas horizontales, deberán ser de penetración y fusión completa, excepto la que se realiza entre el ángulo de coronamiento y el cuerpo, la cual puede ser unida por doble soldadura a traslape, cumplimiento con el procedimiento de soldadura.

B) A menos que otra cosa sea especificada, la junta a tope con o sin bisel entre las placas del cuerpo, deberán tener una línea de centros o fibra media común.

1.6.3. SOLDADURA DEL FONDO.

A) SOLDADURAS A TRASLAPE.- Las placas del fondo deberán ser rectangulares y estar escuadradas. El traslape tendrá un ancho de, por lo menos, 32mm. (1-1/4 pulg.) para todas las juntas: las uniones de dos o tres placas, como máximo que estén soldadas, guardarán una distancia mínima de 305mm. (1 pie) con respecto a cualquier otra junta y/o a la pared del tanque. Cuando se use placa anular, la distancia mínima a cualquier cordón de soldadura del interior del tanque o del fondo, será de 610mm. (2 pie).

Las placas del fondo serán soldadas con un filete continuo a lo largo de toda la unión. A menos que se use un anillo anular, las placas del fondo llevarán bayonetas para un mejor asiento de la placa del cuerpo que son apoyadas sobre el fondo de acuerdo a la Figura 1.4.

B) SOLDADURAS A TOPE.- Las placas del fondo deberán tener sus cantos preparados para recibir el cordón de soldadura, ya sea escuadrando éstas o con biseles en "V". Si se utilizan biseles en "V", la raíz de la abertura no deberá ser mayor a 6.3 mm. (1/4 pulg.). Las placas del fondo deberán tener punteada una placa de respaldo de 3.2 mm. (1/8 pulg) de espesor o mayor que la abertura entre placas, pudiéndose usar un separador para conservar el espacio entre las placas. Cuando se realicen juntas entre tres placas en el fondo del tanque, éstas deberán conservar una distancia mínima de 305 mm. (1 pie) entre sí y/o con respecto a la pared del tanque.

1.6.4. JUNTAS DE LA PLACA ANULAR DEL FONDO.

La junta radial del fondo de la placa anular deberá ser soldada con las mismas características expuestas en el punto "B" del párrafo anterior y tener



penetración y fusión completa. El material de la placa anular será de las mismas características que el material del fondo.

1.6.5. JUNTA DEL CUERPO-FONDO.

A) Para espesores de placa del fondo o de placas anulares que sean de 12.7mm. (1/2 pulg.) o menores son incluir corrosión, la unión entre el fondo y el canto de las placas del cuerpo tendrá que ser hecha con un filete continuo de soldadura que descansa de ambos lados de la placa del cuerpo (Ver Figura 1.4). El tamaño de cada cordón, sin tomar en cuenta la corrosión permisible, no será mayor que 12.7mm. (1/2") y no menor que el espesor nominal de la más delgada de las placas a unir, o menor que los siguientes valores:

MÁXIMO ESPESOR DEL TANQUE (mm.)	DIMENSIÓN MÍNIMA DEL FILETE (mm.)
4.76	4.76
> 4.76 - 19.05	6.35
> 19.05 - 31.75	7.93
> 31.75 - 44.45	9.52

B) Para placas anulares de un espesor mayor de 12.7 mm. (1/2 pulg), la junta soldada deberá ser de una dimensión tal que la pierna del filete o la profundidad del bisel más la pierna del filete de una soldadura combinada sean del mismo espesor que la placa anular.

C) El filete entre cuerpo y fondo para materiales en los grupos IV, IVA, V ó VI debe realizarse con un mínimo de dos cordones de soldadura (Ver Tabla 1.2).

1.6.6. JUNTAS PARA ANILLOS ANULARES.

A) Las soldaduras para unir secciones anulares que conformen todo el anillo tendrán penetración y fusión completa.

B) Se usarán soldaduras continuas para todas las juntas que por su localización puedan ser objeto de corrosión por exceso de humedad o que puedan causar oxidaciones en la pared del tanque.



1.6.7. JUNTAS DEL TECHO Y PERFIL DE CORONAMIENTO.

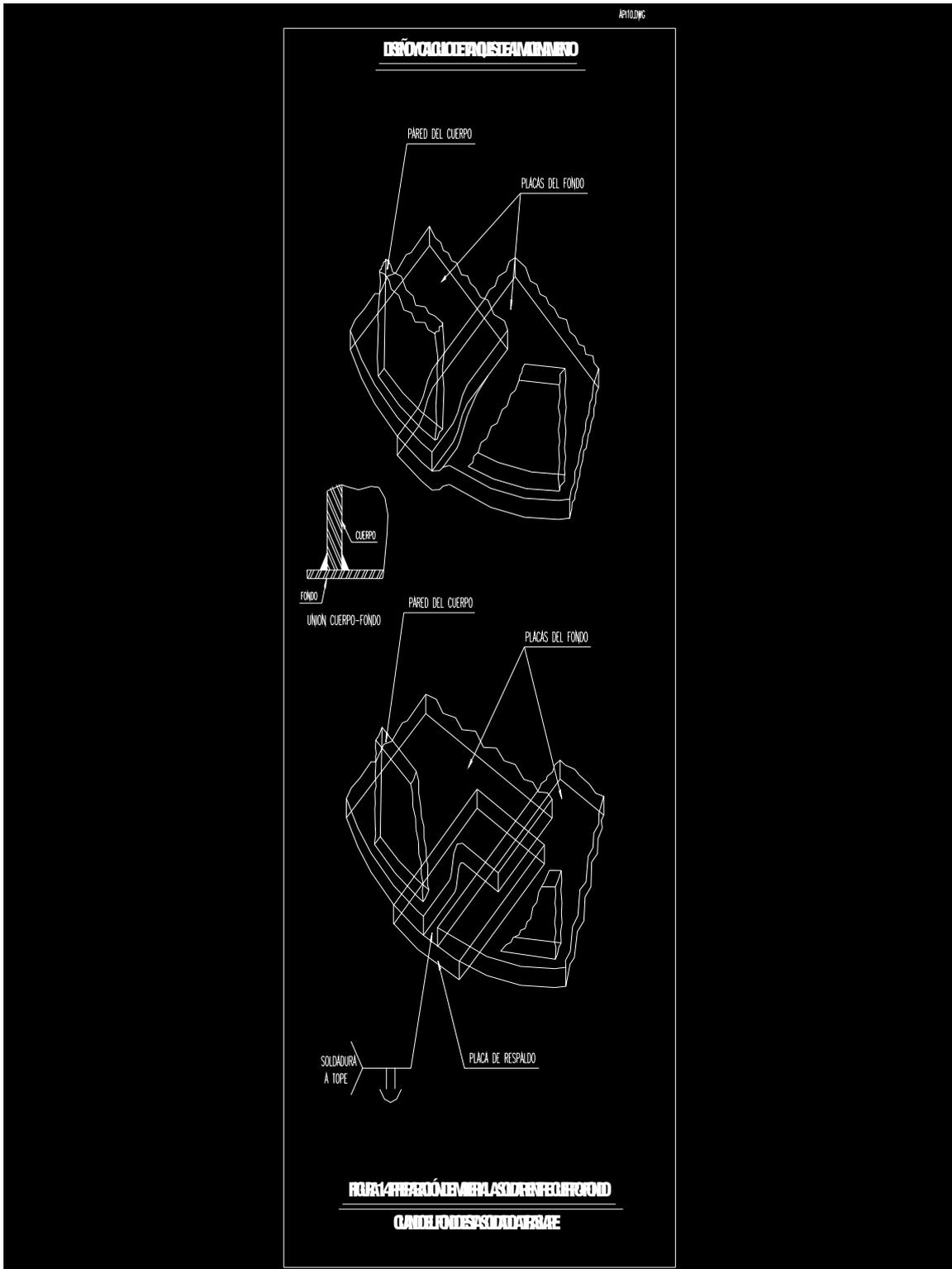
A) Las placas del techo deberán soldarse a traslape por el lado superior con un filete continuo igual al espesor de las mismas (Ver Figura 1.5).

B) Las placas del techo serán soldadas al perfil de coronamiento del tanque con un filete continuo por el lado superior únicamente y el tamaño del filete será igual al espesor más delgado (Ver Figura 1.5).

C) Las secciones que conformen el perfil de coronamiento para techos autoportados estarán unidas por cordones de soldadura que tengan penetración y fusión completa.

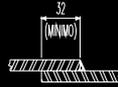
D) Como una opción del fabricante para techos autoportados, del tipo domo y sombrilla, las placas perimetrales del techo podrán tener un doblado horizontal, a fin de que descansen las placas en el perfil de coronamiento.



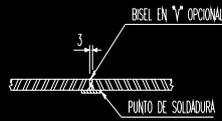


AP3-3406

UNIÓN A TRASLAPE DEL FONDO



UNIÓN A TRASLAPE DEL FONDO

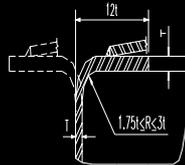


UNIÓN A TOPE DEL FONDO CON PLACA DE RESPALDO

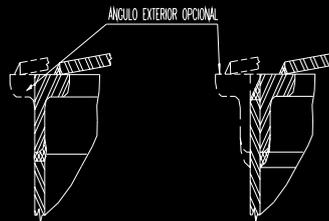
UNIÓN ALTERNATIVA CUERPO-TECHO



UNIÓN A TRASLAPE DEL TECHO



UNIÓN ALTERNATIVA CUERPO-TECHO
(SUJETA A LIMITACIONES)



UNIÓN CUERPO-TECHO

UNIÓN ALTERNATIVA CUERPO-TECHO



1.6.8. RECOMENDACIONES PARA PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURAS.

Uno de los factores determinantes para el proceso de soldadura son las dilataciones térmicas porque, al soldar las placas de acero del fondo, casco y techo, se presentan deformaciones, debido a que el incremento de temperatura es del orden de 2204°C a 13870°C (4,000°F a 2,500°F) dependiendo del proceso que se utilice.

Como el coeficiente de expansión o contracción térmica del material es del orden de 0.01651 mm para cada 38°C (100°F) se encogerá 1.6 mm. (1/16 pulg). Por tanto, si sumamos estas contracciones al diámetro del fondo para tanques de grandes dimensiones o las que se requieran en el casco de un tanque, la magnitud ya es considerable.

Debido a ello, nos vemos obligados a considerar un procedimiento de soldadura que permita evitar las deformaciones que se presentan, recomendando que la secuencia de soldado se inicie en el centro del tanque y avance hacia la periferia del fondo, soldando juntas longitudinales y, a continuación, las placas del anillo anular, si éstas existieran, dejando pendientes las soldaduras transversales del fondo, mismas que serán terminadas cuando se haya avanzando en las soldaduras del primer anillo del casco.

Las pequeñas deformaciones que se permitan en el primer anillo deben ser las mínimas dentro de las tolerancias permitidas por el estándar, de lo contrario, se reflejarán en los últimos anillos, pero amplificando más o menos diez veces, por lo que las soldaduras verticales del casco deben ser alternadas y por el procedimiento de retroceso para obtener una verticalidad y circularidad aceptable.

El procedimiento debe llevar un estricto control de las dimensiones del casco, a medida que se van montando las placas de cada anillo, pero tomando en cuenta que las últimas soldaduras de cierre deberán ser siempre a una hora tal del día que se tenga la misma temperatura medida directamente sobre la superficie del material, a fin de controlar la expansión térmica que en grandes tanques puede llegar a ser del orden de 38mm. (1 1/2 pulg). Por supuesto que se usarán todos los herrajes que requiera el procedimiento con el objeto de mantener correctas las dimensiones y llevando un registro minucioso de las mismas para decidir, en el momento, oportuno, las correcciones pertinentes, debido a alguna



desviación fuera de tolerancia. También se recomienda dejar una placa del primer anillo sin soldar para ser utilizada como puerta, la cual sólo se removerá en caso absolutamente necesario para acceso de material o equipo, con la condición de que esté hecha la primera soldadura horizontal, excepto tres pies, mínimo a cada lado de dicha puerta y que lateralmente se tengan instaladas canales de refuerzo de 304.8 mm (12 pulg.) de longitud. Para su terminación, se seguirá el método explicado para las placas principales.

Para aplicar la soldadura de filete entre el primer anillo y la placa anular o la placa del fondo, se debe precalentar una longitud de 304.8mm. (12 pulg.) hacia arriba del primer anillo a una temperatura de 100° C a 150° C.

Las soldaduras de traslape de las placas del techo sólo se harán por la parte exterior y solamente donde existan zonas de flexión se recomendarán puntos de soldadura a cada 304.8mm. (12 pulg.) en su parte interior, porque la doble soldadura es más perjudicial que benéfica, ya que, por el tipo de soldadura a realizar (posición sobre cabeza), será muy difícil evitar el socavado que reduce el espesor de la placa.

Con el fin de verificar si una soldadura ha sido bien aplicada, se utilizarán varias formas de inspección. Entre ellas están el radiografiado, la prueba de líquidos penetrantes y, en ocasiones, el ultrasonido. La prueba más comúnmente utilizada es la de radiografiado, la cual puede ser total o por puntos.

También es necesario realizar pruebas de dureza en las soldaduras horizontales y verticales que se efectúan durante la construcción del tanque y, muy especialmente, en las soldaduras reparadas, así como también en las zonas cercanas a estos cordones.

1.7. BOQUILLAS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Todos los tanques de almacenamiento deberán estar provistos de boquillas, las que a continuación se enlistan como las mínimas requeridas que deberán ser instaladas en los tanques de almacenamiento.

- 1.- Entrada (s) de producto (s).
- 2.- Salida (s) de producto (s).
- 3.- Drene (con o sin sumidero).
- 4.- Venteo (s).
- 5.- Entrada (s) de hombre.



6.- Conexiones para indicador y/o control de nivel.

1.7.1. BOQUILLAS EN LAS PAREDES DEL TANQUE.

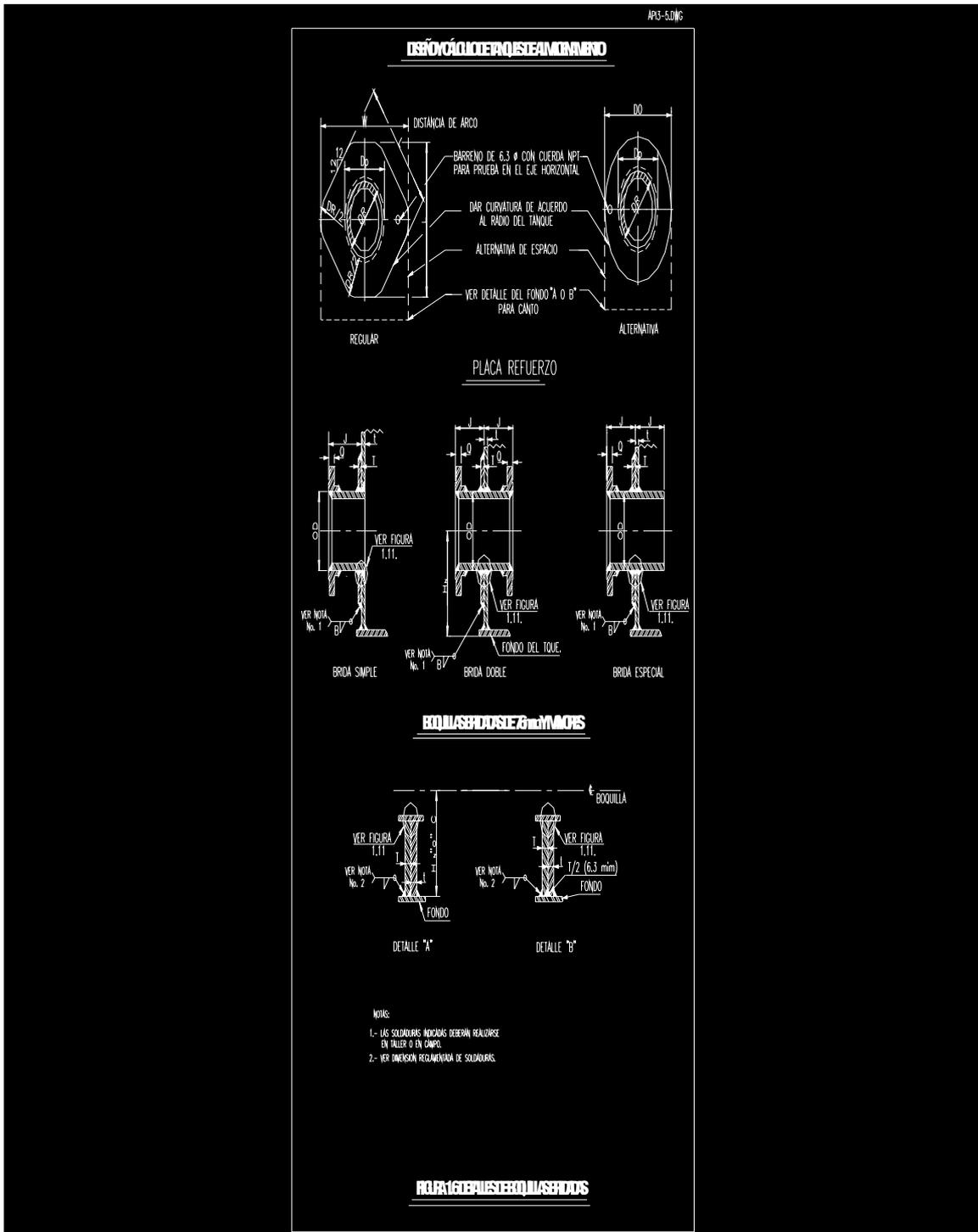
Las boquillas bridadas y/o roscadas, podrán ser de acuerdo a las Figuras 1.6. y 1.7. y Tablas 1.3.1., 1.3.2. y 1.3.3. o tipo SLIP ON, WELDING NECK, LAP JOINT Y TIPO PAD de un rango de 10.5 Kg./cm.²), cuando el usuario así lo solicite.

Todas las boquillas de 76mm (3 pulg.) de diámetro y mayores deberán contar con una placa de refuerzo de acuerdo a lo especificado en la Tabla 1.3.1., con el fin de absorber la concentración de esfuerzos debidos a la perforación hecha al tanque y/o a los esfuerzos producidos por la carga que presenta la línea de la boquilla en cuestión, la cual contará con un barreno de 6.3mm (1/4 pulg.) de diámetro roscado con cuerda NPT para boquillas menores de 356mm (14pulg.) de diámetro nominal y con dos barrenos para boquillas mayores, con la finalidad de que por ellos salga la acumulación de gases al realizar la soldadura y para que, posteriormente, se realice una prueba de hermeticidad.

Las dimensiones y detalles especificados en las figuras y tablas son para boquillas instaladas con sus ejes perpendiculares a las placas del tanque. Cuando las boquillas son instaladas con un ángulo diferente de 90° respecto a las placas del tanque en el plano horizontal, estarán provistas de una placa de refuerzo que tenga un ancho de acuerdo a lo especificado en las tablas 1.3.1. (W o Do), que se incrementa de acuerdo al corte de las placas del tanque (dimensión Dp) por pasar de circular a elíptica cuando se realiza una instalación angular.

En el caso de que sean boquillas de 76 mm. (3 pulg.) de diámetro, (o menores), que tengan un servicio exclusivo de instrumentación o que no presenten carga debida a la línea, podrán colocarse en un ángulo no mayor de 15° con respecto al plano vertical y no llevarán una placa de refuerzo.





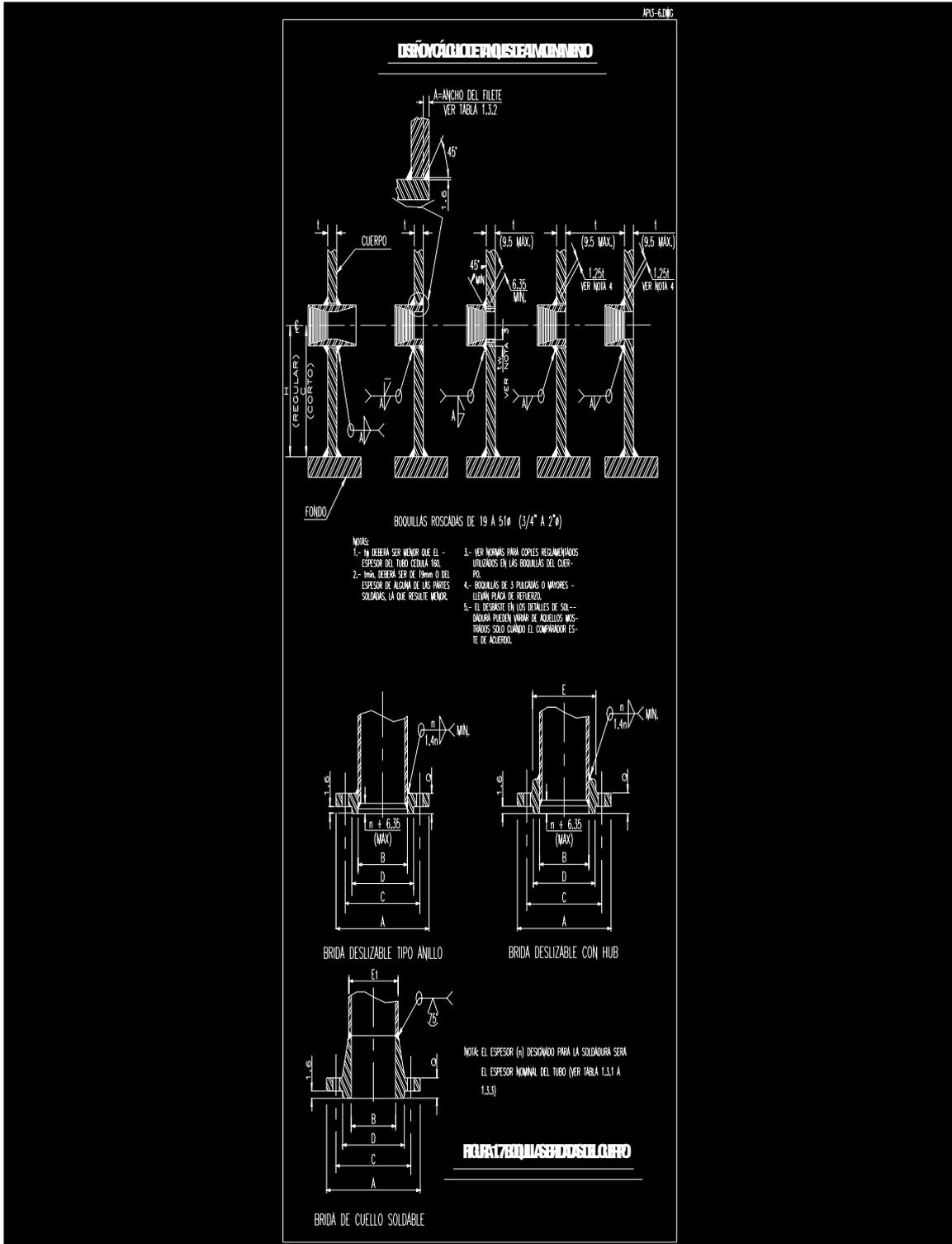


TABLA 1.3.1. DIMENSIONES PARA CUELLOS DE BOQUILLAS.

Tamaño de Boquilla	Diámetro Exterior del tubo	Espesor Nominal de la Boquilla Pared del Tubo n	Diámetro Interior de la Placa de Refuerzo DR	Longitud, Lado o Diámetro de la Placa de Refuerzo L=Do	Ancho de la Placa de Refuerzo W	Proyección Exterior Mínimo J	Elevación Mínima al Centro de Boquilla	
							Tipo Regular HN	Tipo Baja C
1219	1219	e	1222	2457	2972	406	1321	1229
1168	1168	e	1171	2356	2845	406	1270	1178
1117	1117	e	1121	2254	2724	381	1219	1127
1067	1067	e	1070	2153	2604	381	1168	1076
1016	1016	e	1019	2051	2483	381	1118	1025
965	965	e	968	1949	2356	356	1067	974
914	914	e	917	1848	2235	356	1016	924
864	864	e	867	1746	2114	330	965	873
813	813	e	816	1645	1994	330	914	822
762	762	e	765	1543	1867	305	864	771
711	711	e	714	1441	1746	305	813	720
660	660	e	663	1340	1625	305	762	670
610	610	12.7	613	1257	1524	305	711	629
559	559	12.7	562	1156	1403	279	660	578
508	508	12.7	511	1054	1283	279	610	527
457	457	12.7	460	952	1162	254	559	476
406	406	12.7	409	851	1035	254	508	425
356	356	12.7	359	749	914	254	457	375
305	324	12.7	327	685	838	229	432	343
254	273	12.7	276	584	717	229	381	292
203	219	12.7	222	483	590	203	330	241
152	168	11	171	400	495	203	279	200
102	114	8.5	117	305	387	178	229	152
76	89	7.6	92	267	343	178	203	133
51	60	5.5	63	(---)	(---)	152	178	89
38	48	5.1	51	(---)	(---)	152	152	76
76	102	copie	105	286	362	(---)	229	143
51	73	copie	76	(---)	(---)	(---)	178	76
38	56	copie	59	(---)	(---)	(---)	152	76
25	40	copie	43	(---)	(---)	(---)	127	76
19	33	copie	36	(---)	(---)	(---)	102	76



NOTAS:

- a) Para tubos extra reforzados en tamaños menores y hasta 305 mm (12 pulg.), consulte el estándar API 5L. Para tamaños mayores que 305 mm (12 pulg.), a 610mm (24 pulg.), consulte la última edición del ASTM A53 ó A106 para otros espesores de pared.
- b) El ancho de la placa del cuerpo deberá ser lo suficientemente grande para contener la placa de refuerzo.
- c) Las boquillas deberán estar localizadas a la mínima distancia, pero debe cumplir con los límites requeridos, a menos que otra cosa se especifique por el usuario
- d) Las dimensiones HN dadas en esta tabla, son sólo para diseños correspondientes a tanques ensamblados en taller.
- e) Ver tabla 13.2. columna 2.
- f) Las boquillas roscadas mayores de 76 mm (3 pulg.) de diámetro requieren placa de refuerzo.
- g) Las boquillas bridadas o roscadas de 51 mm (2 pulg.) de diámetro menor no requieren placa de refuerzo (De); será el diámetro de la boquilla en el cuerpo y la soldadura (A), será como se especifica en la tabla 1.3.2. columna 6. Las placas de refuerzo pueden ser usadas, aún cuando no sean necesarias.



**TABLA 1.3.2. DIMENSIONES PARA CUELLOS DE BOQUILLAS,
TUBOS, PLACAS Y SOLDADURAS**

Espesores del cuerpo y placa refuerzo t y T	Espesor Mínimo de Pared de Tubos de Boquillas Bridadas n	Diámetro Máximo Dp igual al Diámetro Exterior de Tubo mas	Ancho del Filete de Soldadura b	Ancho del Filete de Soldadura (A)	
				Boquillas Mayores de 2 pulg. L - Do	Boquillas de 2 pulg. o Menores W
4.76	12.7	15.87	4.76	6.35	6.35
6.35	12.7	15.87	6.35	6.35	6.35
7.93	12.7	15.87	7.93	6.35	6.35
9.52	12.7	15.87	9.52	6.35	6.35
11.11	12.7	15.87	11.11	6.35	6.35
12.7	12.7	15.87	12.7	6.35	7.93
14.28	12.7	19.05	14.28	6.35	7.93
15.87	12.7	19.05	15.87	7.93	7.93
17.46	12.7	19.05	17.46	7.93	7.93
19.05	12.7	19.05	19.05	7.93	7.93
20.63	12.7	19.05	20.63	9.52	7.93
22.22	12.7	19.05	22.22	9.52	7.93
23.81	12.7	19.05	23.81	9.52	7.93
25.4	12.7	19.05	25.4	11.11	7.93
26.98	14.28	19.05	26.98	11.11	7.93
28.57	14.28	19.05	28.57	11.11	7.93
30.16	15.87	19.05	30.16	12.7	7.93
31.75	15.87	19.05	31.75	12.7	7.93
33.33	17.46	19.05	33.33	12.7	7.93
34.92	17.46	19.05	34.92	14.28	7.93
36.51	19.05	19.05	36.51	14.28	7.93
38.1	19.05	19.05	38.1	14.28	7.93
39.68	20.63	19.05	38.1	14.28	7.93
41.27	20.63	19.05	38.1	15.87	7.93
1.68	22.22	19.05	38.5	15.87	7.93
44.45	22.22	19.05	38.1	15.87	7.93



NOTAS:

- a)** Si el espesor de la placa de refuerzo en el cuerpo es mayor que el requerido, servirá de aporte para soportar la carga hidrostática del fluido, el exceso de espesor en la placa, incluyendo la distancia vertical, ambas arriba y abajo de la línea de centros de la boquilla en el cuerpo del tanque, igual a la dimensión vertical de la boquilla en el cuerpo del tanque deberán ser consideradas como aporte de refuerzo y el espesor T de la placa de refuerzo de la boquilla podrá ser reducido según corresponda. En ese caso, la soldadura de refuerzo y de aseguramiento deberán estar conforme a los límites de diseño de los refuerzos en la abertura del cuerpo especificado.

- b)** Esta columna se aplica a boquillas bridadas con diámetro de 1,219 a 660mm. (48 a 26 pulg.), consultar materiales.



1.3.3. DIMENSIONES PARA BRIDAS DE BOQUILLAS

Tamaño de Boquilla	Espesor Mínimo de Brida Q	Diámetro Exterior de la Brida A	Diámetro de la Cara Realzada D	Diámetro de Círculo de Barrenos C	Número de Agujeros	Diámetro del Agujeros	Diámetro de los Tornillos	Diámetro del Agujero		Diámetro Mínimo del Hub Punto de Soldadura	
								SORF Diámetro exterior del Tubo mas B	Tipo Cuello Soldable B1	Tipo Deslizable (SORF) E	Tipo Cuello Soldable E1
1219	69.85	1511	1359	1422	44	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1168	68.26	1460	1295	1365	40	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1117	66.67	1403	1245	1314	40	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1067	66.67	1346	1194	1257	36	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1016	63.5	1289	279	1200	36	41.27	38.1	6.35	a	b	c
965	60.32	1238	1073	1149	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
914	60.32	1168	1022	1085	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
864	58.73	1111	959	1029	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
813	57.15	1060	908	978	28	41.27	38.1	6.35	a	b	c
762	54.05	984	857	914	28	34.92	31.75	6.35	a	b	c
711	52.38	927	794	864	28	34.92	31.75	6.35	a	b	c
660	50.8	870	743	806	24	34.92	31.75	6.35	a	b	c
610	47.62	813	692	749	20	34.92	31.75	4.82	a	b	c
559	46.03	749	641	692	20	34.82	31.75	4.82	a	b	c
508	42.86	698	584	635	20	31.75	28.57	4.82	a	b	c
457	39.68	635	533	577	16	31.75	28.57	4.82	a	b	c
406	47.62	597	470	540	16	28.57	25.4	4.82	a	b	c
356	34.92	533	413	476	12	28.57	25.4	4.82	a	b	c
305	31.75	483	381	432	12	25.4	22.22	3.3	a	b	c
254	30.16	406	324	362	12	25.4	22.22	3.3	a	b	c
203	28.57	343	270	298	8	22.22	19.05	2.54	a	b	c
152	25.4	279	216	241	8	22.22	19.05	2.54	a	b	c
102	23.81	229	157	190	8	19.05	15.87	1.52	a	b	c
76	23.81	190	127	152	4	19.05	15.87	1.52	a	b	c
51	19.05	152	92	121	4	19.05	15.87	1.78	a	b	c
38	17.46	127	73	98	4	15.87	12.7	1.78	a	b	c

Notas:

Las dimensiones y características de las bridas slip-on y welding-neck con diámetro de 38 a 508 mm (1 ½ a 20 pulg.) y la de 610 mm (24 pulg.) son idénticas a lo especificado en ANSI B16.5 para clase 150 en bridas de acero. Las dimensiones y características para bridas con diámetros de 762, 914, 1067, y 1219 mm (30, 36, 42, y 48 pulg.) están unificadas con ANSI b16.1 para clase 125 de bridas de acero forjado; las dimensiones de las bridas mayores pueden estar conforme a ANSI/API 605.

1. B1 = Diámetro interior del tubo.



2. $E = \text{Diámetro exterior del tubo} + 2n$

$E_i = \text{Diámetro exterior del tubo.}$

1.7.2. BOQUILLAS EN EL TECHO.

Las boquillas del techo pueden estar conforme a las Figuras 1.8. y 1.9. y Tablas 1.4. o a bridas SLIP-ON Y WELDING NECH, las cuales están de acuerdo con los requerimientos de la clase 10.5 Kg/cm.² (150) para bridas forjadas de acero al carbón de cara realzada en ANSI B16.5.

Las bridas tipo anillo serán conforme a todas las dimensiones de las bridas SLIP-ON, excepto en la extensión del HUB, que puede ser omitido. Las boquillas bridadas o roscadas con diámetro de 152 mm (6 pulg.) y menores no requieren placa de refuerzo, a menos que así lo solicite el usuario.

Se recomienda que todas las boquillas no sean mayores de 305 mm (12 pulg.) de diámetro, excepto las entradas hombre.

Los sumideros y conexiones en el fondo tendrán particular atención para el relleno y compactación del suelo para prevenir asentamientos irregulares del tanque, así como para las conexiones y soportes, que tendrán que ser calculadas para confirmar la resistencia del arreglo contra las cargas estáticas y dinámicas, así como de flexión y esfuerzos permisibles.

Las conexiones y arreglos mostrados pueden variar para llevar a cabo la utilidad y servicio de los mismos, por lo que el usuario aprobará dichos arreglos que el fabricante proporcionará.

TABLA 1.4. DIMENSIONES PARA BOQUILLAS BRIDADAS EN EL TECHO (mm.)

Dimensión Nominal de la Boquilla	Diámetro Exterior del Tubo	Diámetro de Agujero del Techo y Placa de Refuerzo D_p	Proyección Mínima de la Boquilla H_n	Diámetro Exterior de la Placa D_r
305	324	330	152	610
254	273	279	152	559
203	219	225	152	457
157	168	171	152	381
102	114	117	152	279
76	89	92	152	229



51	60	64	152	178
38	48	51	152	127

TABLA 1.4.2. DIMENSIONES PARA BOQUILLAS ROSCADAS Y
COPLES EN EL TECHO (mm.)

Dimencion Nominal de la Boquilla	Diámetro Nominal del Cople	Diámetro del Agujero del Techo y Placa de Refuerzo Dp	Diámetro Exterior de la Placa de Refuerzo Dr
305	305	362	610
254	254	152	559
203	203	251	457
152	152	191	381
102	102	136	279
76	76	104	229
2	51	76	178
38	38	59	127
25	25	44	114
19	19	36	102

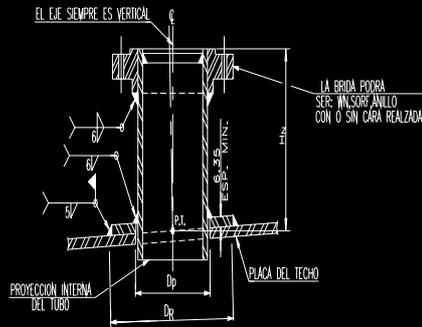
NOTA:

Las placas de refuerzo no se requieren para boquillas iguales o menores de 152mm (6 pulg.) de diámetro, a menos de que así se especifique.

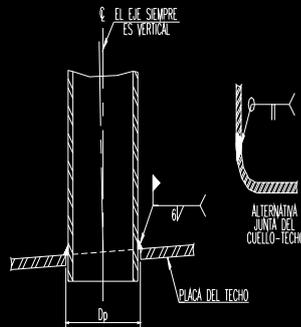


AP3-142MG

DISEÑO DE BODILLO



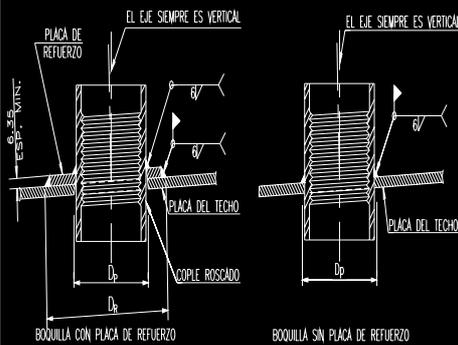
BOQUILLA CON PLACA DE REFUERZO



BASE DE BOQUILLA SIN PLACA DE REFUERZO

NOTA:
CUANDO LA BOQUILLA DEL TECHO SEA USADA COMO VENTEO, EL CUELLO NO TENDRA PROYECCION INTERNA

PARA BODILLO ROSCADO



BOQUILLA CON PLACA DE REFUERZO

BOQUILLA SIN PLACA DE REFUERZO

NOTA:
1.- PARA BODILLOS ROSCADOS VER REQUERIMIENTOS ANTERIORES (FIG. 1.6) FIGURA 1.9 BODILLOS
2.- PARA BODILLOS USADOS COMO VENTEOS, EL CUELLO NO LLEVARA PROYECCION EXTERIOR.

PARA BODILLO ROSCADO



1.8. ENTRADA HOMBRE Y ACCESORIOS.

1.8.1. ENTRADAS HOMBRE HORIZONTALES Y VERTICALES.

Los tanques de almacenamiento contarán, por lo menos con una entrada hombre en el cuerpo o en el techo con la finalidad de poder realizar limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque. Los registros que se coloquen en la pared del tanque deberán estar acorde con las figuras 1.10., 1.11. y tablas 1.5.1., 1.5.2., 1.5.3., 1.5.4. y 1.5.5. (o, en su defecto, con las Tablas 1.3.).

Las entradas hombre contarán con una placa de refuerzo según lo muestra la figura, la cual tendrá dos barrenos de 6.3 mm. de diámetro con cuerda NPT para prueba, quedando éstos sobre las líneas de centro verticales u horizontales y abiertos a la atmósfera. En caso de que la entrada hombre se encuentre localizada en el techo, se habilitará de acuerdo a la Figura 1.12. y Tabla 1.6.

1.8.2. VENTEOS.

Los tanques de almacenamiento contarán con una boquilla exclusiva para venteo, la que tendrá que ser diseñada y calculada, con la finalidad de que dentro del tanque no se genere presión interna al ser llenado o vaciado, el cual debe colocarse de ser posible, en la parte más alta del tanque.

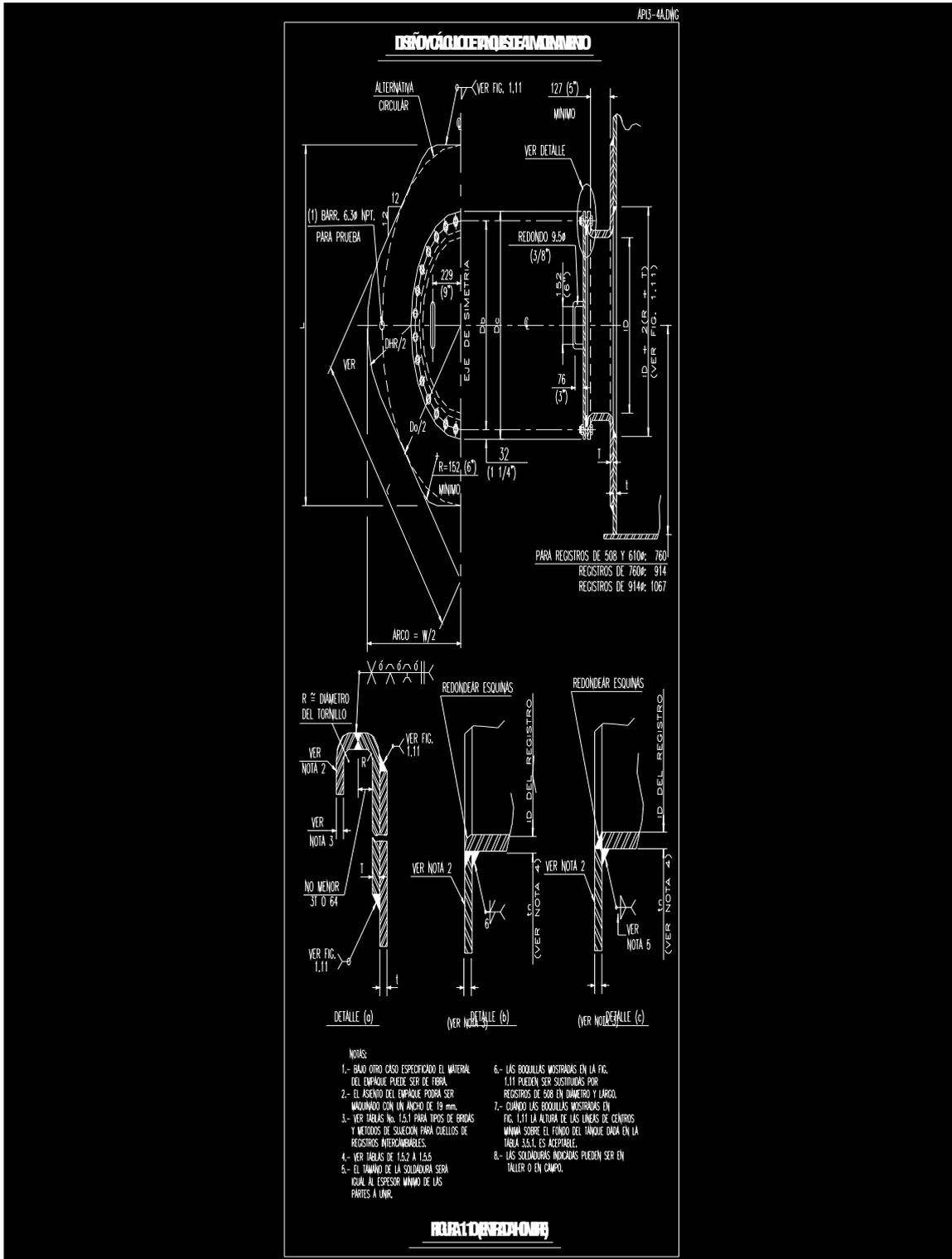
1.8.3. DRENES Y SUMIDEROS.

Los tanques de almacenamiento también deberán contar con una boquilla por lo menos para el drenado de lodos, la cual podrá estar al ras del fondo, dirigidas a un sumidero o por debajo del tanque, como se muestran en las Figuras 1.14., 1.15., 1.16. y Tablas 1.8., 1.9.

Los sumideros y conexiones en el fondo tendrán particular atención para el relleno y compactación del suelo para prevenir asentamientos irregulares del tanque, así como para las conexiones y soportes, que tendrán que ser calculadas para confirmar la resistencia del arreglo contra las cargas estáticas y dinámicas, así como de flexión y esfuerzos permisibles.

Las conexiones y arreglos mostrados pueden variar para llevar a cabo la utilidad y servicio de los mismos, por lo que el usuario aprobará dichos arreglos que el fabricante proporcionará.





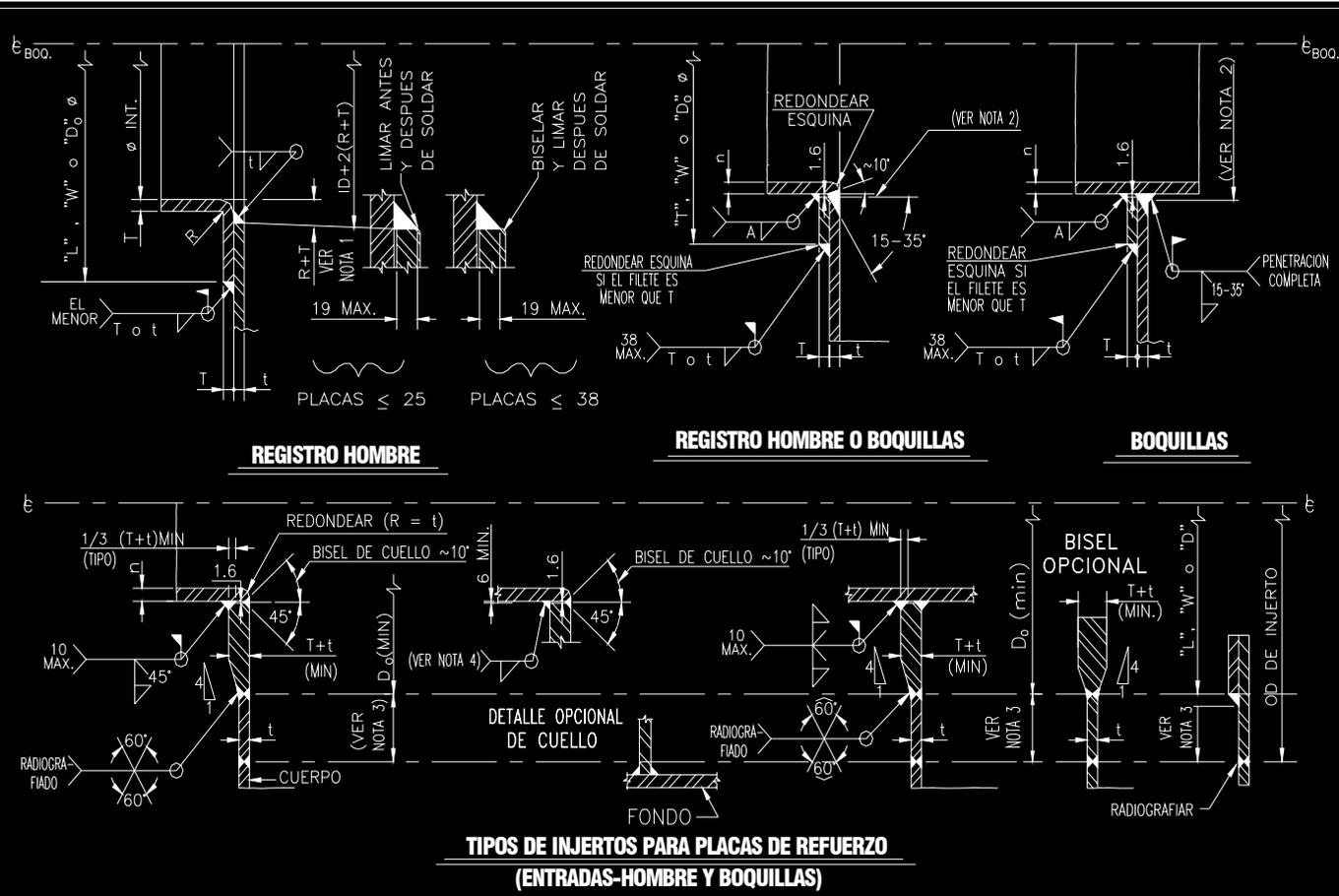


FIGURA 1.11 DETALLES PARA ENTRADAS-HOMBRE Y BOQUILLAS

NOTAS:

- 1.- EL CORTE DEL CUERPO DEBERA HACERSE CON PRECISION, DE TAL FORMA QUE LA DISTANCIA R+t QUEDE DENTRO DE UNA TOLERANCIA DE 1/8 PULG. PARA MAYOR PRECISION, UN CORTE PRELIMINAR DEBERA HACERSE PARA EL DIAMETRO INTERIOR DEL REGISTRO HOMBRE Y USAR ESTE CORTE PARA LOCALIZAR EL CORTE FINAL. R DEBERA SER EL RADIO ACTUAL EN VEZ DE SER EL RADIO INTERIOR APROXIMADO EN LA ESQUINA.
- 2.- VER TABLA 3.3.2, COLUMNA 3, PARA EL CORTE DEL CUERPO, EL CUAL NO DEBERA SER MENOR QUE EL DIAMETRO EXTERIOR DEL CUELLO, MAS 1/2 PULG.
- 3.- PARA EL MINIMO ESPACIAMIENTO ENTRE SOLDADURAS DE CONEXIONES ABIERTAS.
- 4.- EL TAMAÑO DE LA SOLDADURA DEBERA SER MAYOR QUE A (DE LA TABLA 3.9, BASADA EN EL ESPESOR) O n (ESPESOR MINIMO DEL CUELLO DE LA TABLAS 1.3.).
- 5.- OTROS DETALLES PERMISIBLES SE MUESTRAN EN LA FIGURA 1.7, DEL STANDARD API 620, EL AREA DE REFUERZO DEBERA ESTAR DE ACUERDO.
- 6.- LA DIMENSION Y EL TAMAÑO DE LA SOLDADURA QUE NO SE MUESTRE SERAN LOS MISMOS QUE AQUELLOS DADOS EN LA FIGURA 3-4A Y LAS TABLAS DE LA 3-4 A LA 3-10.
- 7.- LOS DETALLES DE SOLDADURA PUEDEN VARIAR DE AQUELLOS MOSTRADOS SI EL COMPRADOR ESTA DE ACUERDO.
- 8.- LAS SOLDADURAS INDICADAS DEBERAN SER DE TALLER O EN CAMPO.

API 3-4B DMC



TABLA 1.5.1. ESPESOR DEL CUELLO, TAPA PLANA Y BRIDA DE LA ENTRADA DE HOMBRE (mm.)

Altura Máxima del Tanque	Presión Hidrostática (Kg/cm ²)	Espesor Mínimo de la Tapa Plana				Espesor mínimo del cuello y brida del registro			
		Registro de 508	Registro de 610	Registro de 762	Registro de 914	Registro de 508	Registro de 610	Registro de 762	Registro de 914
6400	0.64	7.93	9.52	11.11	12.7	6.35	6.35	7.93	9.52
8230	0.82	9.52	11.11	12.7	14.28	6.35	7.93	9.52	11.11
9754	0.97	9.52	11.11	14.28	15.87	6.35	7.93	11.11	12.7
12192	1.21	11.11	12.7	15.87	17.46	7.93	9.52	12.7	14.28
13716	1.37	12.7	14.28	15.87	19.05	9.52	11.11	12.7	15.87
16459	1.64	12.7	14.28	17.46	20.63	9.52	11.11	14.28	17.46
19812	1.98	14.28	15.87	19.05	22.22	11.11	12.7	15.87	19.05
22860	2.28	15.87	17.46	20.63	23.81	12.7	14.28	17.46	20.63

NOTA:

Presión hidrostática debida a la columna de agua.

TABLA 1.5.2. DIMENSIONES DE ENTRADAS DE HOMBRE DE 508mm. (mm.)

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y Placa de Refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro Interior de Armado del Registro		Espesor Mínimo del Cuello Ensamblado
		Longitud Diámetro L =Do	Ancho W	Diámetro Constante del Anillo Hembra IDr	Diámetro Constante del Anillo Macho IDp	
4.76	4.76	1168	1397	575	508	4.76
6.35	6.35	1168	1397	571	508	6.35
7.93	7.93	1162	1391	568	508	6.35
9.52	9.52	1156	1378	565	508	6.35
11.11	11.11	1149	1365	562	508	6.35
12.7	12.7	1143	1359	559	508	6.35
14.28	14.28	1136	1346	556	508	6.35
15.87	15.87	1136	1346	552	508	6.35
17.46	17.46	1130	1333	549	508	6.35
19.05	19.05	1123	1327	546	508	6.35
20.63	20.63	1117	1314	542	508	6.35
22.22	22.22	1124	1314	539	508	9.52
23.81	22.22	1124	1321	536	508	11.11
25.4	25.4	1130	1327	533	508	11.11
26.98	25.4	1137	1333	530	508	11.11
28.57	25.4	1137	1333	527	508	12.7
30.16	25.47	1143	1340	524	508	14.28
31.75	25.4	1143	1340	521	508	15.87
33.33	25.4	1149	1346	517	508	15.87
34.92	25.4	1149	1346	514	508	17.46
36.51	25.4	1156	1352	511	508	17.46
38.11	25.4	1156	1352	508	508	19.05



NOTAS:

El diámetro del círculo de barrenos es de 667mm. (26.25 pulg.), diámetro exterior de la cubierta 730mm. (28 3/4 pulg.).

- a)** Si la placa usada en el cuerpo es más gruesa que el espesor requerido para estar sometido éste a carga hidrostática del producto, el exceso de espesor en la placa, considerando las distancias verticales tanto arriba como abajo de la línea de centros de la abertura en la placa del tanque igual a la dimensión de la abertura en el cuerpo del tanque, puede ser considerada como un refuerzo y el espesor o de la placa de refuerzo del registro decrecerá en proporción. En ese caso, el refuerzo, como la soldadura de aseguramiento, deberá estar conforme a los límites para refuerzos de boquillas del cuerpo.

- b)** El refuerzo deberá ser agregado si el espesor del cuello es menor al que se muestra en la columna. El espesor mínimo del cuello deberá ser el espesor de la placa del cuerpo o el espesor permisible al terminado de la boquilla atornillable (ver tabla 1.5.1.) el que sea más delgado, pero en ningún caso el espesor del cuello deberá ser menor al espesor indicado en la columna 7. Si el espesor del cuello del registro es mayor que el requerido, la placa del refuerzo podrá ser más delgada de acuerdo con los límites especificados.



TABLA 1.5.3 DIMENSIONES DE ENTRADAS HOMBRE DE 610 mm. (mm.)

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y placa de refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro Interior de Armado del Registro		Espesor Mínimo del Cuello Ensamblado
		Longitud Diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro Constante del Anillo Hembra IDr	Diámetro Constante del Anillo Macho IDp	
4.76	4.76	1372	1651	676	610	4.76
6.35	6.35	1372	1644	667	610	6.35
7.93	7.93	1365	1638	670	610	6.35
9.52	9.52	1359	1625	667	610	6.35
11.11	11.11	1359	1625	663	610	6.35
12.7	12.7	1352	1613	660	610	6.35
14.28	14.28	1346	1600	657	610	6.35
15.87	15.87	1340	1594	654	610	6.35
17.46	17.46	1333	1581	574	610	6.35
19.05	19.05	1333	1581	648	610	6.35
20.63	19.05	1327	1314	644	610	6.35
22.22	22.22	1327	1568	641	610	7.93
23.81	22.22	1327	1568	638	610	11.11
25.4	25.4	1340	1581	635	610	11.11
26.98	25.4	1340	1581	632	610	11.11
28.57	25.4	1346	1587	629	610	12.7
30.16	25.4	1346	1587	625	610	14.28
31.75	25.4	1352	1593	616	610	14.28
33.33	25.4	1352	1593	619	610	15.87
34.92	25.4	1359	1600	616	610	15.87
36.51	25.4	1359	1600	613	610	17.46
38.1	25.4	1365	1606	610	610	19.05

NOTAS:

El diámetro del círculo de barrenos es de 68mm. (30.25 pulg.), diámetro anterior de la cubierta 832mm. (32 3/4 pulg.).

a) Si la placa usada en el cuerpo es más gruesa que el espesor requerido para estar sometido éste a carga hidrostática del producto, el exceso de espesor en la placa, considerando las distancias verticales, tanto arriba como abajo de la línea de centros de la abertura en la placa del tanque igual a la dimensión de la abertura en el cuerpo del tanque, puede ser considerada como un refuerzo y el espesor (T) de a placa de refuerzo, del registro decrecerá en proporción. En ese caso, el refuerzo, como la soldadura de aseguramiento, deberá estar conforme a los límites para refuerzos de boquillas del cuerpo.



- b)** El refuerzo deberá ser agregado si el espesor del cuello es menor a el que se muestra en la columna. El espesor mínimo del cuello deberá ser el espesor de la placa del cuerpo o el espesor permisible al terminado de la boquilla atornillable (ver Tabla 1.5.1.), el que sea más delgado, pero en ningún caso el espesor del cuello deberá ser menor al espesor indicado en la columna 7. Si el espesor del cuello del registro es mayor que el requerido, la placa del refuerzo podrá ser más delgada de acuerdo con los límites especificados.

TABLA 1.5.4 DIMENSIONES DE ENTRADAS HOMBRE DE 762 mm. (mm.)

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y Placa de Refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro interior de armado del registro		Espesor mínimo del cuello ensamblado
		Longitud diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro constante del anillo hembra IDr	Diámetro constante del anillo macho IDp	
4.76	4.76	1676	2013	829	762	4.76
6.35	6.35	1676	2013	826	762	6.35
7.93	7.93	1670	2000	822	762	7.93
9.52	9.52	1670	2000	819	762	7.93
11.1	11.1	1657	1981	816	762	7.93
12.7	12.7	1657	1981	813	762	7.93
14.2	14.2	1651	1969	810	762	7.93
15.8	15.8	1632	1956	806	762	7.93
17.4	17.4	1638	1949	803	762	7.93
19	19	1638	1949	800	762	7.93
20.6	19	1632	1937	797	762	7.93
22.2	22.2	1632	1937	794	762	7.93
23.8	22.2	1632	1937	791	762	11.1
25.4	25.4	1645	1949	787	762	11.1
26.9	25.4	1645	1949	784	762	11.1
28.5	25.4	1651	1956	781	762	12.7
30.2	25.4	1651	1956	778	762	14.2
31.7	25.4	1657	1962	775	762	14.2
33.3	25.4	1657	1962	772	762	15.8
34.9	25.4	1664	1969	768	762	15.8
36.5	25.4	1664	1969	765	762	17.4
38.1	25.4	1670	1975	762	762	19

NOTAS:

El diámetro del círculo de barrenos es de 921mm. (36.25 pulg.), diámetro exterior de la cubierta 984mm. (38 3/4 pulg.)



- a)** Si la placa usada en el cuerpo es más gruesa que el espesor requerido para estar éste sometido a carga hidrostática del producto, exceso de espesor en la placa, considerando las distancias verticales tanto arriba como abajo de la línea de centros de la abertura en la placa del tanque igual a la dimensión de la abertura en el cuerpo del tanque, puede ser considerada como un refuerzo y el espesor de las placas de refuerzo del registro decrecerá en proporción. En ese caso, el refuerzo, como la soldadura de aseguramiento, deberá estar conforme a los límites para refuerzos de boquillas del cuerpo.
- b)** El refuerzo deberá ser agregado si el espesor del cuello es menor al que se muestra en la columna. El espesor mínimo del cuello deberá ser el espesor de la placa del cuerpo; el espesor permisible al terminado de la boquilla atornillable (ver Tabla 1.5.1.) el que sea más delgado, pero en ningún caso el espesor del cuello deberá ser menor al espesor indicado en la columna 7. Si el espesor del cuello del registro es mayor que el requerido, la placa del refuerzo podrá ser más delgada de acuerdo con los límites especificados.



TABLA 1.5.5. DIMENSIONES DE ENTRADAS HOMRE DE 914mm. (mm.)

Espesor mínimo del cuello del registro y placa de refuerzo t y T	Radio aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro interior de armado del registro		Espesor mínimo del cuello ensamblado
		Longitud diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro constante del anillo hembra IDr	Diámetro constante de ancho del anillo macho IDP	
4.76	4.76	1981	2381	981	914	4.76
6.35	6.35	1981	2381	978	914	6.35
7.93	7.93	1975	2369	975	914	7.93
9.52	9.52	1975	2369	972	914	9.52
11.1	11.1	1962	2350	968	914	9.52
12.7	12.7	1962	2350	965	914	9.52
14.2	14.2	1956	2337	962	914	9.52
15.8	15.8	1937	2324	959	914	9.52
17.4	17.4	1943	2318	956	914	9.52
19	19	1943	2311	953	914	9.52
20.6	19	1937	2305	949	914	9.52
22.2	22.2	1937	2305	946	914	9.52
23.8	25.4	1937	2305	943	914	11.1
25.4	25.4	1949	2318	940	914	11.1
26.9	25.4	1949	2318	937	914	11.1
28.5	25.4	1956	2324	921	914	12.7
30.1	25.4	1956	2324	930	914	14.2
31.7	25.4	1926	2330	927	914	14.2
33.3	25.4	1962	2330	924	914	15.8
34.9	25.4	1969	2337	921	914	15.8
36.5	25.4	1969	2337	918	914	17.4
38.1	25.4	1975	2318	914	914	19

NOTAS:

El diámetro del círculo de barrenos es de 1073 mm. (42.25 pulg.), diámetro exterior de la cubierta 1136 mm. (44 3/4 pulg.)

- a) Si la placa usada en el cuerpo es más gruesa que el espesor requerido para estar sometido éste a carga hidrostática del producto, el exceso de espesor en la placa, considerando las distancias verticales tanto arriba como abajo de la línea de centros de la abertura en la placa del tanque igual a la dimensión de la abertura en el cuerpo del tanque puede ser considerada como un refuerzo y el espesor de la placa de refuerzo del registro decrecerá en proporción. En ese caso, el refuerzo como la soldadura de aseguramiento deberá estar conforme a los límites para refuerzos de boquillas del cuerpo.



- b)** El refuerzo deberá ser agregado si el espesor del cuello es menor a el que se muestra en la columna. El espesor mínimo del cuello deberá ser el espesor de la placa del cuerpo o el espesor permisible al terminado de la boquilla atornillable (ver Tabla 1.5.1.) el que sea más delgado, pero en ningún caso el espesor del cuello deberá ser menor al espesor indicado en la columna 7. Si el espesor del cuello del registro es mayor que el requerido, la placa del refuerzo podrá ser más delgada de acuerdo con los límites especificados.

TABLA 1.6. DIMENSIONES PARA ENTRADAS HOMBRE SOBRE EL TECHO

Diámetro Nominal	Diámetro Interior del Cuello ID	Diámetro Exterior de la Tapa Plana	Diámetro Círculo de Barrenos Db	Número de Tornillos	Diámetro del Empaque		Diámetro del Agujero en el Techo y Placa de Refuerzo Dp	Diámetro Exterior de la Placa de Refuerzo Dr
					Interior	Exterior		
610	610	762	698	20	610	762	625	1168
508	508	660	597	16	508	660	524	1067

NOTA:

Ver figura 1.12.

TABLA 1.8. DIMENSIONES PARA SUMIDEROS (mm.)

Diámetro Nominal del Tubo	Diámetro del Sumidero A	Profundidad del Sumidero B	Distancia del Centro del Tubo de la Pared del Tanque (mm) C	Espesor de las Placas del Sumidero t	Espesor Mínimo del Tubo	Espesor Mínimo de la Boquilla
152	1524	914	2590	11.11	6.35	10.97
102	1219	610	2057	9.52	6.35	8.56
76	914	457	1524	9.52	6.35	7.62
51	610	305	1067	7.93	5.54	5.54

NOTA:

Ver figura 1.14.



TABLA 1.9. CONEXIONES POR DEBAJO DEL FONDO

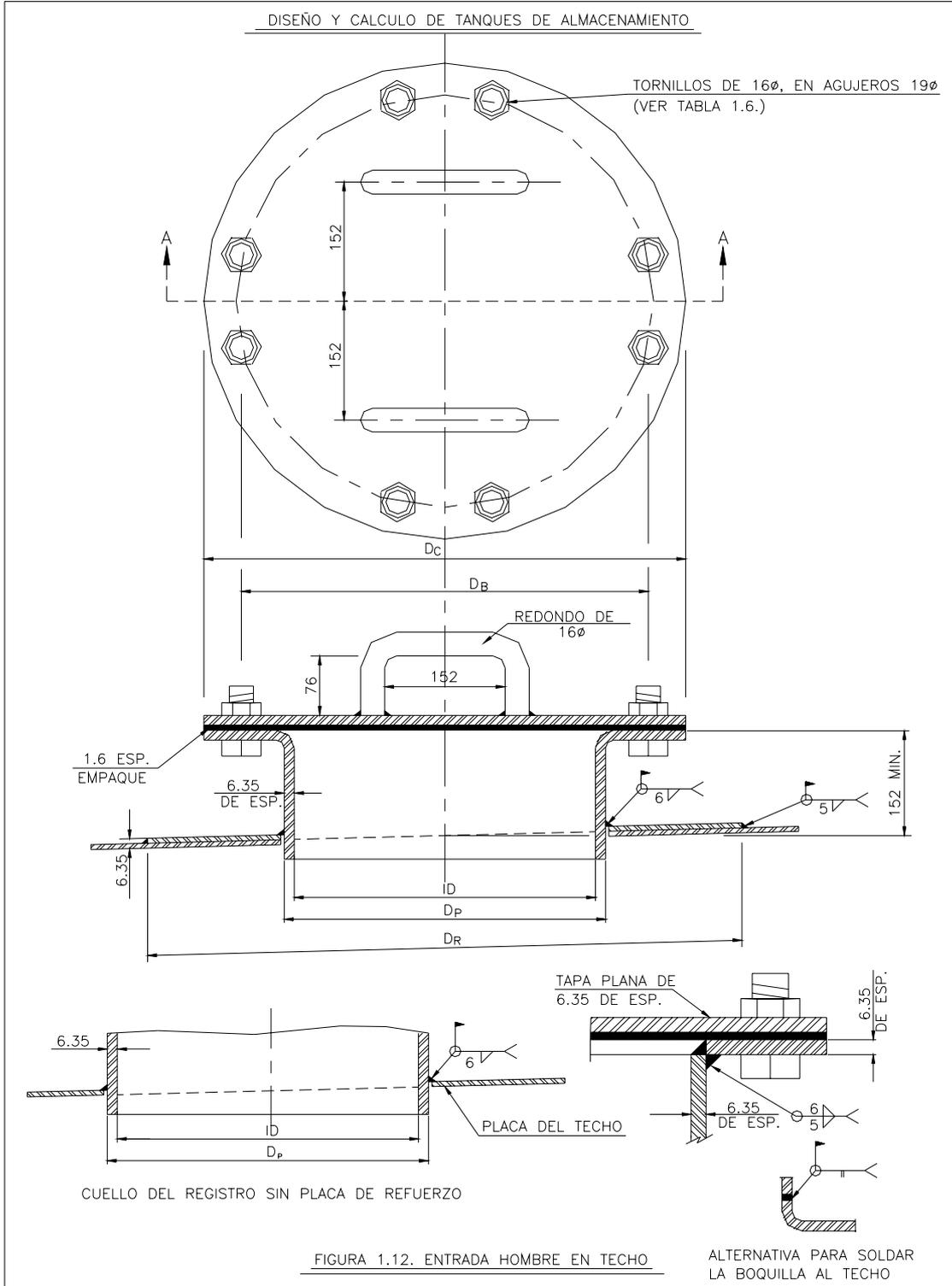
Diámetro Nominal de la Boquilla D	B/2	E	F	G	H	J	K	L	W/2	T	ST
1219	1067	813	1219	1473	2032	305	1829	3404	1448	15.8	ST8WF18.0
1067	991	711	1067	1372	1778	305	1727	3200	1372	15.8	ST8WF18.00
914	914	635	914	1270	1549	305	1626	2997	1295	15.8	ST8WF18.0
762	838	533	762	1143	1295	305	1499	2743	1219	15.8	ST6WF13.5
610	762	457	610	1041	1067	305	1397	2540	1143	15.8	ST6WF13.5
457	686	381	508	940	889	305	1295	2337	1067	15.8	ST6WF13.5
305	610	305	457	864	762	305	1194	2159	991	15.8	ST6WF13.5
230	559	254	406	8133	660	305	1143	2057	940	15.8	ST6WF8.5
152	533	229	356	762	584	305	1117	1981	914	15.8	ST6WF8.5

NOTA:

Para los diámetros no mostrados, o la extensión de cualquier dimensión pueden ser usadas a previo diseño.

- a) Aplica a la Figura 1.15., para tanques con una altura iguales o mayor de 19500 mm. (64 pies) usar placas de 19.05 mm. (3/4 pulg.) y nunca un espesor menor que el de la placa anular.
- b) Otros componentes o secciones podrán tener soportes para cargas externas.





DISEÑO Y CALCULO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

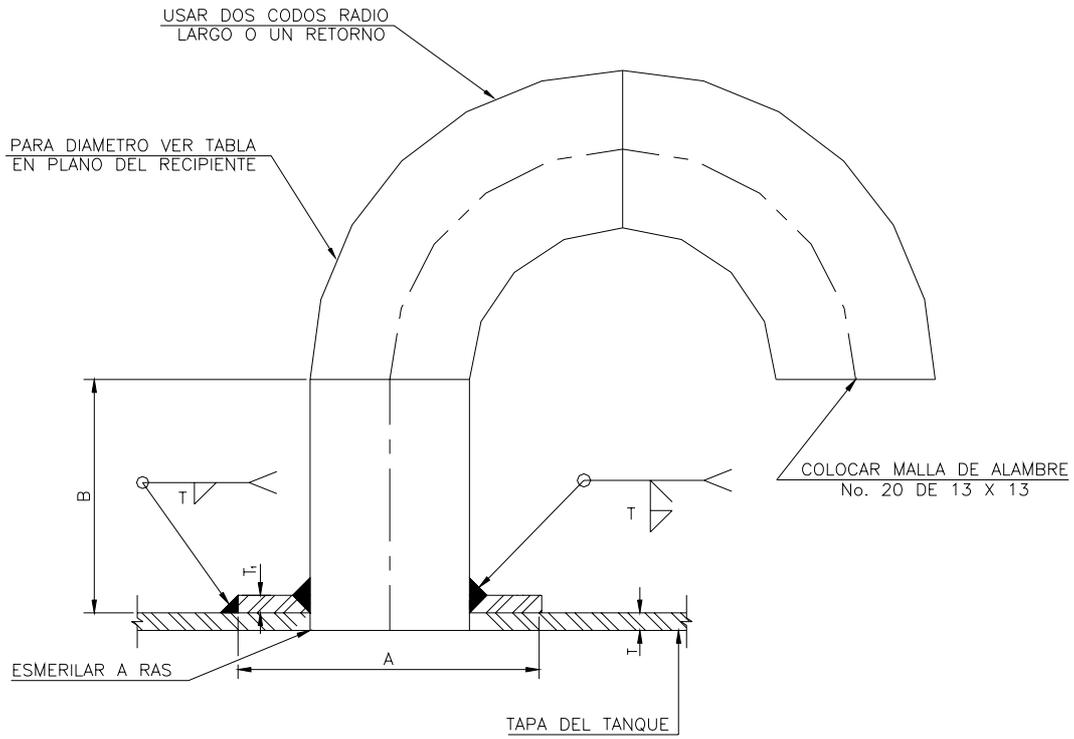
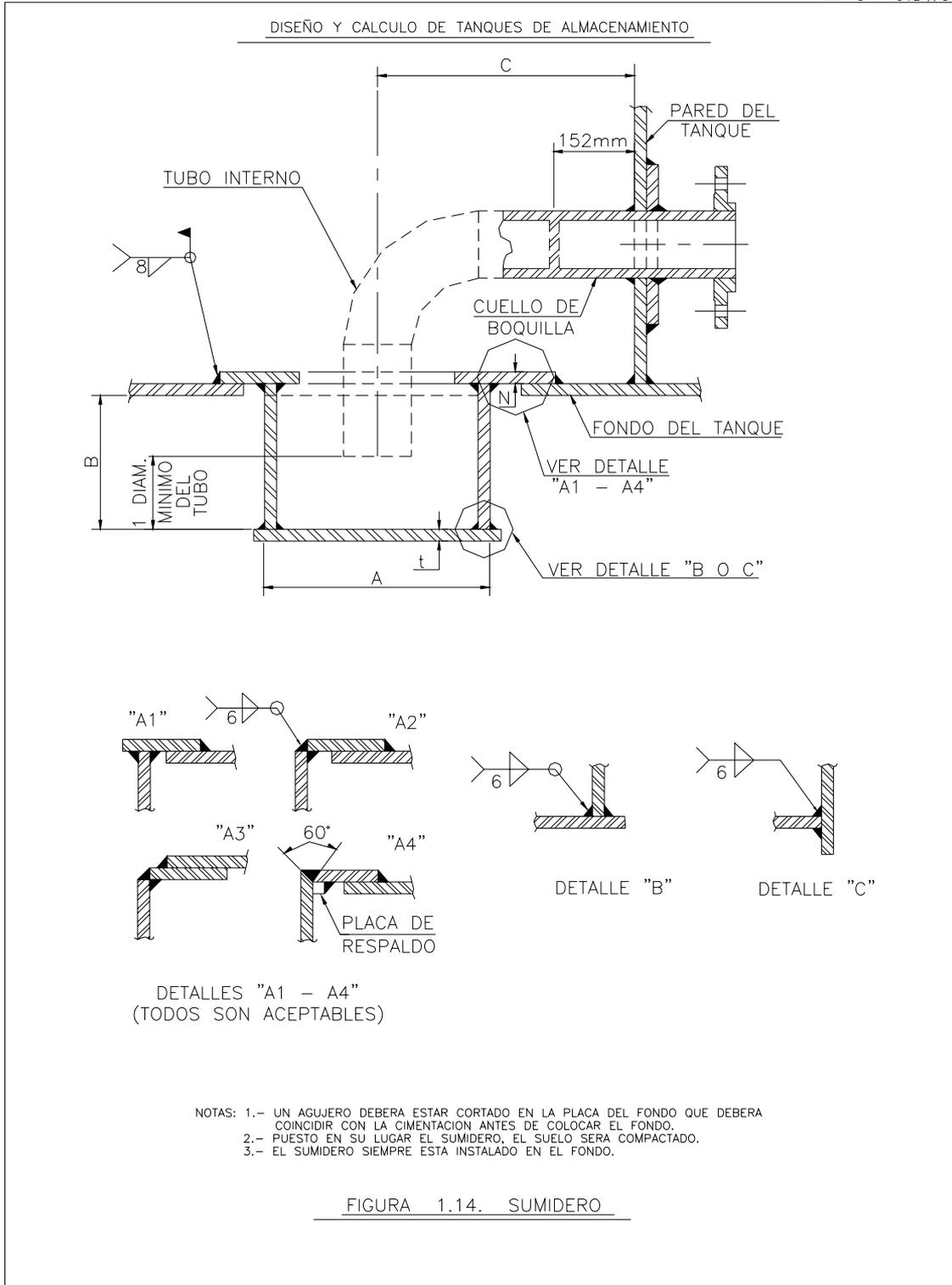


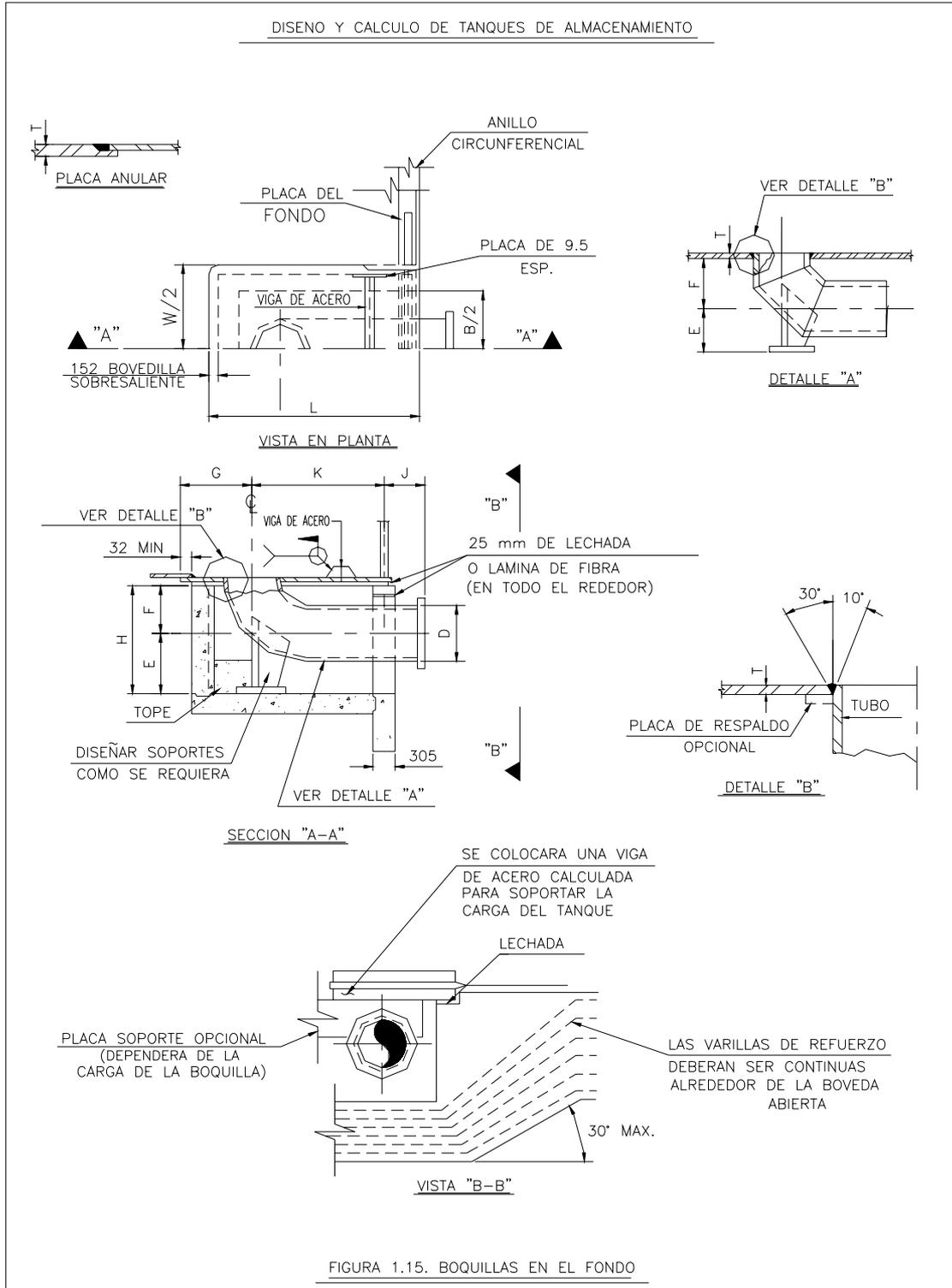
TABLA 1.7.

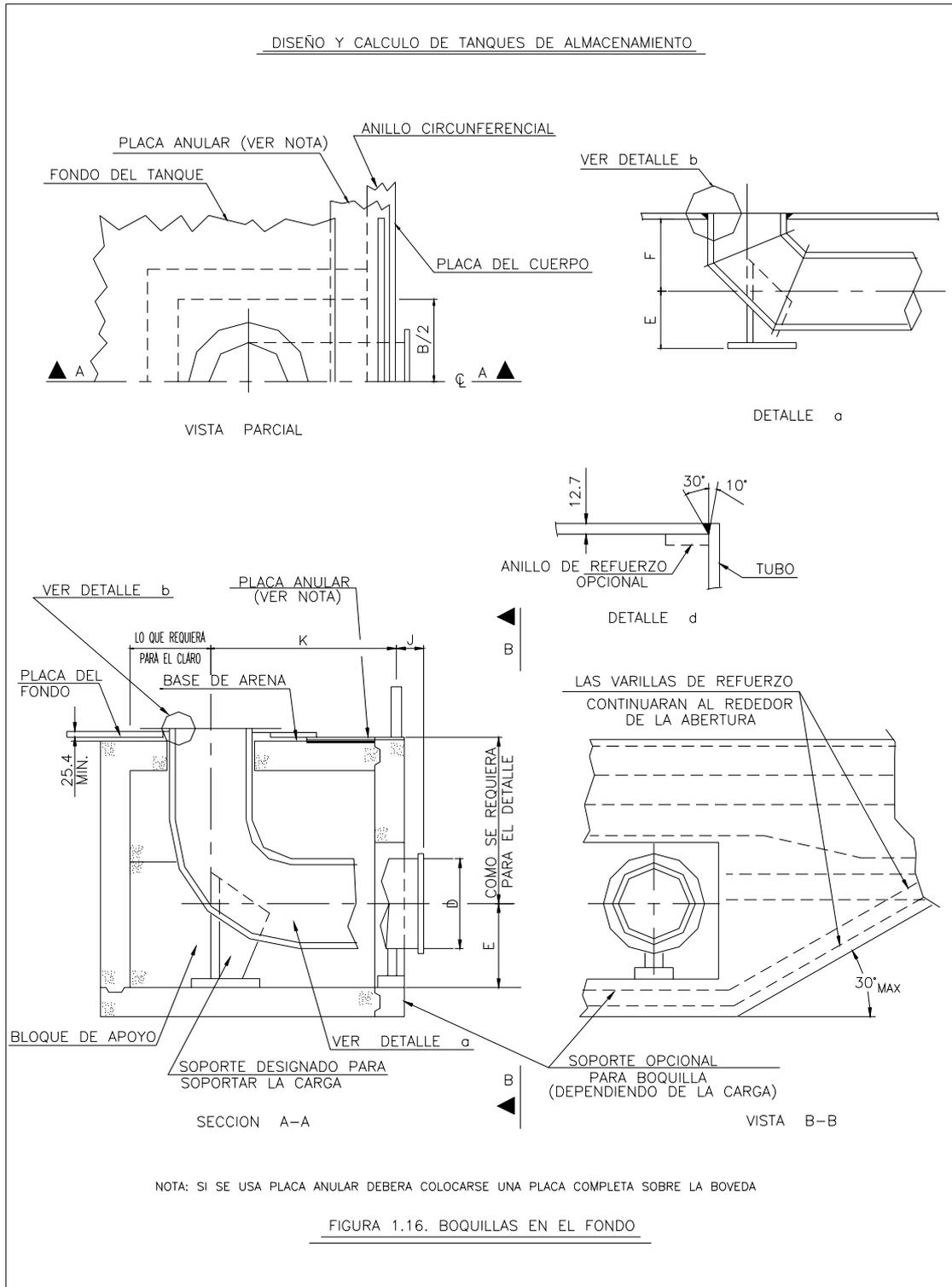
DIAM. NOM.	A	B
25	—	102
51	—	102
76	152	152
102	197	152
152	305	203
203	356	203

FIGURA 1.13 V E N T E O









1.9. ESCALERAS Y PLATAFORMAS.

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

1.9.1. REQUERIMIENTOS PARA PLATAFORMAS Y PASILLOS

(ESPECIFICADO POR A.P.I. 650)

- 1.- Todos los componentes deberán ser metálicos.
- 2.- El ancho mínimo del piso será de 610mm. (24 pulg.).
- 3.- Todo el piso deberá ser de material antiderrapante.
- 4.- La altura del barandal a partir del piso será de 1,067mm. (42 pulg.).
- 5.- La altura mínima del rodapié será de 76mm. (3 pulg.).
- 6.- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del espesor de la placa del pasillo será de 6.35mm. (1/4 pulg.).
- 7.- La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia desde lo alto del pasillo a la parte superior del barandal.
- 8.- La distancia máxima entre los postes del barandal deberá ser de 1168mm. (46 pulg.).
- 9.- La estructura completa tendrá que ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del barandal.
- 10.- Los pasamanos estarán en ambos lados de la plataforma, y estarán interrumpidos donde sea necesario para un acceso.
- 11.- Cualquier espacio mayor de 152mm. (6 pulg.) entre el tanque y la plataforma deberá tener piso



- 12.- Los corredores de los tanques que se extienden de un lado al otro del suelo o a otra estructura deberán estar soportados de tal manera que tenga un movimiento relativo libre de las estructuras unidas por los corredores; ésta puede estar acompañada por una firme atadura del corredor a los tanques, además del uso de una junta corrediza o de dilatación en el puente de contacto entre el corredor y el otro tanque (este método permite que en caso de que un tanque sufra ruptura o algún movimiento brusco, el otro no resulte dañado).

1.9.2. REQUERIMIENTOS PARA ESCALERAS.
(ESPECIFICADO POR A.P.I. 650)

- 1.- Todas las partes de la escalera serán metálicas.
- 2.- El ancho mínimo de las escaleras será de 610mm. (24 pulg.).
- 3.- El ángulo máximo entre las escaleras y una línea horizontal será de 50°.
- 4.- El ancho mínimo de los peldaños será de 203mm. (8 pulg.). La elevación será uniforme a todo lo largo de la escalera.
- 5.- Los peldaños deberán estar hechos de rejilla o material antiderrapante.
- 6.- La superior de la reja deberá estar unida al pasamanos de la plataforma sin margen y la altura, medida verticalmente desde el nivel del peldaño hasta el borde del mismo de 762 a 864mm. (30 pulg. a 34 pulg.).
- 7.- La distancia máxima entre los postes de la rejilla medidos a lo largo de la elevación de 2,438mm. (96 pulg.).
- 8.- La estructura completa será capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), y la estructura del pasamanos deberá ser capaz de soportar una carga de 90Kg. (200 lb), aplicada en cualquier dirección y punto del barandal.
- 9.- Los pasamanos deberán estar colocados en ambos lados de las escaleras rectas; éstos serán colocados también en ambos lados



de las escaleras circulares cuando el claro entre cuerpo-tanque y los largueros de la escalera excedan 203mm. (8 pulg.).

10.- Las escaleras circunferenciales estarán completamente soportadas en el cuerpo del tanque y los finales de los largueros apoyados en el piso.



CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

2.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, el usuario deberá proporcionar los datos y la información necesaria para llevar a cabo el proyecto. La información mínima requerida (condiciones de operación y de diseño) es: volumen, temperatura, peso específico del líquido, corrosión permisible, velocidad del viento, coeficientes sísmicos de la zona, etc. Dado que es el que conoce con exactitud las características tanto del fluido que desea almacenar y el lugar donde se ha de instalar dicho tanque, por lo que el fabricante no deberá suponer estas condiciones, y si así fuera, el fabricante tiene la obligación de informar al usuario, quien tiene la responsabilidad de autorizar o no las condiciones expuestas por la compañía constructora.

Así también el usuario establecerá la magnitud y dirección de las cargas externas que pudieran ocasionar deformaciones en el tanque, con el fin de diseñar los elementos involucrados con este.

El sobre espesor por corrosión que especificará el usuario se incluirá en cuerpo, fondo, techo y estructura, y sólo se agrega al final del cálculo de cada uno de los elementos del tanque, debido a que la agresividad química no es lo mismo para el fluido en estado líquido o gaseoso y en algunos casos hasta para los lodos.

El usuario podrá especificar el material a utilizar en el tanque, así como el de sus componentes. El fabricante y/o diseñador podrá sugerir los materiales recomendables en cada caso para que el usuario los apruebe.

El fabricante tiene la obligación de cumplir con todas las especificaciones y Normas que marca el estándar y que acuerde con el usuario, las cuales serán supervisadas y evaluadas por el personal que designe el usuario.

2.2. DISEÑO DEL FONDO



El diseño del fondo de los tanques de almacenamiento depende de las siguientes consideraciones:

Los cimientos usados para soportar el tanque, el método que se utilizará para desalojar el producto almacenado, el grado de sedimentación de sólidos en suspensión, la corrosión del fondo y el tamaño del tanque. Lo que nos conduce al uso de un fondo plano, donde la resistencia permisible del suelo deberá ser por lo menos de $1,465 \text{ Kg/cm}^2$ ($3,000 \text{ lb/pie}^2$).

Los fondos de tanques de almacenamiento cilíndricos verticales son generalmente fabricados de placas de acero con un espesor menor al usado en el cuerpo. Esto es posible para el fondo, porque se encuentra soportado por una base de concreto, arena o asfalto, los cuales soportarán el peso de la columna del producto; además, la función del fondo es lograr la hermeticidad para que el producto no se filtre por la base.

Teóricamente, una placa delgada de metal calibre 16. (1.52) o menor es capaz de soportar la flexión y la carga de compresión que se genera en la periferia del fondo por el peso del cuerpo que descansa sobre esta sección, pero para prevenir deformaciones al soldar, se usarán placas que tengan un espesor mínimo nominal de 6.3mm. (1/4 pulg.), 49.8 Kg/m^2 (10.2 lb/pie^2) excluyendo cualquier corrosión permisible especificada por el usuario.

El fondo tendrá que ser de un diámetro mayor que el diámetro exterior del tanque, por lo menos, 51mm. (2 pulg.) más en el ancho del filete de soldadura de la unión entre cuerpo y el fondo. Las placas con las que se habilite el fondo deberán tener preferentemente un ancho de 1,829mm. (72 pulg.) con una longitud comercial que el fabricante obtenga en el mercado, la cual pueda manejar en su taller o en campo sin problemas.

El cuerpo del tanque puede estar soportado directamente por el fondo o por una placa anular.

Generalmente los fondos se forman con placas traslapadas, esto se hace con el fin de absorber las deformaciones sufridas por el fondo si las placas fueran soldadas al tope.

Cuando se requiere el uso de la placa anular, ésta deberá tener un ancho radial (en cm.) de acuerdo a lo que indique la fórmula siguiente, pero no menor de 610mm. (24 pulg.) entre el interior del tanque y cualquier cordón de soldadura, dejando de proyección exterior 51mm. (2 pulg.).



$$A = \frac{2,153tb}{(HG)^{0.5}}$$

DONDE:

tb = Espesor de la placa anular (cm.).

H = Nivel máximo de diseño del líquido (cm.).

G = Densidad relativa del líquido a almacenar (en ningún caso menor de 1).

El espesor de la placa anular no será menor al listado en la tabla 1.2 más la corrosión permisible especificada.

La forma exterior de la placa anular debe ser circular y por el interior tendrá la forma de un polígono regular con el número de lados igual a la cantidad de segmentos que conforman el anillo.

Tabla 2.1 Espesor mínimo del fondo y placa anular (milímetros)

Espesor Mínimo (mm) del Primer Anillo del Cuerpo	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo (Kg/cm ²)			
	<1989	<2109	<2320	<2530
t < 19.05	6.35	6.35	7.14	8.73
09.05 < 25.4	6.35	7.14	9.52	11.11
25.4 < 31.75	6.35	8.73	11.91	14.28
31.75 < 38.10	7.93	11.11	14.28	17.46
38.10 < 44.45	8.73	12.7	15.87	19.05

Notas:

Los espesores especificados en la tabla son los indicados y están basados en una cimentación que proporcione un soporte uniforme debajo de toda la placa anular. La cimentación debe estar bien compactada para evitar esfuerzos adicionales en la placa anular.

El espesor nominal de la placa está en referencia a la construcción del tanque. El espesor especificado está basado en los requerimientos de erección.

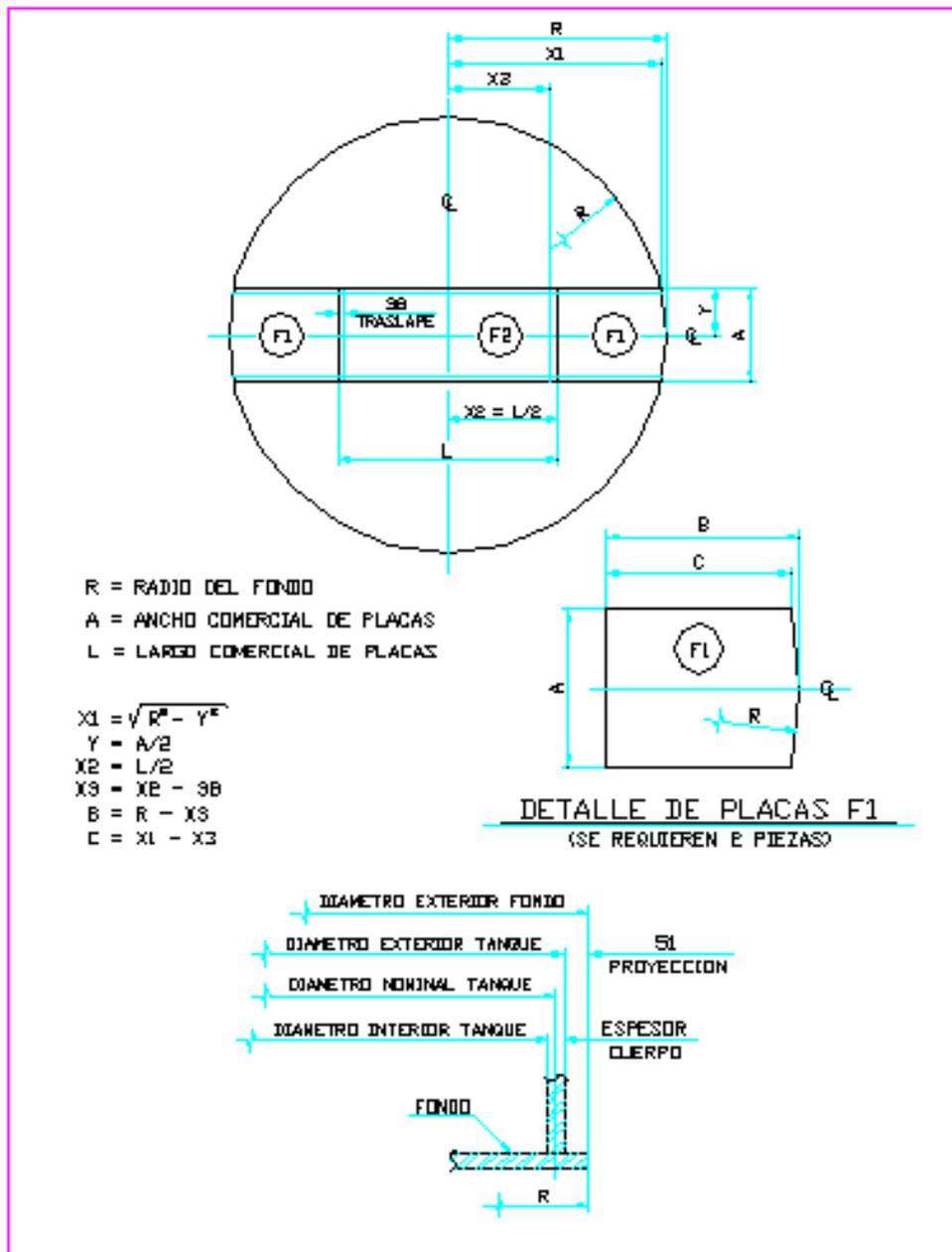
Será conveniente utilizar las placas más largas disponibles en el mercado para construir el fondo, ya que resultan ser las más económicas, cuyas dimensiones son; 1,829 mm. ó 2,438 mm. (6 ú 8 pies) de ancho por 6,096 mm. ó 9,144 mm. (20 ó 30 pies) de largo. Si las placas del fondo descansan simétricamente en relación a las líneas de centros del tanque, el número de placas



empleadas en la fabricación del fondo se reduce al mínimo. Esto es una gran ventaja, porque las placas pueden estar a escuadrada y cortadas en grupos de 4 placas, en cambio, si están simétricas a un solo eje, sólo dos placas serán a escuadrada y cortadas al mismo tiempo. Un fondo asimétrico a lo largo de ambas líneas de centros, ocasiona mayor número de placas de diferentes tamaños formando el fondo.

El tamaño de las placas y la localización de los cortes de las mismas se determinan mediante el siguiente procedimiento:





$$C' = \sqrt{(D/2)^2 - A^2}$$

$$C = C' + E - B$$

DONDE:



- D = Diámetro exterior del fondo (cm.).
- A = Distancia perpendicular desde la línea de centros hasta el punto a localizar (cm.).
- B = Distancia paralela a la línea de centros hasta el paño de la placa (cm.).
- C = Dimensión del paño de la placa a cortar al punto de trazo (cm.).
- E = Traslape entre placas (cm.) (si aplica).

Una vez que se tiene marcados los puntos en la placa se trazará el arco de circunferencia sobre estas con el radio exterior del fondo, sobre el cual tendrá que cortarse la placa.

El fabricante deberá presentar al usuario un plano con el arreglo del fondo, donde se muestra el armado y las plantillas de las placas, así como los detalles de soldadura, espesores y lista de materiales, marcando todas las piezas, con el fin de que el usuario apruebe el desarrollo. Una vez que se tiene la autorización del usuario, el fabricante debe presentar las placas sobre la bases del tanque en donde ha de habilitarse el fondo.

2.3 DISEÑO Y CÁLCULO DEL CUERPO

El espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática será mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso será menor a lo que se muestra en la tabla 2.2

Tabla 2.2

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en milímetros
< 15.24	4.76
15.24 < 36.576	6.35
36.576 < 60.96	7.93
> 60.96	9.52

El espesor de la pared por condición de diseño, se calcula con base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del fluido establecido por el usuario. El espesor por condiciones de prueba hidrostática se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua.

Cuando sea posible, el tanque podrá ser llenado con agua para la prueba hidrostática, pero si esto no es posible y el cálculo del espesor por condiciones de



prueba hidrostática es mayor que el calculado por condiciones de diseño, deberá usarse el obtenido por condiciones de prueba hidrostática.

El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsecuentes.

El esfuerzo máximo permisible de diseño (Sd) y de prueba hidrostática (St), se muestra en la tabla 2.3, recomendado por el estándar API 650 en el diseño de tanques de almacenamiento.

Tabla 2.3 Materiales más comunes y esfuerzos permisibles (Kg/cm^2)

ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,CS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH36	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

2.3.1 CÁLCULO DE ESPESORES DEL CUERPO POR EL MÉTODO DE UN PIE

Con este método se calcula el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a 304.8 mm. (1 pie) por debajo de la unión de cada anillo. Este método sólo es aplicable en tanques con un diámetro igual o menor a 60,960mm. (200pies).

$$td = \frac{0.0005D(H - 30.48)G}{Sd} + C$$



$$tt = \frac{0.0005D(H - 30.48)}{St} + C$$

DONDE:

td = Espesores por condiciones de diseño (mm.).

tt = Espesor por prueba hidrostática (mm.).

D = Diámetro nominal del tanque (cm.).*

*(El diámetro nominal del tanque se mide en la fibra media del cuerpo)

H = Altura de diseño del nivel del líquido (cm.).

(altura desde la parte de baja del anillo considerado al perfil de coronamiento, o cualquier nivel indicado por el usuario, restringido por techos flotantes o cálculos por sismo.)

G = Densidad relativa del líquido a almacenar o del agua para cálculo por prueba hidrostática.

CA = Corrosión permisible (mm.).

Sd = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (Kg/cm^2).

St = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática (Kg/cm^2).

2.3.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL CUERPO POR EL MÉTODO DE PUNTO DE DISEÑO VARIABLE

Este método se usa cuando el usuario no especifica el uso del método de un pie, que el tanque tenga un diámetro mayor de 60,960mm. (200 pies) y que además se cumpla con la siguiente relación.

$$12L/H \leq 2$$

DONDE:

$$L = (0.05 D t)^{0.5} \text{ (cm.)}$$

D = Diámetro nominal del tanque (cm.).



t = Espesor del anillo inferior (mm.).

H = Nivel de diseño del líquido (cm.).

Para el uso de este método, primero se calcula el espesor por condición de diseño (t_{pd}) y el de prueba hidrostática (t_{pt}), para el primer anillo con las fórmulas del método de un pie (ver capítulo 2.3.1); posteriormente se determinan los espesores del mismo anillo, para condiciones de diseño (t_{ld}) y de prueba hidrostática (t_{lt}) con las siguientes fórmulas:

$$t_{ld} = 1.06 - \left(\frac{0.02224D}{H} \sqrt{\frac{HG}{S_d}} \right) \left(\frac{0.0005HDG}{S_d} \right) + CA$$

Se hace notar que para condiciones de diseño es necesario que t_{ld} no sea mayor que t_{lt} .

$$t_{lt} = \left(1.06 - \frac{0.02224D}{H} \sqrt{\frac{H}{S_t}} \right) \left(\frac{0.0005HD}{S_t} \right)$$

Haciendo notar que para condiciones de prueba hidrostática es necesario que t_{lt} no sea mayor que t_{pt} .

Para obtener el espesor del segundo anillo por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, se calcula la siguiente relación para el anillo inferior.

$$\frac{h_1}{(rt_1)^{0.5}}$$

DONDE:

h_1 = Altura del anillo inferior (cm.).

r = Radio nominal del tanque (cm.).

t_1 = Espesor del anillo inferior excluyendo la corrosión permisible (cm.), usado para cálculo t_2 . Para calcular t_2 por condiciones de prueba hidrostática se puede usar el espesor total t_1 incluyendo la corrosión permisible.

Si el valor de la relación es menor o igual que 1.375 entonces

$$t_2 = t_1$$



Si el valor de la relación es mayor o igual a 2.625 entonces

$$t_2 = t_{2a}$$

Si el valor de la relación es mayor de 1.375 pero menor a 2.625 entonces

$$t_2 = t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left(2.1 - \frac{h_1}{1.25(rt_1)^{0.5}} \right)$$

DONDE:

t_2 = Espesor mínimo por condiciones de diseño del segundo anillo, descartando cualquier corrosión permisible (cm.).

t_{2a} = Espesor del segundo anillo (cm.) usado para calcular el espesor del siguiente anillo.

La fórmula anterior para t_2 está basada en el mismo esfuerzo permisible para el primero y segundo anillo. Cuando esta relación es mayor o igual a 2.625, el esfuerzo permisible para el segundo anillo puede ser menor que el usado en el primer anillo.

Para calcular los espesores de los anillos subsecuentes por condiciones de diseño y prueba hidrostática, cuando la relación $\left[\frac{h_1}{(rt_1)^{0.5}} \right]$ es mayor o igual a 2.625, se debe determinar un valor preliminar (t_u), usando la ecuación del método de un pie y una distancia (x) que localiza el punto de diseño variable de la pared baja del anillo en consideración, la cual será calculada usando el menor valor obtenido de las siguientes expresiones:

$$X_1 = 0.61 (r t_u)^{0.5} + 0.32 C H$$

$$X_2 = C H$$

$$X_3 = 1.22 (r t_u)^{0.5}$$

DONDE:

t_u = Espesor preliminar del anillo superior a la junta circunferencial (cm.).

t_1 = Espesor del anillo inferior a la junta circunferencial (cm.).

H = Nivel de diseño del líquido (cm.).



$$K = t_1/t_u$$

$$C = [K^{0.5} (K - 1)] / (1 + K^{1.5})$$

El espesor mínimo para este punto determinado por (x), es calculado por condiciones de diseño (t_{dx}) y por condiciones de prueba hidrostática (t_{tx}), con las siguientes ecuaciones:

$$t_{dx} = \frac{0.0005D(H - X)G}{S_d} + CA$$

$$t_{tx} = \frac{0.0005D(H - X)G}{S_t} + CA$$

Los espesores obtenidos (t_{dx} y t_{tx}), serán usados para repetir los pasos descritos, igualando estos valores a (t_u), hasta que la diferencia de los espesores sea mínima (tres cálculos son suficientes), el espesor obtenido se iguala a (t_2) para calcular el espesor requerido por el siguiente anillo.

Nota: Repitiendo los pasos se localiza el punto de diseño con mayor exactitud y en consecuencia un espesor más confiable y menor.

2.4. DISEÑO Y CÁLCULO DE TECHOS

Como se mencionó anteriormente, los tanques de almacenamiento pueden clasificarse por el tipo de cubierta en:

De techos fijos, de techos flotantes y sin techo. Dentro de los techos fijos tenemos tres tipos: cónicos, de domo y de sombrilla, los cuales pueden ser autoportados o soportados por estructura (para el caso de techos cónicos de tanques de gran diámetro).

El techo cónico es una cubierta con la forma y superficie de un cono recto. El tipo domo es un casquete esférico, y el de tipo sombrilla, es un polígono regular curvado por el eje vertical.

Los techos autoportados ya sean tipo cónico, domo, o sombrilla, tiene la característica de estar apoyados únicamente en su periferia, calculados y diseñados para que su forma geométrica, en combinación con el espesor mínimo requerido, absorban la carga generada por su propio peso más las cargas vivas, a diferencia de los techos soportados que contarán con una estructura que admita dichas cargas.



Independientemente de la forma o el método de soporte, los techos son diseñados para soportar una carga viva de por lo menos, 1.76 Kg/cm^2 (25 lb/pie^2), más la carga muerta ocasionada por el mismo.

Las placas del techo tendrán un espesor mínimo nominal de 4.7 mm. (3/16 pulg.) o lámina calibre 7. Un espesor mayor puede ser requerido para el caso de techos autosoportados; la corrosión permisible puede ser incluida al espesor calculado a menos que el usuario especifique su exclusión, lo que es válido también a los techos soportados.

Todos los miembros estructurales internos y externos de techos soportados tendrán un espesor mínimo nominal de 4.32 mm. (0.17 pulg) en cualquier componente de estos. La inclusión de corrosión de la corrosión permisible será acordada entre el usuario y el fabricante.

Las placas del techo se sujetarán al ángulo superior del tanque (anillo de coronamiento), con un cordón de soldadura continuo sólo por la parte superior, aunque éste sea soportado.

2.4.1. DISEÑO Y CÁLCULO DE TECHOS CÓNICOS AUTOSOPORTADOS

Los techos cónicos, autosoportados son empleados en tanques relativamente pequeños. Este consiste en un cono formado de placas soldadas a tope, el cual por su forma física, además de confirmar mediante un análisis de flexión basado en la teoría de placas, es capaz de sostenerse sin ningún elemento estructural y únicamente soportado en su periferia por el perfil de coronamiento. Estos techos son diseñados y calculados para tanques que no exceden de un diámetro de 18,288mm. (60 pies), pero es recomendable fabricar estos en un diámetro máximo de 12,192mm (40 pies), y cualquier dimensión mayor de las mostradas requiere el uso de una estructura capaz de soportar al techo.

Los techos cónicos autosoportados tendrán como máximo una pendiente de 9:12 (37°), y como mínimo 2:12 (9.5°), con respecto a la horizontal.

El espesor estará determinado por la siguiente expresión, pero no deberá ser menor de 4.76 mm. (3/16 pulg.), y no mayor de 12.7 mm. (1/2 pulg.).

$$T_t = \frac{D}{4800 \text{Sen}\theta}$$

DONDE:



T_t = Espesor mínimo requerido (cm.).

D = Diámetro medio del tanque (cm.).

θ = Ángulo con respecto a la horizontal (grados).

Este espesor será incrementado en la siguiente relación cuando la suma de las cargas muertas más las cargas vivas excedan 220 Kg/m (45 lb/pie), más cualquier corrosión permisible.

$$\sqrt{\frac{C_m + C_v}{220}}$$

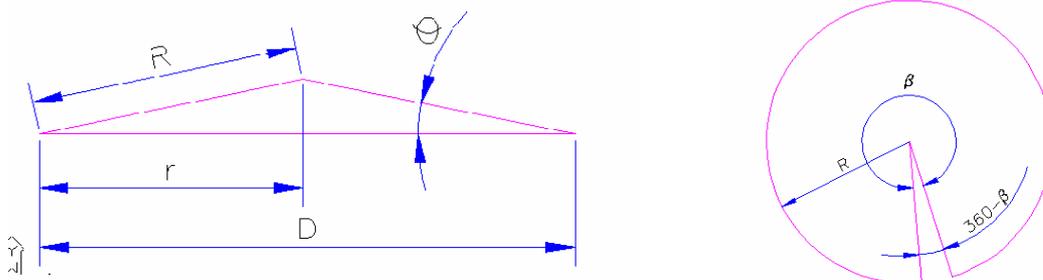
DONDE:

C_m = Carga muerta (Kg/m^2).

C_v = Carga viva (Kg/m^2).

Para este tipo de techos, se recomienda un espesor de 4.76 mm. (3/16 pulg.) a 9.52 mm. (3/8 pulg.), y en base a estos espesores se obtiene la pendiente más conveniente, dentro de las limitantes especificadas con anterioridad, estos con la finalidad de que el techo no sea demasiado pesado y a su vez presente dificultad para su fabricación.

El armado del techo sigue los mismos requerimientos y procedimientos que el fondo; estos son generalmente fabricados por placas rectangulares soldadas a tope, partiendo de un disco cuyo radio es la hipotenusa del cono en el cual se distribuirán las placas. A dicho disco se le practicará un corte para que el techo, al ser izado, cierre y tome forma de cono, de acuerdo con lo siguiente:



$$\gamma = 360 - 360r / R$$

DONDE:

D = Diámetro de asientos del cono (cm.).

$$r = D/2$$

R = Radio del disco o hipotenusa del cono (cm.).

θ = Angulo del cono con respecto a la horizontal (grados).

β = Angulo de corte del disco

Estos techos por sus dimensiones son armados al nivel del piso, para posteriormente ser levantados y colocados sobre el tanque, lo cual puede ser por sectores por totalmente armado.

2.4.2. DISEÑO Y CÁLCULO DE TECHOS TIPO DOMO Y SOMBRILLA AUTOSOPORTADOS

Los techos tipo domo se caracterizan por ser un casquete esférico el cual está formado por placas soldadas a traslape o a tope. Este tipo de tapas son poco usuales debido a que tienen un proceso de fabricación muy laborioso ya que cada placa y segmento tienen que formarse con el radio de abombado, incrementado de esta manera su costo y complejidad. Los techos de tipo sombrilla son una variedad del tipo domo el cual solo conserva el abombado sobre el eje vertical ya que sobre el eje circunferencial tiene semejanza con el tipo cónico. Las tapas por lo general se fabrican a partir de gajos para facilitar el abombado de las placas.

Este tipo de tapas deberán estar diseñadas bajo los siguientes requerimientos:

$$t_t = r_r / 2400$$

DONDE:

t_t = Espesor mínimo requerido (cm.) no menor de 4.76 mm. (3/16 pulg.), no mayor de 12.7 mm. (1/2 pulg.).

D = Diámetro nominal del cuerpo del tanque (cm.).



r_r = Radio de abombado del techo (cm.) radio mínimo $r_r = 0.8 D$ (a menos que el usuario especifique otro radio), radio máximo $r_r = 1.2 D$

Cuando la suma de las cargas muertas más las cargas vivas exceda 220 Kg/cm^2 (45 lb/ pie^2), el espesor mínimo deberá ser incrementado en la relación mencionada más cualquier corrosión permisible, usando el mismo procedimiento que para techos cónicos autosoportados.

2.4.3. DISEÑO Y CÁLCULO DE TECHOS CÓNICOS SOPORTADOS

Los techos cónicos soportados se usan generalmente para tanques de gran diámetro, los cuales consisten en un cono formado a partir de placas soldadas a traslape, soportadas por una estructura, compuesta de columnas, traveses y largueros. Las traveses formarán polígonos regulares múltiplos de cinco y en cada arista de estos se colocará una columna. Los polígonos compuestos por traveses se encargarán de soportar los largueros.

Las juntas de las placas del techo estarán soldadas a traslape por la parte superior con un filete continuo a lo largo de la unión, la cual tendrá un ancho igual al espesor de las placas. La soldadura del techo, con el perfil de coronamiento, se efectuará mediante un filete continuo de 4.76mm. (3/16 pulg.) o menor si la especifica el usuario.

La pendiente del techo deberá ser de 6.35 en 304.8mm. (1/4 en 12 pulg.) o mayor si lo especifica el usuario, pero lo recomendable es una pendiente de 19 en 305mm. (3/4 en 12 pulg.) ó menor si la especifica el usuario.

El diseño y cálculo de la estructura involucra los esfuerzos de flexión y corte, producidos por una carga uniformemente repartida ocasionada por el peso de las placas del techo, traveses y largueros, debido a lo cual las placas del techo se consideran vigas articuladas.

Las columnas para soportar la estructura del techo se seleccionan a partir de perfiles estructurales, o puede usarse tubería de acero. Cuando se usa tubería de acero, debe proveerse ésta de drenes y venteos; la base de la misma será provista de topes soldados al fondo para prevenir desplazamientos laterales.

Las uniones de la estructura deben estar debidamente ensambladas mediante tornillos, remaches o soldadura, para evitar que las uniones puedan tener movimientos no deseados.

2.4.3.1 ESFUERZOS PERMISIBLES



Todas las partes de la estructura serán dimensionadas con base a los cálculos hechos de acuerdo a la suma de los esfuerzos estáticos máximos, los cuales no deberán exceder los límites especificados:

Esfuerzo Máximo de Tensión.

- a) Para placas roladas en su sección neta, $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).
- b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada, 1266 Kg/cm^2 (18000 lb/pulg^2).

Esfuerzo Máximo de Compresión.

- a) Para acero rolado, donde se previene la flexión lateral, $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).
- b) Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).
- c) Para columnas en su área de sección transversal, cuando $L/r < 120$ (según AISC).

$$C_{ma} = \left(1 - \frac{(L/r)^2}{2C_c^2} \right) \left(\frac{C_d}{CS} \right)$$

Cuando $C_c \leq L/r < 200$

$$C_{ma} = \frac{5.15E}{(L/r)^2}$$

DONDE:

C_{ma} = Compresión máxima permisible (Kg/cm^2).

C_d = Esfuerzo de cedencia (Kg/cm^2).

C_c = Relación de esbeltez limite = $\sqrt{(19,739E/C_d)}$.

E = Módulo de sección (Kg/cm^2)

L = Longitud sin apoyo de la columna (cm.).



γ = Menor radio de giro de la columna mínimo (cm.).

$$CS = \text{Coeficiente de seguridad} = \frac{5}{3} + \frac{3L/r}{8C_c} - \frac{1(L/r)^3}{8C_c^3} = \text{entre 1.67 y 1.92}$$

Para miembros principales de compresión L/r no deberá exceder 180, y para otros miembros secundarios L/r no debe exceder 200.

Esfuerzo Máximo Producido por Flexión

- a) Para tensión y compresión en las fibras externas de placas roladas y miembros estructurales con eje de simetría en el plano de cargas, donde la longitud lateral no soportada de la viga compuesta de compresión no es mayor de 13 veces el ancho, la viga compuesta de compresión no debe exceder de 17 en su relación ancho-espesor, y la relación de alma altura-espesor no debe exceder de 70, y no sobrepasar un esfuerzo de $1,547 \text{ Kg/cm}^2$ ($22,000 \text{ lb/pulg}^2$).
- b) Para tensión y compresión en fibras extremas de miembros asimétricos, donde el miembro es soportado lateralmente en intervalos no mayores de 13 veces el ancho de la viga compuesta de compresión, no deberá exceder un esfuerzo de $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).
- c) Para tensión en fibras extremas de otros miembros rolados, miembros estructurales y trabes, no excederán de un esfuerzo de $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ ($20,000 \text{ lb/pulg}^2$).
- d) Para compresión en fibras extremas de otros miembros rolados, trabes o miembros estructurales que tienen un eje de simetría en el plano de cargas, el mayor valor calculado del esfuerzo que no ha de ser excedido será como sigue en Kg/cm^2 .

$$1406 - 0.04(l/r)^2$$

$$\frac{843700}{(ld)/A_f} < 1406$$

DONDE:

ℓ = Longitud sin apoyo de la viga compuesta de compresión (cm.).

γ = Radio de giro de la sección respecto al eje en el plano de carga (cm.).



d = Peralte de la sección (cm.).

A_f = Área transversal de la viga compuesta (cm.).

e) Para compresión en fibras extremas de otras secciones asimétricas, el valor calculado de esfuerzo será como sigue en Kg/cm^2 :

$$\frac{843700}{(I_d)/A_f} < 1406$$

Esfuerzo Máximo de Corte

a) Para soldaduras de filetes, taponos, ranuras, penetración parcial, el esfuerzo permitido en el área de la garganta será como máximo de $956 Kg/cm^2$ ($13,600 lb/pulg^2$).

b) En el área del espesor de alma de vigas y trabes donde el peralte del alma de la viga no sea mayor de 60 veces el espesor de esta o cuando el alma es adecuadamente reforzadas, el esfuerzo no debe exceder de $914 Kg/cm^2$ ($13,000 lb/pulg^2$).

c) En el área del espesor de las almas de vigas y trabes que no estén reforzadas o que el peralte del alma de la viga es más de 60 veces al espesor de esta, el mayor promedio de corte permitido (V/A) será calculado como sigue:

$$V/A = \frac{1370}{1 + [h^2/(506t^2)]}$$

DONDE:

V = corte total (Kg.).

A = Área del alma (cm.).

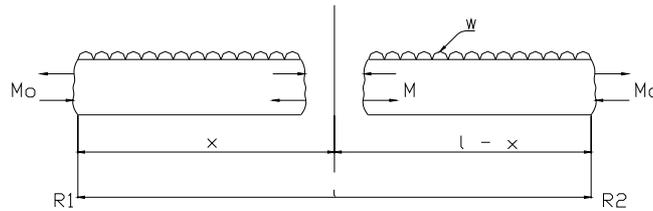
h = Distancia o claro entre almas de vigas (cm.).

t = Espesor del alma (cm.).

2.4.3.2. CÁLCULO DE VIGAS CON CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDA



Una viga continua con carga uniforme tiene varios apoyos como la consideración en la figura 2.1 Se considera una sección de viga continua con igual espaciamiento (1), un momento M_o existe sobre los soportes. Figura 2.1.



Tomando la suma de momentos a la distancia x desde el apoyo R_1 obtenemos:

$$M = M_o + R_1x - wx(x/2)$$

pero, $R_1 = wl/2$

Para una viga con extremos empotrados y

$$EI(d^2y/dx^2) = M$$

Sustituyendo M y R_1 encontramos:

$$M = EId^2y/dx^2 = M_o + wl x/2 - wx^2/2$$

Integrando obtenemos

$$EI(dx/dy) = M_o x + wl x^2/4 - wx^3/6 + c_1$$

Momento máximo con carga uniforme y extremos fijos.

$$M_o = -wl^2/12$$

Momento máximo en el centro de claro donde $X = l/2$



$$M_{1/2} = wl^2 / 24$$

Flexión máxima en $x = 1/2$

$$y = -wl^4 / 384EI$$

2.4.3.3. ESPACIO ENTRE LARGUEROS Y NÚMEROS DE LARGUEROS

Considere una franja circunferencial de 1 cm. en la periferia del techo, descartando el soporte que ofrece el cuerpo. Esta franja es considerada como sección plana continua uniformemente cargada. El momento de flexión es igual $wl^2/12$ y ocurre sobre los soportes de los largueros.

$$M_{\max} = -wl^2 / 12 = -P(1)l^2 / 12 = -Pl^2 / 12$$

DONDE:

ℓ = Longitud de viga entre largueros (cm.).

P = Carga unitaria $Kg/cm^2 = w$ donde el ancho es 1 cm.

Sustituyendo el esfuerzo resultante de la flexión se obtiene.

$$f = M / z$$

DONDE:

$z = bt/6$ para vigas rectangulares.

b = Ancho de la viga (cm.).

t = Espesor de la viga (cm.). Para este caso $b = 1$

$$z = t^2 / 6 \quad \text{por lo tanto} \quad f = Pl^2 / 2t^2$$

Para un esfuerzo máximo permisible de flexión (f) de $1,406 Kg/cm^2$ ($20,000 lb/pulg^2$ especificado por API 650 para placas roladas y miembros estructurales), una placa de 4.76 mm. ($3/16$ pulg) de espesor, mas una carga viva de $159 Kg/cm^2$ ($32.65 lb/pie^2$), entonces $P = 0.016 Kg/cm^2 = 0.227 lb/pulg^2$.

$$1 = 0.476 \sqrt{(2 \times 1406 / 0.016)} = 199.55 cm (78.56 pulg)$$



Pero API establece que el espacio máximo entre largueros será de 2π pies (1,915 mm. ó 75.39 pulg.) en el perímetro exterior del tanque, y en anillos interiores una separación máxima de 5.5 pies (1,676 mm. ó 66 pulg.).

El número mínimo de largueros usados entre dos traveses adyacentes o entre la pared del tanque y la trabe, está basado en el perímetro del círculo donde está circunscrito el polígono exterior o del cuerpo, por lo que primero se determina el número de polígonos y, por consecuencia, el diámetro en el que se encuentra el polígono, y el número mínimo de largueros estará determinado por la siguiente ecuación, donde el número real de largueros debe ser un múltiplo del número de lados del polígono para mantener un arreglo simétrico:

$$n = \frac{ND \operatorname{sen}(360/2N)}{l}$$

DONDE:

n = Número de largueros.

l = Espacio máximo entre largueros (cm.).

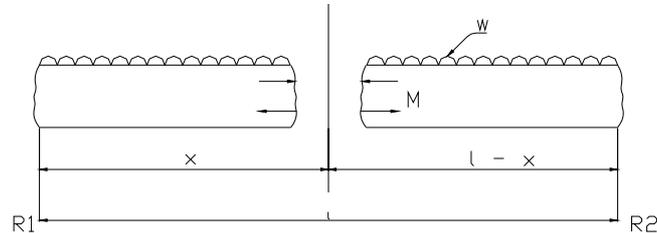
N = Número de lados del polígono.

D = Diámetro del círculo donde está circunscrito el polígono o diámetro nominal del tanque en (cm.).

2.4.3.4. CÁLCULO DE VIGAS ARTICULADAS CON CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA

Refiriéndonos a la figura 2.2, consideraremos cualquier punto x, entre los soportes R_1 y R_2 en una viga con carga uniforme (w). Las fuerzas calculadas en la viga a la izquierda del punto x producen un momento de flexión M, el cual puede evaluarse por la suma de momentos en x. Para una carga uniforme en una viga simplemente apoyada, las reacciones son iguales ($R_1 = R_2$) donde, en la figura 2.2:





$$R_1 = wl/2$$

La fuerza o reacción R1 produce un momento positivo o en sentido horario igual a $(R_1 x)$ y la resultante de la carga uniforme a la izquierda de x ($w x$), produce un momento negativo o antihorario igual a $- wx(x/2)$, por lo que;

$$M = (wlx/2) - (wx^2/2)$$

Para obtener la localización del momento de flexión máximo

$$dM / dx = d(wx/2 - wx^2/2) / dx =$$

Sustituyendo $X = 1/2$ en las ecuaciones de momentos

$$M_{mas} = wl^2 / 8$$

Para vigas simplemente apoyadas con carga uniforme

La flecha debida a la flexión máxima se calcula por la siguiente fórmula:

$$y = \frac{1}{EI} \left(\frac{wlx^3}{12} - \frac{wx^4}{24} - \frac{wl^3x}{24} \right)$$

Y como sabemos que la flecha máxima ocurre en la mitad del claro

$$x = l/2.$$

$$y = 5wl^4 / 384EI$$



2.4.3.5. SELECCIÓN DE TRABES Y LARGUEROS

Los largueros están diseñados con cargas uniformemente repartidas y extremos libres. Cada larguero se considera que soporta las placas del techo más la carga viva; dichas cargas se extienden a ambos lados del larguero respecto a la línea de centro del mismo, por lo que se considera que cada larguero soportará un área tributaria igual a la longitud del larguero por el promedio de la separación entre dos largueros consecutivos. Sabiendo que el momento flexionante máximo en una viga con carga uniformemente repartida ocurre en el centro de ésta y, como consecuencia de esto, el esfuerzo máximo que se produce es directamente proporcional al cuadrado de la longitud de la viga, se debe evitar el uso de largueros muy pesados limitando su longitud de 6,096 a 7,315 mm. (20 a 24 pies).

Una vez determinada la carga que absorberán los diferentes largueros así como sus longitudes, se calculará el momento máximo, para que con este valor se proceda a determinar el módulo de sección óptimo para posteriormente recalcular, pero ahora considerando el peso propio del larguero, haciendo esto repetidamente hasta lograr el equilibrio y poder determinar el módulo de sección a emplear.

Siempre se deberá calcular el larguero más crítico (generalmente el exterior), para que todos los largueros, ya sean exteriores y/o interiores, tengan el mismo peralte.

Para recipientes de gran diámetro, el claro del larguero es reducido mediante traveses soportados en sus extremos por columnas, formando polígonos regulares. Estas traveses concurren en el centro y limitan su longitud por:

$$(L/b > 13, L/b < 40).$$

Las traveses son diseñadas para absorber las cargas concentradas que producen los largueros que pueden ser consideradas como carga uniforme siempre y cuando existan cuatro o más largueros en cada traveses. Esta carga se puede determinar de la siguiente manera:

$$w = (w'ln) / L$$

DONDE:

w = Carga uniformemente repartida sobre la traveses (Kg/m o lb/pie).



w' = Carga máxima sobre un larguero incluyendo el peso propio del larguero más pesado (*Kg/m* o *lb/pie*).

l = La mitad de la longitud del larguero (m o pie).

n = Número de largueros que se apoyarán sobre la trabe.

L = Longitud de la trabe (m. o pie).

Las trabes siguen la misma secuencia de cálculo que los largueros para obtener el módulo de sección requerido, las cuales pueden no ser del mismo peralte entre polígonos, por lo que cada polígono debe ser calculado independientemente.

En tanques localizados en zonas sísmicas, se deberán proveer de redondos de 19 mm. (3/4 pulg.) de diámetro ubicados entre largueros (como tensores), los cuales serán colocados en el anillo exterior. Dichos redondos pueden ser omitidos si se usan secciones “I” o “H” como largueros.

2.4.3.6. CÁLCULO DE COLUMNA CON CARGA AXIAL

Los miembros estructurales bajo compresión axial tienden al pandeo, causado por una fuerza axial (p), en la longitud de la columna (l), el momento de flexión M , igual a P por brazo de palanca (y), induce un esfuerzo de flexión igual a Mc/I , al cual se le suma el esfuerzo de compresión, P/a .

$$f = Mc/I + P/a = PyC/I + P/a$$

Por definición:

$$I = ar^2 \text{ donde } r = \text{radio de giro}$$

$$f = P/a(1 + yc/r^2)$$

La columna puede ser comparada con una viga simplemente apoyada con carga uniformemente, o sea que:

$$f = Mc/I; M = wl^2/8, y = 5wl^4/384EI$$

Que pueden usarse para resolver el producto (yc).

$$yc = 5wl^4/384EI(8If/wl^2) = 5l^2 f/48E = Cl^2$$



DONDE: $C_1 =$ constante

$$yc = C_2 l^2$$

Entonces:

$$P/a = f / (1 + C_2 (l^2 / r^2))$$

Donde C_2 depende del material, la carga y el método de soporte. No se conoce ningún método para calcular teóricamente la constante C_2 y esta se determina por experimentación.

El investigador Gordon Rankine encontró por experimentación que C_2 puede ser de 1/18,000 para columnas circulares y 1/36,000 para columnas cuadradas. Para valores de l/r entre 60 y 200, por lo que se recomienda el uso de la siguiente fórmula para columnas de acero.

$$P/a = 1,265 / (1 + (18,000r^2))$$

Para columnas que tienen valores de l/r entre 0 y 60, no se utiliza esta ecuación, pero se especifica un valor máximo del esfuerzo de compresión igual a $1,055 \text{ Kg/cm}^2$.

Para valores de l/r mayores de 200 se usa la fórmula:

$$P/a = 1,406 / (1 + (l^2 / 2,000b^2))$$

La constante C_2 es especificada por el American Institute Of Steel Construction.

DONDE:

$l =$ Longitud no soportada (cm.).

$b =$ Ancho de la sección de compresión.

Esta fórmula está limitada por las condiciones en las cuales $l > 15 b$.

Pero $l < 40 b$.

El valor de $1,406 \text{ Kg/cm}^2$ especificado en el numerador de la ecuación anterior es permitido porque el esfuerzo de flexión máximo existe sólo en las fibras exteriores combinado con el esfuerzo de compresión.



2.3.4.7. SELECCIÓN DE LAS COLUMNAS.

Una vez que se han calculado y seleccionado los largueros y traveses, se procede al cálculo de las columnas. Teniendo el número de columnas y la carga axial que soportará cada columna, que es la suma de las reacciones que generan las traveses o largueros que estarán apoyados sobre la columna.

Sabiendo que la relación de esbeltez para una columna larga aceptada por API (miembro principal sometido a compresión) es de 180, y conociendo la longitud de la columna podremos obtener el radio de giro que cumpla con esta relación.

$$r = l/180$$

Se busca un perfil que cumpla con el radio de giro mayor tanto en x – x como en y – y, y se obtiene el área de la sección transversal. Posteriormente se calcula el esfuerzo de compresión permisible para la columna de Rankine.

$$fp = 1265 / (1 + (l^2 / 18000r^2))$$

Teniendo el esfuerzo de compresión permisible y sabiendo que el esfuerzo actuante es P/a, igualamos las ecuaciones obteniendo el área de la sección transversal la cual tendrá que ser menor o igual a la de los perfiles combinados que se seleccionará con anterioridad. Si esto no se cumple, se tendrá que seleccionar otro perfil que tenga por, lo menos, el área transversal requerida y recalculamos la columna con esta nueva relación de esbeltez, hasta que el área de la columna satisfaga la igualdad, cuidando que la relación de esbeltez sea menor de 40 y mayor de 180.

Una vez definida la sección transversal de la columna que cumpla con lo anterior, se calcula el esfuerzo de compresión máximo permisible (C_{ma}) especificados (ver 2.4.3.1.), el cual tendrá que ser mayor o igual que el calculado por el procedimiento anterior. Si esto no es logrado, se tomará este esfuerzo máximo de compresión y se igualará a P/a.

Despejando obtendremos el área de la sección transversal, empezando de nuevo la rutina hasta que esto se haya cumplido.

2.5. DISEÑO Y CÁLCULO DEL PERFIL DE CORONAMIENTO



Este elemento de los tanques es de suma importancia porque, además de soportar el peso del techo, rigidiza al cuerpo evitando una posible deformación u ovalamiento en la parte superior del cuerpo, además de lograr un sello entre el cuerpo y el techo.

2.5.1. CÁLCULO DEL PERFIL DE CORONAMIENTO PARA TECHOS CÓNICOS AUTOSOPORTADOS

El área de la sección transversal para el perfil sobre el cual descansa un techo cónico autosoportado tienen las características que se muestran en la figura 2.3 (detalles a-i) y se determina por la siguiente ecuación:

$$A = \frac{D^2}{432,000 \text{sen} \theta}$$

DONDE:

A = Área de la sección transversal (cm^2).

D = Diámetro de asiento del cono (cm.).

θ = Ángulo con respecto a la horizontal (grados).

Para techos de tipo domo y sombrilla el perfil de coronamiento tendrá que hacerse conforme a lo dispuesto en la figura 2.3 y tendrá un área de sección transversal igual a:

$$A = \frac{D r_r}{216,000}$$

DONDE:

D = Diámetro nominal del tanque (cm.).

r_r = Radio de abombado de la tapa (cm.).

Para los perfiles de coronamiento de techos autotransportados el área de la sección transversal será incrementada por la relación siguiente cuando la suma de las cargas muertas (C_m) y las cargas vivas (C_v) excedan de 220 Kg/m^2 (45 lb/ pie^2).

$$\frac{C_m + C_v}{220}$$



DONDE:

$C_m =$ Cargas muertas (Kg/cm^2).

$C_v =$ Cargas vivas (Kg/cm^2).

2.5.2. CÁLCULO DE PERFIL DE CORONAMIENTO PARA TECHOS SOPORTADOS

EL perfil de coronamiento para tanques que tengan un techo soportado estará de acuerdo a lo mostrado en la figura 2.3 (detalle a-d), y se considerará como una junta frágil, que no es capaz de resistir presión interna por lo que tendrá un venteo según lo especifica API 2000. El área de la sección transversal de la junta no excederá el valor calculado en la siguiente expresión.

$$A = \frac{2,1765W}{30800 \operatorname{tg} \theta}$$

DONDE:

$W =$ Peso total del techo (Kg)

$\theta =$ Ángulo del techo con respecto a la horizontal (grados).

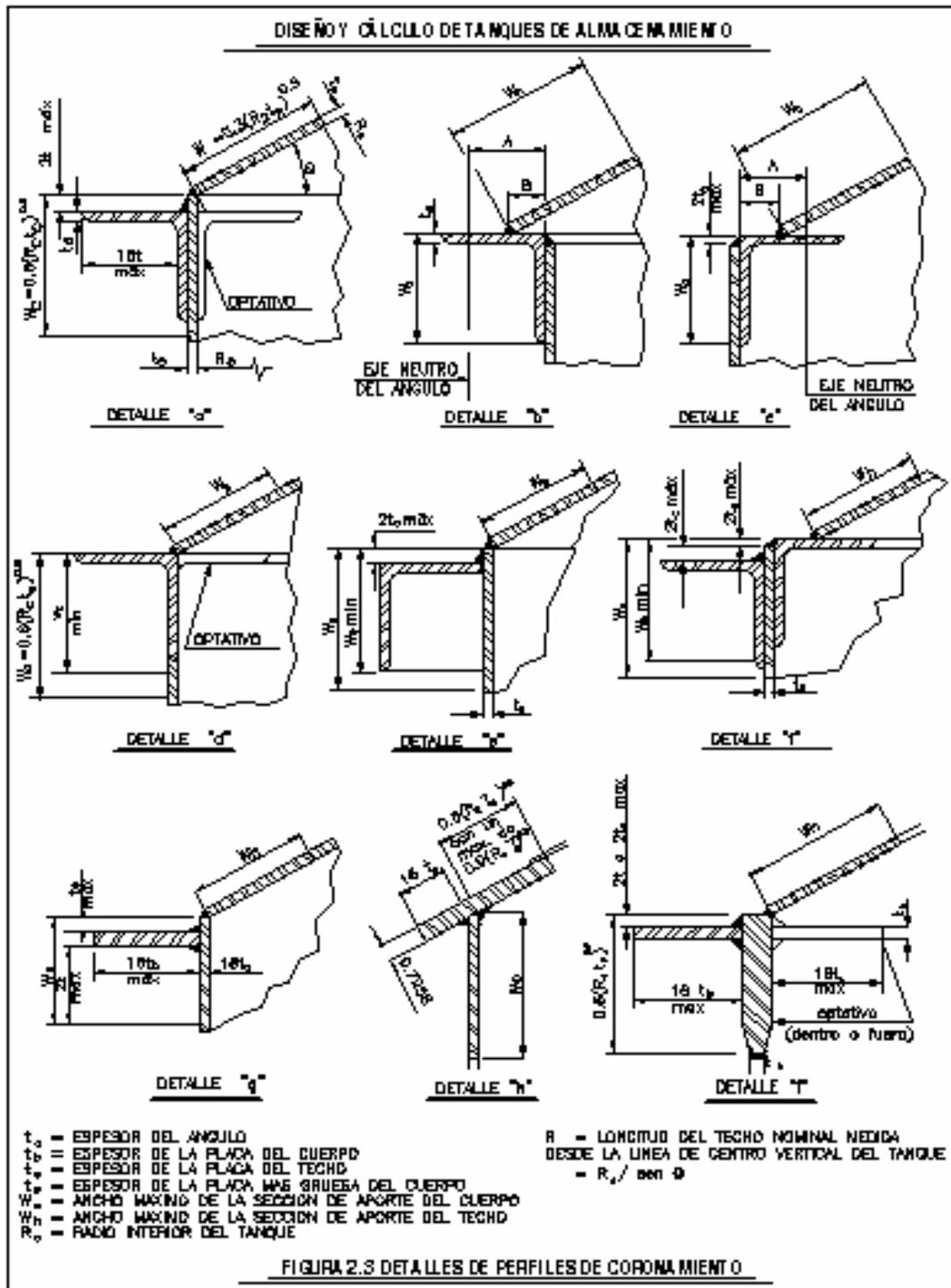
Todos los miembros en la región de la junta techo-cuerpo incluyendo anillos de aislamiento serán considerados como aporte en el área de la sección transversal.

Para tanques de diámetros relativamente pequeños, exceptuando los casos marcados anteriormente para techos autosoportados, las dimensiones mínimas del perfil de coronamiento serán las siguientes:

1. Para tanques de 10,668mm. (35 pies) o menores de diámetro un ángulo de 50.8 x 50.8 x 4.76mm. (2 x 2 x 3/16 pulg.).
2. Para tanques mayores de 10,668mm. (35 pies) pero menores o iguales a 18,288mm. (60 pies) de diámetro un ángulo de 76 x 76 x 9.52mm. (3 x 3 x 3/8 pulg.).







2.6. DISEÑO DE TECHOS FLOTANTES

Los techos flotantes tienen como objeto la finalidad de eliminar la cámara de aire comprendida entre el espejo de líquido y el techo, con la finalidad de que el fluido no se evapore, causando riesgos tanto para la seguridad del tanque como para el medio ambiente, así como un decremento considerable en el volumen almacenado en el tanque.

Se pueden construir dos tipos de techos flotantes, los cubiertos que son aquellos que no están en contacto directo con la radiación solar y precipitaciones pluviales, debido a que el tanque cuenta con un techo fijo, que protege al flotante; y los techos flotantes externos, los cuales se denominan así porque no cuentan con un techo fijo, por lo que este se encontrará en contacto con el medio ambiente.

2.6.1. DISEÑO DE TECHOS FLOTANTES CUBIERTOS.

Los requerimientos de techos flotantes son limitados sólo por factores que afectan la seguridad, durabilidad y que están involucrados dentro de la calidad y la seguridad.

Los tipos de techos flotantes son clasificados y descritos a continuación:

- a) Techos metálicos tipo charola, los cuales están en contacto con el líquido y tienen un anillo perimetral.
- b) Techos metálicos de contención, los cuales están en contacto con el líquido y tiene abierta la parte superior de contención.
- c) Techos metálicos de pontón, los cuales están en contacto con el líquido y tienen cerrado el pontón.
- d) Techos metálicos de doble cubierta, los cuales están en contacto con el líquido.
- e) Techos metálicos en flotación, los cuales tienen la cubierta sobre el líquido
- f) Techos metálicos tipo sándwich, los cuales tienen una superficie revestida de malla tipo panal y están en contacto con el líquido.
- g) Techo plástico tipo sandwich, los cuales tienen una superficie revestida con un panel líquido y están en contacto con el líquido.



El material de fabricación para el techo esta regido por la compatibilidad con el líquido contenido en el tanque, que el fabricante someterá a consideración ante el usuario.

Los materiales considerados podrán ser:

Acero al carbón, aluminio conforme a los requerimientos de la sección dos del ANSI/ASME B96.1, acero inoxidable (ASTM A-240 acero austenítico); el impermeabilizante y cubierta plástica deben tener un espesor no mayor de 0.100 pulgadas de acuerdo con ASTM E84

En el caso de plásticos este debe ser rígido, de celda cerrada de poliuretano de acuerdo a ASTM D2341 con las siguientes propiedades mínimas.

- a) Una densidad por ASTM D 1,622 de 1.7 lb/ pie^3 .
- b) Un esfuerzo de cedencia a la compresión por ASTM D1621 de 22 lb/ pulg^2 .
- c) Un esfuerzo por corte de ASTM C273, de 20 lb/ pulg^2 .
- d) Transmisión de vapor de agua por ASTM E96 igual a 2 pulg. de permeabilidad.
- e) Una porosidad de ASTM D2856 de 95%.

Se pueden usar otros materiales para alma, similares, cuando exista un acuerdo entre el fabricante y el usuario.

Los materiales de revestimiento pueden ser fibra de vidrio reforzada de poliéster o resina epóxica usando una buena calidad de fibra de vidrio aplicado con un mínimo de relación de 1.5 onza de fibra por 4.5 onzas de resina. La fibra debe estar completamente seca, compactada y libre de impurezas.

El espacio entre la periferia exterior del techo y el tanque, así como columnas, escaleras, niveles, será sellado por un dispositivo flexible que logre el cierre en la superficie mencionada.

Antes de seleccionar el material del sello, debe considerarse la temperatura ambiente, la temperatura de diseño la permeabilidad, la resistencia a la abrasión, decoloración, endurecimiento, desquebrajamiento y otros factores de compatibilidad. El sello podrá ser de espuma flexible contenida en un



envolvente, como poliuretano cubierto con uretano, o el tipo elástico, como goma extruída o sintética.

En el caso de que el sello sea una zapata metálica en contacto con el cuerpo del tanque, tendrá que estar galvanizada si ésta es de acero al carbón con un espesor mínimo nominal del calibre 16 y G90 de revestimiento.

2.6.1.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Los techos flotantes internos y los accesorios deben estar diseñados y contruidos para permitir que el techo opere normalmente sin atención manual y fuera de daños para cualquier parte construida del techo, del techo flotante, del tanque y accesorios.

Los techos flotantes serán diseñados y contruidos para flotar es un posición horizontal, capaces de soportar una carga viva de hombres. Todos los cálculos serán basados en un peso específico de 0.7. Estos criterios pueden ser modificados de mutuo acuerdo entre fabricantes y usuario.

2.6.1.2. DISEÑO DE JUNTAS

Todas las costuras o juntas, ya sea por medio de soldadura, atornillado, remachado o adherencia del techo flotante expuestas directamente al vapor del producto o líquido, deben ser revisadas para prevenir fugas de vapor por medio de prueba de caja de vacío, líquidos penetrantes u otros métodos acordados entre usuarios y fabricantes.

La corrosión permisible será adicionada a los espesores mínimos a continuación listados:

- a) Acero al carbón en contacto con vapor o líquido, debe estar dentro del calibre 7 (4.5 mm). Otros elementos que no estén en contacto con el fluído tendrán un espesor mínimo de 2.38 mm. (0.094 pulg.).
- b) Recubrimiento de aceros inoxidables 0.457 mm. (0.018 pulg.) de espesor. Aceros inoxidables en flotación 1.21 mm. (0.048 pulg.).
- c) Recubrimiento de aluminio 0.45 mm. (0.018pulg.). de espesor, aluminio en flotación 1.27mm. (0.05pulg.).
- d) Recubrimiento plástico de 0.762 mm. (0.030 pulg.).



- e) Para paredes tipo sandwich el interior debe ser de 25.4mm. (1 pulg.) de espesor, el recubrimiento metálico de 0.35mm. (0.014 pulg.) y el recubrimiento plástico de 7.62mm. (0.30 pulg.) de espesor mínimo.

Los sellos periféricos deben estar diseñados con una desviación de (\pm) 102mm. (4 pulg.) entre el techo flotante y el cuerpo. El tanque estará libre de proyecciones interiores que puedan dañar el sello u obstaculizar el movimiento del techo.

Las juntas circunferenciales en la envolvente del sello deben estar a prueba de fugas y cuando la junta esta hecha, debe ser hermética. El espesor del envolvente del sello será determinado después de considerar todos los factores implicados.

Si los dispositivos de sello empleados son de acero galvanizado o zapatas de acero inoxidable en contacto con el cuerpo, las zapatas deben ser como mínimo de calibre 16 para acero galvanizado y calibre 18 para acero inoxidable.

Las columnas, escaleras y otros accesorios rígidos verticales que penetran la cubierta deben proveerse de un sello con una desviación de (\pm) 127mm. (5 pulg.).

Los techos flotantes contarán con soportes ajustables por lo que el nivel más bajo de operación debe ser especificado por el usuario.

Los soportes y empotramientos serán diseñados para soportar una carga viva uniforme de 60 kg/m^2 (12.3 lb/ pie^2) sobre el techo flotante y este debe equiparse con drenes u otros medios que eviten la acumulación de líquido. En el fondo de la soldadura de las placas cubiertas donde la flexión es adyacente a los soportes u otros miembros rígidos relativos, un filete completo de soldadura no menor de 51mm. (2 pulg.) de longitud y 254mm. (10 pulg.) entre centros debe usarse sobre cualquier placa traslapada en 305mm. (12 pulg.) para cualquier soporte.

2.6.1.3. DISEÑO PARA TIPOS DE TECHOS ESPECÍFICOS

Los techos flotantes metálicos en contacto con el líquido, que sean de uno de los siguientes tipos:

- a) Charola metálica sin pontón
- b) Con mampara de contención.



- c) Con pontón perimetral.
- d) De doble cubierta

Tendrán que ser boyantes y capaces de soportar como mínimo dos veces su carga muerta. Los techos de doble cubierta deben ser capaces de flotar después de sufrir daño en su comportamiento así como el tipo pontón. Cada compartimiento de los techos debe ser accesible por la parte superior y contará con cubiertas de acceso atornilladas para inspección interna.

Los techos metálicos en flotación además de cumplir con lo anterior, tendrán un faldoncillo que atrape el vapor alrededor de la cubierta perimetral, y este se extenderá no menos de 102mm. (4 pulg) dentro del líquido.

Los techos flotantes con superficie revestida en contacto con el líquido, consistirán de un panel tipo sandwich de metal o plástico con una cubierta que proporcione rigidez estructural, la cual tendrá que ser flotante y capaz de soportar dos veces su peso muerto. Los paneles deben estar sellados para prevenir la entrada de líquidos, y éstos deben prever la acumulación de condensados los cuales serán regresados al tanque. La superficie debe diseñarse para prever una resistencia de 0.000725 ohms por pie de CD a 70° F.

2.6.1.4. ABERTURAS Y ACCESORIOS

Los techos flotantes que cuenten con escaleras, deben diseñarse para recorridos completos del techo flotante, sin hacer caso de cualquier localización de los soportes del techo. La escalera será instalada en el registro del techo fijo, y no será empotrada en el fondo para prevenir movimientos verticales en las conexiones superiores.

Los techos también contarán con venteos para prevenir los sobre esfuerzos de la cubierta del techo, estos venteos deben ser adecuados para dar salida al aire y a los gases bajo el techo cuando este es soportado en la acción de llenado bajo el techo en la operación de vaciado. Estos venteos serán diseñados con la información que el usuario proporcione sobre el llenado y vaciado del tanque.

Las aberturas para la circulación de venteos deben localizarse en el cuerpo o techo fijo incluso sobre el sello del techo flotante, cuando el tanque está lleno, el máximo espacio entre venteos será de 9,753mm. (32 pies), pero en ningún caso serán menos de cuatro venteos igualmente espaciados. El total del área de los venteos será mayor o igual a 185 cm^2 (0.2 pies^2) del diámetro del tanque, los



venteos serán resistentes a la corrosión y provistos de una malla 12.7mm (1/2 pulg.) de paso, para evitar la introducción de objetos. En el caso de contar con un venteo en un área mínima de 323 cm^2 (50 pulg²) será colocado en el centro del tanque en la máxima elevación del techo fijo.

2.6.2. TECHOS FLOTANTES EXTERNOS

A menos que el usuario indique alguna modificación, se presentan los requerimientos mínimos que aplicarán a techos tipo plano, de pontón y de doble cubierta.

Los lineamientos que presentamos a continuación sólo delimitan aquellos factores que afectan la seguridad y durabilidad de la instalación.

2.6.2.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

El diseño del techo y de sus accesorios, deberán permitir al primero llegar al límite superior del nivel del líquido y bajar hasta el nivel inferior del líquido sin dañar el cuerpo del tanque, la tapa o cualquier otro accesorio. El techo debe operar con manejo manual, utilizando el borde del faldón y la pared del cuerpo del tanque para soportar los empaques del techo en el punto más alto del nivel.

Debe proveerse el tanque de dispositivos de alarma que indique al personal que se ha sobrepasado el nivel superior de llenado de líquido, a menos que el tanque esté diseñado para contener una altura de columna de fluido igual al límite superior del tanque. El usuario debe indicar un arreglo apropiado a sus necesidades con el fin de proveer salidas de emergencia del líquido para evitar daños en el tanque.

2.6.2.2. DISEÑO PARA CUBIERTAS ESPECÍFICAS

En tanques que almacenan fluidos corrosivos, es importante que el techo entre en contacto con el líquido, evitando así cualquier formación de mezcla aire-vapor debajo de la cubierta. Cabe hacer mención que el espesor mínimo de las placas que conforman el techo será de 4.76mm. (3/16 pulg.) sin incluir corrosión permisible.

Las placas de la cubierta deben soldarse por la parte de arriba con un filete continuo de soldadura, pudiendo soldarse por la parte interior del techo, rigidizarlo con cualquier elemento apropiado para tal fin.



La cara superior de estos techos deberá proveerse con una pendiente de por lo menos 4.76 : 304.8mm. (3/16 : 12/pulg.) para proporcionar un buen drenado del techo.

2.6.2.3. DISEÑO DEL PONTÓN

Los techos flotantes deberán permanecer en flotación sobre un líquido con una densidad relativa mínima de 0.7 y bajo las siguientes condiciones:

- a) 25.4 cm. de agua de lluvia por un periodo de 24 horas sin drenar el techo, excepto para techos de doble cubierta, los cuales deben estar provistos de drenes de emergencia para mantener el agua a un volumen menor que el indicado.
- b) Sin agua y sin carga viva en techos de cubierta sencilla o doble pontón.

Los pontones no deberán deformarse en presencia de carga por agua de lluvia, por lo que el usuario y el fabricante podrán acordar una prueba simulando las condiciones y poniendo el techo en flotación sobre agua.

El fabricante debe proveer al pontón de acceso para la inspección de cubiertas atornilladas provistas de pescante para abertura rápida, además de llevar venteos para protegerlos contra presiones internas y externas. Los compartimientos del pontón deberán soldarse con filetes continuos de soldadura en sus orillas. Al pontón deberán practicársele pruebas de líquidos penetrantes para comprobar su hermeticidad.

Este tipo de techos debe contar con una escalera que se ajuste al movimiento del techo para facilitar el acceso a éste. La escalera debe cubrir toda la carrera del techo.

2.6.2.4. COLUMNAS Y SOPORTE

Estas columnas tienen la misión de soportar al techo cuando este se encuentre en su nivel más bajo, y deberán estar provistas de drenes. Estos soportes deberán estar diseñados para soportar el techo más una carga viva de 122 Kg/m^2 (25 lb/pie^2). La placa base de las columnas deberán estar unidas al fondo mediante un cordón de soldadura continuo.

2.6.2.5 PRUEBAS

El techo deberá pasar una prueba de flotación desde que se efectúa la operación de llenado hasta que se vacía el tanque completamente.



La cubierta del pontón y los techos de doble cubierta deberán ser inspeccionados visualmente para detectar fugas o soldaduras completamente.

Los sistemas de drenes deberán ser probados con agua a una presión de 3.52 Kg/cm^2 (50 lb/pulg^2). Durante la prueba de flotación el venteo del techo deberá estar abierto y operando correctamente.

2.7. DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO ENSAMBLADOS EN TALLER

2.7.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

La fabricación y diseño de tanques de almacenamiento verticales en donde las dimensiones hacen posible su completo armado en taller, para después ser embarcado y colocado en su lugar, tendrán un diámetro que no exceda de 6,096mm ($1/4$ pulg.), y 49.8 Kg/m^2 (10.2 lb/pie^2), mas cualquier corrosión permisibles.

El fondo podrá ser construido de una o varias piezas, cuya distancia entre cordones de soldadura no será menor de 305mm. (12 pulg.), y tendrá un diámetro mayor que el exterior del tanque de 50.8mm. (2 pulg.).

La soldadura entre fondo y el cuerpo se realizará con un filete por cada lado del cuerpo, la junta del cuerpo, fondo y techo serán a tope, sin placa de respaldo para lograr la penetración completa.

Los tanques armados en taller contarán por lo menos con dos orejas de izaje dispuestas a 180° entre si, para que pueda ser levantado con facilidad. Cada oreja así como la soldadura de la misma con el tanque se diseñarán para soportar el peso total del tanque vacío, usando un factor de seguridad de cuatro.

Estos tanques por tener dimensiones relativamente pequeñas, están sujeto a una posible volcadura, provocada por vientos o sismos, para prevenir esto se le colocarán anclas sujetándolo a la cimentación.

2.7.2. DISEÑO Y CÁLCULO DEL CUERPO, TECHOS Y PERFIL DE CORONAMIENTO

El espesor de la pared del cuerpo se determinará por la siguiente expresión, pero el mínimo espesor permitido será de 4.7mm. ($3/16$ pulg.) para tanques con un diámetro igual o menor de 3,200mm. (10 pies, 6 pulg.), y para tanques con diámetro igual o mayores un espesor de 3.6mm. ($1/4$ pulg.).



$$t = \frac{0.005D(H - 30.48)G}{E(1476)} + CA$$

DONDE:

T = Espesor mínimo requerido (cm.).

D = Diámetro nominal del tanque (cm.).

H = Nivel máximo del líquido (cm.).

G = Densidad relativa de líquido (no menor de 1).

E = Eficiencia de la junta (0.85 ó 0.70).

CA = Corrosión permisible (cm.).

Generalmente los techos para este tipo de tanques son autoportados del tipo cónico, domo o sombrilla, los cuales son calculados y diseñados como se explica en los puntos anteriores (2.4.1., 2.4.2. respectivamente).

Si el tanque no requiere del perfil de coronamiento, los techos deberán contar con una ceja que será soldada a tope con el anillo superior del tanque (solo para techos del tipo cónico y sombrilla). Esta ceja deberá tener un radio de esquina de tres veces el espesor del techo ó 19 mm. (3/4 pulg.), el que resulte mayor.

El radio de abombado máximo permisible para los techos tipo domo se registrarán de acuerdo a las alturas mostradas en la siguiente tabla.

Altura máxima para techos de tanques ensamblados en taller	
Diámetro nominal	Altura máxima
< 1829	51
< 2438	89
< 3048	140
< 3657	203
< 4267	279
< 4877	381
< 6096	508

El perfil de coronamiento en estos tanques es usado para prevenir el ovalamiento del tanque en condiciones de carga por viento, por lo que podrán ser omitidos si los cálculos demuestran que no lo requieren, de lo contrario se



diseñarán y calcularán de acuerdo a los descritos en el capítulo tres en el punto 2.5.

2.7.3. PRUEBAS E INSPECCIÓN DEL TANQUE

Los tanques, previamente desconectados y cerrados herméticamente de todas sus boquillas, se les colocarán refuerzos temporales en la parte baja de éste, con el fin de evitar deformaciones permanentes, durante la prueba neumática, aplicando una presión interna del orden de 0.14 a 0.21 Kg/cm^2 ($2 - 3 \text{ lb/pulg}^2$) en tanques con diámetro mayor de $3,658\text{mm}$. (12 pies), y de 0.35 Kg/cm^2 (5 lb/pulg^2) ó en diámetros menor. Hecho esto se le colocará jabonadura, aceite de linaza o cualquier fluido susceptible a la detección de fugas, en cordones de soldadura del techo, cuerpo, fondo, boquillas, etc., para observar la posible filtración que pudiese presentar, las cuales podrán ser reparadas para efectuar la prueba nuevamente.

La prueba neumática tendrá que llegar a un acuerdo entre el usuario y el fabricante. El usuario podrá sugerir otro método como, ensayos no destructivos, radiografiado, cámara de vacío o podrá optar por una prueba hidrostática.



CAPÍTULO 3

CÁLCULO POR SISMO Y VIENTO.

3.1. CÁLCULO POR SISMO.

Los movimientos telúricos 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:

- a) Cuando la alta frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento lateral del terreno sobre el que está situado el tanque, posteriormente la cantidad de líquido que el recipiente contiene, se mueve al unísono con el cuerpo del tanque.
- b) Cuando la baja frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento de la masa del líquido contenido, ocasionando oleaje dentro del tanque.

El movimiento lateral de las masas, 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, provocando la deformación del cuerpo. Por lo que el tanque será diseñado para resistir este fenómeno.

3.1.1. MOMENTO DE VOLTEO.

El momento de volteo deberá determinarse mediante la siguiente expresión, efectuando los cálculos respecto a la base del tanque, por lo que la cimentación requiere de un diseño particular aparte.

$$M = ZI(C_1W_sX_s + C_1WrHt + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2).$$

DONDE:

M = Momento de volteo (Kg - m.).

Z = Coeficiente sísmico (Ver Figura 3.1. y Tabla 3.1.).



I = Factor de rigidez = 1 para todos los tanques excepto cuando un incremento en este factor es especificado por el usuario. Se recomienda que este factor no exceda de 1.5 que es el máximo valor que se puede aplicar.

C_1, C_2 = Coeficiente de fuerza lateral sísmica.

W_s = Peso total del cuerpo del tanque (Kg.).

X_s = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centro de gravedad de este (m.).

W_r = Peso total del techo del tanque más una carga viva especificada por el usuario (Kg.)

H_t = Altura total del cuerpo del tanque (m.)

W_1 = Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unísono con el cuerpo del tanque (Kg.)

X_1 = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a W_1 (m.).

W_2 = Peso efectivo de la masa contenida por el tanque que se mueve en el primer oleaje (Kg.).

X_2 = Altura desde el fondo del tanque al centroide de la fuerza sísmica lateral aplicada a W_2 (m.).



FIGURA 3.1. ZONAS SÍSMICAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA.

TABLA 3.1. COEFICIENTES SÍSMICOS (Z).



Zona Sísmica	Coefficiente Sísmico
A	0.1875
B	0.375
C	0.75
D	1.0

3.1.1.1. MASA EFECTIVA CONTENIDA EN EL TANQUE.

Las masas efectivas W_1 y W_2 se determinarán multiplicando W_T por las relaciones W_1/W_T y W_2/W_T respectivamente obtenidas de la Figura 3.2. y de la relación D/H .

$$W_t = \text{Peso total del fluido del tanque (Kg.)}$$

$$D = \text{Diámetro nominal del tanque (cm.)}$$

$$H = \text{Altura de diseño del líquido (cm.)}$$

Las alturas desde el fondo del tanque a los centroides de las fuerzas sísmicas laterales, aplicadas a W_1 y W_2 , (X_1 y X_2), se determinan multiplicando H por las relaciones X_1/H y X_2/H respectivamente obtenidas de la Figura 3.3. y de la relación D/H .



FIGURA 3.2. MASA EFECTIVA.

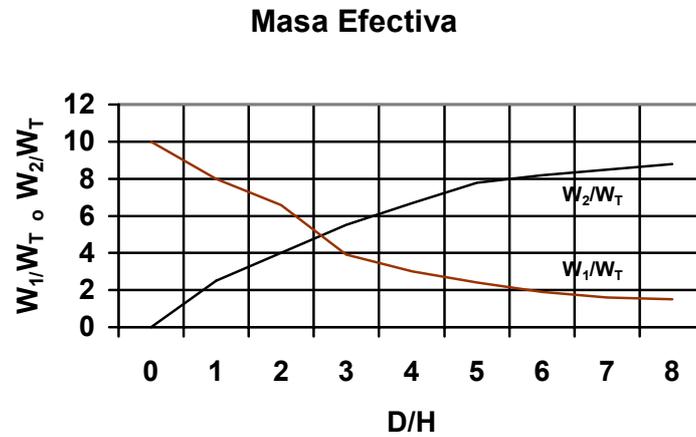
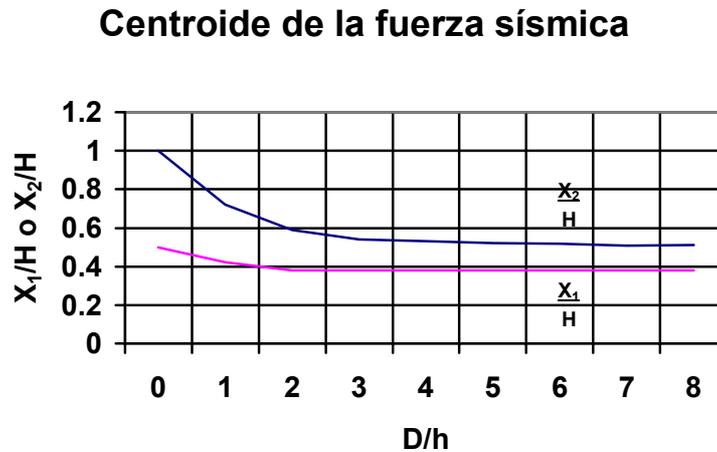


FIGURA 3.3. CENTROIDE DE LA FUERZA SÍSMICA



3.1.1.2. COEFICIENTES DE FUERZAS LATERALES.

El coeficiente C_1 de fuerza lateral será 0.24.

El coeficiente C_2 de la fuerza lateral será determinado por la función del periodo natural T y las condiciones del terreno donde se sitúa el tanque.

Cuando $T < 4.5$



$$C_1 = 0.3S/T$$

Cuando $T > 4.5$

$$C_2 = 1.35S/T^2$$

DONDE:

S = factor de amplificación Tabla 3.2.

T = periodo natural de la ondulación en segundos = $L D^{0.5}$.

K = factor determinado en la Figura 3.4. y la relación D/H.

Los terrenos se clasifican en tres tipos, de acuerdo con su rigidez.

I) Terrenos firmes; como tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta o suelo con características similares.

II) Suelo de baja rigidez; como arenas no cementadas o limos de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad o suelos de características similares.

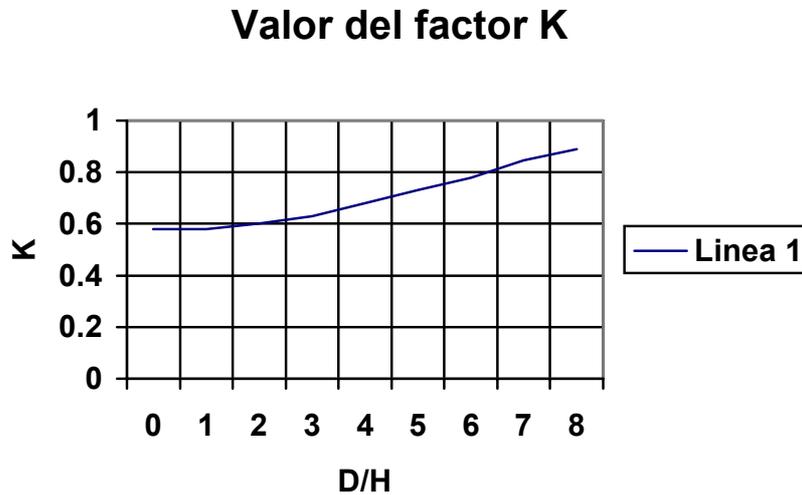
III) Arcillas blandas muy compresibles.

TABLA 3.2. FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL LUGAR.

Tipo de Suelo	Factor de Amplificación
I	1.0
II	1.0
III	1.5



FIGURA 3.4. VALOR DEL FACTOR K.



3.1.2. RESISTENCIA A LA VOLCADURA

La resistencia al momento de volcadura respecto del fondo del tanque podrá ser prevenido por el peso del cuerpo del tanque y mediante anclaje.

Para tanques sin anclaje, el peso de la porción del líquido contenido puede ser usado para resistir la volcadura.

$$W_L = 0.29369T_b \sqrt{(F_{by} GH)}$$

Siempre y cuando W_L no exceda 0.000186 GHD.

DONDE:

W_L = peso máximo del líquido contenido en el tanque que puede ser usado para resistir la volcadura ($Kg - m$), de la circunferencia del cuerpo.

T_b = espesor de la placa del fondo bajo el tanque (cm.).

F_{by} = esfuerzo mínimo de cedencia especificado del fondo (Kg/cm^2).

G = Densidad relativa del líquido.



El espesor de la placa del fondo bajo el cuerpo T_b , no debe exceder el espesor del primer anillo, el cual siempre será mayor. Donde la placa del fondo debajo del cuerpo es más gruesa que el resto del fondo, el ancho de esta placa de mayor espesor medido en forma radial hacia el interior del cuerpo será mayor o igual a:

$$6.0417 \frac{W_L}{GH}$$

3.1.3. COMPRESIÓN DEL CUERPO.

3.1.3.1. TANQUES NO ANCLADOS.

Para tanques sin anclaje la fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo, puede determinarse mediante lo siguiente:

Cuando $M/[D^2(W_t + W_L)]$ es menor o igual a 0.785

$$b = (W_t) + 1.273M / D^2$$

Cuando $M/[D^2(W_t + W_L)]$ es mayor o igual a 0.785 pero menor o igual a 1.5, b puede ser calculada del valor obtenido a partir de la Figura 3.5

$$1.48791(b + W_L)/(W_t + W_L)$$

Cuando $M/[D^2(W_t + W_L)]$ es mayor de 1.5 pero menor o igual a 1.57

$$\frac{b + W_L}{W_t + W_L} = \frac{1.49}{\left(1 - \frac{0.637M}{D^2(W_t + W_L)}\right)^{0.5}}$$

DONDE:

b = fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo (Kg/m) en la circunferencia del cuerpo)

Wt = peso del cuerpo del tanque y la porción de techo soportado por el techo (Kg. Por metro de circunferencia del cuerpo).



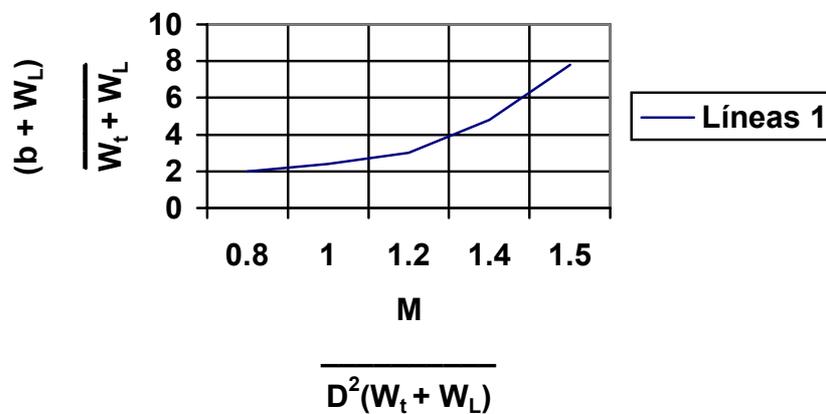
Cuando $M / D^2 (W_t + W_L)$ es mayor de 1.57, el tanque es estructuralmente inestable.

Cuando el tanque necesite ser anclado, la fuerza máxima de compresión longitudinal en el fondo del cuerpo, será determinada por:

$$b = W_t + (12731M / D^2)$$

FIGURA 3.5. FUERZA DE COMPRESIÓN (b).

Fuerza de compresión



3.1.3.2. COMPRESIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL CUERPO.

El esfuerzo máximo de compresión longitudinal en el cuerpo será determinado de acuerdo a lo siguiente:

Cuando $0.0002278GHD^2 / t^2$ es mayor o igual a 10^6 .

$$F_a = 170676000t / D$$

Cuando $0.0002278GHD^2 / t^2$ es menor a 10^6 .

$$F_a = 68270400t / D + 1546\sqrt{(GH)}$$

DONDE:

t = Espesor del anillo inferior del tanque sin corrosión permisible (cm.).



F_a = Esfuerzo máximo de compresión longitudinal permisible (Kg/cm^2),
(menor de $0.5 F_{ty}$).

F_{ty} = Esfuerzo mínimo de cedencia especificado del anillo inferior
(Kg/cm^2)

Siempre y cuando $2.02333 b/t$ no exceda el esfuerzo máximo permisible de compresión, el tanque se considera estructuralmente estable, por lo que es capaz de resistir un movimiento sísmico, pero si esto no fuese cumplido, es necesario tomar alguna de las siguientes medidas:

- a) Incrementar el espesor del cuerpo (t).
- b) Reducir la relación de esbeltez, incrementado el diámetro y reduciendo la altura.
- c) Anclar el tanque.

Si el espesor del primer anillo calculado para resistir el momento de volcadura por sismo, es mayor que el espesor requerido para prueba hidrostática, excluyendo cualquier corrosión permisible, el espesor calculado para cada anillo superior por prueba hidrostática, será incrementado en la misma proporción bajo un análisis especial hecho para determinar el momento de volcadura por sismo y los esfuerzos correspondientes en la parte baja de cada anillo superior.

3.1.3.3 TANQUES ANCLADOS.

Cuando el anclaje es necesario, el tanque debe diseñarse de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\left(\frac{1.2731M}{D^2} \right) - W_t$$

Que presenta la resistencia mínima a la volcadura (Kg/m).

Los esfuerzos debidos a las fuerzas de anclaje en el cuerpo del tanque en los puntos de sujeción de las anclas, deben ser analizados.



Cuando se decida el uso de anclas, éstas tendrán un diámetro mínimo de 25.4 y el esfuerzo máximo permisible para cualquier pieza del conjunto de las anclas, no debe exceder de los siguientes valores:

Para anclas, el esfuerzo será de 0.8 veces el esfuerzo de cedencia (el esfuerzo de cedencia mínimo de 0.6 multiplicado por 1.33).

3.2 PRESIÓN DE VIENTO.

Todos los tanques de almacenamiento se diseñarán y calcularán para lograr una estabilidad total. El momento de volteo producido por la constante carga del viento, la cual deberá ser considerada de por lo menos 146 Kg/m^2 (30 lb/ pie^2) en la superficie del plano vertical, 88 Kg/m^2 (19 lb/ pie^2), en las áreas proyectadas de las superficies del cilindro y 73 Kg/m^2 (15 lb/ pie^2) en áreas proyectadas de superficies cónicas y doble curvadas. Lo que se determina en base a una velocidad de viento de 161 Km/h (100 mph). En el caso de que el tanque se localice en una zona geográfica con una velocidad mayor, se ajustarán las presiones multiplicando el valor especificado por el resultado de la siguiente relación:

$$(v/161)^2$$

DONDE:

V = velocidad del viento (Km/h).

3.2.1. MOMENTO DE VOLTEO.

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:

$$M = \frac{P_v D_{\max} (H_t)^2}{2}$$

DONDE:

M = Momento de volteo ($\text{Kg} - \text{m}$).



P_v = Presión de viento (Kg/m^2).

$D_{m\acute{a}x.}$ = Diámetro exterior del tanque incluyendo líneas de tuberías (m.)

HT = altura total del tanque incluyendo el techo (m.)

Para tanques que no estén anclados, el momento de volteo por presión de viento no debe exceder de la siguiente expresión:

$$M < \frac{2}{3} \left(\frac{WD}{2} \right)$$

DONDE:

W = Peso muerto del tanque disponible para resistir el levantamiento (Kg.), menos cualquier corrosión permisible, menos simultáneamente el levantamiento por condiciones de presión interna sobre el techo.

D = diámetro nominal del tanque (m.)

Cuando la relación anterior sea menor o igual al momento de volteo, se tendrá que anclar el tanque. La carga de tensión de diseño para cada ancla, se determinará como sigue:

$$t_b = \left(\frac{4M}{dN} \right) - \left(\frac{W}{N} \right)$$

DONDE:

t_b = Carga de tensión por ancla (Kg.).

d = diámetro del círculo de anclas (m.).

N = número de anclas.

Las anclas deben estar espaciadas a un máximo de 3,048mm. (10 pies).



3.2.2 ANILLOS DE REFUERZO SUPERIORES E INTERMEDIOS PARA VIENTO.

Los tanques sin techo están sujetos a sufrir deformación (perder su redondez) en la parte superior por carga de viento, para evitar esto, se diseñan y calculan los anillos de refuerzo requeridos.

Los anillos de refuerzo, son perfiles estructurales o de secciones formadas de placa o combinaciones de éstos, los que pueden ser circulares o poligonales.

Las dimensiones mínimas del perfil a usar o algún componente en la construcción de los anillos de refuerzo son: 64 x 64 x 6.35mm. ($2\frac{1}{2}$ x $2\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{2}$ pulg.), y el mínimo espesor nominal de las placas para formar anillos de refuerzo es de 6.35mm. (1/4 pulg.).

Cuando se coloque un anillo de refuerzo a más de 610mm. (2 pies) por debajo de la parte superior del cuerpo, el tanque deberá estar provisto con un ángulo de coronamiento de 64 x 64 x 4.76mm. ($2\frac{1}{2}$ x $2\frac{1}{2}$ x $\frac{3}{16}$ pulg.), en cuerpos de un espesor de 4.76mm. ($\frac{3}{16}$ pulg.), y para cuerpos de mayor espesor, 76 x 76 x 6.35mm. (3 x 3 x $\frac{1}{4}$ pulg.), o cualquier otro perfil con módulo de sección equivalente.

El módulo de sección mínimo para anillo de refuerzo deberá determinarse por la siguiente ecuación, basada en una velocidad del viento del 161 *Km/h* (100 *mph*), y en el caso de que dicha velocidad en el lugar de instalación fuese mayor, la ecuación se multiplicará por la relación $(v/161)^2$.

$$Z = 5.78704 \times 10^{-8} D^2 H^2$$

DONDE:

Z = módulo de sección requerido (cm³.)

D = diámetro nominal del tanque (cm.)

H = altura del cuerpo del tanque (cm.)



Para el módulo de sección requerido puede incluirse al aporte de la pared del tanque, que será de 16 veces el espesor del cuerpo, en ambos sentidos para anillos de coronamiento soldados a tope con el cuerpo, dicha distancia incluirá el patín del perfil, como se presenta en la Figura 3.6.

La máxima distancia entre anillos de refuerzo es determinada por el siguiente procedimiento:

$$H_1 = 299298 \times 10 t^3 \sqrt{(t/D)^3}$$

DONDE:

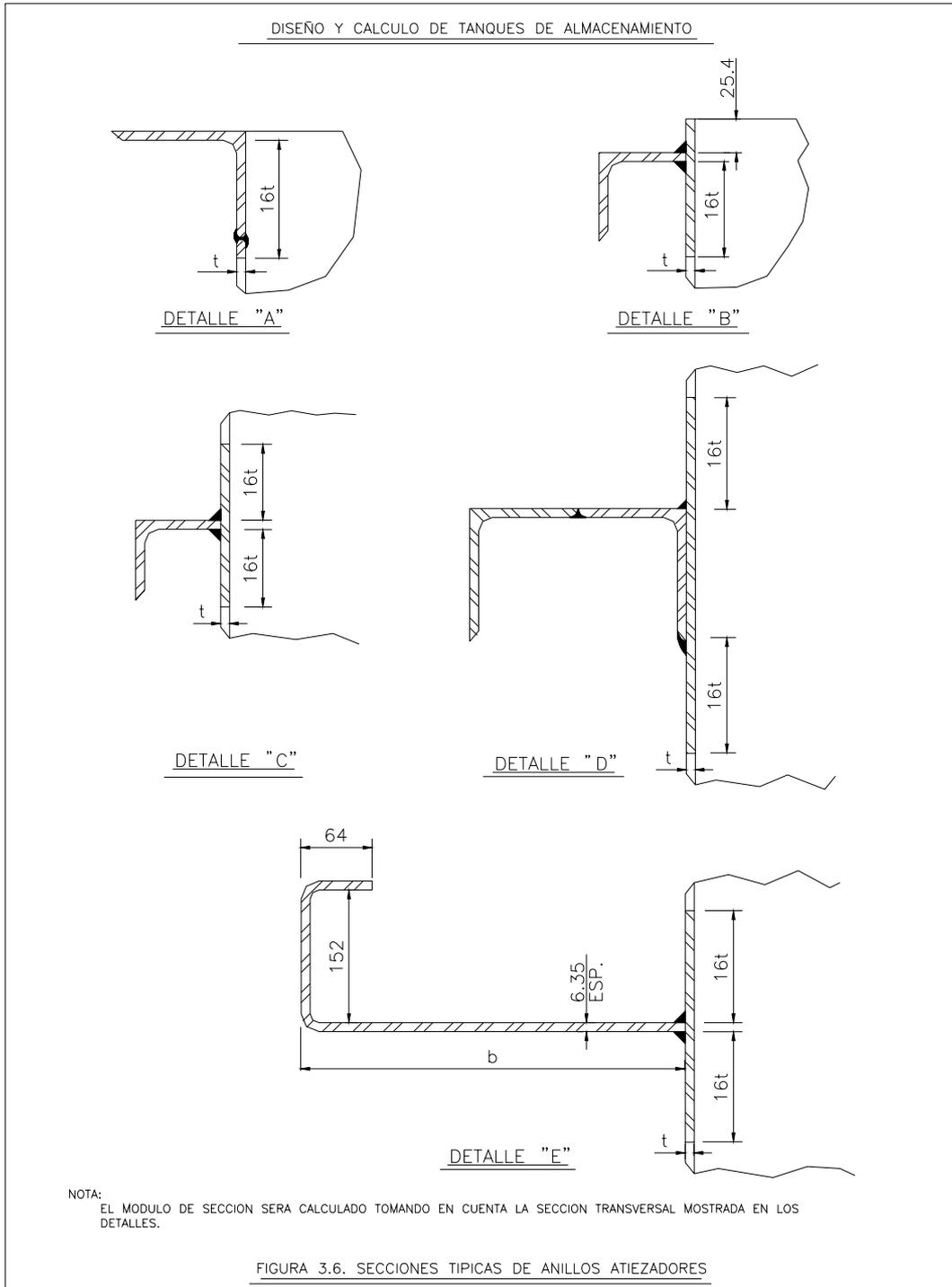
H_1 = distancia vertical entre anillos intermedio o el perfil de coronamiento (cm.).

t = espesor del anillo superior (cm.)

D = diámetro nominal del tanque (cm.)

Después la altura del cuerpo se transformará como sigue:





a) Cambiando el ancho actual de cada anillo del cuerpo por un ancho transpuesto en base al espesor del último anillo del tanque.

$$W_{tr} = W \sqrt{(t, uniform. / t, actual)}$$



DONDE:

W_{tr} = ancho traspuesto de cada anillo (cm.)

W = ancho actual de cada anillo del cuerpo (cm.)

t uniforme. = espesor del anillo superior del cuerpo (cm.)

t actual = espesor del anillo, para el cual el ancho traspuesto ha sido calculado (cm.)

- b) La suma de todos los anchos traspuestos de cada anillo será la altura transformada del cuerpo (H_{tr})

$$H_{tr} = W_t$$

- c) El número de anillos requeridos y la separación entre los mismos, podrá ser determinado conforme a las siguientes expresiones:

$$n = H_{tr} / H_1$$

$$h_{tr} = H_{tr} / N$$

DONDE:

n = Número aproximado de anillos.

N = Número real de anillos, igual o mayor a n .

h_{tr} = separación transformada entre anillos, correspondiente a un anillo real en la relativa posición del cuerpo transformado y usando la expresión de transformación podremos determinar la elevación actual sobre ese anillo.

Los refuerzos intermedios se instalarán en el tanque a una distancia mayor de 152mm. (6 pulg.) adyacentes a la junta circunferencial, pero siempre conservando la máxima separación entre los anillos.

El módulo de sección para los refuerzos se determinará por la siguiente expresión:



$$Z = 5.78704 \times 10^{-8} D^2 H_1$$

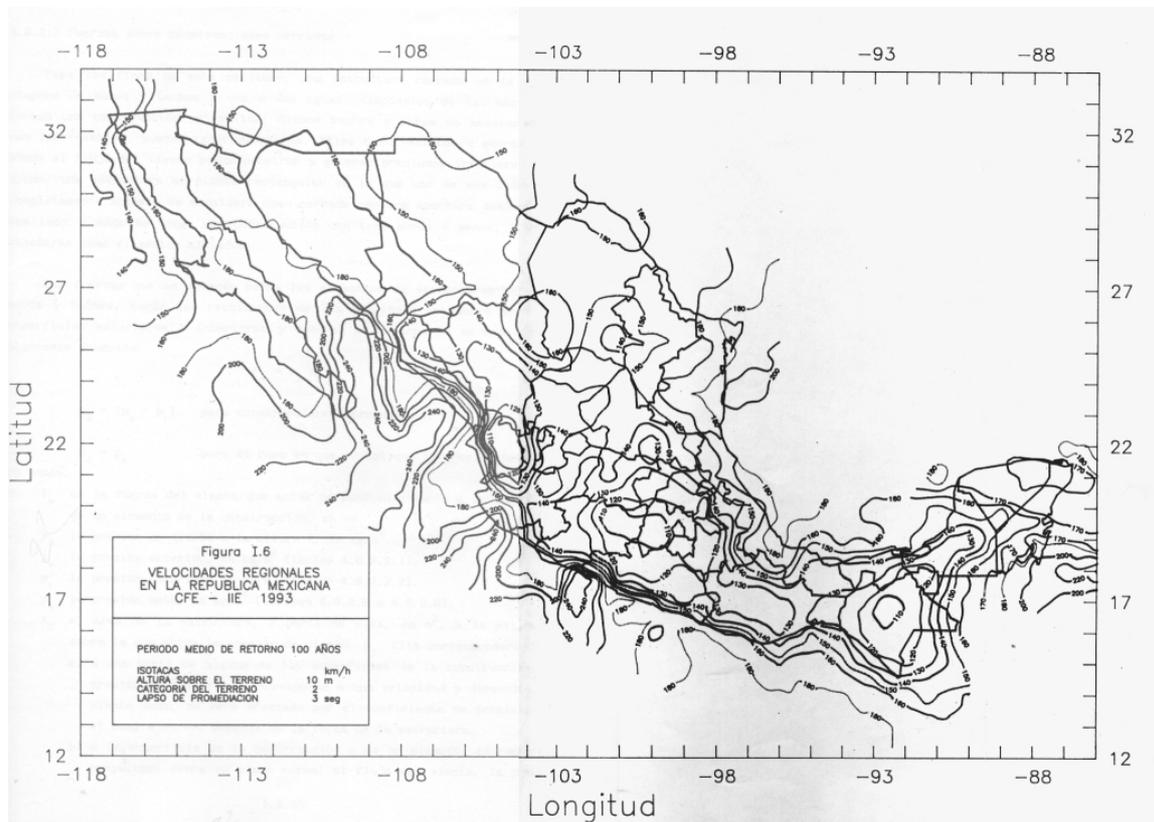
DONDE:

Z = Módulo de sección requerido (cm.³)

D = Diámetro nominal del tanque (cm.)

H₁ = Distancia vertical entre anillos de refuerzo (cm.)

FIGURA 3.8 VELOCIDADES MÁXIMA DE VIENTO EN LA REPUBLICA MEXICANA



CAPÍTULO IV
CÁLCULO POR PRESIÓN MANOMÉTRICA.
4.1 ALCANCE.

Los tanques de almacenamiento diseñados por el estándar A.P.I. 650, pueden tener un incremento en su presión interna cuyo límite es la presión



interna multiplicada por el área de la sección transversal del tanque, no exceda el peso nominal del cuerpo, techo y cualquier accesorio soportado por los mismos y menor a 0.175 Kg/cm^2 (2.5 lb/pulg^2), para tanques anclados, en ambos casos el tanque cumplirá con los requerimientos mínimos especificados con anterioridad.

Los que deberán un dispositivo de seguridad o venteo que desfogue la posible sobreposición, para que ésta no rebase la de diseño o la máxima permisible (la que sea menor), el que será diseñado con de acuerdo al estándar A.P.I. 2000.

La junta del cuerpo-techo está como se especifica en la Figura 2.3, donde se muestra la sección transversal a considerar.

4.2 CÁLCULO DE LA PRESIÓN MÁXIMA PERMISIBLE.

La máxima presión de diseño a considerar en los tanques de almacenamiento se establece con la siguiente ecuación, pero en ningún caso mayor a la máxima permitida.

$$P = \frac{11265408ATang\theta}{D^2} + 8th$$

DONDE:

P = presión máxima de diseño (cm. columna de agua).

A = área de la sección transversal de la junta cuerpo-techo (cm^2).

θ = ángulo del techo con respecto a la horizontal (grados).

D = diámetro nominal del tanque (cm.).

th = Espesor mínimo del techo, excluyendo cualquier corrosión permisible (cm.).

La que tendrá que ser menor que la presión máxima permisible calculada por la siguiente ecuación.

$$P_{\max} = \frac{1275.8W}{D^2} + 8th$$



DONDE:

$P_{\text{máx}}$ = presión máxima permisible (cm. columna de agua).

W = Peso total del cuerpo y accesorios soportados por cuerpo y techo, sin considerar el peso del techo (Kg.).

La falla más frecuente para tanques sometidos a presión interna, ocurre cuando en el área del anillo de compresión se genera un esfuerzo que alcanza al esfuerzo de cedencia, (2,250 Kg/cm² 32,000 lb/pulg²), por lo que se determinará una presión de falla igual a:

$$Pf = 1.6P - 4.8th$$

Se recomienda que la presión máxima ($P_{\text{máx}}$) no exceda de 80% a la de falla.

Para tanques anclados con una presión de diseño igual o menor de 0.175 Kg/cm² (2.5 lb/pulg²), se calculará el espesor de la pared del tanque por la siguiente ecuación, incrementando la altura del nivel del líquido en (P/G), el espesor está limitado a 12.7 mm. (1/2 pulg.), incluyendo cualquier corrosión permisible.

$$t = \frac{0.0005D(H'-30.48)G}{1476E} + CA$$

DONDE:

D = Diámetro nominal (cm.).

H' = Altura del nivel del líquido más P/G (cm.).

G = Densidad relativa del líquido.

E = Eficiencia de la soldadura.

CA = Corrosión permisible (cm.)

Las anclas y cimentación requerirán de un diseño especial donde todos los esfuerzos de diseño cumplirán con lo que se establece en la Tabla 4.1., las anclas



tendrán un diámetro mínimo de 25.4 mm. (1 pulg.), mas una corrosión permisible de 6.35 mm. (1/4 pulg.)

Las anclas serán uniformemente apretadas y ajustadas con el tanque lleno de agua, al igual que cualquier componente soldado.

En cualquier empotramiento, las anclas no adicionarán esfuerzos significativos a la pared del tanque, tomando el efecto de flexión y de rotación.

TABLA 4.1 ESFUERZOS DE DISEÑO PARA ANCLAS DE TANQUE
CON PRESIÓN DE DISEÑO DE 0.18 Kg/cm² (2.5 lb/pulg²).

Sobrepresión Resultado de:	Esfuerzo Permisible en la Raíz del Tornillo Roscado del Ancló
Presión de Diseño del Tanque	1055
Presión de Diseño del Tanque mas Viento ^a	1406
Presión de Prueba del Tanque	1406
Presión de Falla x 1.5 ^b	

- a) Ver capítulo III para requerimientos de diseño de sismo.
- b) Para esta condición, el peso efectivo de líquido en el fondo del tanque no debe ser asumido para reducir la carga de anclas. La presión de falla debe ser calculada usando el espesor con el que se construyó.

4.3 CÁLCULO DE LA JUNTA CUERPO TECHO.

El área requerida para la sección transversal de la junta (área de compresión), se puede determinar por medio de la siguiente ecuación, donde la presión de diseño no rebasará lo establecido en 6.1

$$A = \frac{D^2(P - 8th)}{11265408Tang\theta}$$

DONDE:

A = área de compresión total (cm²), menos cualquier corrosión permisible, la que tendrá que ser igual o mayor que por el perfil de coronamiento y conforme a la Figura 2.3

th = espesor de las placas del techo (cm.), sin incluir cualquier corrosión permisible.



El esfuerzo de compresión máximo permisible será de 1,406 Kg/cm^2 (20,000 $lb/pulg^2$), para calcular el área de la sección transversal, sólo para tanques anclados.

4.4 PRUEBA NEUMÁTICA.

Una vez que se ha determinado que el tanque puede soportar la presión interna de diseño, completamente ensamblado y tapadas todas las boquillas, se llenará con agua hasta el perfil de coronamiento, para ser presurizado con aire a una presión de prueba igual a la de diseño en el espacio libre entre el espejo de agua y la tapa, la que será sostenida durante 15 minutos, inmediatamente la presión se reducirá a la mitad, manteniéndola hasta que todas las juntas soldadas se revisen con jabonadura o aceite de linaza para detectar posibles fugas. El venteo o dispositivo de seguridad, será probado después de la prueba neumática, el cual, tendrá que mantener la presión de diseño mientras se bombea aire al interior, si ésta fuera rebasada el dispositivo será rediseñado.



CAPÍTULO 5 EJEMPLO ILUSTRATIVO DEL DISEÑO Y CÁLCULO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

5.1 PLANTEAMIENTO

Con la finalidad de hacer más claro y específico lo expuesto en los capítulos anteriores, se calculará un tanque de almacenamiento para agua de servicio, el cual será instalado en el Estado de Tlaxcala con una capacidad nominal de 2,300 m³. Dicho tanque operará a presión atmosférica y temperatura ambiente.

5.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TANQUE

Datos para el cálculo

Diámetro interior (D) = 1,967.8 cm.

Altura (H) = 978.2 cm.

Corrosión permisible (C.A.) = 0.16 cm.

Material = A-283-C

Esfuerzo de diseño (Sd) = 1,410 Kg/cm².

Esfuerzo de prueba hidrostática (St) = 1,580 Kg/cm².

Fluido = agua

Densidad relativa (G) = 1(1,000 Kg/cm³).

Dimensiones de las placas a usar:

Ancho: 182.9 cm.

Largo: 609.6 cm.

5.2.1 CÁLCULO DE LOS ESPESORES DEL CUERPO

El espesor mínimo especificado en la tabla 2.2 es de 6.35mm. (t min). Utilizando el método de un pie, tendremos que la formula a emplear es:

$$td = \frac{0.0005D(H - 30.48)G}{Sd} + C.A.$$

Cálculo del primer anillo

Espesor por condiciones de diseño.

$$td = \frac{0.0005(1767.8)(978.2 - 30.48)1}{1410} + 0.16 = 0.754cm.$$



Espesor por prueba hidrostática.

$$t_t = \frac{0.0005(1767.8)(978.2 - 30.48)}{1580} = 0.53\text{cm.}$$

Espesor de Placa a Utilizar $t_r = 9.52\text{mm}$.

Cálculo del Segundo Anillo

Espesor por Condición de Diseño

$$t_d = \frac{0.000(1767.8)(795.3 - 30.48)l}{1410} + 0.16 = 0.639\text{cm.}$$

Debido a que el cálculo de espesor por condiciones de diseño es el que rige y debido a que el fluido a almacenar es agua, podemos descartar el cálculo por prueba hidrostática

Espesor de placa a utilizar $t_r = 7.94\text{mm}$.

Cálculo del Tercer Anillo.

$$t_d = \frac{0.0005(1767.8)(612.4 - 30.48)l}{1410} + 0.16 = 0.525\text{cm}$$

Espesor de Placa a Utilizar $t_r = 6.35\text{mm}$.

Cálculo del Cuarto Anillo

$$t_d = \frac{0.0005(1767.8)(429.5 - 30.48)l}{1410} + 0.16 = 0.41\text{cm}$$

Espesor de placa a utilizar $t_r = 6.35\text{mm}$. (Por ser el mínimo permitido).

Cálculo del Quinto Anillo

$$t_d = \frac{0.0005(1767.8)(246.6 - 30.48)l}{1410} + 0.16 = 0.295\text{cm.}$$

Espesor de placa a utilizar $t_r = 6.35\text{mm}$. (por ser el mínimo permitido).



Cálculo del Sexto Anillo

$$td = \frac{0.0005(1767.8)(63.7 - 30.48)l}{1410} + 0.16 = 0.18cm.$$

Espesor de placa a utilizar $t_r = 6.35mm$. (por ser el mínimo permitido).

5.2.2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL ESPESOR DEL FONDO

Espesor mínimo especificado en la tabla 2.1.

$$Sh = \frac{0.0005D(H - 30.48)G}{t}$$
$$Sh = \frac{0.0005(1767.8)(978.2 - 30.48)l}{0.794} = 1055Kg/cm^2$$

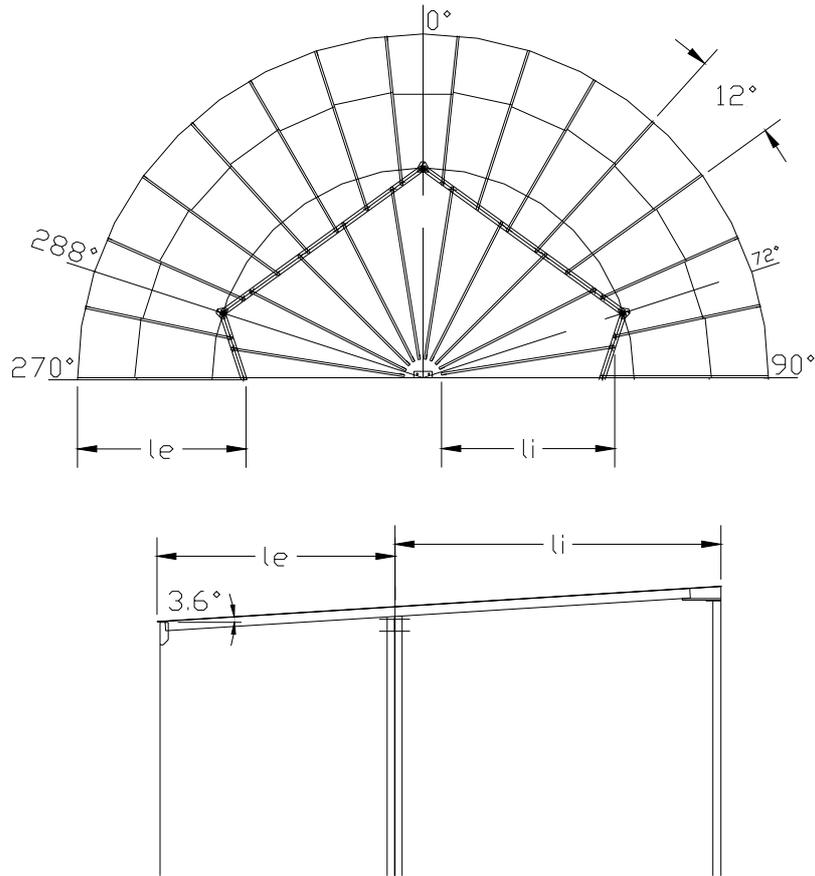
Espesor nominal a usar en el fondo = 7.95mm. (5/16")

5.3. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Debido a que el tanque tiene un diámetro considerable, el techo que se le colocará será cónico soportado.

Por especificación, el techo soportado tendrá un espesor de 4.76mm. ($37.4Kg/cm^2$) y una pendiente de 19:305 (3.6°). La estructura tendrá una geometría de acuerdo a lo siguiente:





Proponiendo un radio para el círculo donde se circunscribirá el pentágono de aproximadamente un tercio del radio nominal se determina el número de largueros para cada caso.

Larguero interior

Datos

$$D = 1,080\text{cm.}$$

$$N = 5$$

$$l = 167.6\text{cm}$$

$$n = \frac{ND\text{Sen}(360/2N)}{l} = \frac{5(1080)\text{Sen}(36)}{167.6} = 18.9$$

$$l = \frac{ND\text{Sen}(360/2N)}{n} = \frac{5(1080)\text{Sen}(36)}{20} = 158.7$$



Larguero exterior

Datos

$$D = 1,767.8\text{cm.}$$

$$N = 5$$

$$l = 191.5\text{cm.}$$

$$n = \frac{NDSen(360/2N)}{l} = \frac{5(1767.8)Sen(36)}{191.5} = 27$$

$$l = \frac{NDSen(360/2N)}{n} = \frac{5(1767.8)Sen(36)}{30} = 173.2$$

Se usarán 20 largueros del capitel al primer polígono (pentágono) con una separación de 158.7cm., y 30 largueros del polígono a la periferia del tanque con una separación de 1,732mm.

5.3.1. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS LARGUEROS

Largueros Exteriores

$$W' = 122 + 37.4 = 159.4\text{Kg} / \text{cm}^2$$

$$W = (W')(Am)$$

$$W = 159.4(1.262) = 201\text{Kg} / \text{m}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{Wl^2}{8} = \frac{201(4.48)^2}{8} = 504.26\text{Kg} - \text{m}$$

$$Z = \frac{M_{m\acute{a}x}}{8} = \frac{50426}{1265} = 39.86\text{cm.}$$

Largueros Interiores

$$W = 159.4\text{Kg} / \text{m}$$

$$W = 159.4(0.8255) = 131.58$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{Wl^2}{8} = \frac{131.6(5.41)^2}{8} = 481.46\text{Kg} - \text{m}$$

$$Z = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S} = \frac{48146}{1265} = 38.06\text{cm.}$$



Buscando un perfil que tenga un modulo de sección mayor y de un espesor mayor o igual en su alma que el especificado mas cualquier corrosión, se propone un CPS de 152 x 15.63 Kg/m con Z = 82.91 cm.

Larguero Exterior

$$We = 216.63Kg/m$$
$$M_{m\acute{a}x} = \frac{We l^2}{8} = \frac{216.63(4.48)^2}{8} = 543.48Kg - m$$

Largueros Interiores

$$Wi = 147.23Kg/m$$
$$M_{m\acute{a}x} = \frac{Wi l^2}{8} = \frac{147.23(5.41)^2}{8} = 538.64Kg - m$$
$$Z = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S} = \frac{54348}{1265} = 42.96cm.$$

Este perfil satisface ampliamente a ambos largueros.

5.3.2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE TRABES

$$W = (W'ln)/L = (216.63)(2.705)(10)/(6.348) = 923.1Kg/m$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wl^2}{8} = \frac{923.1(6.348)^2}{8} = 4649.78Kg - m$$
$$Z = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S} = \frac{464978}{1265} = 367.57cm.$$

Se selecciona una IPS de 254 x 37.8 Kg/m cuyo modulo de sección es 404.76 cm.

Considerando el peso propio del perfil:

$$W = 960.9Kg/m$$
$$M_{m\acute{a}x} = \frac{Wl^2}{8} = \frac{960.9(6.348)^2}{8} = 4840.18Kg - m$$
$$Z = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S} = \frac{484018}{1265} = 382.6cm.$$

Por lo que el perfil escogido satisface las necesidades



5.3.3. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COLUMNAS

$$P_i = Rl = n(Wl/2) = 20[(147.23)(5.41)]/2 = 7965.143Kg$$

$$P_e = Rt = n(Wl/2) = 2[(960.9)(6.348)]/2 = 6099.79Kg$$

$$l + 1032.26cm.$$

$$r = l/180 = 1032.26/180 = 5.734$$

Seleccionando un perfil compuesto por dos canales de 203 x 20.46 Kg/m y 152 x 15.63 Kg/m, unidas por espalda y patín con un radio de giro de 5.773cm. Y área de 46.9cm².

$$\delta_p = 1265 / (1 + [l^2 / (18000r^2)])$$

$$\delta_p = 1265 / (1 + [(1032.26)^2 / (18000 \times 5.773^2)])$$

$$\delta_p = 455.651kg / cm^2$$

$$\delta_p = P / a$$

$$a = P / \delta_p = 7965.143 / 455.651 = 17.48cm^2$$

$$L / r = 1032.26 / 5.773 = 178.87$$

$$C_{ma} = 5.15E / (L / r)^2$$

$$C_{ma} = 5.15(2.1 \times 10^6) / (178.87)^2$$

$$C_{ma} = 338Kg / cm^2$$

Por lo tanto:

$$a = P / C_{ma} = 7965.143 / 338 = 23.565cm^2$$

Con lo cual queda demostrado.

5.4. CÁLCULO POR SISMO

Datos:

$$Z = 0.375 \text{ (para zona sísmica "B").}$$

$$I = 1$$

$$WT = 2300000 Kg$$

$$D = 1767.8 cm$$

$$H = 937 cm$$



Masa Efectiva (de la Figura 4.2)

$$\begin{aligned}
 D/H &= 1.886 \\
 W_1/WT &= 0.6 \\
 W_2/WT &= 0.4 \\
 W_1 &= 1380000\text{Kg} \\
 W_2 &= 820000\text{Kg}
 \end{aligned}$$

Centroide de la Fuerza Sísmica (de la Figura 4.3)

$$\begin{aligned}
 X_1/H &= 0.38 \\
 X_2/H &= 0.61 \\
 X_1 &= 356.06 \\
 X_2 &= 571.57 \\
 C_1 &= 0.24
 \end{aligned}$$

Valor del Factor K (de la figura 4.4)

$$\begin{aligned}
 K &= 0.6 \\
 T = KD^{0.5} &= 0.6(1767.8)^{0.5} = 25.227 \\
 C_2 &= 1.35S/T^2
 \end{aligned}$$

De la tabla 4.4 S = 1.2

$$\begin{aligned}
 C_2 &= 1.35(1.2)/25.227^2 = 0.00254 \\
 W_s = AcWc &= 101.577(62.2 + 49.8x4) + 34.932(49.8) \\
 W_s &= 28291.8\text{Kg} \\
 Wr &= (D/\cos 3.6^\circ)^2 x 3.1416/4(37.4 + 122) = 41743\text{Kg} \\
 Ht &= 9.782\text{m} \\
 X_s &= 4.819 \\
 M &= 0.375(1) \left[\begin{aligned} &(0.24)(28291.8)(4.891) + (0.24)(41743)(9.782) + (0.24)(1380000)(3.56) \\ &+ (0.00254)(920000)(5.715) \end{aligned} \right] \\
 M &= 496363.52\text{Kg} - m \\
 Wt = W_s + Wr &= 30821 + 19237 = 50058\text{Kg}
 \end{aligned}$$

Compresión del Cuerpo

$$M/(D^2Wt) = 496363.52/[(17.678)^2(50058)] = 0.0317$$



$$b = 50058 + 12731m / D^2$$
$$b = 50058 + 12731(496363.52)/(17.678)^2 = 20270754.513Kg / m$$
$$0.0002228GHD^2 / t^2 = 10.68822$$

Compresión Máxima Permisible

$$Fa = 170676000t / D = 170676000(7.9)/1767.8 = 762722.25Kg / cm^2$$
$$fa = 2.02333b / t = 2.02333 \times 202707.54513 / 0.79$$
$$fa = 519169.9551Kg / cm^2$$

Por lo que el tanque se considera estructuralmente estable y no requiere anclas o incremento de espesores.

5.5 CÁLCULO POR VIENTO

$$M_{m\acute{a}x} = 88(18)(10.32)^2 / 2 = 84349.9Kg - m$$

Momento ocasionado por el viento a una velocidad de 161 Km/h que es la velocidad mínima a considerar ya que en Tlaxcala la velocidad del viento es de 105 Km/h con dirección norte-sur.

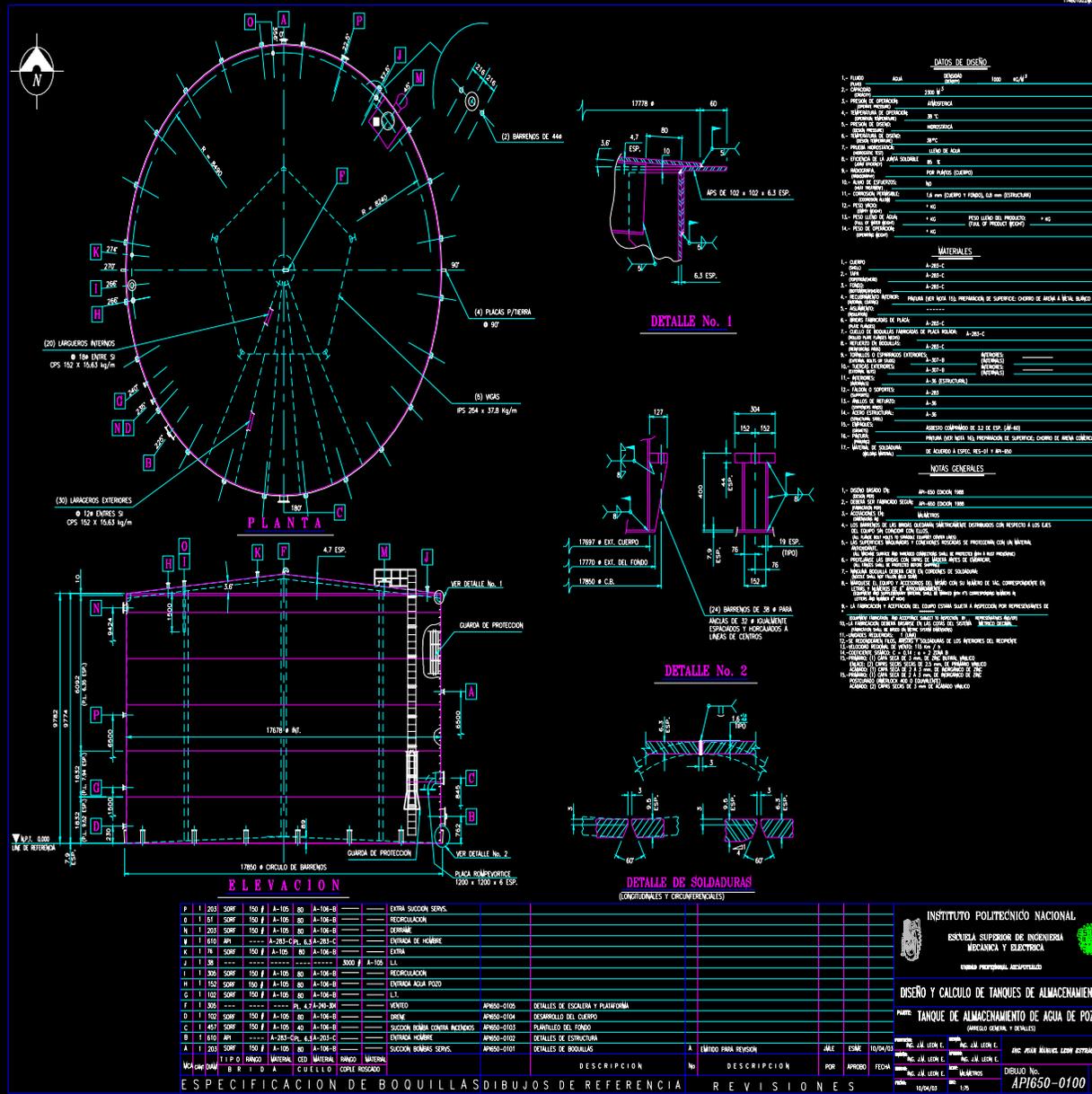
$$M = \frac{2}{3} \frac{WD}{2} = \frac{2}{3} \frac{39971.9(17.678)}{2}$$
$$W = 28291.8 + 11680$$
$$M = 235541.65Kg - m$$

Por lo que el tanque resiste satisfactoriamente la presión del viento.

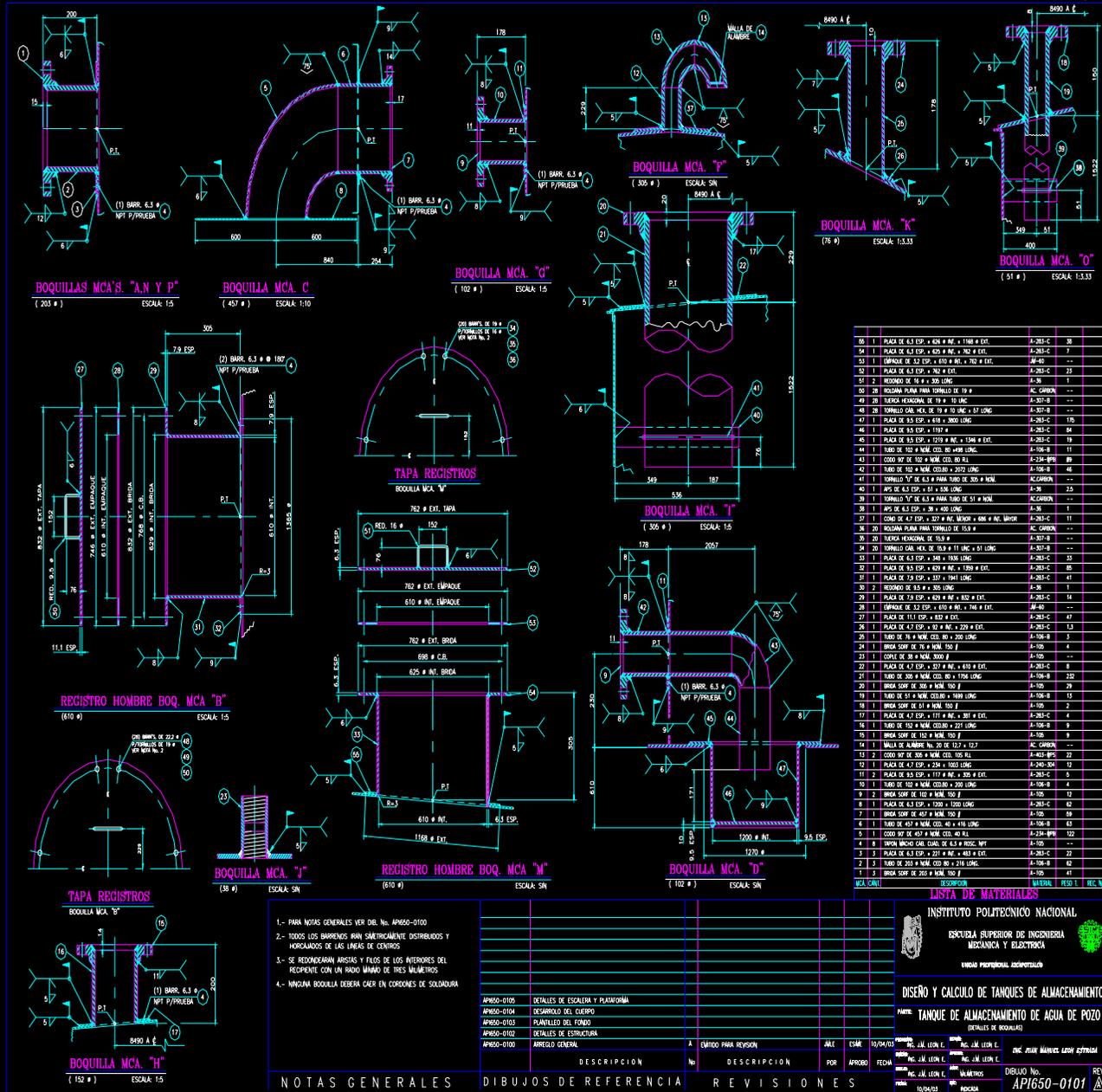
5.6. DIBUJOS DE REFERENCIA



Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento



Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento



LISTA DE MATERIALES

CANTIDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	REC. No.
01	PLACA DE 4.5 ESP. x 1000 x ANE. x 1000 # EXT.	A-2031-C	38
02	PLACA DE 4.5 ESP. x 650 x ANE. x 700 # EXT.	A-2031-C	7
03	LÁMINA DE 3.2 ESP. x 610 # ANE. x 700 # EXT.	AP-40	--
04	PLACA DE 4.5 ESP. x 700 # EXT.	A-2031-C	23
05	2 ALICATORIO DE 10 # x 200 LONG.	A-100-B	1
06	20 BOLSINA PLANA PARA TORNILLO DE 19 #	AC CARBONA	--
07	20 TIERRA HENACIMAL DE 10 # 10 LINC	A-307-B	--
08	20 TORNILLO CAL. DE 10 # 10 ANE. x 57 LONG.	A-307-B	--
09	PLACA DE 4.5 ESP. x 610 # ANE. x 700 LONG.	A-2031-C	13
10	PLACA DE 4.5 ESP. x 1100 #	A-2031-C	84
11	PLACA DE 4.5 ESP. x 210 # ANE. x 150 # EXT.	A-2031-C	19
12	FLOJO DE 10 # 10 ANE. CDO. DE 400 LONG.	A-100-B	17
13	1 CODO 90° DE 10 # 10 ANE. CDO. 10 # 10	A-214-99#	89
14	1 TUBO DE 10 # 10 ANE. CDO. DE 200 LONG.	A-100-B	46
15	1 APDO DE 4.5 ESP. x 650 # PARA TUBO DE 300 # NOM.	AC CARBONA	--
16	1 APDO DE 4.5 ESP. x 610 # ANE. x 500 LONG.	A-2031-C	23
17	1 TORNILLO "T" DE 4.5 # PARA TUBO DE 51 # NOM.	AC CARBONA	--
18	1 APDO DE 4.5 ESP. x 30 # x 400 LONG.	A-36	1
19	1 CODO DE 4.5 ESP. x 650 # ANE. CDO. DE 400 # ANE. CDO. DE 400 # ANE. CDO. DE 400 # ANE.	A-2031-C	11
20	20 BOLSINA PLANA PARA TORNILLO DE 19 #	AC CARBONA	--
21	20 TIERRA HENACIMAL DE 10 #	A-307-B	--
22	20 TORNILLO CAL. DE 10 # 11 LINC. x 51 LONG.	A-307-B	--
23	PLACA DE 4.5 ESP. x 820 # ANE. x 1500 LONG.	A-2031-C	35
24	PLACA DE 4.5 ESP. x 820 # ANE. x 1500 # EXT.	A-2031-C	85
25	PLACA DE 7.0 ESP. x 337 # 1041 LONG.	A-2031-C	47
26	20 ALICATORIO DE 10 # x 200 LONG.	A-100-B	1
27	PLACA DE 7.0 ESP. x 820 # ANE. x 850 # EXT.	A-2031-C	14
28	LÁMINA DE 3.2 ESP. x 610 # ANE. x 700 # EXT.	AP-40	--
29	PLACA DE 11.1 ESP. x 450 # EXT.	A-2031-C	47
30	PLACA DE 4.5 ESP. x 70 # ANE. x 200 # EXT.	A-2031-C	13
31	TUBO DE 76 # 10 ANE. CDO. DE 200 LONG.	A-100-B	3
32	1 BOLA SUEDE DE 10 # NOM. 100 #	A-100	4
33	1 CODO DE 4.5 ESP. x 610 # ANE. x 610 # EXT.	A-2031-C	8
34	1 TUBO DE 300 # NOM. CDO. DE 1700 LONG.	A-100-B	232
35	1 BOLA SUEDE DE 200 # NOM. 100 #	A-100	29
36	1 TUBO DE 4.5 ESP. x 110 # ANE. x 200 # LONG.	A-100-B	9
37	1 BOLA SUEDE DE 51 # NOM. 100 #	A-100	2
38	PLACA DE 4.5 ESP. x 110 # ANE. x 301 # EXT.	A-2031-C	4
39	1 TUBO DE 10 # 10 ANE. CDO. DE 210 LONG.	A-100-B	9
40	1 BOLA SUEDE DE 10 # NOM. 100 #	A-100	9
41	1 MALLA DE ALAMBRE No. 20 DE 127 x 127	AC CARBONA	--
42	1 CODO 90° DE 10 # 10 ANE. CDO. 100 #	A-214-99#	22
43	1 PLACA DE 4.5 ESP. x 110 # 1000 LONG.	A-2031-C	15
44	1 PLACA DE 4.5 ESP. x 117 # ANE. x 300 # EXT.	A-2031-C	5
45	1 TUBO DE 10 # 10 ANE. CDO. DE 200 LONG.	A-100-B	4
46	1 BOLA SUEDE DE 10 # NOM. 100 #	A-100	12
47	PLACA DE 4.5 ESP. x 1000 x 1000 LONG.	A-2031-C	42
48	1 BOLA SUEDE DE 40 # NOM. 100 #	A-100	69
49	1 TUBO DE 10 # 10 ANE. CDO. DE 200 LONG.	A-100-B	63
50	1 CODO 90° DE 4.5 # 10 ANE. CDO. 40 # 10	A-214-99#	152
51	1 TIERRA HENACIMAL CAL. DE 6.5 # HOSCO NPT	A-100	--
52	3 PLACA DE 4.5 ESP. x 201 # ANE. x 483 # EXT.	A-2031-C	22
53	1 TUBO DE 10 # 10 ANE. CDO. DE 210 LONG.	A-100-B	9
54	1 BOLA SUEDE DE 200 # NOM. 100 #	A-100	47

- NOTAS GENERALES**
- 1.- PARA NOTAS GENERALES VER DEL. No. AP650-0100
 - 2.- TODOS LOS BARRIDOS DEBEN SER DISTRIBUIDOS Y HORIZALES EN LAS LINEAS DE CURVAS
 - 3.- SE REDONDEARÁN ARISTAS Y FILAS DE LOS INTERIORES DEL RECINTO CON UN RADIO MÍNIMO DE TRES MILÍMETROS
 - 4.- NINGUNA BOQUILLA DEBERÁ CAER EN COROONES DE SOLDADURA

DIBUJOS DE REFERENCIA

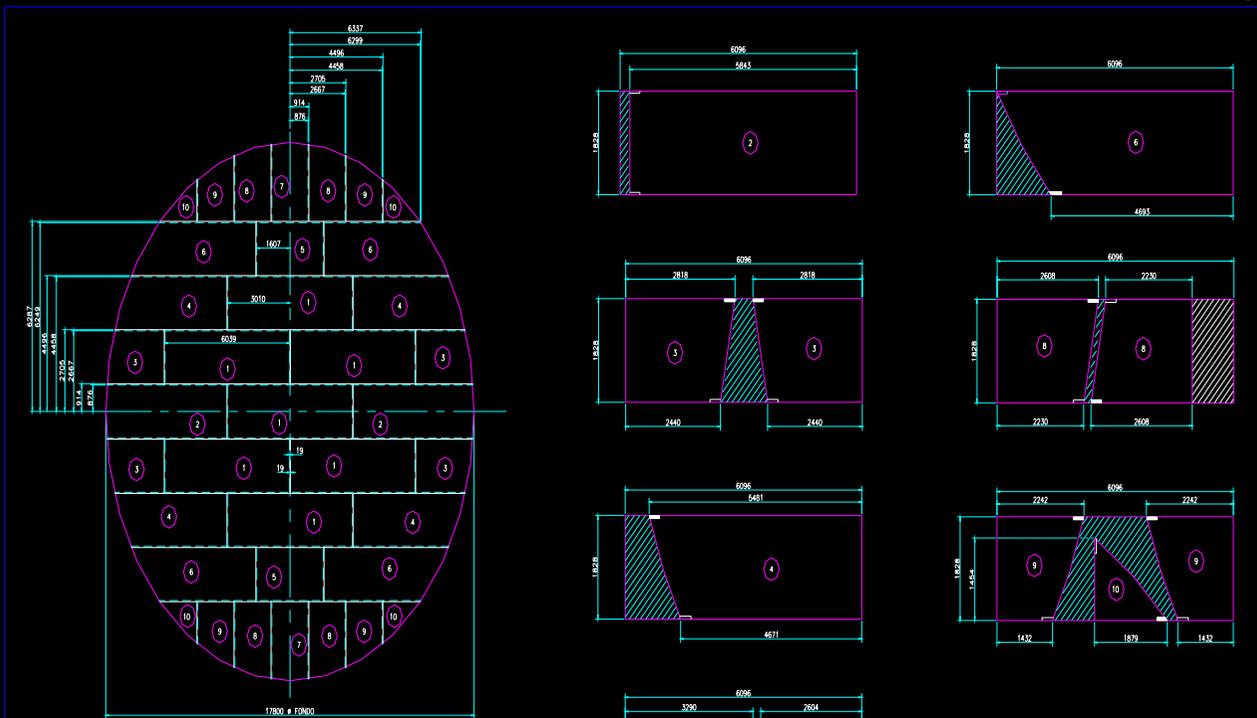
APROBADO	DETALLE	DESCRIPCION
APROBADO-0105	DETALLES DE ESCALERA Y PLATAFORMA	
APROBADO-0104	DESARROLLO DEL CUERPO	
APROBADO-0103	PLÁNTULO DEL FONDO	
APROBADO-0102	DETALLES DE ESTRUCTURA	
APROBADO-0100	ARREGLO GENERAL	

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
 UNIDAD PROFESIONAL ACAPULTECO
DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO
 TÍTULO: TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE POZO
 (DETALLE DE BOQUILLAS)

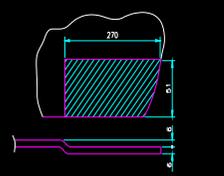
FECHA: 10/04/03
 DISEÑADOR: J.C. LEÓN E.
 REVISOR: J.C. LEÓN E.
 INGENIERO: J.C. LEÓN E.
 INGENIERO: J.C. LEÓN E.
 INGENIERO: J.C. LEÓN E.

REVISIÓN: 01
 DESCRIPCIÓN: []
 POR: []
 FECHA: 10/04/03

DIBUJO No. **API650-0101**



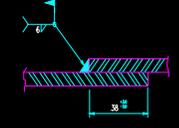
PLANTILLO DEL FONDO
ESC: 1/75



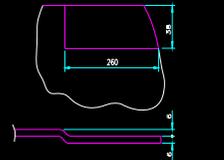
DETALLE DE BAYONETA HEMBRA
ESC: 1/2



ENSAMBLE DE BAYONETAS
ESC: 1/50



DETALLE DE TRASLAPES
SIN ESC.



DETALLE DE BAYONETA MACHO
ESC: 1/2

□ BAYONETA MACHO ▨ BAYONETA HEMBRA

- NOTAS GENERALES**
- 1.- LISTA DE MATERIALES PARA UN EQUIPO (SE REQUEREN 1400).
 - 2.- LAS PIEZAS SERAN MARCADAS CON LETRA DE 8" CON EL NUMERO DE PARTIDA E JEM ANTES DE ENVIARSE A CAMPO.
 - 3.- TODAS LAS PLACAS SERAN CORTADAS Y PRESENTADAS EN TALLER PARA HACER LAS PEG DE REFERENCIA.
 - 4.- LAS PLACAS DEL FONDO SERAN CORTADAS CON UN RADIO DE 6900.

CANT.	DESCRIPCION	MATERIAL	PESO L.	REC. No.
10	4 PLACA DE 7.9 ESP. x 1454 x 1879 UG.	A-285-C	650	
7	4 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 2523 UG.	A-285-C	1021	
8	4 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 2628 UG.	A-285-C	1188	
7	2 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 2651 UG.	A-285-C	804	
6	4 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 2244 UG.	A-285-C	2774	
5	2 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 2559 UG.	A-285-C	769	
4	4 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 5481 UG.	A-285-C	2496	
3	4 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 2818 UG.	A-285-C	1703	
2	2 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 6069 UG.	A-285-C	1211	
1	7 PLACA DE 7.9 ESP. x 1029 x 6888 UG.	A-285-C	4664	

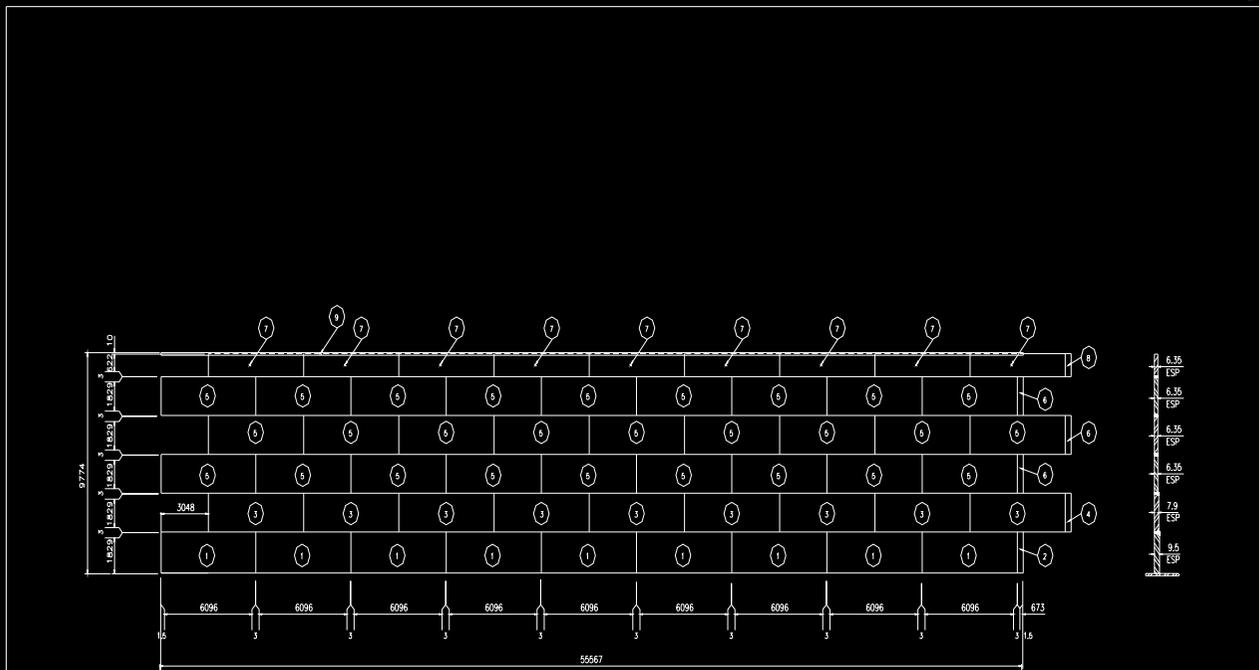
LISTA DE MATERIALES

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA
MECANICA Y ELECTRICIDAD
UNIDAD PROFESIONAL CECYTESO

DISEÑO Y CALCULO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO
PARTE: **TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE POZO**
(PLANTILLO DEL FONDO)

APROBADO	DESCRIPCION	No.	FECHA	APROBADO	DESCRIPCION	No.	FECHA

REVISOR	FECHA	REVISOR	FECHA



DESARROLLO DEL CUERPO

NO.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PRECIO	REC. No.
1	ANGULO DE 6.35 ESP. x 102 x 102 x 6000 LONG.	A-36	549	
2	PLACA DE 6.35 ESP. x 102 x 775 LONG. (ALGUNA)	A-285-C	22	
3	PLACA DE 6.35 ESP. x 102 x 6096 LONG.	A-285-C	1770	
4	PLACA DE 6.35 ESP. x 102 x 775 LONG. (ALGUNA)	A-285-C	2212	
5	PLACA DE 6.35 ESP. x 102 x 6096 LONG.	A-285-C	1492	
6	PLACA DE 7.8 ESP. x 102 x 775 LONG. (ALGUNA)	A-285-C	93	
7	PLACA DE 7.8 ESP. x 102 x 6096 LONG.	A-285-C	6247	
8	PLACA DE 3.5 ESP. x 102 x 775 LONG. (ALGUNA)	A-285-C	100	
9	PLACA DE 3.5 ESP. x 102 x 6096 LONG.	A-285-C	7020	

LISTA DE MATERIALES



DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

PARTE: TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE POZO

1.- LISTA DE MATERIALES PARA UN EQUIPO (SE REQUIEREN LINDO)
 2.- LAS PIEZAS SERÁN MARCADAS CON LETRA DE 8° CON EL NÚMERO DE PARTIDA E DEM ANTES DE ENVIARSE A CAMPO.

APROBADO	DETALLE DE ESCALERAS Y PLATAFORMA				
	PLANTEO DEL FONDO				
	DETALLES DE ESCUDERÍA				
	DETALLES DE BOMBILLAS				
	ARREGLO GENERAL	A	ÚNICO PARA REVISIÓN	JALÉ	CONSE
	DESCRIPCIÓN	No.	DESCRIPCIÓN	POR	APROBADO

REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	APROBADO
1	10/04/03		

NOTAS GENERALES DIBUJOS DE REFERENCIA REVISIONES DEBILDO No. API650-0104 REV.

Bibliografía

Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión

Juan Manuel León Estrada

Edición 1994

México D.F.

Process Equipment Desing

Lloyd E. Brawnell.

Edwin H. Young

Editorial John Wiley y Sons

Edición 1959

U.S.A.

Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo.

Eugene F. Megyesy

Editorial Limusa-Noruega.

Séptima Edición

México, D. F.

Procedimiento General para la Fabricación y Montaje de Tanques de Almacenamiento.

Juan Ceja Rodríguez - Contratista

Edición 1980

Tampico, Tamps.

Welded Steel Tanks for oil Storage(API 650)

Publicación de la American Petroleum Institute.

Octava Edición, Noviembre de 1988

Washington, D.C.

