



10
2ij
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"

REQUISITOS ESPECIFICOS PARA EL
DISEÑO Y FABRICACION DE TANQUES
DE ALMACENAMIENTO ATMOSFERICOS

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:

CARLOS NAVARRETE SALDAÑA

MEXICO, D.F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

=====

	PAGINA
INTRODUCCION	1
OBJETIVO	4
CAPITULO I. GENERALIDADES	5
I.1 TIPO DE RECIPIENTES	6
I.2 CAMPO DE APLICACION	11
I.3 LIMITACIONES	12
I.4 DEFINICION DE TERMINOS	13
CAPITULO II. MATERIALES	20
II.1 INTRODUCCION	21
II.2 PLACAS	22

	PAGINA
II.3 LAMINAS	28
II.4 ELECTRODOS	29
II.5 TUBOS Y FORJAS	31
II.6 TORNILLOS	35
II.7 PERFILES ESTRUCTURALES	37
 CAPITULO III DISEÑO	 39
III.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO	40
III.2 DATOS DE DISEÑO	41
III.3 DETERMINACION DE ESPESORES EN EL FONDO .	42
III.4 DETERMINACION DE ESPESORES EN LA ENVOLVENTE	43
III.5 DISEÑO DE TECHOS AUTOSOPORTADOS	47
III.6 DISEÑO DE TECHOS SOPORTADOS	50
III.7 ANALISIS SISMICO	69

	PAGINA
III.8 TANQUES ANCLADOS	77
III.9 EJEMPLO DE APLICACION	80
CAPITULO IV. FABRICACION	103
IV.1 SIMBOLOS DE SOLDADURA	104
IV.2 FABRICACION DE LA ENVOLVENTE	106
IV.3 FABRICACION DEL FONDO	111
IV.4 FABRICACION DEL TECHO	116
IV.5 ESTRUCTURA EN TECHOS SOPORTADOS	119
CONCLUSIONES	125
BIBLIOGRAFIA	134

INTRODUCCION

=====

Debido al auge que ha tenido el Petróleo en nuestro país, y aún cuando su precio ha tenido una baja considerable a nivel internacional, día a día se hace más necesario conocer el diseño de todos los equipos que son parte integral de una refinería o planta petroquímica.

Anteriormente la mayor parte de la ingeniería, materiales y una parte de la mano de obra se tenían que importar de los países más avanzados tecnológicamente, ya que en nuestro país no se contaba con una infraestructura de recursos humanos con la experiencia necesaria para elaborar la ingeniería básica y de detalle de las plantas para el proceso del petróleo, razón por la cual se hizo indispensable la creación del Instituto Mexicano del Petróleo, el cual entre sus principales objetivos esta el evitar la fuga de divisas por concepto de compra de tecnología. Aunque en un principio fue difícil su creación, se adoptó la plantilla administrativa de una empresa americana con la cual logró subsistir, y ahora con un poco más de 20 años de experiencia ha logrado dominar casi todas las áreas de la Industria Petrolera, así lo demuestran las plantas que han sido diseñadas y construidas en el país, además de algunos otros proyectos que se han desarrollado para el extranjero, principalmente para los países del Sur de América.

Debido a la necesidad de subsistencia originada por la crisis petrolera, hace tiempo se inició una nueva etapa, en la cual se está tratando de lograr un respaldo tecnológico no solo para la industria petrolera, sino también para otras áreas de la industria nacional.

La economía mexicana actual se encuentra en una gran crisis económica, así se ha manifestado a lo largo de los últimos años, - sin embargo, es necesario finalizar los proyectos petroleros - que de alguna forma representan ganancias a corto plazo, o - que están relacionados con la política de exportaciones. Todos - estos proyectos y todas las plantas existentes, así como las - instalaciones de almacenamiento, recibo y embarque que se - encuentran distribuidas en el territorio nacional, cuentan con - recipientes, ya sea, para proceso, o almacenamiento de petróleo y sus derivados, es por ello que el presente trabajo está enfocado a la ingeniería de recipientes y específicamente a los tanques de almacenamiento atmosféricos de techo fijo.

En el primer capítulo se da una breve descripción de la clasificación y de los tipos de recipientes que se utilizan para procesar o almacenar productos en la industria del petróleo, y al final de este capítulo se definen los términos más importantes que son utilizados o de alguna forma se encuentran relacionados con el diseño y la fabricación de los tanques de almacenamiento atmosféricos de techo fijo.

En el capítulo II se muestran los requisitos químicos y mecánicos que deben cumplir los materiales utilizados en la fabricación de tanques de almacenamiento, así mismo se mencionan las especificaciones de la ASTM que son aceptadas para este fin, en forma de placas, láminas, tuberías, forjas y perfiles estructurales, por otra parte se muestra la forma en la que son seleccionadas las cédulas de los cuellos de boquillas, así como los electrodos utilizados para la unión de aceros al carbón y aleados en el proceso de soldadura de los elementos del tanque.

En el capítulo III se mencionan las consideraciones generales para efectuar el diseño de los componentes más importantes, como son:

Espesores del fondo.
Espesores de la envolvente
Espesores del techo.

En el diseño de techos se indica forma en que se diseña un techo autosoportado y uno soportado, así como el diseño de cada elemento que conforma la estructura de soporte del mismo, éstos son, trabes, largueros, columnas; analizádoslos y eligiéndolos cada uno por separado.

Posteriormente se muestra el análisis sísmico en el cual se determinan las fuerzas a las que pueden estar sujetos estos tanques, involucrando las 4 diferentes zonas sísmicas existentes en la República Mexicana, al final de este capítulo se hace un ejemplo de aplicación del diseño de un tanque de almacenamiento atmosférico con techo soportado, de acuerdo con el procedimiento considerado en el capítulo III.

En el último capítulo se indica la forma en que deben fabricarse cada uno de los elementos del tanque, y entre los puntos más importantes que se mencionan tenemos los siguientes:

Envolvente. Se indica la forma en que deben estar distribuidas las placas del fondo, mostrando a detalle los sumideros en el fondo y la forma de unión de cada uno de los elementos estructurales de los techos soportados.

Para finalizar se da una serie de conclusiones en las que se hace incapié a los detalles de mayor importancia, los cuales serán tratados en este trabajo.

OBJETIVO

=====

El presente trabajo tiene como objetivo primordial establecer los requisitos mínimos que se deben satisfacer en el diseño, así como en la selección de materiales, y en la fabricación de los tanques de acero cilíndricos verticales de un eje de revolución, que descansan sobre el terreno, cerrados en su parte superior con un techo fijo, y que operan a presiones atmosféricas.

CAPITULO I. GENERALIDADES.

I.1. TIPO DE RECIPIENTES.

La ingeniería de recipientes ha llegado a ser una especialidad en la cual convergen varios conocimientos que son afines a las distintas ramas de la ingeniería como son: Materiales, mecánica hidráulica, química, corrosión, sustancias manejadas etc.

Existe una gran variedad de recipientes y éstos son seleccionados de acuerdo a las necesidades y características de la planta, así pues para almacenar agua se tiene una gran diversidad de formas, los autotanques y los carros tanques nos muestran un tipo de recipiente, los almacenadores de grano, los tanques de concreto, los tanques de baja presión, tanques de alta presión, reactores, etc.

Los tipos más comunmente usados se pueden considerar como recipientes abiertos o cerrados.

Los recipientes cerrados manejan fluidos tales como: combustibles tóxicos u ofensivos, gases, así pues los productos derivados del Petróleo necesariamente requieren el uso de recipientes cerrados los cuales a su vez pueden dividirse en:

- a) Tanques atmosféricos. Este tipo de tanques normalmente operan a presiones atmosféricas y su principal objetivo es almacenar grandes volúmenes de crudo o de sus derivados.

Dentro de esta división se puede hacer otra subdivisión, - de acuerdo a su tipo de techo:

Tanques de techo fijo.- El más simple es el de techo cónico el cual puede ser soportado o autosoportado, esto depende de las necesidades y/o requerimientos de proceso.

Las dimensiones de estos tanques pueden llegar hasta - - 54.8 m (180ft) de diámetro y 14.63 m (48ft) de altura.

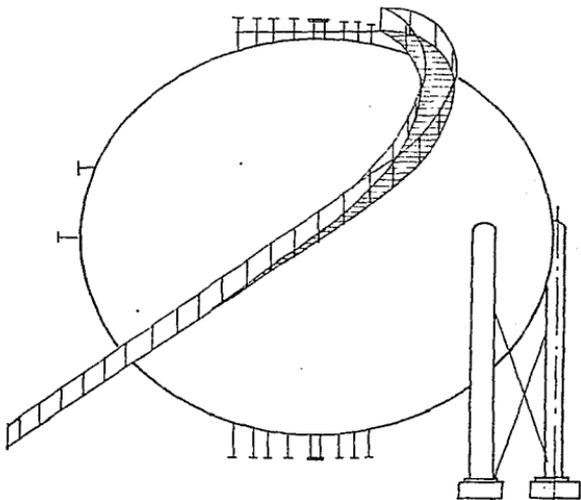
Los tanques de techo soportado no requieren de estructura interna debido a que para su diseño se considera el espesor de la placa del techo, así como el ángulo formado entre el techo y la horizontal, por tanto haciendo una variación o combinación de ambos se puede determinar si el techo requiere o no de estructura interna.

Los techos soportados requieren de estructura interna - debido a su diámetro y a la pendiente, esta estructura - del techo se hace más compleja conforme se incrementa el diámetro del tanque debido a que se requiere diseñar todos los elementos mas críticos de la estructura.

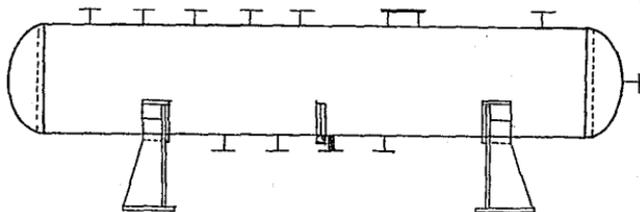
Tanques de techo flotante.- Este es otro de los tanques de almacenamiento y su objetivo principal es el de reducir al mínimo las pérdidas por evaporación, ya sea mante niendo constante, o eliminado el espacio de vapor por en cima del líquido almacenado. La envolvente y el fondo de este tipo de tanques son diseñados y construidos en forma similar a los de un tanque de techo cónico, y los techos flotantes están diseñados para flotar en la superficie del líquido almacenado.

- b) Recipientes a presión.- Son aquéllos que operan a una - presión mayor a la atmosférica y entre ellos se pueden - mencionar los siguientes:

Tanques de almacenamiento de baja presión.- Se utiliza - para almacenar algunos derivados del Petróleo donde se - requieren condiciones de presión poco mayor a la presión atmosférica, su configuración es cilíndrica en forma vertical, con fondo plano y techo abombado.

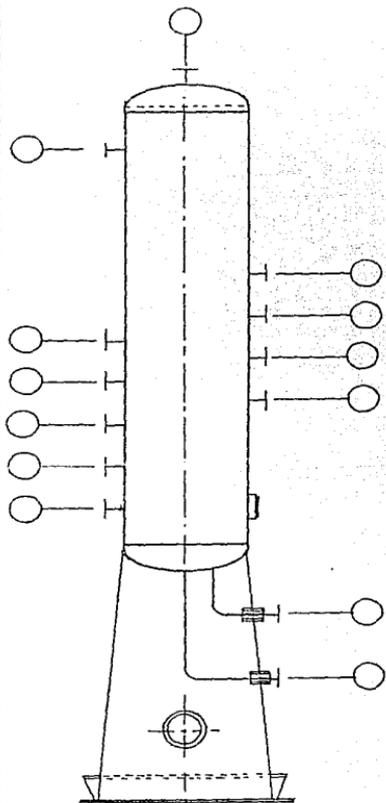


RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO
A PRESION ESFERICO

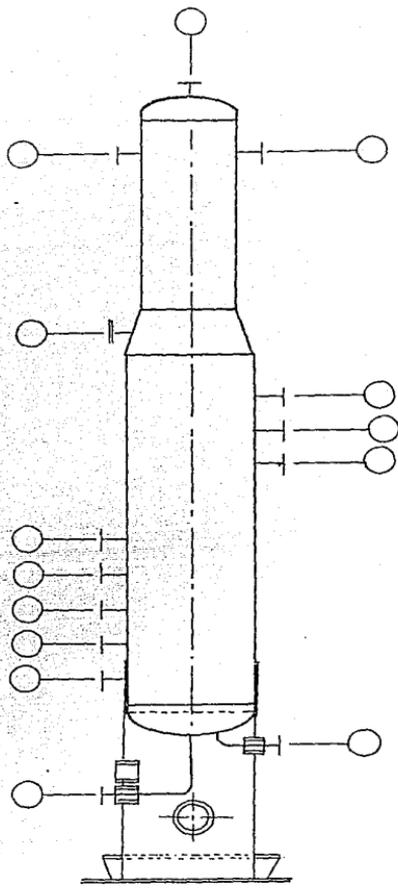


RECIPIENTE HORIZONTAL A PRESION

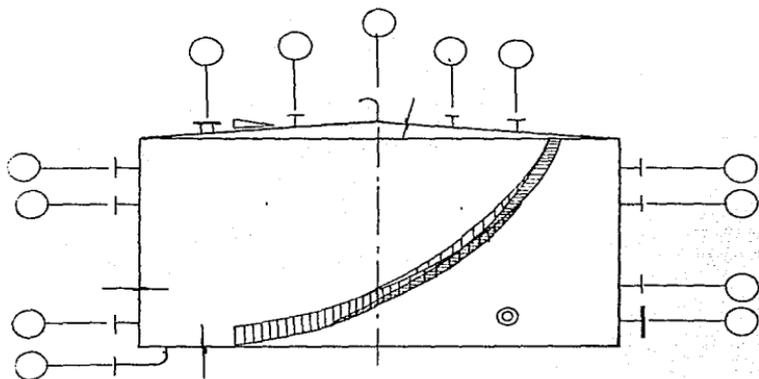
RECIPIENTES A PRESION VERTICALES



UNA SECCION

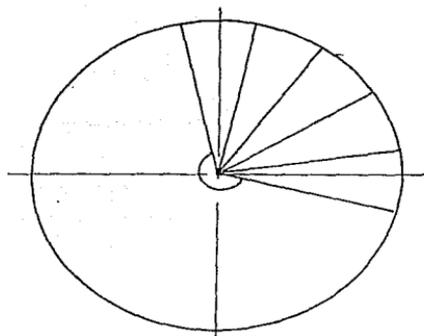
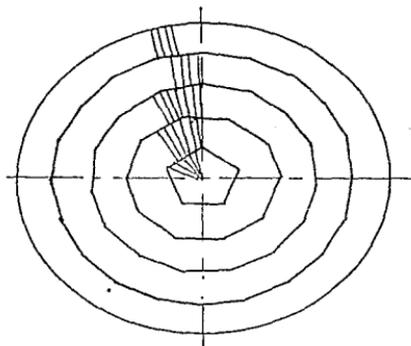


VARIAS SECCIONES



TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFERICOS DE
TECHO FIJO

ESTRUCTURAS DE SOPORTE PARA TECHOS



Tanques de proceso.- Se requieren en todas las plantas petroquímicas y de refinación con el fin de llevar a cabo algunos de los 3000 derivados del Petróleo, su configuración es cilíndrica y pueden ser verticales o horizontales y por lo general tienen las tapas abombadas, las cuales pueden ser torisféricas, semielípticas, hemisféricas o planas.

Esferas.- Se utilizan en plantas de almacenamiento donde se pretende almacenar gases a temperaturas criogénicas.

Reactores.- Una de las características de los reactores son los grandes espesores de pared con que son diseñados, debido a las altas temperaturas que se presentan durante la descomposición de las estructuras moleculares de las sustancias, y su configuración puede ser cualquiera de las variantes de un tanque de proceso.

I.2. CAMPO DE APLICACION.

Este trabajo puede ser utilizado como una guía en el diseño, la selección de materiales y la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos con cúpula fija para la industria Petrolera Mexicana.

No se pretende establecer una serie fija de tamaños y capacidades, sin embargo, Petróleos Mexicanos maneja ciertas dimensiones estándar de acuerdo a la capacidad nominal, las cuales se muestran en la tabla I.1.

TABLA PARA DIMENSIONES ESTANDAR DE PEMEX

CAPACIDAD .

NOMINAL BLS	R E A L		DIAMETRO	ALTURA	PESO VACIO
	BLS	M ³	METROS	METROS	TONELADAS
500	502	79.89	4.572	4.877	6
1000	1011	160.80	6.096	5.486	9
1500	1495	237.73	6.477	7.315	11
2000	2019	321.09	7.468	7.315	13
3000	3028	481.48	9.144	7.315	16
5000	5043	801.88	9.652	10.973	22
10000	10105	1606.78	12.954	12.192	39
15000	15036	2390.70	17.678	9.754	58
20000	20359	3237.03	18.288	12.192	78
30000	30083	4783.17	22.352	12.192	111
40000	39930	6348.91	25.908	12.192	144
55000	55940	8894.54	30.480	12.192	190
80000	80560	12808.98	36.576	12.192	274
100000	100438	15969.66	40.843	12.192	345
150000	149111	23708.63	45.720	14.630	456
200000	214713	34139.43	54.864	14.630	723

TABLA I. 1.

I.3. LIMITACIONES.

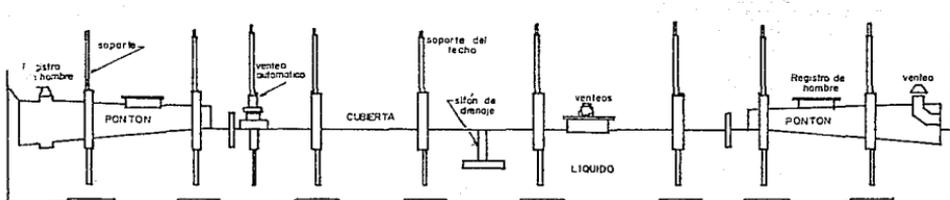
=====

Quedan fuera del alcance los tanques de almacenamiento que tra-
bajen a una presión diferente a la atmosférica, por pequeña -
que ésta sea; así mismo queda excluido el diseño de techos flo-
tantes, y tanques de almacenamiento abiertos.

- a) Techo flotante tipo pontón.- Este tipo de techo consiste en un pontón angular seccionado y una cubierta simple que es unida al borde interior del pontón.

Este tipo de techo fue desarrollado para proporcionar mayor estabilidad de flotación. Además proporciona un medio aislante para la superficie del líquido y reduce la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los períodos en que la temperatura ambiente es alta.

TECHO FLOTANTE TIPO PONTON



- b) Techo autosoportado.- Este tipo de techo está conformado de placa, su forma es cónica y el ángulo formado con la horizontal puede variar entre los 10° y 37°. Su característica principal es que no tiene ninguna estructura de soporte.

- c) Techo soportado.- Este techo tiene como mínimo una columna central y una serie de largueros espaciados en el diámetro nominal del tanque, conforme se incrementa el diámetro nominal del tanque la estructura de soporte se hace más compleja debido a que se requieren otros elementos de soporte para las placas del techo, y su ángulo formado con la horizontal puede variar entre los 3.57° y los 10° .

Proceso de soldadura:

Existe un gran número de procesos de soldadura y cada uno tiene aplicaciones específicas, éstos están restringidos de acuerdo con las condiciones que se tienen al unir los materiales, en nuestro caso sólo se mencionan los procesos que son empleados en la fabricación de tanques de almacenamiento.

- a) Soldadura con arco metal protegido.- Es el proceso donde la unión es producida por el calentamiento mediante un arco eléctrico, entre el electrodo metálico cubierto y el metal de base, la protección de la soldadura es producida por la descomposición de la cubierta del electrodo. En éste el metal de aporte es obtenido del electrodo.
- b) Soldadura con oxiacetileno. Proceso de soldadura con gas en donde la fusión se obtiene mediante el calentamiento con una o más flamas de gas, obtenidas de la combustión del acetileno con el oxígeno y con o sin la aplicación de presión .

Materiales.

- a) Lámina y placa, materiales producto de la laminación - de forma generalmente rectangular cuya diferencia principal se basa en el espesor de acuerdo a lo siguiente:

Lámina: Espesor hasta 5mm (3/16")

Placa : Espesor mayor a 5mm (3/16")

- b) Forja.- Es la deformación violenta de los metales por golpeo o presión.

Términos Generales.

- a) Espesor de Pared.

- 1.- Espesor requerido. Es el calculado mediante las fórmulas antes de adicionarse corrosión.
- 2.- Espesor de diseño. Es la suma del espesor requerido más el espesor por corrosión.
- 3.- Espesor nominal. Es el espesor seleccionado entre los comercialmente disponibles.
- 4.- Espesor de pared después de fabricado el tanque. - Debe ser mayor o igual al espesor de diseño.

Tipos de Soldadura.

Los tipos de soldadura que se mencionan a continuación son los que se utilizan en la fabricación de tanques de almace

namiento atmosféricos de cúpula fija, y son aplicados a uniones de placa, lámina y perfiles estructurales.

- a) Soldadura en junta a tope.- Es la soldadura que se deposita en la ranura entre dos elementos situados en el mismo plano y cuyos bordes quedan en contacto. Los bordes pueden ser rectangulares en V, U o J (Simple o doble).
- b) Soldadura de filete.- Soldadura que tiene sección transversal aproximadamente triangular y que une dos superficies situadas aproximadamente en ángulo recto como en juntas en T, esquina o traslape.
- c) Soldadura de filete completo.- Soldadura de filete cuyo tamaño es igual al espesor de la pieza más delgada a unir.
- d) Soldadura por puntos o provisional.- Es aquella soldadura que se utiliza para mantener alineados los elementos a unir mientras se soldan definitivamente.

Términos referentes a la soldadura.

- a) Fusión. Es el efecto de fundir simultáneamente el metal de aporte y el metal de base, o únicamente este último por lo cual resulta la unión de las partes.
- b) Garganta de filete.

- 1.- Teórica. Distancia perpendicular a la hipotenusa, - desde donde principia la raíz hasta la cara de la - soldadura del mayor triángulo que pueda ser inscrito en la sección transversal de la soldadura de filete.
 - 2.- Real. Distancia más corta desde la raíz de una soldada dura de filete hasta su cara.
-
- c) Metal de base. Metal para ser soldado o cortado.
 - d) Metal de aporte. Metal que es adicionado en la fabricación, durante el proceso de soldadura.
 - e) Metal de soldadura. Metal que se ha fundido durante el - proceso.
 - f) Penetración en la junta. Profundidad mínima de una soldada dura de ranura cuya longitud se mide desde la cara hacia la interior de la junta, excluyendo el refuerzo.
 - g) Refuerzo de soldadura. Metal de soldadura sobre la cara de una soldadura de ranura en exceso del metal necesario para el tamaño especificado de la soldadura .
 - h) Respaldo. Material que sirve como soporte para depositar metal de aporte y facilitar tanto la operación de soldado la obtención de una soldadura sana en la raíz.

- i) Soldadura. Fusión localizada de metales producida -
por calentamiento a temperaturas apropiadas, con o -
sin aplicación de presión, y con o sin uso de metal
de aporte. Cuando se utiliza metal de aporte, este -
debe tener más o menos el mismo punto de fusión que
el metal de base.

CAPITULO II. MATERIALES.

II.1. INTRODUCCION:

=====

Cuando se habla de materiales se pretende establecer que son todos aquellos que se utilizan en la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos y entre ellos están: Placas, Láminas, tornillería, perfiles, electrodos, bridas, tubos, cuellos de boquillas etc.

En el presente capítulo se plantean los requisitos que deben cubrir dichos materiales así daremos a conocer aquellos que son aceptados para la fabricación de los tanques de almacenamiento atmosféricos, debido a que estos están regidos por normas y códigos y en nuestro caso; la American Society Testing Materials (ASTM) y la American Welding Society (AWS) son las máximas autoridades en lo que se refiere a materiales y electrodos respectivamente.

Los materiales más utilizados en la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos de Petróleo y sus derivados son usualmente de acero al carbono, aunque también se emplean otros materiales, tales como aceros aleados, metales con recubrimientos, lo cual va a depender de que tan corrosivo sea el líquido almacenado, sin embargo en la selección de materiales no se debe perder de vista el factor económico, ya que se debe seleccionar un material que cubra los requisitos de las condiciones de servicio; requisitos de especificaciones tales como; esfuerzos, restricciones, corrosión, dimensiones y que además minimice el costo por concepto de materiales.

II.2. PLACAS:

=====

A continuación se mencionan los aceros que se pueden utilizar para la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos en forma de placa, sin embargo cuando existan materiales con diferente especificación y sea comprobada su equivalencia con alguno de la norma A.S.T.M. éstos podrán ser usados en la fabricación de tanques de almacenamiento.

El proceso de fabricación de placas que sean empleadas en la construcción de tanques de almacenamiento atmosféricos deberá ser únicamente por: Horno eléctrico, Hogar abierto y Oxígeno Básico.

A.36. Esta especificación se refiere a aceros al carbón y cubre la fabricación de placa, lámina y barras de calidad estructural para ser usadas en remaches, pernos, estructuradas soldadas y el procedimiento de soldadura deberá estar de acuerdo al tipo de servicio.

PRODUCTO	LAMINAS	P L A C A S					B A R R A S			
		TODOS	HASTA 19	19 A 38	38 A 64	64 A 102	MAS DE 102	HASTA 19	19 A 38	38 A 102
CARBONO MAX. %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
MANGANESO MAX. %			0.25	0.80	0.85	0.85		0.60	0.60	0.60
			A	A	A	A		A	A	A
			1.20	1.20	1.20	1.20		0.90	0.90	0.90
FOSFORO MAX. %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
SULFURO MAX. %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
SILICIO. %				0.15	0.15	0.15				
				A	A	A				
				0.30	0.30	0.30				

REQUERIMIENTOS DE TENSION		
PLACAS, LAMINAS Y BARRAS		
RESISTENCIA A LA TENSION(kg/cm ²)	4078	5625
PUNTO DE REFERENCIA MINIMO(kg/cm ²)	2531	

A. 283. Esta especificación ampara 4 grados en este material; y para nuestros fines únicamente utilizamos los grados C y D, ya que son los que se emplean en la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos. Es un acero al carbón de calidad estructural para aplicaciones generales y se deberá usar para temperaturas entre los -29C° y 343C°.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS	
FOSFORO MAX. %	0.04
SULFURO MAX. %	0.05

REQUERIMIENTOS DE TENSION		
	GRADO "C"	GRADO "D"
RESISTENCIA A LA TENSION(kg /cm ²)	3867-4570	4218-5062
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO(kg /cm ²)	2109	2320

A.285. Esta especificación se refiere a un acero muy dúctil, fácil de conformar y maquilar, es también de los aceros más económicos y de mayor existencia en el mercado, es comúnmente usado para la fabricación de envolventes las cuales se encuentran operando entre los 18°C y 423C°.

La especificación ampara placas de acero al carbono de baja y media resistencia a la tensión, debido a que cubre 3 grados - A, B y C, y para nuestros fines únicamente haremos referencia al grado C, debido a que es de mayor resistencia a la tensión.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS		
ELEMENTO	COMPOSICION %	GRADO "C"
CARBONO	MAX.	0.28
MANGANESO	MAX.	0.90
FOSFORD	MAX.	0.035
SULFURO	MAX.	0.045

REQUERIMIENTOS DE TENSION	
GRADO "C"	
RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm ²)	3867-5273
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (kg/cm ²)	2109

Cuando se tengan condiciones de servicio muy severas y se justifique el uso de un mejor material, se puede utilizar cualquier material de los que se especifican a continuación:

A.516. Esta especificación cubre placas de acero al carbón con grados 55,60,65 y 70 pero la más importante para nuestros fines es el grado 70, debido a su mayor resistencia a la tensión se puede utilizar cuando se tengan temperaturas criogénicas, su uso esta condicionado entre los -45C° y 15C°.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS			
ELEMENTOS			GRADO 70. COMPOSICION %.
<u>CARBONO MAX.</u>			
HASTA.	13 MM..	ESPESOR	0.27
DE.	13 MM.. A 31 MM.	ESPESOR	0.28
DE.	51 MM. A 102 MM.	ESPESOR	0.30
DE.	102 MM. A 203 MM.	ESPESOR	0.31
DE.	203 MM Y MAS.	ESPESOR	0.31
<u>MANGANESO MAX.</u>			
HASTA.	13 MM	ESPESOR	0.80 A 1.25
MAS DE	13 MM	ESPESOR	0.80 A 1.25
<u>FOSFORO MAX.</u>			0.035
<u>SULFURO MAX.</u>			0.04
<u>SILICIO.</u>			0.13 A 0.33

REQUERIMIENTOS DE TENSION	
RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm ²)	4921-6328
PUNTO DE CEDENCIA MIN. (kg/cm ²)	2672

A.537. Esta especificación ampara 2 clases de este material, - clase I y II, y son placas con tratamineto térmico.

La clase I cubre placas normalizadas, y la Clase II placas templadas; en la fabricación de recipientes a presión y tanques - de almacenamiento atmosféricos, se utiliza la clase I.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS		
ELEMENTO	ESPESOR (MM)	COMPOSICION %
CARBONO MAX.		0.24
MANGANESO MAX.	38 Y MENORES MAS DE 38	0.65 A 1.40 0.95 A 1.65
FOSFORO MAX.		0.35
SULFURO MAX.		0.040
SILICIO		0.13 A 0.55
NOTA: Pequeñas cantidades de elementos de aTeación podrán estar presentes pero no podrán exceder de las siguientes cantidades Cobre-0.35%, Niquel-0.25% Y Molibdeno-0.08%.		

REQUERIMIENTOS DE TENSION		
ESPESOR (mm)		
RESISTENCIA A LA TENSION (kg/cm ²)	64 y MENORES 64 A 102	4921-6328 4570-5976
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO (kg/cm ²)	64 y MENORES 64 A 102	3515 3164

A.662. Esta especificación cubre placas de acero al carbono - manganeso y esta enfocado a la construcción de recipientes a presión y tanques de almacenamiento que operan a bajas temperaturas, existe en 3 grados, A, B, y C, pero el grado usado para nuestros propósitos es el B.

Los espesores máximos de placa están limitados, hasta 2 in para que puedan usarse en la fabricación de recipientes. Ya que has ta este espesor cumplen con los requisitos mecánicos.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%)		GRADO "B "
MANGANESO	0.79 - 1.62	
FOSFORO MAX.	0.035	
SULFURO MAX.	0.46	
SILICIO	0.013 - 0.045	
CARBONO	0.22	

REQUERIMIENTOS DE TENSION (kg/cm ²)	
RESISTENCIA A LA TENSION.	4570 - 5976
PUNTO DE CEDENCIA MIN.	2812

II.3. LAMINAS. =====

Existen algunas especificaciones para láminas, sin embargo la única que es aceptada para la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos es la A-570, la cual es de láminas de acero al carbono roladas en caliente y se encuentran disponibles hasta espesores de 6mm, estas láminas sólo pueden ser fabricadas por cualquiera de los procesos de hogar abierto, horno eléctrico u oxígeno básico.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS				
ELEMENTO		COMPOSICION %		
		30,33,36 Y 40	45 Y 50	GRADOS
CARBONO	MAX.	0.25	0.25	
MANGANESO	MAX.	0.90	0.35	
FOSFORO	MAX.	0.04	0.04	
SULFURO	MAX.	0.05	0.05	
*COBRE	MIN.	0.20	0.20	
* CUANDO ES ESPECIFICADO				

REQUERIMIENTOS DE TENSION (kg/cm ²)						
	30	33	36	40	45	50 GRADO
RESISTENCIA A LA TENSION.	3445	3657	3530	3868	4220	4571
MINIMO PUNTO DE CEDENCIA.	2110	2320	2532	2813	3165	3516

II.4. ELECTRODOS.

=====

Existe una gran variedad de electrodos para soldadura y se clasifican de la siguiente manera E XX WZ, para el caso de aceros al carbono y aceros aleados:

Donde: XX Representa la resistencia a la tensión.

W Posición de soldadura, cuando W es 1 se puede soldar en todas posiciones, cuando W es 2 sólo se podrá soldar en posiciones horizontales y plana para soldaduras de filete.

Z Representa el tipo de cubierta del electrodo.

En los aceros al carbón utilizados para la fabricación de tanques de almacenamiento se recomienda utilizar las series E-60XX y E-70XX para aceros al bajo carbono y aceros al medio carbono respectivamente. Existe la posibilidad de utilizar ambos en un mismo material.

<u>C L A V E.</u>	<u>TIPO DE CUBIERTA.</u>	<u>TIPO DE CORRIENTE ELECTRICA.</u>
E-6010	ALTA CELULOSA SODICA.	CD. CON POLARIDAD INVERTIDA.
E-6011	ALTA CELULOSA POTASICA.	CA. O CD. CON POLARIDAD INVERTIDA.
E-6012	ALTO TITANIO SODICO.	CA. O CD. SIN CAMBIO DE POLARIDAD.
E-6013	ALTO TITANIO POTASIO.	CA. O CD. CON CUALQUIER POLARIDAD.
E-6020	ALTO OXIDO DE HIERRO.	CA. O CD. SIN CAMBIO DE POLARIDAD.
E-6027	POLVO Y OXIDO DE HIERRO.	CA. O CD.
E-7014	POLVO DE HIERRO, TITANIO.	CA. O CD. CON CUALQUIER POLARIDAD.
E-7015	SODIO AL BAJO HIDROGENO.	CD. CON POLARIDAD INVERTIDA.
E-7016	POTASIO AL BAJO HIDROGENO.	CA. O CD. CON POLARIDAD INVERTIDA.
E-7018	POLVO DE HIERRO BAJO HIDROGENO.	CA. O CD. CON POLARIDAD INVERTIDA.
E-7024	POLVO DE HIERRO TITANIO.	CA. O CD. CON CUALQUIER POLARIDAD.
E-7028	POLVO DE HIERRO BAJO HIDROGENO.	CA. O CD. CON POLARIDAD INVERTIDA.

Los electrodos más utilizados por los fabricantes se encuentran los electrodos - E-6010 y E-7018.

Cuando se requiera soldar aceros aleados se podrán emplear los siguientes electrodos:

(1.5cr - 0.5 MO) E-8015, E-8016 y E-8018.

(2.5cr - 1 MO) E-9015, E-9016 y E-9018.

II.5. TUBOS Y FORJAS.
 =====

A continuación se presenta un cuadro donde se encuentran tabulados los requerimientos químicos y de tensión de las diferentes especificaciones y presentaciones de tubos y forjas que se emplan en la fabricación de tanques de almacenamiento atmosféricos.

ESPECIFICACIONES ACEPTADAS PARA SELECCIONES DE FORJAS Y TUBOS

MATERIAL	ESPECIFICACION	ASTM	MINIMO (kg/cm ²)		TIPO
	NUMERO	GRADO	RESISTENCIA A LA TENSION	PUNTO DE CEDENCIA	
ACEROS	A-53	A	3378	2109	TUBULAR
		B	4218	2460	TUBULAR
	A-105	-	4921	2531	FORJADO
AL	A-106	A	3378	2109	TUBULAR
		B	4218	2531	
		C	4921	2109	
CARBON	A-134	-	-	-	TUBULAR
	A-139	A	3378	2109	TUBULAR
		B	4218	2460	
	A-155	-	-	-	TUBULAR
	A-515	55	3867	2109	PLACA
		60	4218	2250	
	A-516	65	4570	2460	PLACA
70		4921	2672		
A-333	6	4218	2460	TUBULAR	

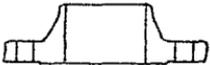
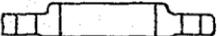
MATERIAL	ESPECIFICACION	ASTM	MINIMO (kg/cm ²)		TIPO
	NUMERO	GRADO	RESISTENCIA A LA TENSION	PUNTO DE CEDENCIA	
ACEROS	A-182	F1	4921	2812	FORJADO
		F5	4921	2812	FORJADO
		F9	5976	3867	FORJADO
		F12	4921	2812	FORJADO
		F22	4921	3164	FORJADO
ALEADOS	A-333	3	4570	2460	TUBULAR
		4	4218	2460	TUBULAR
ALEADOS	A-335	P1	3867	2109	TUBULAR
		P2			TUBULAR
		P5	4218	2109	TUBULAR
		P5B			TUBULAR
		P5C			TUBULAR
		P7			TUBULAR
		P11			TUBULAR
		P12			TUBULAR
		P15			TUBULAR
		P22			TUBULAR
A-350	LF3	4921	4921	FORJADO	

Fuente: Taylor Forge EPG, Piping Components for Energy Systems.

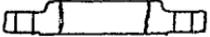
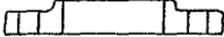
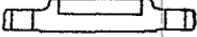
11.5.1 Las cédulas de cuellos de boquillas se determinan tomando en cuenta la presión que siempre será 10.5 kg, la corrosión permisible y el diámetro del tubo por tanto se puede utilizar el siguiente cuadro para este fin.

CLASE 150 lb (10.5kg)						
0		3 . 2		6 . 4		CORR. PERM.
CEDULA	D.1	CEDULA	D.1	CEDULA	D.1	Ø NOM.
80	24					1"
80	38	160	34	XX-H	28	1 1/2"
80	49	160	43	XX-H	38	2"
80	59	160	54	XX-H	45	2 1/2"
80	74	160	67	XX-H	58	3"
80	97	120	92	160	87	4"
80	146	→		120	140	6"
80	194	→		100	189	8"
80	248	→		100	237	10"
X-H	208	→		80	289	12"
X-H	330	→		60	325	14"
X-H	381	→		60	373	16"
X-H	432	→		40	429	18"
X-H	483	→		40	478	20"
X-H	584	→		40	575	24"

II.5.2. Bridas. Las bridas son de la clase 10.5 kg son del tipo cuello deslizante (SLIP-ON) y tapa ciega (BLIND) cuando se requiera tapar una boquilla. Existen otros tipos de bridas que se seleccionan de acuerdo al servicio, y estas son: Bidas Roscadas, de Cara Realzada, Cuello Soldable, a Traslape y estan en existencia para presiones muy altas.

WELDNG NECK	SLIP-ON	BLIND
		
CUELLO SOLDABLE	DESIZABLE	CIEGA

DIFERENTES TIPOS DE BRIDAS

ROSCADA	TRASLAPADA	INSERTO
THREADED	LAP-JOINT	SOCKET-WELD
		

II.6. TORNILLOS.
 =====

Existen una gran variedad de especificaciones para tornillos, - de alta resistencia, de acero inoxidable, de acero al carbón, - pero la que más se utiliza es la especificación A-307 para tornillería de acero al carbón.

Esta especificación cubre 2 grados, el grado "A" corresponde a tornillos de uso general y el grado "B" se refiere a tornillos que se utilizan en juntas de sistemas de tuberías y sus diámetros - de 6mm a 102 mm. El acero para la fabricación de estos tornillos deberán ser obtenido por el proceso de hogar abierto, oxígeno básico y horno eléctrico. A continuación se muestran las características que debe tener la tornillería.

LOS REQUERIMIENTOS QUIMICOS DEL ACERO PARA FABRICACION DE TORNILLOS SE PRESENTAN A CONTINUACION:

<u>TORNILLOS:</u>	<u>GRADO "A"</u>	<u>GRADO "B"</u>
FOSFORO MAX. %	0.06	0.04
SULFURO MAX. %	0.15	0.05

REQUERIMIENTOS DE DUREZA PARA TORNILLOS:

TAMAÑO	GRADO	DUREZA			
		BRINELL		ROCKWELL B	
		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
TODOS	A	121	241	69	100
	B	121	212	69	95

REQUERIMIENTOS DE TENSION PARA TORNILLOS

DIAMETRO			AREA ESFUERZO (cm ²)	RESISTENCIA A LA TENSION(kg)	
mm	in	HILOS/in		GRADOS "A" Y "B"	GRADO "B"
				MIN.	MAX.
6	1/4	20	0.20	862	1442
8	5/16	18	0.33	1406	2377
10	3/8	16	0.50	2109	3515
11	7/16	14	0.69	2860	4822
13	1/2	13	0.92	3856	6436
15	9/16	12	1.17	4990	8255
16	5/8	11	1.46	6146	10251
19	3/4	10	2.15	9095	15150
22	7/8	9	2.98	12565	20956
25	1	8	3.21	16488	27488
28	1 1/8	7	4.92	20775	34609
32	1 1/4	7	6.25	26376	43953
35	1 3/8	6	7.45	57810	52390
38	1 1/2	6	9.06	38238	63730
44	1 3/4	5	12.26	51710	86182
51	2	4.5	16.13	68039	113398
57	2 1/4	4.5	20.97	88450	147418
64	2 1/2	4	25.81	108862	181437
69	2 3/4	4	31.81	134173	223621
76	3	4	38.52	162477	270795
82	3 1/4	4	45.81	193230	322050
89	3 1/2	4	53.74	226705	377842
95	3 3/4	4	62.26	261541	438170
102	4	4	71.48	301548	502280

II.7. PERFILES ESTRUCTURALES.

Los perfiles de acero estructural como son vigas, canales, ángulos, etc. Deben de cumplir con los requerimientos de las especificaciones. A-36 (Ver. II.2), Y A-131.

La especificación A-131, se refiere a acero estructural para - placas, láminas y perfiles.

Los grados de esta especificación son 11 de los cuales solo 3 - son para perfiles estructurales y de los cuales se anexan sus características:

GRADO A.. Acero estructural al carbón resistencia media.
 GRADOS AH32, AH36 Acero estructural aleado para alta resistencia.

REQUERIMIENTOS QUIMICOS (%)

ELEMENTO	A	AH32, AH36 GRADOS
CARBONO MAX.	0.23	0.18
MANGANESO MAX.	2.5Ca	0.90 - 1.60
FOSFORO MAX.	0.05	0.04
SULFURO MAX.	0.05	0.04
SILICIO	- -	0.10 - 0.50
NIKEL MAX.	- -	0.40
Cr MAX.	- -	0.25
Mb MAX.	- -	0.08
Cu MAX.	- -	0.35
COLUMBIO MAX.	- -	0.05
VANADIO MAX.	- -	0.10

REQUERIMIENTOS DE TENSION (kg/cm²)

	GRADO	"A"	AH32	AH36
RESISTENCIA A LA TENSION	4078 - 4992		4780 - 5976	4992 - 6328
PUNTO DE CEDENCIA MINIMO	2390		3199	3586

CAPITULO III. DISEÑO.

III. 1 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

=====

La secuencia de diseño que a continuación se presenta, está fundamentada en el Código API-650 (Welded Steel Tanks for oil Storage), sin embargo, existen algunos factores los cuales se adaptaron de acuerdo a las condiciones que prevalecen en nuestro país, por lo que si existen algunas diferencias, es debido a los ajustes que fueron originados con el fin de poder utilizarse como procedimiento de diseño de tanques de almacenamiento, los cuales podrán operar en cualquier lugar del territorio nacional.

Para el cálculo de los espesores de la envolvente, se ha considerado un espesor adicional por corrosión de 3mm, este espesor podrá ser mayor o nulo, lo cual dependerá de las condiciones ambientales del lugar donde deberá estar instalado el tanque y del líquido almacenado.

También se ha considerado que el líquido almacenado es agua, por lo que se ha tomado una gravedad específica de 1, esta condición puede variar lo cual dependerá del líquido que se pretenda almacenar.

Todos los datos y resultados que son parte del diseño, se presentan en el sistema métrico, y cuando se considera necesario se hace referencia al sistema inglés.

Todas las propiedades de las secciones estructurales que son utilizadas como componentes en traveses, columnas, largueros, podrán ser consultadas en el manual de Altos Hornos de México (AHMSA) o en otro equivalente en el que se muestren dichas propiedades.

No se considera el diseño de cimentaciones debido a que esto -
corresponde a la Ingeniería Civil.

III.2 DATOS DE DISEÑO.

=====

Para iniciar el diseño es necesario conocer algunos datos que
son de vital importancia, los cuales son listados a continuación:

Lugar.- Es necesario saber en que lugar estará instalado el -
tanque, para relacionar la zona sísmica correspondiente. (ver
fig. III.8).

Presión de operación P_{op} - En nuestro caso siempre será la -
presión atmosférica (kg/cm²).

Presión de diseño P_{dis} - 1.033kg/cm²

Temperatura de operación, T_{op} - De acuerdo a las condiciones -
de proceso y de servicio (°C)

Temperatura de diseño, T_{dis} .

Material: Placa techo } A-283-C A menos que se especifique
Placa fondo } cualquier otro de los que
Placa envolvente } son aceptados en la sección
de materiales (punto II.1 Cap.II)

Gravedad específica, C.- De acuerdo al líquido almacenado -
(adimensional).

Presión de viento, P_v .- De acuerdo al lugar donde estará insta-
lado el tanque (kg/cm²) y podrá ser consultada en la tabla III.5

Corrosión permisible; C.- De acuerdo corrosión ambiental del lugar de la instalación y las condiciones de servicio (mm)

Eficiencia de las juntas soldadas, E=85% Cuando se requiera.

Capacidad; Cap. Dependerá de las dimensiones de la tabla I-1 - cap. I (m3 ó bls.).

Longitud entre líneas de tangencia; LT-T [Están referidas a la tabla de dimensiones]

Diametro nominal; D] tabla I.1 capítulo I.

III. 3 DETERMINACION DE LOS ESPESORES DEL FONDO

Espesor Requerido, tr.

Todas las placas del fondo deben tener un espesor mínimo requerido de 6.4 mm, por tanto :

$$tr = 6.4 \text{ mm.}$$

Espesor de Diseño, td.

El espesor de diseño, $td = tr + c$

$$tr = \text{espesor requerido} = 6.4 \text{ mm.}$$

$$c = \text{corrosión admisible}$$

Espesor Nominal, tn.

Este espesor se selecciona de la tabla de espesores comerciales (tabla III.1), tn nunca debe ser menor que el espesor comercial elegido.

Espesores Comerciales de Placas

mm	4.8	6.4	7.9	9.5	12.7	15.9	19.1	22.2	25.4	28.5	31.7	34.9	38.1	44.4	50.8
in	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 3/4	2
kg /m ²	37.3	49.7	62.2	74.6	99.5	124.4	149.3	174.3	199.1	224.1	249.0	274	298.8	343.6	393.4

(reproducida del manual AHMSA)

TABLA III. 1

III. 4 DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE LA ENVOLVENTE

Para el diseño de los espesores de placa de la envolvente, se consideran placas de un ancho de 2.43 mm (8 ft), por tanto el número de anillos de la envolvente dependerá de la altura de ésta.

Espesor Requerido, tr.

Este espesor se calcula de acuerdo al método de un pie y se utiliza la siguiente fórmula :

$$tr = \frac{5D(H-0.3)G}{Sd} \quad I.1$$

Donde :

- D = Diámetro nominal del tanque (m)
- H = Altura superior de cada anillo del tanque (m)
- G = Gravedad específica del líquido almacenado (adimensional)
- Sd = Esfuerzo de diseño del material de la envolvente de tabla III. 2

Espesor de Diseño, td.

Este espesor es igual a :

$$td = tr + c \quad (\text{cm})$$

tr = de III.1 (cm)

c = espesor por corrosión (convertir a cm)

Espesor Nominal, tn.

El espesor nominal se selecciona de la tabla III.1 en la cual se muestran los espesores comerciales disponibles (mm).

Esfuerzos de Diseño

Especificación ASTM	Grado	ESFUERZO DE DISEÑO Sd		ESFUERZO DE DISEÑO St	
		Anillos Inferiores	Anillos SUP	Anillos Inferiores	Anillo Superior
A-36		1533	1632	1632	1751
A-131	A;B,CS	1533	1596	1632	1751
A-131	E-H-36	1870	1997	1997	2138
A-283	C	1406	1406	1547	1582
A-285	C	1406	1406	1547	1582
A-516	70	1779	1779	1969	2004
A-537	1	1849	1969	1969	2109
A-662	B	1716	1828	1828	1962
NOTAS :				Fuente	
St se utiliza para el diseño de prueba hidrostática				API-650	
Todos esfuerzos de diseño están en kg/cm ²				Tabla III.2	

A continuación se presentan los espesores calculados de diseño y comerciales para las diferentes dimensiones de los tanques de almacenamiento, tomando en cuenta que el líquido almacenado es agua, y un espesor adicional por corrosión de 3mm. (tabla III.3)

Capacidad BLS	No. anillos	t Diseño mm	t Comercial	
			mm	in
500	1	*	4.76	3/16
	1	*	4.76	3/16
1 000	1	0.43	4.76	3/16
	1	*	4.76	3/16
	1	*	4.76	3/16
1 500	1	6.35	6.35	1/4
	1	*	4.76	3/16
	1	*	4.76	3/16
2 000	1	5.19	6.35	1/4
	1	4.40	4.76	3/16
	1	*	4.76	3/16
3 000	1	5.6	6.35	1/4
	1	4.75	4.76	3/16
	1	*	4.76	3/16
5 000	1	7.3	7.93	5/16
	1	6.3	6.32	1/4
	1	5.3	6.32	1/4
	1	4.3	4.76	3/16
	1	*	4.76	3/16
10 000	1	9.4	9.52	3/8
	1	8.1	9.52	3/8
	1	6.8	7.93	5/16
	1	5.4	6.35	1/4
	1	4.9	6.35	1/4

Hasta 10,000 barriles se deberá utilizar un espesor comercial mínimo de 4.76 mm.

Capacidad BLS	No. anillos	t Diseño mm	t Comercial	
			mm	in
15 000	1	9.9	12.7	1/2
	1	8.1	9.52	3/8
	1	6.3	6.35	1/4
	1	*	6.35	1/4

Capacidad BLS	No. anillos	t Diseño mm	t Comercial	
			mm	in
20 000	1	12.0	12.7	1/2
	1	10.6	12.7	1/2
	1	8.3	9.52	3/8
	1	6.5	7.93	5/16
	1	*	6.35	1/4
30 000	1	14.1	15.87	5/8
	1	11.9	12.7	1/2
	1	9.5	9.56	3/8
	1	7.2	7.93	5/16
	1	5.0	6.35	1/4
40 000	1	15.8	15.8	5/8
	1	13.0	15.8	5/8
	1	10.6	12.7	1/2
	1	7.9	7.9	5/16
	1	5.3	6.3	1/4
55 000	1	18.1	19.0	3/4
	1	15.0	15.8	5/8
	1	11.9	12.7	1/2
	1	8.8	9.5	3/8
	1	5.7	6.3	1/4
80 000	1	21.0	22.2	5/8
	1	17.4	19.0	3/4
	1	13.7	15.7	3/8
	1	10.0	12.7	1/2
	1	6.2	6.3	1/4

Hasta 80,000 barriles se deberá utilizar un espesor comercial mínimo de 6.4 mm.

Capacidad BLS	No. anillos	t Diseño mm	t Comercial	
			mm	in
100 000	1	23.3	29.5	1
	1	19.0	19.0	3/4
	1	14.9	15.87	5/18
	1	10.3	12.7	1/2
	1	6.6	7.9	5/16

Capacidad BLS	No. anillos	t Diseño mm	t Comercial	
			mm	in
150 000	1	30.4	31.7	1 1/4
	1	25.7	28.5	1 1/8
	1	21.1	22.2	7/8
	1	16.4	19.0	3/4
	1	11.7	12.7	1/2
	1	7.0	7.9	5/16
200 000	1	35.8	38.1	1 1/2
	1	30.2	31.7	1 1/4
	1	20.4	22.2	7/8
	1	19.0	19.0	3/4
	1	13.5	15.8	5/8
	1	7.9	7.9	5/16

TABLA III.5

Hasta 200,000 barriles se deberá utilizar un espesor comercial mínimo de 7.9 mm.

- * Los espesores de diseño se ajustaron a los espesores comerciales mínimos, de acuerdo a la capacidad.

III. 5 DISEÑO DE TECHOS AUTOSOPORTADOS

Este tipo de techos se requiere que estén diseñados para soportar la carga muerta, además de una carga viva uniforme sobre su área, no menor de 122 kg/m^2

Angulo formado entre la horizontal y el techo

$$\text{Angulo mínimo será} = \tan^{-1} 1/6 = 10^\circ$$

$$\text{Angulo máximo será} = \tan^{-1} 3/4 = 37^\circ$$

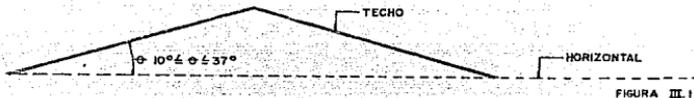


FIGURA III.1

Espesor Requerido, tr

El espesor requerido de las placas del techo se diseñan de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$tr = \frac{8.33D}{400 \text{ SEN } \theta} \quad (\text{cm}) \dots \text{III. 2}$$

D = Diámetro del tanque (m)

θ = Angulo entre la horizontal y el techo (grados)

tr máximo no debe exceder de 13mm

Espesor de diseño.

Este espesor es igual a la suma del espesor requerido más la corrosión.

$$td = tr + c$$

tr = Espesor requerido deIII.2 (cm)

c = Corrosión admisible (convertir a cm)

Espesor nominal.

Se selecciona de la tabla III.1 de espesores comerciales disponibles, donde el espesor nominal no debe ser menor al espesor de diseño.

AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL UTILIZADA COMO REFUERZO

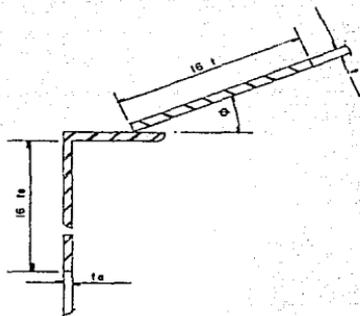


FIGURA III.2

El área transversal de 16 veces el techo corroído más 16 veces el espesor del espesor del último anillo corroído, no debe ser menor al área calculada en la siguiente fórmula :

$$\text{Area Total} = \frac{1.97 D^2}{3,000 \text{ SEN } \theta} \quad (\text{cm}^2) \dots \dots \dots \text{III. 2a}$$

DONDE :

D = Diámetro nominal del tanque (M)

θ = Angulo formado entre la horizontal y el techo

Cuando el área total es menor al área calculada en la fórmula - III. 2a se deberán incrementar las áreas transversales hasta - que el área total sea mayor o igual a la calculada por la fórmula.

III.6 DISEÑO DE TECHOS SOPORTADOS

Este tipo de techos al igual que el anterior, deberá estar diseñado para soportar su propio peso, más una carga adicional constituida por la carga viva uniforme sobre su área no menor de 122 kg/m² y una carga por viento, la cual depende del lugar de ubicación.

Determinación de los espesores en el techo

- a) Espesor requerido, tr
Es espesor requerido de las placas del techo de 4.8 mm
- b) Espesor de diseño, td
Este espesor es igual al espesor requerido más la corrosión admisible.
 $td = tr + C.A.$
- c) Espesor nominal, tn
Se obtiene de la tabla III.1 de espesores de placa comercialmente disponibles y se debe cumplir que $tn \geq td$
- d) Angulo formado entre el techo y la horizontal
Este ángulo será $= \tan^{-1} (1/16) = 3.58^\circ$ o mayor, esto dependerá del dictamen de Petróleos Mexicanos.

III. 6.1 DISEÑO DE LARGUEROS

Cálculo del número de largueros.

Para calcular el número de largueros se considera un espaciamiento

to máximo en la circunferencia exterior de 1.91 m, por tanto el número de largueros será :

$$NL = \frac{\pi D}{1.91} \dots \dots \dots III.3$$

DONDE :

D = Diámetro nominal de la circunferencia exterior del tanque (m)

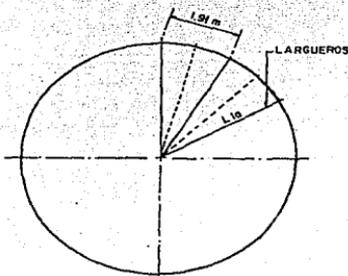


FIGURA III.3

En la tabla III.4 se muestra el cálculo del número de largueros para las dimensiones estandar de tanques de almacenamiento con techo soportado.

TABLA III.4

	N LARGUEROS		D1 metros	S O P O R T A D O S			No. lados del polígono						
	calculado	real		D2	D3	D4	1	2	3				
2x1/4 2x3/16	2 000	12.28	14	7.468	18.228	Fig III.3a	5	6	Fig III.3b				
	3 000	15.04	16	9.144									
	5 000	15.87	16	9.652									
	10 000	21.50	22	12.954									
	15 000	29.07	30	17.678									
	20 000	30.08	30	9.864									
* 3x3/8	30 000	36.76	36	11.926	22.352	36.576	6	12	Fig III.3c				
	40 000	42.61	48	13.704	25.908								
	55 000	50.13	60	15.99	30.480								
	80 000	60.16	60	12.942	25.134					41.364	45.720	6	18
	100 000	67.17	72	14.364	27.97					40.843			
	150 000	75.20	75.0	12.18	23.61					35.04			
200 000	201.	216	14.364	27.864	41.364								

ARREGLOS DE ESTRUCTURA EN TECHOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO
ATMOSFERICOS DE CUPULA FIJA

FIGURA III. 3a

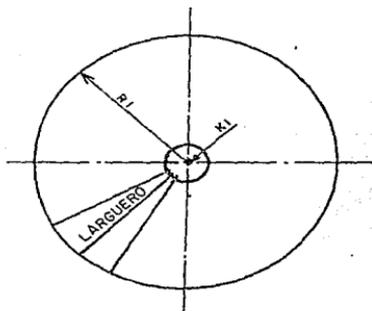


FIGURA III. 3b

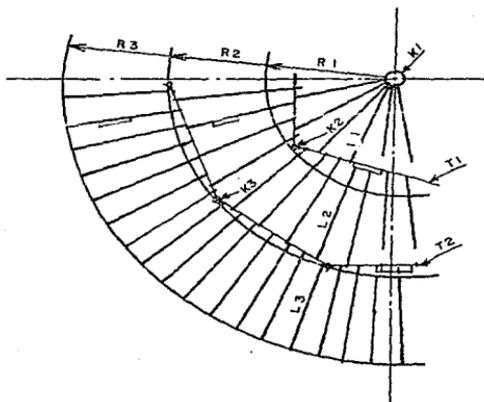
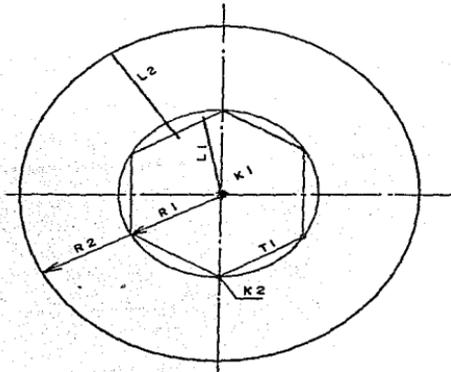


FIGURA III. 3c

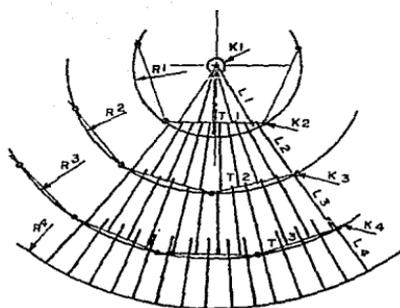


FIGURA III. 3d

L = LARGUERO
T = TRABE
K = COLUMNAS

De acuerdo a la tabla anterior, pueden existir 4 tipos de arreglos en los techos soportados y ésto dependerá del diámetro nominal del tanque. En las figuras III.3a, III.3b, III.3c y - III.3d se muestran los diferentes arreglos de los elementos de soporte en tanques de almacenamiento atmosféricos.

TABLA III. 5

VALORES DE DISEÑO PARA VIENTO (Kg/ m ²)			
Altura (m)	0-10	10-20	20-30
Cactus, CHIS.	194	236	264
Cadereyta, N.L.	85	104	116
Cangrejera, VER.	194	235	264
Cuichapa, VER.	181	220	246
Cd. Madero, TAMPS.	194	236	264
Cd. PEMEX, TAB.	194	236	264
La Venta, TAB.	194	236	264
Minatitlán, VER.	194	236	264
Poza Rica, VER.	181	232	260
Salamanca, GTO.	46	56	63
Salina Cruz, OAX.	164	199	223
Lázaro Cárdenas, MICH.	164	199	223
San Martín Texmelucan, PUE.	46	56	63
Tula, HGO.	38	46	62
Tuxpan, VER.	194	236	264
Pajaritos, VER.	194	236	264
Morelos, VER.	194	236	264

Del manual de Obras Civiles de la C.F.E.

Número de largueros interiores :

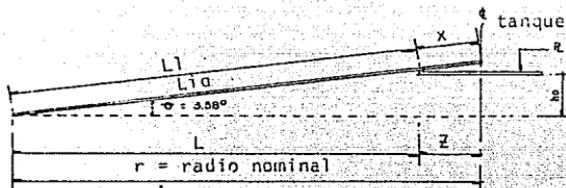
$$n_1 = \frac{2N R \text{ SEN } 360}{2 \text{ TI } 2N}$$

DONDE :

N = Número de lados del polígono exterior

R = Radio del polígono (m)

Claro del larguero Fig. (III.4)

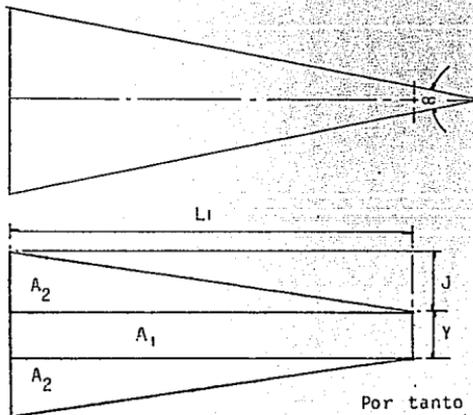


$$L1 = \frac{L}{\cos(3.58^\circ)} \quad (\text{m}) \dots \text{III.4}$$

$$ho = L \tan(3.58^\circ) \quad (\text{m}) \dots \text{III.5}$$

$$x = \frac{z}{\cos(3.58^\circ)} \quad (\text{m}) \dots \text{III.6}$$

Area que soporta el larguero L1 Fig. (III.5)



$$\alpha = \frac{360}{NL} \dots \text{III.7}$$



$$\frac{\alpha}{2} = \theta$$

$$J = L1 \tan \theta \quad (\text{m}) \dots \text{III.7a}$$

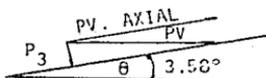
$$Y = 2x \tan \theta \quad (\text{m}) \dots \text{III.3}$$

$$A1 = L1 \cdot Y \quad (\text{m}^2) \dots \text{III.9}$$

$$\sum A2 = J L1 \quad (\text{m}^2) \dots \text{III.10}$$

Por tanto el área total que soporta el larguero es :
 $A = A1 + \sum A2 \quad (\text{m}^2) \dots \text{III.10a}$

Cargas aplicadas



$$P3 = PV \text{ SEN } \theta \quad (\text{Kg/m}^2) \dots \text{III.11}$$

Donde PV = presión por viento (Kg/m^2)
 de tabla III.5

Fig. (III.6)

P_1 = Carga viva, será de 122 kg/m², del API 650

P_2 = Carga muerta, representado por el peso de la placa del techo (Kg/m²) Tabla III.1

P_3 = Carga por viento, se obtiene multiplicando el valor de di seño para viento por el SEN θ (ver Fig. III.6) Los valores del viento se encuentran tabulados en la tabla III.5

Carga total aplicada, W.

$$W = P_1 + P_2 + P_3 \quad (\text{Kg/m}^2) \quad \dots\dots\dots \text{III.12}$$

DONDE : P_1 = Carga viva (Kg/m²)

P_2 = Carga muerta (Kg/m²)

P_3 = Carga por viento (Kg/m²)

Carga uniforme que soporta el larguero, W1.

$$W1 = \frac{W \cdot A}{L1} \quad (\text{Kg/m}) \quad \dots\dots\dots \text{III.15}$$

DONDE : W = Carga aplicada (Kg/m²)

A = Area que soporta el larguero (m²) de ... III.10a

L1 = Claro del larguero (m) de ... III.4

Momento máximo generado, M.

$$M = \frac{W1 \cdot L1^2}{8} \times 100 \quad (\text{cm-kg}) \quad \dots\dots\dots \text{III.14}$$

DONDE : $W1$ = Carga uniforme que soporta el larguero (Kg/m)

L1 = Claro del larguero (m) de ... III.4

Módulo de Sección Requerido, Sr.

$$Sr = \frac{M}{fb} \quad (\text{cm}^3) \dots\dots\dots \text{III.15}$$

DONDE : M = Momento máximo generado (cm-kg)
fb = Esfuerzo a flexión del material del larguero
Para el A-36 = 1520 Kg/cm²

Módulo de Sección Propuesto

Cálculo del peralte requerido, dr.

$$\text{Del AISC, } dr \cong 2.37 \times 10^{-5} fb L1 \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots \text{III.16}$$

DONDE : Fb = Esfuerzo a flexión del material del larguero
para el A-36 = 1520 kg/cm²
L1 = Claro del larguero (cm)

El módulo de sección se elige del AHMSA, de acuerdo al peralte requerido y al módulo de sección requerido, se sugiere que Sp \geq Sr de Tabla III.6

Posteriormente se considera el peso del larguero y se procede a encontrar un nuevo módulo de sección requerido

Carga uniforme considerando el propio peso del larguero, WL₁

$$WL_1 = W1 + Wl_1 \quad (\text{kg/m}) \dots\dots\dots \text{III.17}$$

DONDE : W1 = Peso/m del larguero (Kg/m) de Tabla III.6

$$Wl_1 = De \dots\dots\dots \text{III.13 (kg/m)}$$

Momento máximo considerando el propio peso del larguero, M máx.

$$M \text{ máx} = \frac{WL_1 L1^2}{8} \times 100 \dots\dots (\text{cm - Kg}) \dots\dots\dots \text{III.18}$$

DONDE :

$$WL_1 = DE \dots\dots\dots III.17 \text{ (Kg/m)}$$

$$L1 = \text{Claro del larguero (m)}$$

Nuevo Módulo de Sección Requerido, Sr_1

$$Sr_1 = \frac{M_{max}}{F_b} \text{ (cm}^3\text{)} \dots\dots\dots III.19$$

DONDE :

$$M_{max} = DE \dots\dots\dots III.19 \text{ (cm-kg)}$$

$$F_b = \text{Momento a flexión del material del larguero, } 1520 \text{ kg/cm}^2 \text{ para el A-36}$$

Se debe dar la condición $SP > Sr_1$ de otra forma se deberá incrementar SP , y se calcula nuevamente de III.17 a III.19 hasta que se cumpla la condición anterior.

Revisión por Deflexión

Deflexión Máxima, Δ_{max}

$$\Delta_{max} = \frac{5WL_1 L1^4}{384E I_{xx}} \text{ (cm)} \dots\dots\dots III.20$$

DONDE :

$$WL_1 DE \dots\dots\dots III.17 \text{ (convertir a Kg/cm)}$$

$$L1 = \text{Claro del larguero (convertir a cm)}$$

$$E = \text{Módulo de elasticidad } 2'039,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ para el A-36}$$

$$I_{xx} = \text{Momento de inercia x-x para la sección propuesta de tabla III.6 (cm}^4\text{)}$$

Deflexión Permisible, Δ_{perm} .

$$\Delta_{perm} = \frac{L_t}{360} \text{ (cm)} \dots\dots\dots III.21$$

DONDE :

L_t = Claro del larguero (cm)

Se debe cumplir la condición que $\Delta_{max} < \Delta_{perm}$, de otra forma se deberá incrementar el peso de la Sección, calculando nuevamente WL, deIII.17, Δ_{max} , deIII.20, y Δ_{perm} , deIII.21 Hasta que se cumpla la condición $\Delta_{max} < \Delta_{perm}$.

Elección de un Peralte Menor al Requerido.

Existe la posibilidad en algunos casos de elegir una sección - con un peralte menor al requerido, pero se debe hacer el siguiente análisis.

Reducción del esfuerzo permisible, F_{b1} , de....III.16

$$F_{b1} = \frac{dp \cdot 42222}{L_1} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots III.22$$

DONDE :

dp = Peralte propuesto de la sección, de tabla III.6 (cm)

L_1 = Claro del larguero (cm)

Módulo de Sección Requerido, S_{r2}

$$S_{r2} = \frac{M_{max}}{F_{b1}} \dots\dots\dots III.23$$

DONDE :

M_{max} , de III.18 (cm-kg)

F_{b1} , de III.22 (kg/cm²)

Se debe cumplir que $SP > Sr2$ de otra forma se elige un peralte de la sección $dp \gg dr$ y se vuelve a revisar por deflexión, calculando previamente $WL1$ de

Para arreglos en los cuales se requiere diseñar largueros L2, L3, y L4, se analizarán los más críticos, utilizando el mismo criterio mostrado para los largueros L1.



Paso No.	Elevación	Altim.	Espesor del pavimento	Espesor de la losa	Cap 1-1				Cap 1-2				
					1	2	3	4	1	2	3	4	
36.0	100.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	172.25	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
37.0	99.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	162.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
38.0	98.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	152.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
39.0	97.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	142.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
40.0	96.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	132.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
41.0	95.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	122.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
42.0	94.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	112.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
43.0	93.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	102.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
44.0	92.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	92.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
45.0	91.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	82.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
46.0	90.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	72.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
47.0	89.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	62.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
48.0	88.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	52.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
49.0	87.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	42.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
50.0	86.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	32.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
51.0	85.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	22.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
52.0	84.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	12.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
53.0	83.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	2.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
54.0	82.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
55.0	81.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
56.0	80.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
57.0	79.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
58.0	78.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
59.0	77.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
60.0	76.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
61.0	75.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00

* Suplemento del Manual de Sección Continua con peralte del American Institute of Steel Construction.

Paso No.	Elevación	Altim.	Espesor del pavimento	Espesor de la losa	Cap 1-1				Cap 1-2				
					1	2	3	4	1	2	3	4	
100.0	220.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	172.25	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
101.0	219.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	162.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
102.0	218.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	152.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
103.0	217.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	142.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
104.0	216.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	132.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
105.0	215.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	122.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
106.0	214.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	112.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
107.0	213.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	102.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
108.0	212.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	92.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
109.0	211.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	82.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
110.0	210.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	72.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
111.0	209.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	62.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
112.0	208.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	52.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
113.0	207.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	42.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
114.0	206.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	32.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
115.0	205.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	22.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
116.0	204.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	12.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
117.0	203.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	2.30	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
118.0	202.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
119.0	201.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
120.0	200.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
121.0	199.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
122.0	198.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
123.0	197.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
124.0	196.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
125.0	195.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
126.0	194.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
127.0	193.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
128.0	192.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
129.0	191.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
130.0	190.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
131.0	189.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
132.0	188.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
133.0	187.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
134.0	186.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
135.0	185.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
136.0	184.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
137.0	183.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
138.0	182.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
139.0	181.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
140.0	180.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
141.0	179.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
142.0	178.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
143.0	177.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
144.0	176.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
145.0	175.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
146.0	174.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
147.0	173.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
148.0	172.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
149.0	171.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00
150.0	170.0	667	100.0	10.0	0.00	77.0142	0.00	16.30	770.0	10.0	0.00	0.00	0.00

* Suplemento del Manual de Sección Continua con peralte del American Institute of Steel Construction.

III. 6.2 DISEÑO DE TRABES

En el diseño de trabes, estas se consideran como vigas simplemente apoyadas con carga uniformemente distribuida, debido a que para cuestiones de cálculo es mucho más sencillo considerarlas - de esta forma y no como vigas con cargas concentradas.

Diseño de Traves T1.

Carga que soporta la trabe , Wt.

$$Wt = \left[\frac{WL1 \cdot L1}{2} \cdot N1 + \frac{WL2 \cdot L12}{2} \cdot N2 \right] = \left[\frac{WL1 \cdot L1}{2} \cdot N1 + \frac{WL2 \cdot L12}{2} \cdot N2 \right] \frac{1}{Lt}$$

(kg/m)..... III.24

DONDE :

- WL1, de III.17 (kg/m)
- WL2, se calcula igual que WL1 (kg/m)
- L1, L12 = Claro de los largueros L1 y L2 respectivamente (m)
- N1, N2 = Número de largueros L1, L2 respectivamente
- Lt = Claro de la trabe (m)

Momento Máximo Generado, M.

$$M = \frac{Wt \cdot Lt^2}{8} \times 100 \text{ (cm-kg) } \dots\dots\dots III.25$$

DONDE :

- Wt, de III.22 (kg/m)
- Lt = Claro de la trabe (m)

Módulo de Sección Requerido , Sr.

$$Sr = \frac{M}{F_b} \text{ (cm}^3\text{)} \dots\dots\dots III.26$$

DONDE :

$$M, DE \dots\dots\dots III.23 \text{ (cm-kg)}$$

$$F_b = \text{Esfuerzo a la flexión, para el A-36} = 1520 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo del Peralte Requerido, dr.

$$\text{Del AISC, } dr = 2.37 \times 10^5 F_b L_t \text{ (cm)} \dots\dots\dots III.27$$

DONDE :

$$F_b = \text{Esfuerzo a flexión, para el A-36} = 1520 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_t = \text{Claro de la trabe (cm)}$$

Módulo de Sección Propuesto, Sp.

El módulo de sección propuesto, se elige de la tabla III.6, de acuerdo al peralte requerido, se sugiere que $Sp > Sr$

Ahora se considera el peso de la trabe para calcular el nuevo - módulo de sección.

Peso que soporta la trabe considerando su propio peso, Wt_1

$$Wt_1 = W + Wt \text{ (kg/m)} \dots\dots\dots III.28$$

DONDE :

$$W = \text{Peso/m de la Sección Propuesta (kg/m)}$$

$$Wt_1 \text{ de } \dots\dots\dots III.22 \text{ (kg/m)}$$

Momento máximo considerando el peso de la trabe, Mmax

$$M_{max} = \frac{Wt1 \cdot Lt^2}{8} \times 100 \text{ (cm-kg)} \dots\dots\dots III.29$$

DONDE :

Wt1, de III.28 (kg/m)

Lt = Claro de la trabe (cm)

Módulo de Sección Requerido, Srl

$$Srl = \frac{M_{max}}{F_b} \text{ (cm}^3\text{)} \dots\dots\dots III.30$$

DONDE :

Mmax, de III.27 (cm-kg)

Fb = Esfuerzo a flexión, para el A-36 = 1520 kg/cm²

Se debe cumplir la condición que $Sp > Srl$, de otra forma se incrementará el Sp propuesta, calculando nuevamente $Wt1$, de III.26, M_{max} , de III.27, y Srl , de III.26 Hasta que $Sp > Srl$

Revisión por Deflexión.

Deflexión Máxima, Δ_{max} ,

$$\Delta_{max} = \frac{5 \cdot Wt1 \cdot Lt^4}{384 \cdot E \cdot I_{xx}} \text{ (cm)} \dots\dots\dots III.31$$

DONDE :

Wt1, de III.28 (Convertir a Kg/cm)

Lt = Claro de la trabe (cm)

E = Módulo de elasticidad, para el A-36 es igual a 2'039 000 kg/cm²

Ixx = Momento de inercia x-x de la Sección - propuesta para la trabe (cm⁴)

Deflexión Permisible, Δ_{perm}

$$\Delta_{perm} = \frac{L_t}{360} \text{ (cm)} \dots\dots\dots \text{ III.32}$$

DONDE :

L_t = Claro de la trabe (cm)

Se debe cumplir la condición que $\Delta_{perm} > \Delta_{max}$ de otra forma se deberá incrementar el peso de la sección, calculando nuevamente W_{t1} , de III.28, Δ_{max} , de III.31, y Δ_{perm} , de III.32, hasta que se cumpla la condición anterior.

Elección de un Peralte Menor al Requerido.

Al igual que los largueros, se hace el mismo análisis cuando se presenta este caso :

Reducción del esfuerzo permisible, F_{b1} , de III.27

$$F_{b1} = \frac{d_p}{L_t} \frac{42222}{L_t} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{ III.33}$$

DONDE :

d_p = Peralte de la sección propuesta, de la -
tabla III.6 (cm)

L_t = Claro de la trabe (cm)

Módulo de Sección Requerido, S_{r2} ,

$$S_{r2} = \frac{M_{max}}{F_{b1}} \text{ (cm}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{ III.34}$$

DONDE :

M_{max} , de III.29 (cm-kg)

F_{b1} , de III.33 (kg/cm²)

Se debe cumplir que $S_p > S_{r2}$ de otra forma se elige un peralte mayor y se calcula nuevamente Wt_1 , de ...III.28 y se revisa por deflexión

III. 6.3 DISEÑO DE COLUMNAS

Peso que soporta la columna central.

$$P = \frac{Wl_1 L_1}{2} \times N_1 \text{ (kg)} \dots\dots\dots \text{III.35}$$

DONDE :

- Wl_1 , de III.17 (kg/m)
- L_1 = Claro del larguero L_1 (m)
- N_1 = Número de largueros L_1

Peso que soportan las columnas secundarias.

Peso en Columnas K2

$$P_2 = \frac{Wt_1 L_t}{2} \times 2 = Wt_1 L_t \text{ (kg)} \dots\dots\dots \text{III.36}$$

DONDE :

- Wt_1 , de III.26 (kg/m)
- L_t = Claro de la trabe t_1 (m)

Peso en columnas, K3

$$P_3 = Wt_2 L_{t2} \text{ (kg)} \dots\dots\dots \text{III.37}$$

DONDE :

- Wt_2 , similar a III.26 en (kg/m)
- L_{t2} = Claro de la trabe T_2 (m)

Quando existen más columnas secundarias K4, k5, etc., el diseño de columnas es similar al diseño para las columnas K2 y k3.

Se pueden proponer cualquiera de los arreglos mostrados en las figuras III.7 y III.7a o cualquier otro donde se haga una combinación de una sección I y una sección C.

Determinación del Centro de Gravedad.

Para determinar el centro de gravedad de las secciones compuestas, utilizadas como columnas en tanques de almacenamiento atmosféricos de cúpula fija, se podrá efectuar mediante el teorema de ejes paralelos, o se pueden encontrar tabuladas las propiedades de las secciones compuestas en el Manual AHMSA, (cuando estas son de las mismas dimensiones).

A continuación se muestra un ejemplo con las secciones de las figuras III.7 y III.7a de la forma en que se encuentran las propiedades de estas secciones compuestas.

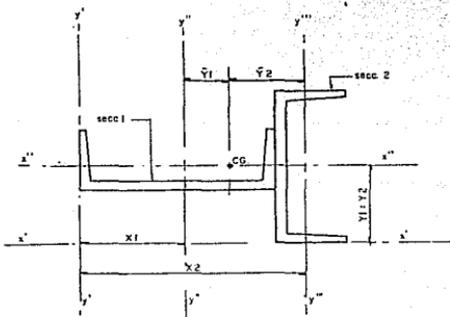


FIGURA III. 7

$$x_1 = x_2 = 0$$

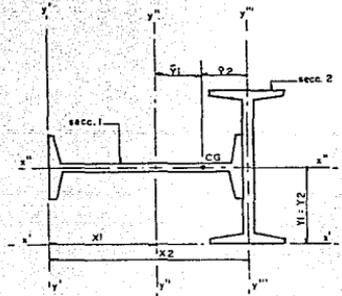


FIGURA III. 7a

Para estos arreglos los ejes X'' y X''' son el mismo eje.

$$\bar{Y} = \frac{\sum AY}{\sum A} = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2}{A_1 + A_2} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots \text{III.38}$$

DONDE :

- Y1 = Distancia entre los ejes X'-X'' (cm)
- Y2 = Distancia entre los ejes X''-X''' (cm)
- A1 = Area de la Sección 1 (cm²)
- A2 = Area de la Sección 2 (cm²)
- Ȳ = Distancia entre el eje X'-C.G. (cm)

$$\bar{X} = \frac{\sum AX}{\sum A} = \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2}{A_1 + A_2} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots \text{III.39}$$

DONDE :

- X1 = Distancia entre los ejes Y'-Y'' (cm)
- X2 = Distancia entre los ejes Y''-Y''' (cm)
- A1 = Area de la Sección 1 (cm²)
- A2 = Area de la Sección 2 (cm²)
- X̄ = Distancia entre eje Y'-C.G. (cm)
- ȳ1 = Distancia entre C.G. y C.G.1 (cm)
- ȳ2 = Distancia entre C.G. y C.G.2 (cm)

Momento de inercia con respecto al centro de gravedad.

$$I_y = I_{Y1} + I_{Y2} + [A_1 \bar{Y}_1^2 + A_2 \bar{Y}_2^2] \quad (\text{cm}^3) \dots\dots\dots \text{III.40}$$

DONDE :

- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> IY1 = IXX de la Sección 1 IY2 = IYY de la Sección 2 IX1 = IYY de la Sección 1 IX2 = IXX de la Sección 2 | } | Tabulados en el
manual de
AHMSA (cm ⁴) |
|--|---|--|

$$I_x = I_{X1} + I_{X2} + [A_1 \bar{X}_1^2 + A_2 \bar{X}_2^2] \quad (\text{cm}^3) \dots\dots\dots \text{III.41}$$

Radio de giro sobre el eje en que puede presentarse el pandeo, r

$$r = \sqrt{I/A} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots \text{III.42}$$

DONDE :

$$I, \text{ será el menor de } \dots \text{III.40 y } \dots \text{III.41 (cm}^4\text{)}$$
$$A = A_1 + A_2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Carga crítica de esbeltez, C_c .

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{FY}} = 126.12 \text{ para el A-36 } \dots \text{III.43}$$

DONDE :

E = Módulo de elasticidad del material,
2'039 000 kg/cm² para el A-36

FY = Punto de cedencia, para el A-36 = 2530
kg/cm²

Relación de esbeltez, KL/r .

$$\frac{KL}{r} \text{ No debe ser mayor de 200 } \dots \text{III.44}$$

DONDE :

$K = 1$

L = Longitud de columna (cm)

r = Radio de giro (cm)

Carga máxima que soporta la columna, P_{max} .

$$P_{max} = F_a A_k \text{ (kg) } \dots \text{III.45}$$

DONDE :

F_a = Esfuerzo a compresión (kg/cm²) de la
tabla III.7

A_k = Area transversal de la columna (cm²)

Donde P_{max} , debe ser $\succcurlyeq P_1, P_2, P_3, P_4$, de \dots III.31, III.32, -
III.33, respectivamente.

Si se cumple esta condición, entonces la columna propuesta es la adecuada, de otra forma se tendrá que incrementar el área de las secciones componentes de la columna.

Tensiones unitarias admisibles para columnas de acero A36*
(En kilogramos por centímetro cuadrado)

Elementos principales y secundarios Nitr por debajo de 120			Elementos principales Nitr 121 a 200			Elementos secundarios* Nitr 121 a 200		
N ₁ F ₁ (kg/cm ²)	N ₂ F ₂ (kg/cm ²)	N ₃ F ₃ (kg/cm ²)	N ₁ F ₁ (kg/cm ²)	N ₂ F ₂ (kg/cm ²)	N ₃ F ₃ (kg/cm ²)	N ₁ F ₁ (kg/cm ²)	N ₂ F ₂ (kg/cm ²)	N ₃ F ₃ (kg/cm ²)
1 1599.20	41 1337.70	81 1066.90	121 799.90	161 493.20	121 713.30	161 507.50		
2 1556.40	42 1307.10	82 1036.30	122 769.30	162 462.60	122 682.70	162 476.90		
3 1503.60	43 1276.50	83 1005.40	123 738.70	163 432.00	123 652.10	163 446.30		
4 1450.80	44 1245.90	84 974.50	124 708.10	164 398.50	124 621.50	164 415.70		
5 1397.30	45 1214.60	85 943.30	125 677.50	165 364.30	125 590.90	165 385.10		
6 1343.50	46 1183.00	86 911.90	126 646.90	166 329.50	126 560.30	166 354.50		
7 1289.00	47 1151.70	87 880.30	127 616.30	167 294.50	127 529.70	167 323.90		
8 1234.50	48 1120.10	88 848.70	128 585.70	168 259.50	128 499.10	168 293.30		
9 1180.00	49 1088.50	89 817.10	129 555.10	169 224.50	129 468.50	169 262.70		
10 1125.50	50 1056.90	90 785.50	130 524.50	170 189.50	130 437.90	170 232.10		
11 1071.00	51 1025.30	91 753.90	131 493.90	171 154.50	131 407.30	171 201.50		
12 1016.50	52 993.70	92 722.30	132 463.30	172 119.50	132 376.70	172 170.90		
13 962.00	53 962.10	93 690.70	133 432.70	173 84.50	133 346.10	173 140.30		
14 907.50	54 930.50	94 659.10	134 402.10	174 49.50	134 315.50	174 109.70		
15 853.00	55 898.90	95 627.50	135 371.50	175 14.50	135 284.90	175 79.10		
16 798.50	56 867.30	96 595.90	136 340.90	176 14.50	136 254.30	176 48.50		
17 744.00	57 835.70	97 564.30	137 310.30	177 14.50	137 223.70	177 17.90		
18 689.50	58 804.10	98 532.70	138 279.70	178 14.50	138 193.10	178 17.90		
19 635.00	59 772.50	99 501.10	139 249.10	179 14.50	139 162.50	179 17.90		
20 580.50	60 740.90	100 469.50	140 218.50	180 14.50	140 131.90	180 17.90		
21 526.00	61 709.30	101 437.90	141 187.90	181 14.50	141 101.30	181 17.90		
22 471.50	62 677.70	102 406.30	142 157.30	182 14.50	142 70.70	182 17.90		
23 417.00	63 646.10	103 374.70	143 126.70	183 14.50	143 40.10	183 17.90		
24 362.50	64 614.50	104 343.10	144 96.10	184 14.50	144 9.50	184 17.90		
25 308.00	65 582.90	105 311.50	145 65.50	185 14.50	145 14.50	185 17.90		
26 253.50	66 551.30	106 279.90	146 34.90	186 14.50	146 14.50	186 17.90		
27 199.00	67 519.70	107 248.30	147 4.30	187 14.50	147 14.50	187 17.90		
28 144.50	68 488.10	108 216.70	148 14.50	188 14.50	148 14.50	188 17.90		
29 90.00	69 456.50	109 185.10	149 14.50	189 14.50	149 14.50	189 17.90		
30 35.50	70 424.90	110 153.50	150 14.50	190 14.50	150 14.50	190 17.90		
31 199.90	71 1143.10	111 907.80	151 458.50	191 796.30	151 542.50	191 444.50		
32 199.90	72 1138.40	112 900.00	152 452.70	192 783.50	152 538.30	192 440.30		
33 191.10	73 1128.40	113 888.20	153 446.60	193 769.70	153 534.80	193 441.00		
34 182.30	74 1118.00	114 876.10	154 440.00	194 757.90	154 531.30	194 441.00		
35 173.50	75 1107.00	115 863.90	155 433.40	195 746.10	155 527.80	195 439.50		
36 164.70	76 1096.00	116 851.70	156 426.80	196 734.30	156 524.30	196 438.00		
37 155.90	77 1084.50	117 839.50	157 420.20	197 722.50	157 520.80	197 436.50		
38 147.10	78 1073.00	118 827.30	158 413.60	198 710.70	158 517.30	198 435.00		
39 138.30	79 1061.50	119 815.10	159 407.00	199 698.90	159 513.80	199 433.50		
40 129.50	80 1050.00	120 802.90	160 400.40	200 687.10	160 510.30	200 432.00		

* Reproducción del Manual de la construcción con acero con permiso del Instituto Americano de la Construcción con Acero.
! K, tomado como 1,0 para los elementos secundarios.

III.7 ANALISIS SISMICO.

=====

Existe una gran cantidad de tanques de almacenamiento que se encuentran ubicados en las plantas de distribución en todo el territorio nacional, y debido a que en nuestro país podemos encontrar zonas con diferente intensidad sísmica, todos los tanques de almacenamiento ubicados en estas diferentes zonas, requerirán ser analizados por sismo en función del grado de peligro que presente la zona donde deberán ser instalados estos tanques.

En la siguiente figura se presenta un esquema de la República Mexicana, en el cual se encuentran delimitadas las diferentes zonas sísmicas que existen en nuestro país.

ZONAS SISMICAS DE LA REPUBLICA MEXICANA



III. 7.1 DISEÑO POR CARGA

Momento de Volteo, M.

$$M = ZI (C1WsXs + C1WrHt + X1W1X1 + C2W2X2) \text{ m}\cdot\text{kg}.. \text{ III.46}$$

DONDE :

- Z = Coeficiente sísmico de la zona (implícito en C1 y C2)
- I = Factor de facilidad esencial
- C1 = Coeficiente sísmico en función del coeficiente sísmico básico.
- C2 = Coeficiente sísmico en función de la ordenada espectral.
- X2 = Altura del fondo al punto donde se aplica la fuerza lateral W2 (m)
- Ws = Peso total de la envolvente (kg)
- Hs = Altura media del tanque (m)
- Wt = Peso total del contenido del tanque (kg)
- Ht = Altura total de la envolvente (m)
- W1 = Altura del fondo al punto donde se aplica la fuerza lateral W1 (m)
- W2 = Peso de la masa efectiva del líquido en agitación (kg)
- W1 = Peso de la masa del contenido que se mueve con la envolvente (kg)

En la siguiente figura se muestran esquemáticamente algunas de las variables de la fórmula utilizada para calcular el momento de volteo.

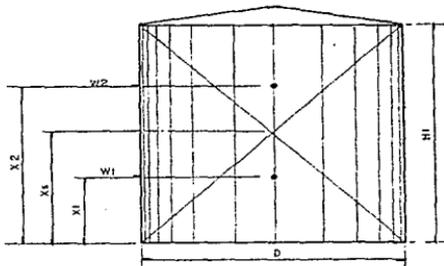


FIGURA III. 9

$$C1 = \frac{C}{Q} \dots\dots\dots III.47$$

DONDE :

C = Coeficiente sísmico básico de tabla III.8

Q = Factor de ductilidad = 2 para tanques de almacenamiento.

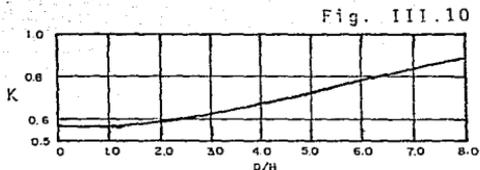
Para el cálculo de C2, se tiene que calcular antes el periodo natural, T.

$$T = 1.81 K \sqrt{D} \dots\dots\dots III.47a$$

DONDE.:

K = Factor obtenido de la relación D/H, de figura III.10

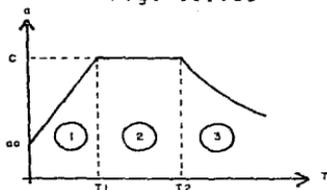
D = Diámetro del tanque (m)



Fuente: API 650

Una vez calculado el valor del periodo, se observa en el espectro de diseño el rango de tiempo en el cual se encuentra el periodo, calculando el valor de la ordenada espectral a.

Fig. III.11



① $0 < T < T1 : a = a_0 + \frac{c-a_0}{T1} T \dots\dots\dots III.48$

② $T1 \leq T \leq T2 : a = c \dots\dots\dots III.49$

③ $T > T2 : a = c \left(\frac{T2}{T}\right)^r \dots\dots\dots III.50$

Fuente Manual de Obras Civiles de la C.F.E.

DONDE :

- a = Ordenada espectral de III.48, III.49 ó III.50
- a₀ = Ordenada espectral para T=0
- C = Coeficiente sísmico básico, de tabla -- III.8
- T = Periodo natural de la estructura, o uno de sus modos (seg)
- T₁, T₂ = Periodos naturales que definen la forma del espectro (seg)
- r = Exponente adimensional

Coeficiente sísmico en función de la ordenada espectral, C₂

$$C_2 = \frac{a}{Q} \dots\dots\dots III.51$$

DONDE :

- Q = Factor de ductilidad (igual a 2 para tanques de almacenamiento)

En la siguiente tabla se muestran los valores del espectro sísmico.

Tabla III.8

Zona Sísmica	Tipo de Suelo	C	a ₀	t ₁	t ₂	r
A	I	0.08	0.03	0.30	0.8	1/2
	II	0.12	0.045	0.55	2.0	2/3
	III	0.16	0.06	0.75	3.3	1
B	I	0.16	0.03	0.30	0.8	1/2
	II	0.20	0.045	0.50	2.0	2/3
	III	0.24	0.06	0.80	3.3	1
C	I	0.24	0.05	0.25	0.67	1/2
	II	0.30	0.08	0.45	1.60	2/3
	III	0.36	0.10	0.60	2.90	1
D	I	0.48	0.09	0.15	0.55	1/2
	II	0.56	0.14	0.30	1.40	2/3
	III	0.64	0.18	0.45	2.70	1

Fuente: Manual de Obras Civiles de la C.F.E.

Para estructuras tipo A multiplicar los valores de C, ao por 1.3

Peso total del techo, W_r .

$$W_r = A_t W/A \quad (\text{Kg}) \quad \dots\dots\dots \text{III.52}$$

donde:

A = Area del techo (M^2)

W/A = Peso / M^2 de la placa (Kg/M^2)

$$A_t = r(h^2 + r^2)^{1/2}, \quad h = r \tan \theta$$

Las masas efectivas W_1 , W_2 se obtienen de la relación D/H con la figura III.10 con el valor D/H se entra a la figura III.12; se igualan estos valores en las relaciones $\frac{W_1}{W_2}$ y $\frac{W_2}{W_T}$, de tal forma que puedan despejar los valores de W_1 y W_2 , de la siguiente forma :

$$\frac{W_1}{W_2} = ? \quad \therefore \quad W_1 = ? W_2 \quad \therefore \quad W_2 = ? W_T \quad \dots\dots\dots \text{III.53}$$

DONDE :

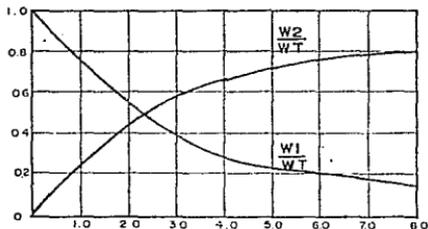
W_T = Peso total del contenido del tanque (kg)

$$W_T = V\rho \quad (\text{Kg}) \quad \dots\dots\dots \text{III.54}$$

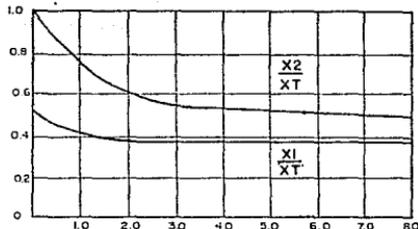
DONDE :

V = Volumen (m^3)

ρ = Densidad del líquido almacenado Kg/m^3



D/H FIGURA III.12



D/H FIGURA III.13

TABLA III.9

Capacidad (Bl's)	D/H	X1/H	X2/H	W1/Wt	W2/Wt
500	0.93	0.91	0.79	0.81	0.19
1,000	1.11	0.39	0.72	0.77	0.25
1,500	0.88	0.41	0.79	0.81	0.18
2,000	1.02	0.40	0.75	0.77	0.23
3,000	1.25	0.38	0.69	0.63	0.28
5,000	0.87	0.41	0.79	0.81	0.19
10,000	1.00	0.40	0.75	0.77	0.23
15,000	1.81	0.37	0.62	0.58	0.41
20,000	1.5	0.37	0.67	0.68	0.5
30,000	1.83	0.37	0.62	0.58	0.41
40,000	2.125	0.37	0.6	0.52	0.45
55,000	2.5	0.37	0.57	0.47	0.52
80,000	3	0.37	0.55	0.38	0.58
100,000	3.35	0.37	0.53	0.35	0.52
150,000	3.125	0.37	0.54	0.38	0.60
200,000	3.75	0.37	0.58	0.30	0.65

De la misma forma que se encontraron $W1$, $W2$, se obtienen las alturas $X1$ y $X2$, solo que ahora se utilizan la figura III.13 y la relación D/H .

Se procede a calcular el momento de volteo M , debido a que ya se conocen los valores de todas las variables de esta fórmula.

III. 7.2 RESISTENCIA AL VOLTEO, WL .

La resistencia al volteo, WL , nos representa el peso máximo del

del contenido del tanque que puede ser considerado como resistencia al volteo.

$$WL = 31.63 \text{ td} \sqrt{F_{by} GH} \quad (\text{kg/m circ}) \dots\dots\dots \text{III.55}$$

DONDE :

- td = Espesor requerido del anillo anular del fondo (cm)
- F_{by} = Esfuerzo de cedencia del anillo anular del fondo (Kg/cm²)
- G = Gravedad específica del líquido almacenado
- H = Altura del tanque (m)

WL no debe ser mayor a 20.04 GDH de otra forma se dice que el tanque es estructuralmente inestable y se procederá a anclar (ver tanques anclados) punto III.8 del presente capítulo.

Compresión en la Envolvente,

La máxima fuerza longitudinal de compresión en el fondo b, podrá ser calculada dependiendo de la relación.

$$\frac{M}{D^2 (W_t + W_L)} \dots\dots\dots \text{III.56}$$

DONDE :

- D = Diámetro del tanque (m)
- M = Momento de volteo de... III.46 (kg-m)
- W_L = Resistencia al volteo de . III.55 (kg-m circ)
- W_t, de III.57 (kg-m circ)

$$W_t = \frac{W_r + W_s}{\pi D} \quad (\text{kg/m circ}) \dots\dots\dots \text{III.57}$$

DONDE :

- W_r = Peso total del techo (kg) de...III.52

Ws = Peso total del cascarón (kg)
 D = Diámetro del tanque (m)

CUANDO : $\frac{M}{D^2 (Wt+WL)} \leq 0.75$, $b = \frac{Wt + 1.273m}{D^2}$ III.58

CUANDO : $1.57 < \frac{M}{D^2 (Wt+WL)} \leq 1.5$, $\frac{b + WL}{Wt+WL}$
 Puede ser calculado de la Fig. III.14 III.59

CUANDO : $\frac{M}{D^2 (Wt + WL)} \leq 1.57$ III.60

b podrá ser calculado de la siguiente fórmula III.61

$$\frac{b + WL}{Wt + WL} = \frac{1.490}{1 - \left[\frac{0.627}{D^2 (Wt + WL)} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{III.61}$$

CUANDO : $\frac{M}{D^2 (Wt + WL)} > 1.57$, o $\frac{b}{100 \text{ tb}}$ III.62

Exceda a Fa, se concluye que el tanque es estructuralmente inestable y se procederá a anclar, ver punto III.8

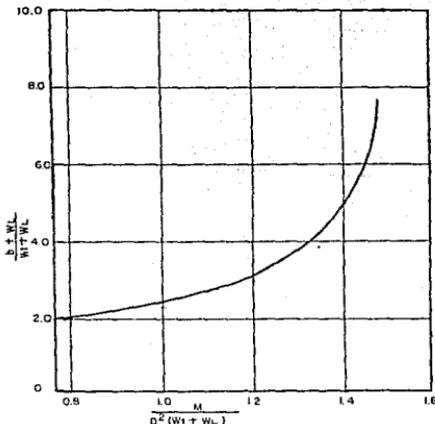


FIGURA III.14
 FUENTE: A.P.I 650

Esfuerzo máximo permisible en la envolvente, F_a .

CUANDO : $1.924 \frac{GDH^2}{tb^2} \geq 8445$ III.63

ENTONCES : $F_a = \frac{8445 td}{D}$ (kg-cm²) III.64

DONDE :

t_d = Espesor corroído del anillo inferior (cm)

D = Diámetro nominal (m)

H = Altura del Tanque (m)

CUANDO : $1.924 \frac{GDH^2}{td^2} < 8445$ de III.63

ENTONCES : $F_a = \frac{8445 td}{2.5D} + 76.48 \sqrt{GH}$ III.65

Esfuerzo máximo de compresión, F_{max} III.65a

$$F_{max} = \frac{b}{100 td} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

F_{max} debe ser $<$ a F_a , de otra forma se anclará el tanque.

III.8 TANQUES ANCLADOS.

=====

Quando por condiciones sísmicas se considere que el tanque es estructuralmente inestable, se procederá a anclar el tanque.

Las anclas deberán proveer una resistencia por unidad circunferencial, f ,

$$f = \frac{1.273M}{D^2} \text{ (kg/m)} \text{ III.66}$$

DONDE :

M = Momento de volteo de(kg-m)

D = Diámetro nominal (m)

Fuerza total que actúa en las anclas, F,

$$F = T D F \quad (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots \text{III.67}$$

DONDE :

D = Diámetro del tanque (m)

f, de III.66

Número necesario de anclas, n,

$$n = \frac{F}{f_{\text{perm}} A_{\text{ancla}}} \quad \dots\dots\dots \text{III.68}$$

DONDE :

F, kg, de III.67

f_{perm} = Esfuerzo permisible de las anclas (kg/cm²), de III.66

Aancla = Area de la raíz del ancla tabuladas en la figura III.15 (cm²)

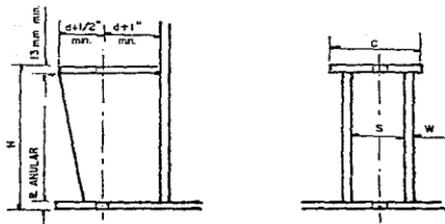
Esfuerzo permisible en las anclas, f_{perm} .

$$f_{\text{perm}} = \frac{\text{esfuerzo último a la tensión}}{F_s} \quad \dots\dots\dots \text{III.69}$$

DONDE :

Esfuerzo último a la tensión para el A-307 = 3490 kg/cm²

F_s = 4 del código ASME Sección VIII, Div. II



DIAM. ANCLA d mm	ALTURA H mm	CARTABONES		ANCHO P. C mm	AREA RAIZ ANCLA cm ²
		W mm	S mm		
32	305	13	102	204	5.74
38					8.32
44					11.22
51					14.83
57	381	16	108	179	19.48
64			114		24.00
70			121		29.80
76	457	18	127	204	36.25

FIGURA III.15

ANCLAS ESTANDAR PARA TANQUES
DE ALMACENAMIENTO

III.9 EJEMPLO DE APLICACION.

=====

I DATOS DE DISEÑO : FLUIDO COMBUSTOLEO.

Presión de operación = atmosférica

Presión de diseño = atmosférica

Temperatura de operación = 32 °C

Temperatura de diseño = 50 °C

Gravedad específica = 1

Presión de viento = 46 kg/cm² para Tula, Hgo., de cuadro III.5

Material { Techo
Fondo
Envolvente } 283-C

Corrosión permisible = 3mm

Capacidad = 55 000 bts.

Altura = 12.192m

Diámetro = 30,480m

} De tabla de dimensiones
(tabla I.1, Cap. I)

Lugar de la planta Tula, Hidalgo.

III. 9.1 DETERMINACION DEL ESPESOR DEL FONDO.

De acuerdo al punto III. 3.1

Espesor requerido, tr será = 6.4mm

tr = 6.4mm

El espesor de diseño de acuerdo al punto III. 3.2, será :

td = tmin + corrosión

td = 6.4 + 3 = 9.4mm

El espesor nominal se obtiene de acuerdo al punto III. 3.3, apoyándose en la tabla III.1

$$t_n = 9.5\text{mm}$$

III. 9.2 DETERMINACION DE LOS ESPESORES EN LA ENVOLVENTE

El número de anillos de acuerdo a sus dimensiones será = 5 de acuerdo a la tabla III.3

El espesor requerido t_{r1} , para el anillo superior será :

$$t_r = \frac{5D(H-0.3)G}{E S_d} \text{ de, III.1}$$

D = Diámetro del tanque (m)

H = Altura del tanque (m)

G = Gravedad específica (adimensional)

E = Eficiencia de las juntas (85%)

S_d = Esfuerzo de diseño para el material de la envolvente para el A-283-C = 1406 kg/cm² de la tabla III.2

$$t_r = \frac{5(30.48)(12.192-0.3)1}{0.85(1406)} = 1.51 \text{ cm}$$

El espesor de diseño para el anillo superior será de acuerdo al punto III.4.2

$$t_{d1} = t_r + c = 1.51 + 0.3 = 1.81 \text{ cm}$$

t_r de III.1 (cm)

c = Espesor adicional por corrosión = 3mm = 0.3 cm

Espesor nominal del anillo inferior, se elige de acuerdo al punto

to III. 4.3

$$t_n = 19.1 \text{ mm}$$

Para los siguientes anillos, unicamente varia la altura, por tanto, se utiliza el mismo criterio utilizado para el primer anillo :

$$tr_2 = \frac{5(30.48)(12.192 - 0.3 - 2.43)}{0.85(1406)} = 0.12752(9.462) = 1.20 \text{ cm}$$

$$td_2 = 1.2 + 0.3 = 1.50 \text{ cm}$$

$$tn_2 = 15.9 \text{ mm}$$

$$tr_3 = 0.12752(9.453 - 2.43) = 0.89 \text{ cm}$$

$$td_3 = 0.89 + 0.3 = 1.19 \text{ cm}$$

$$tn_3 = 12.7 \text{ mm}$$

$$tr_4 = 0.12752(7.015 - 2.43) = 0.58 \text{ cm}$$

$$td_4 = 0.58 + 0.3 = 0.88 \text{ cm}$$

$$tn_4 = 9.5 \text{ mm}$$

$$tr_5 = 0.12752(4.576 - 2.43) = 0.27 \text{ cm}$$

$$td_5 = 0.27 + 0.3 = 0.57 \text{ cm}$$

$$tn_5 = 6.4 \text{ mm}$$

Diseño del techo :

Debido a la capacidad del tanque, el tipo de arreglo para la estructura del techo será similar a la figura III.3b, de acuerdo con la tabla III.4

- a) El espesor requerido tr , será igual a 4.8 mm de acuerdo al punto III. 6a
- b) El espesor de diseño td , será :

$$td = tr + \text{corrosión}$$

$$td = 4.8 + 3 = 7.8 \text{ mm}$$

c) Espesor nominal t_n , será elegido de los espesores comerciales mostrados en la tabla III.1, por tanto: $t_n = 7.9 \text{ mm}$

$$t_n = 7.9 \text{ mm}$$

$$NL = \frac{\pi (12.942)}{1.91} = 21.28 \text{ largueros deIII.3}$$

Para diámetro D1 de tabla III.4

$$N11 = 24 \text{ largueros}$$

$$\text{Para diámetro D2 : } NL = \frac{\pi (30.48)}{1.91} = 50.13 \text{ deIII.3}$$

$$N12 = 54 \text{ largueros}$$

Cargas aplicadas

$$P1 = \text{Carga viva} = 122 \text{ kg/m}^2$$

$$P2 = \text{Para placa de 7.9 de la tabla III.1 el peso/m}^2 = 6224 \text{ kg/m}^2$$

$$P3 = \text{Carga por viento : } P3$$

Para Tula, Hidalgo, el valor de diseño para viento es de -
46 kg/m² de la tabla III.5

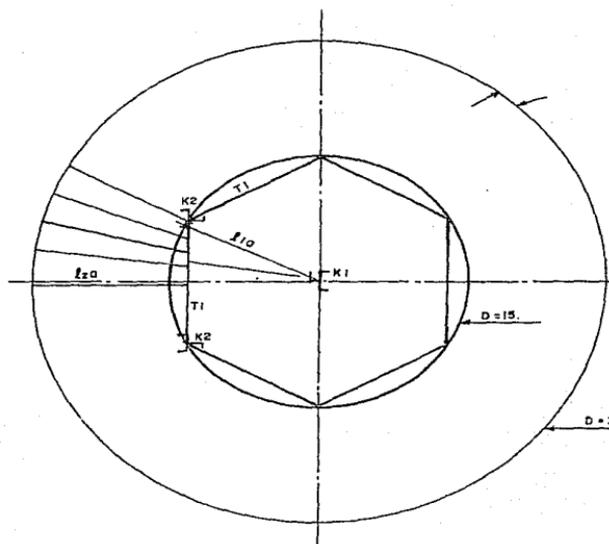
$$P3 = 46 \text{ Sen } (3.57^\circ) = 2.86 \text{ kg/m}^2, \text{ deIII.11}$$

Carga aplicada, W,

$$W = P1 + P2 + P3 = 122 + 62.24 + 2.86 = 187.10 \text{ kg/m}^2 \text{ deIII.12}$$

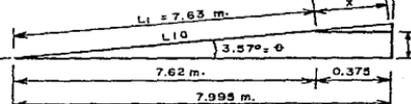
Carga uniforme que soporta el larguero, W11,

$$W11 = \frac{W A}{L11} = \frac{187.10 \times 8.41}{7.63} = 206.23 \text{ (kg/m)} \text{ deIII.13}$$



24 LARGUEROS L1 , 4 POR TRABE
54 " L2 , 9 " "

LOS LARGUEROS A ANALIZAR SON:
L1 y L2, POR SER LOS DE MAYOR LONGITUD



$$\cos \phi = \frac{7.62}{L_1} = \frac{7.62}{7.63} = 7.63 \text{ m de } \dots \text{ III. 4}$$

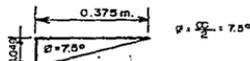
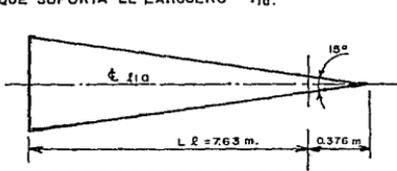
$$h_0 = L \tan \phi = 0.47 \text{ m de } \dots \text{ III. 5}$$

$$D = 30.48 \text{ m, } X = \frac{0.375}{\cos(3.57^\circ)} = 0.376 \text{ m de } \dots \text{ III. 6}$$

$$\alpha = \frac{360^\circ}{NL} = \frac{360^\circ}{24} = 15^\circ \text{ de } \dots \text{ III. 7}$$

FIGURA III.16

AREA QUE SOPORTA EL LARGUERO f_{10} .



$$\tan 7.5^\circ = \frac{Y}{0.375}$$

$$Y = 2(0.375) \tan 7.5^\circ = 0.049 \text{ m de } \dots \text{ III. 8}$$

$$J = 7.63 \tan 7.5^\circ = 1.004 \text{ m de } \dots \text{ III. 7a}$$



$$A1 = 0.098(7.63) = 0.75 \text{ m}^2 \text{ de } \dots \text{ III. 9}$$

$$A2 = \frac{1.004(7.63)}{2} = 7.66 \text{ m}^2 \text{ de } \dots \text{ III. 10}$$

$$A = 0.75 + 7.66 = 8.41 \text{ m}^2 \text{ de } \dots \text{ III. 10a}$$

FIGURA III.17

Momento máximo generado, M,

$$M = \frac{Wl_1 l_1^2}{8} \times 100 = \frac{206.23 (7.53)^2}{8} \times 100 = 150\,081 \text{ (cm-kg) de } \dots \text{III.14}$$

Módulo de sección requerido, Sr,

$$S_r = \frac{M}{f_b} = \frac{150081}{1520} = 98.73 \text{ (cm}^3\text{) de } \dots \text{III.15}$$

Módulo de sección propuesto

Peralte requerido, dr.

$$dr \geq \frac{f_b}{42222} L_1 = 2.32 \times 10^{-5} (1520) (763) = 27.48 \text{ de } \dots \text{III.16}$$

Por tanto dp no debe ser menor a 27.48 cm

Para elegir el módulo de sección propuesto, Sp, debe ser mayor a Sr, por tanto de la tabla III.6 elegimos CPS de 254 mm x 37.2 kg/m.

$$A = 47.45 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 3796.0 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 298.2 \text{ cm}^3$$

Tomando en cuenta el peso del larguero.

Carga uniforme que soporta el larguero, WL1

$$WL_1 = Wl + Wl_1 = 37.2 + 206.25 = 243.45 \text{ kg/m de } \dots \text{III.17}$$

Momento máximo considerando el peso del larguero, Mmax

$$M_{\max} = \frac{WL_1 l_1^2}{8} \times 100 = \frac{243.45 (7.53)^2}{8} \times 100 = 177161 \text{ cm-kg } \dots \text{III.18}$$

Nuevo módulo de sección requerido, Sr_1

$$Sr_1 = \frac{M_{max}}{f_b} = \frac{177161}{1520} = 116.55 \text{ cm}^3 \quad \text{deIII.19}$$

$$S_p > Sr_1 \Rightarrow \text{OK}$$

Revisión por deflexión.

Deflexión máxima, Δ_{max} ,

$$\Delta_{max} = \frac{5wL^4}{384 E I_{xx}} = \frac{5(2.43)(7.63)^4}{384(2.039 \times 10^6)(3796)} = 1.38 \text{ cm} \quad \text{deIII.20}$$

Deflexión permisible, Δ_{perm} ,

$$\Delta_{perm} = \frac{L^1}{360} = \frac{763}{360} = 2.12 \text{ cm} \quad \text{deIII.21}$$

$$\Delta_{max} < \Delta_{perm}$$

$$1.38 < 2.12 \Rightarrow \text{OK}$$

Para este caso como el peralte requerido es mayor al peralte propuesto se hace revisión por peralte.

$$\text{Del AISC} \quad dr \geq \frac{f_b l}{42222} L^1 \quad \therefore f_b l = \frac{dr \cdot 42222}{L^1} \quad \text{deIII.22}$$

Esfuerzo permisible, $F_b l$.

$$F_b l = \frac{25.4 \times 42222}{763} = 1405 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de Sección, Sr_2 ,

$$Sr_2 = \frac{M_{max}}{f_b l} = \frac{177161}{1405} = 126.09 \quad \text{deIII.23}$$

$$298.2 > 126.09 \text{ (cm}^3\text{)}$$

El módulo de sección propuesto es mayor al módulo de sección requerido, por tanto, la sección propuesta es la adecuada.

Calculo del larguero, L_{2a} .

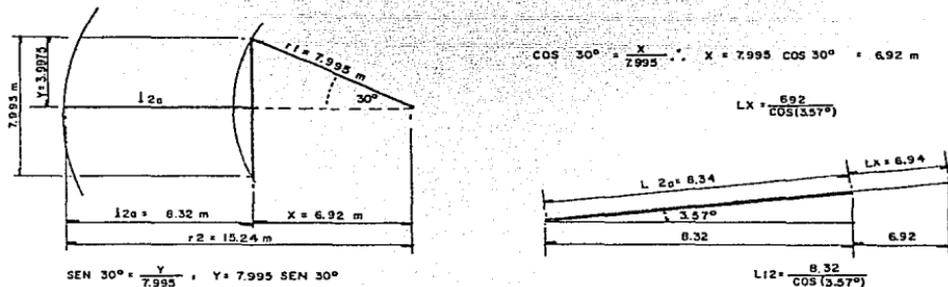


Figura III.18

Area de placa que soporta el larguero L_{2a} ,

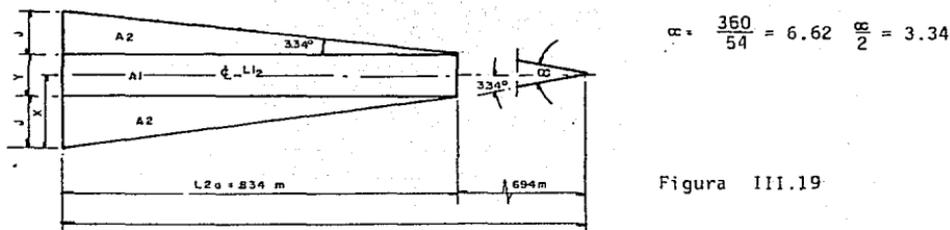


Figura III.19

$$\tan 3.34 = \frac{x}{15.28} ; \quad x = \tan (3.34^\circ) 15.28 = 0.89 \text{ m}$$

$$\tan 3.34 = \frac{j}{8.34} ; \quad j = \tan (3.34^\circ) 8.34 = 0.48 \quad \text{de...III.7a}$$

$$X-J = Y/z ; \quad Y = (X-J)^2 = (0.89-0.48)^2 = 0.82M \quad \text{de...III.8}$$

$$A1=0.82(8.34) = 6.83 M^2 \quad \text{de...III.9}$$

$$A2= 8.34 (0.48) = 4.0 M^2 \quad \text{de...III.10}$$

$$A \text{ Total}, A = 6.83 + 4.0 = 10.83 M^2 \quad \text{de...III.10a}$$

$$\text{Carga muerta} = \text{para placa de } 7.9m = 62.24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga viva}, P1 = 122 \text{ Kg/M}^2$$

Carga por viento, P3

$$\text{Para Tula, Hidalgo} = 46 \text{ kg/m}^2$$

$$P3 = 46 \text{ Sen } (3.57^\circ) = 2.86 \text{ kg/m}^2 \quad \text{de...III.11}$$

Carga aplicada, W.

$$W = P1+P2+P3+ = 122+62.24+2.86 = 187.10 \text{ kg/m}^2 \quad \text{de...III.12}$$

Carga uniforme que soporta el larguero, W12.

$$W12 = \frac{W A}{L12} = \frac{187.10 (10.83)}{8.34} = 243 \text{ kg/m} \quad \text{de...III.13}$$

Momento máximo generado, M.

$$M = \frac{W12 L12^2}{8} \times 100 = \frac{243 (8.34)^2}{8} \times 100 = 211303 \text{ cm-kg} \quad \text{de...III.14}$$

Módulo de sección requerido, Sr.

$$Sr = \frac{M}{fb} = \frac{211303}{1520} = 139.0 \text{ cm}^3 \quad \text{de...III.15}$$

Módulo de Sección Propuesto, Sp.

Peralte requerido, dr.

$$dr \geq \frac{F_b L_1^2}{42222} = 2.37 \times 10^5 (1530) (834) = 29.98 \text{ cm} \quad \text{de...III.16}$$

Por tanto dp debe ser mayor a 29.98 cm, pero en nuestro caso se elige una sección con peralte menor al requerido y se revisa por peralte.

Para elegir el módulo de sección propuesto, Sp, se considera que debe ser mayor a Sr, de otra forma se debe hacer la revisión por peralte.

La sección propuesta se elige de la tabla III.6 y por tanto elegimos CPS de 254mm x 47.42 kg/m, $I_x = 3796 \text{ cm}^4$, $S_x = 298.2 \text{ cm}^3$, $A = 47.42 \text{ cm}^2$.

Tomando en cuenta el peso de la trabe

Carga uniforme que soporta el larguero, WL2

$$WL2 = W1 + W12 = 37.2 + 243 = 280.2 \text{ kg/m} \quad \text{de...III.17}$$

Momento máximo considerando el peso del larguero, Mmax,

$$M_{\max} = \frac{WL2 L_1^2}{8} \times 100 = \frac{280.2 (8.34)^2}{8} \times 100 = 243\,618 \text{ cm-kg} \quad \text{de...III.18}$$

Nuevo módulo de sección requerido, Sr1.

$$Sr1 = \frac{M_{\max}}{F_b} = \frac{243618}{1520} = 160.27 \text{ cm}^3 \quad \text{de...III.19}$$

$S_p > S_{r1} \Rightarrow OK$

Revisión por deflexión.

Deflexión máxima Δ_{max} ,

$$\Delta_{max} = \frac{5 WL^2 L I_2^4}{384 E I x} = \frac{5 (2.802) (834)^4}{384 (2.039 \times 10^6) (3796)} = 2.28 \text{ cm.} \quad \text{de...III.20}$$

Deflexión permisible, Δ_{perm} ,

$$\Delta_{perm} = \frac{L I_2}{360} = \frac{834}{360} = 2.31 \text{ cm} \quad \text{de...III.21}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{perm} &> \Delta_{max} \\ 2.31 &> 2.28 \quad \Rightarrow OK \end{aligned}$$

Como $d_p < d_r$, se hace revisión por peralte

$$d_p = \frac{fb_1}{42222} \quad F_b = \frac{d_p \cdot 42222}{L I_2} \quad \text{de...I.16}$$

Esfuerzo permisible, fb_1 .

$$fb_1 = \frac{25.4 (42222)}{834} = 1286 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{de...III.22}$$

Módulo de Sección, S_{r2} ,

$$S_{r2} = \frac{M_{max}}{fb_1} = \frac{243618}{1286} = 189.43 \text{ cm}^3 \quad \text{de...III.23}$$

$298.2 > 189.43$ por tanto la sección propuesta es adecuada.

Diseño de Traveses :

Para este caso únicamente se calculan traveses T1 ver figura III.3b

Carga que soporta la trabe, Wt

$$Wt = \left[\frac{WL_1 L_1}{2} N_1 + \frac{WL_2 L_2}{2} N_2 \right] \frac{1}{Lt} = \left[\frac{243.45 (7.63)}{2} 4 + \frac{280.2 (8.34)}{2} 9 \right] \frac{1}{8}$$

$$Wt = 1779 \text{ kg/m} \quad \text{de....III.24}$$

Momento máximo generado, M.

$$M = \frac{Wt Lt^2}{8} = \frac{1779 (8)^2}{8} \times 100 = 1'423,200 \text{ cm-kg} \quad \text{de....III.25}$$

Módulo de sección requerido, Sr.

$$Sr = \frac{M}{Fb} = \frac{1'423,200}{1520} = 936.31 \text{ cm}^3 \quad \text{de....III.26}$$

Módulo de sección propuesto, Sp.

Peralte requerido, dr.

$$dr \geq \frac{1520 (800)}{42222} = 28.80 \text{ cm} \quad \text{de....III.27}$$

Sección propuesta, I Pr

$$dp = 40.64 \text{ cm} \quad W = 67.1 \text{ kg/m} \quad S = 1186.4 \text{ cm}^3 \quad I_{xx} = 24276.9 \text{ cm}^4$$

Considerando el peso propio de la trabe

Peso que soporta la trabe, Wt_1 ,

$$Wt_1 = W + Wt = 67.1 + 1779 = 1846.1 \text{ Kg/m} \quad \text{de...III.28}$$

Momento máximo, M_{max} .

$$M_{max} = \frac{Wt_1 L t^2}{8} \times 100 = \frac{1846.1 (8)^2}{8} \times 100 = 1'476,880 \text{ cm-kg} \quad \text{de...III.29}$$

Módulo de sección requerido, Sr_1 .

$$Sr_1 = \frac{M_{max}}{f_b} = \frac{1'476,880}{1520} = 972 \text{ cm}^3 \quad \text{de...III.30}$$

Revisión por deflexión.

Deflexión máxima, Δ_{max}

$$\Delta_{max} = \frac{5 Wt_1 L t^4}{384 E I_{xx}} = \frac{5 (18.461) (800)^4}{304 (2'039,000) 24276.9} = 1.98 \text{ cm} \quad \text{de...III.31}$$

Deflexión permisible, Δ_{perm}

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{360} = \frac{800}{360} = 2.22 \text{ cm} \quad \text{de...III.32}$$

$$\Delta_{perm} \quad \Delta_{max} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Calculo de columnas.

Peso que soporta las columnas K1 y K2 respectivamente:

$$P = \frac{Wt_1 L_1}{2} N_1 = \frac{243.45(7.63)}{2} \quad 24 = 22290 \text{ Kg} \quad \text{de...III.35}$$

$$P_2 = Wt_1 L t = 1846.1(8) = 14769 \text{ Kg} \quad \text{de...III.36}$$

CALCULO DE COLUMNAS.

Columna K1

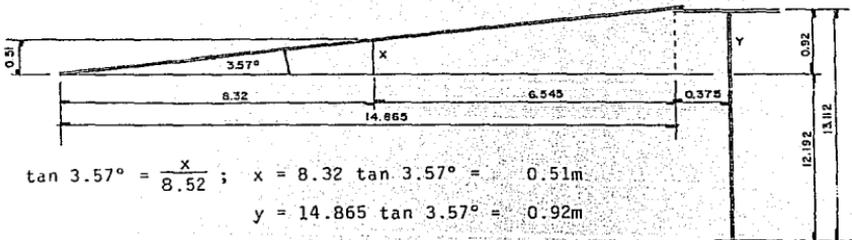
Peso que soporta la columna, P.

$$P = \frac{Wl_1 L_1}{2} \quad N_1 = \frac{243.34 (7.63)}{2} \quad 24 = 22,290 \text{ kg.} \quad \text{de....III.35}$$

Columna K2

Peso que soporta la columna, P2,

$$P_2 = \frac{Wt_1 L_t}{2} = 1,846.1 (8) = 14,769 \text{ kg} \quad \text{de....III.36}$$



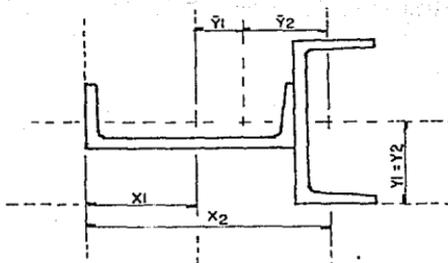
$$\tan 3.57^\circ = \frac{x}{8.52}; \quad x = 8.32 \tan 3.57^\circ = 0.51 \text{ m}$$

$$y = 14.865 \tan 3.57^\circ = 0.92 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la columna K1} = 12.192 + 0.92 = 13.11 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la columna K2} = 12.192 + 0.51 = 12.70 \text{ m}$$

Se propone el siguiente arreglo para todas las columnas :



SECCION 1 PERALTE = 20.3 cm
 PESO = 17.1 Kg/m
 $I_x = I_y = 64.4 \text{ cm}^4$
 $I_y = I_x = 1344.4 \text{ cm}^4$
 AREA = 21.7 cm²

SECCION 2 PERALTE = 25.4 cm
 PESO = 22.8 Kg/m
 $I_x = 2754.4 \text{ cm}^4$
 $I_y = 95.7 \text{ cm}^4$
 AREA = 28.8 cm²

X1 = 0.15 cm. de TABLA III, 6

X2 = 31.9 cm. de " " "

Y1 = Y2 = 12.7 cm. de " " "

DETERMINACION DEL CENTRO DE GRAVEDAD.

$$\bar{Y} = \frac{\sum AY}{\sum A} = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2}{A_1 + A_2} = \frac{(21.7 + 28.8) 12.7}{(21.7 + 28.8)} = 12.7 \text{ cm de... III.38}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum AX}{\sum A} = \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2}{A_1 + A_2} = \frac{21.7(10.15) + 28.8(21.9)}{21.7 + 28.8} = 16.85 \text{ cm de... III.39}$$

$$\bar{Y}_1 = 16.85 - 10.15 = 6.7 \text{ cm}$$

$$\bar{Y}_2 = 21.9 - 16.85 = 5.04 \text{ cm.}$$

MOMENTO DE INERCIA CON RESPECTO AL CENTRO DE GRAVEDAD:

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} + [A_1 \bar{Y}_1^2 + A_2 \bar{Y}_2^2] = 1344.4 + 95.7 + [21.6 (6.7)^2 + 28.8(5.04)^2] =$$

$$= 3148 \text{ cm}^4 \text{ de III.40}$$

$$IX = IXI + I_{X2} + [A1 \bar{x}_1^2 + A2 \bar{x}_2^2] = 64.4 + 2784.4 = 2849 \text{ cm}^4 \text{ de } \dots \text{ III.41}$$

El pandeo se puede presentar en el eje X.

RADIO DE GIRO.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{2849}{21.7+28.8}} = 7.51 \text{ cm de } \dots \text{ III.42}$$

CARGA CRITICA DE ESVELTEZ, C_c .

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \cdot 2'039'000}{2530}} = 126.12 \text{ para el A-36 de } \dots \text{ III.43}$$

$$\text{RELACION DE ESVELTEZ, } \frac{KL}{r} = \frac{(1) 1311}{7.51} = 174.5 \text{ de } \dots \text{ III.44}$$

COMO $\frac{KL}{r} > C_c$ Entonces el esfuerzo a compresión en la columna, f_a .

$$F_a = \frac{10'480000}{\left(\frac{K_L}{r}\right)^2} = \frac{10'480.000}{(174.5)^2} = 344.16 \text{ kg/cm}^2 \text{ de}$$

o' de la tabla III.7 para $\frac{K_L}{r} = 175$, $f_a = 341.60 \text{ kg/cm}^2$

Carga máxima que soporta el columna, $P_{\text{máx}}$.

$$P_{\text{máx}} = F_a A_{k1} = 341.60 (21.7 + 28.8) = 17250 \text{ kg de} \dots \text{III.45}$$

Para columna K1, $P_{\text{máx}} <$ que el peso que soporta la columna por tanto la sección se utilizara para las columna K2.

$P_{\text{máx}} >$ Peso que soporta la columna K2

$$17250 > 14264 \text{ kg} \Rightarrow 0k$$

Para las columnas K1 se propone el siguiente arreglo:

2 CPS de: Peralte = 25.4 cm
 Peso = 29.8 kg/m
 Area = 37.8

$$P_{\text{máx}} = 341.60 (37.8 \times 2) = 25825 \text{ kg. de} \dots \text{III.40}$$

P máx. > Peso que soporta la columna k1

25825 > 20933 kg \Rightarrow 0k

ANALISIS SISMICO.

=====

Movimiento de Volteo. M.

$M = ZI (C1 Ws Xs + C1 Wr Ht + C1 W1 X1 + C2 W2 X2)$ (kg-m) de..... III.46

Z = 1

I = 1

Para estructuras tipo B, zona sísmica D, y tipo de suelo III de tabla III'8

El coeficiente sísmico en función del coeficiente sísmico básico, C1.

$$C1 = \frac{C}{Q} = \frac{0.64}{2} = 0.32 \quad \text{de..... III.47}$$

De la relación D/H = $\frac{30.48}{12.192} = 2.5$ y de la figura III.10, K = 0.61

PERIODO. T.

$$T = 1.81 (0.61) \sqrt{30.48} = 6.1 \text{ (seg)} \quad \text{de III.47a,}$$

Con $T = 6.1$ Nos vamos a la figura III.11 Donde $T > T_2$ ($6.1 > 2.7$ seg)

Por tanto:

ORDENADA ESPECTRAL, a:

$$a = c \left(\frac{t_2}{T} \right)^r = 0.64 \left(\frac{2.7}{6.1} \right)^1 = 0.28 \quad \text{de ... III.50}$$

COEFICIENTE SISMICO EN FUNCION DE LA ORDENADA ESPECTRAL, C2

$$c = \frac{a}{Q} = \frac{0.28}{2} = 0.14 \quad \text{de III.51}$$

Peso total del techo, W_r

$$W_r = A_t \frac{W}{A} \quad (\text{kg}) \quad \text{..... III.52}$$

$$A_t = \pi r (h^2 + r^2)^{1/2} = \pi 15.21 (0.95^2 + 15.24^2)^{1/2} = 731.07 \text{ m}^2$$

$$h = r \cdot \tan \phi = 15.24 \tan (3.57^\circ) = 0.95 \text{ m}$$

$$W_r = 731.07 (62.24) = 45\,502 \text{ kg.}$$

Peso total de la envolvente, Ws.

Para cada anillo: Perímetro X ancho de placa X peso/m² de la placa.

$$= \pi (30.48) 2.43 \times \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$= 233 \text{ m}^2$$

DE TABLA III.1

t nom	Peso/m ²	
19.1	149.37	233 (149.87) = 34803 kg
15.9	124.49	233 (124.49) = 29006 kg
12.7	99.59	233 (99.69) = 17403 kg
6.4	49.76	233 (49.76) = 11594 kg
		<hr/>
		116 010 kg

Ws = 116 010 kg

Altura media del tanque, X_s .

$$X_s = \frac{H_t}{2} = \frac{12.192}{2} = 6.096 \text{ m}$$

Peso total del contenido del tanque, W_t .

$W_t = \text{Capacidad del tanque (m}^3\text{)} \times \text{gravedad específica de, III.54}$

$$1 \text{ BL} = 0.159 \text{ m}^3$$

$$55000 (0.159) / = 8745 \text{ m}^3 \times 1$$

$$= 8745 \times 10^3 \times 1 = 8\,745\,000 \text{ kg}$$

Peso de la masa del contenido que se mueve con la envolvente, W_1 , de tabla

III. 9, 0 figura III.12

$$\frac{W_1}{W_T} = 0.47$$

W_T

$$W_1 = 0.47 (8\,745\,000) = 4\,110\,150 \text{ kg}$$

Peso de la masa efectiva del líquido en agitación, W_2 , de tabla III.9, 0 figura III.12

$$\frac{W_2}{W_T} = 0.52$$

W_T

$$W2 = 0.52 (8745000) = 4'547\ 400 \text{ kg.}$$

Altura del fondo al punto donde se aplica las fuerzas; laterales W1 y W2:

$$\frac{X1}{Ht} = 0.37 \quad X1 = 0.37 (12.192) = 4.51 \text{ m de figura III.13 o tabla III.9}$$

$$X2 = 0.57 (12.182) = 6.94 \text{ m de figura III.13 o tabla III.9}$$

Sustituyendo valores en III.41

$$M = 1 \times 1 \quad 0.32 (116010) \quad 6.096 + 0.32 (46965) \quad 12.192 + 0.32 (4'110\ 150) \quad 4.51 + 0.14 (4'547400) \quad 6.94$$

$$= 226303 + 532664 + 5'931786 + 4'418254 = 10'759'556 \text{ kg-m de.....III.41}$$

$$= 075'955\ 600 \text{ cm-kg.}$$

Resistencia al volteo, W1.

$$20.04 \text{ GDH} = 20.04 (1) (30.48) 12.192 = 7447.10$$

$$WL = 31.63 \text{ td} \sqrt{fby \text{ GH}} = 31.63 (1.587) \sqrt{2109.5 (1) 12.192} \text{ de.....III.55}$$

$$= 3051.72 \text{ kg/m circ.}$$

$$WL > 20.04 \text{ GDH,} = 20.04 (30.48) (12.192) = 7447 \text{ kg/m circ.}$$

COMO $WL > 20.04$ GDH, $WL = 20.04$ GDH

$$WL = 7447 \text{ kg/m circ.}$$

$$\frac{M}{D^2 (Wt + WL)} = \frac{10^4 759 556}{100^2 (1702 + 7447)} = 1.26 < 1.50 \text{ de III.59}$$

ESFUERZO EN LA ENVOLVENTE, b:

Se calcula con la fig. III.14 y el valor 1.26.

$$\frac{b + WL}{Wt + WL} = 2.3 \text{ por tanto:}$$

$$b = 2.3 (Wt + WL) - WL$$

$$b = 2.3 (9149) - 7747 = 13296.$$

$$\frac{b}{100t} = \frac{13296}{100 (1.5875)} = 83.75 \text{ kg/cm}^2 \text{ de III.62}$$

ESFUERZO MAXIMO PERMISIBLE EN LA ENVOLVENTE, F_a :

$$1.924 \frac{GHD^2}{td} = \frac{1.924 (12.192) 100^2}{1.5875} = 8647 > 8445 \therefore$$

$$f_a = \frac{8445 td}{D} = \frac{8445 (1.5875)}{100} = 439.81 \text{ kg/cm}^2 \text{ de ...III.64}$$

El esfuerzo permisible es mayor al esfuerzo en la envoltente, por tanto el tanque es estructuralmente estable.

CAPITULO IV. FABRICACION.

El presente capítulo pretende establecer los requisitos mínimos que se deben tener presentes en la fabricación de los componentes de los tanques de almacenamiento, haciendo énfasis en que se cumplan los requisitos señalados durante el diseño.

La fabricación de tanques de almacenamiento, abarca un número de actividades muy amplio, sin embargo en este trabajo únicamente se consieran las características claves que se deben cuidar durante la fabricación, cada fabricante tiene su método de trabajo ya establecido, sin embargo, es importante supervisar el corte de las placas, el ensamble del fondo techo y envolvente, la orientación y localización de boquillas, grpas para plataformas, escaleras y tuberías, y sus respectivas juntas. En fin, no se busca únicamente cumplir con un buen diseño, sino también se debe tener en cuenta que un tanque pasa por varias etapas durante la fabricación, las cuales deben ser supervisadas para que al final el diseño sea complementado con una fabricación de calidad, y en consecuencia se tenga la confiabilidad requerida en las plantas de petróleo y sus derivados.

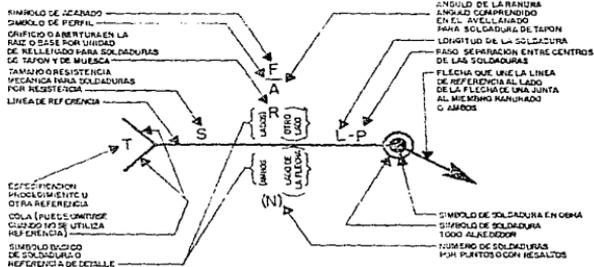
IV.1 SIMBOLOS DE SOLDADURA =====

Los símbolos de soldadura mostrados a continuación, son los utilizados en la fabricación de tanques de almacenamiento, atmosféricos, y éstos están aprobados por la AWS (American Welding Society) y son los mostrados en la siguiente figura.

TITULO:

SIMBOLOS DE SOLDADURA

ELEMENTOS DE UN SIMBOLO



TIPO DE SOLDADURA							SOLDADURA DE TODO		ENRASADO
CORDON	FILETE	RANURA DE LAS PIEZAS					DE CAMPO	ALREDEDOR	
		V	SIGEL	U	J	TAPON			

LOCALIZACION DE SOLDADURAS		
LADO MAS CERCANO	LADO MAS LEJANO	AMBOS LADOS
<p>ESPECIFICACION</p> <p>ENRASE DIMENSION</p> <p>SOLDADURA CAMPO</p> <p>DIMENSION</p>	<p>ANGULO ABARCADO</p> <p>90° DIMENSION</p> <p>40°</p> <p>SEPARACION EN LA RAIZ DIMENSION</p> <p>ESPECIFICACION & PROCEDIMIENTO</p>	<p>DIMENSION LONGITUD DEL CORDON</p> <p>13 SI-80</p> <p>SUELDESE ALREDEDOR</p> <p>DESPLACESE SI VA ALTERNADA</p> <p>PASO DE LOS CORDONES</p>

NOTAS:

- EL LADO DE LA JUNTA PARA EL CUAL SEÑALA LA FLECHA ES EL LADO MAS CERCANO Y EL LADO OPUESTO A ESTE ES EL LADO MAS LEJANO.
- LAS SOLDADURAS DEL LADO MAS CERCANO Y DEL LADO MAS LEJANO, SE HARAN DEL MISMO TAMAÑO A MENOS DE QUE SE INDIQUE DE OTRA MANERA.
- LOS SIMBOLOS SE APLICAN ENTRE DOS CAMBIOS BRUSCOS EN LA DIRECCION DE LA SOLDADURA O EN LA EXTENSION DE LA INDICACION DE SOLDADURA POR MEDIO DE UN SOMBRADO, O TODO A LO LARGO DE LA LINEA, EN DONDE SE MARCAN LAS DIMENSIONES, EXCEPTO CUANDO SE USA EL SIMBOLO DE "TODO ALREDEDOR".
- TODAS LAS SOLDADURAS SERAN CONTINUAS Y DE LAS DIMENSIONES QUE SE HAYAN ACEPTADO, SI NO SE INDICA DE OTRA MANERA.
- PARA INSTRUCCIONES MAS DETALLADAS EN EL USO DE ESTOS SIMBOLOS VEASE LA NORMA DE SOLDADURA, ASA Y - 32.3 - 1929 PUBLICADA POR LA SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA.
- EL CATETO PERPENDICULAR SE DIBUJA SIEMPRE AL LADO IZQUIERDO.

IV. 2 FABRICACION DE LA ENVOLVENTE

=====

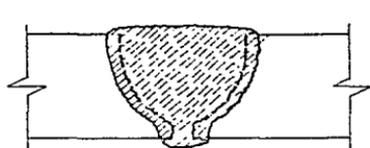
Para la fabricación de la envolvente, necesariamente se requiere conocer el tipo de juntas de soldadura utilizadas en la unión de los anillos, es por ello que a continuación se presentan los tipos de juntas que pueden ser utilizadas en el interior o exterior de la envolvente del tanque.

El ancho de cada anillo se considera de 2.43 (8'), siempre y cuando la altura total de la envolvente sea múltiplo de 8 (medido en pies), de otra forma, se consideran todos los anillos de 2.43m y el anillo superior de la envolvente será de ancho tal que la suma del ancho de los anillos que forman la envolvente, sea igual a la altura total de la envolvente.

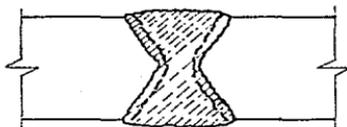
IV. 2a JUNTAS VERTICALES EN LA ENVOLVENTE

Este tipo de juntas deberán ser a tope con fusión y penetración completas, y además pueden ser con soldadura sencilla o doble, esto dependerá en gran parte de los espesores de los anillos, de forma que se obtenga la mejor calidad en el depósito del metal de aporte sobre el metal base en todas las superficies soldadas.

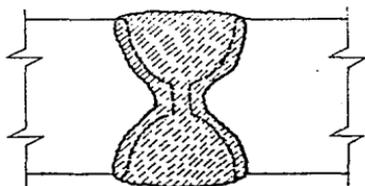
La separación entre placas de la envolvente para juntas verticales, es de 4mm y cuando se requiere preparar biseles sencillos o dobles en V, debiéndose dejar una raíz de soldadura de 3mm, considerando los ángulos interior y exterior de 60°



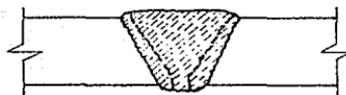
JUNTA A TOPE CON
BISEL SENCILLO EN "U"



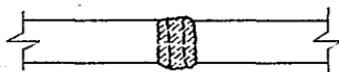
JUNTA A TOPE CON BISEL
DOBLE EN "V"



JUNTA A TOPE CON BISEL DOBLE EN "U"



JUNTA A TOPE CON BISEL
SENCILLO EN "V"



JUNTA A TOPE CON RANURA RECTANGULAR

FIGURA IX . 2

JUNTAS VERTICALES EN ENVOLVENTES

IV. 2b JUNTAS HORIZONTALES EN LA ENVOLVENTE

En todas las placas de la envolvente, las juntas verticales - deben ser a tope con fusión y penetración completas, y la separación entre las placas de la envolvente es de 3mm.

Cuando se requiere preparar las placas para utilizar soldadura de bisel sencillo o doble en V, la raíz de soldadura es de 3mm, y los ángulos interior y exterior del bisel son de 40° y 45° respectivamente.

TIPOS DE JUNTAS HORIZONTALES EN ENVOLVENTES

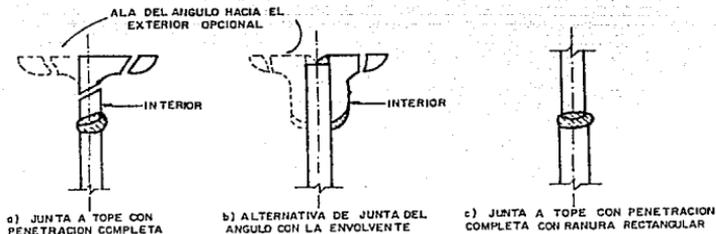
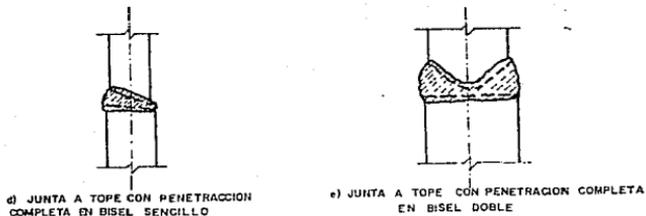


FIGURA IX. 3



IV. 2c DISTRIBUCION DE LAS PLACAS EN LA ENVOLVENTE

Se hace necesario verificar que las juntas verticales de cada anillo, en ningún caso deben coincidir con las juntas verticales de los anillos contiguos, es por ello que antes del montaje, y de acuerdo a la longitud de las placas se propone la distribución de las placas en la envoltente.

Es importante recalcar que el número de placas utilizadas para cada anillo dependerá del perímetro del tanque y de la longitud de las placas, por lo cual se puede afirmar que no existe una distribución específica para cada capacidad, pues esta se hace de acuerdo a la experiencia de cada fabricante.

En la figura IV.4 se muestra una distribución típica de las placas en la envoltente, las últimas placas son de ajuste, y estas se utilizan en todos los tanques de almacenamiento atmosféricos, ya sea en taller o en campo para contrarrestar las variaciones que se puedan tener durante la fabricación, debido a la localización de una boquilla o a la distribución de las placas de la envoltente.

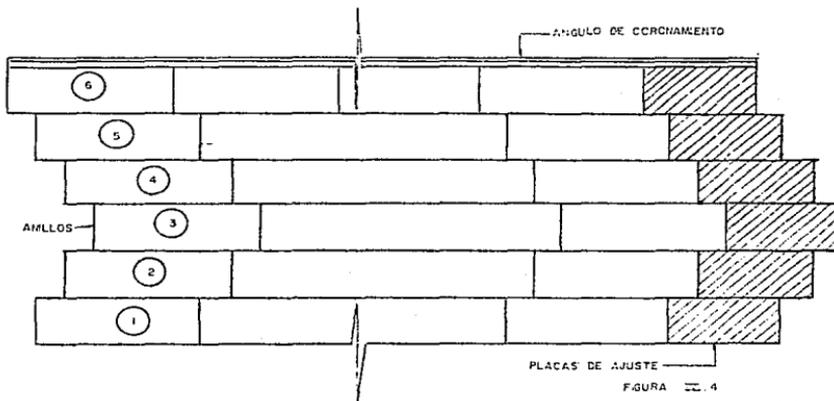


FIGURA IV.4

JUNTAS EN LA UNION ANGULO DE COMPRESION-ENVOLVENTE

La envolvente del tanque debe estar provista de un ángulo de coronamiento (ángulo de compresión), el cual esta soldado en la parte superior del último anillo, esta unión puede ser a traslape con soldadura de filete en ambos lados, o puede ser a tope con soldadura continua de fusión y penetración completa.

Para las dimensiones estandar que se manejan para tanques de almacenamiento atmosféricos, el ángulo de coronamiento no debe ser menor a las siguientes dimensiones de acuerdo a su capacidad :

De	500	a	5,000	bls.	se usa	b.	51 x 51 x 5 mm
De	10,000	a	15,000	bls.	se usa	b.	51 x 51 x 6 mm
De	30,000	a	200,000	bls.	se usa	b.	76 x 76 x 10 mm

Cuando se utilizan juntas a traslape en estas uniones, el tamaño de la soldadura de filete es el que resulta menor entre el espesor del anillo superior de la envolvente y el espesor del ángulo de coronamiento.

En este caso el ángulo puede ir en la parte exterior o en la parte interior de la envolvente, como se muestra en la figura IV.3.

IV. 3 FABRICACION DEL FONDO

Para la fabricación del fondo, es necesario conocer el tipo de juntas que pueden ser empleadas. A continuación se da una descripción de ellas.

IV. 3a JUNTAS A TRASLAPE EN EL FONDO

Todas las placas traslapadas del fondo deben tener un traslape de 25.4mm.

Las placas traslapadas del fondo deberán ser de forma ligeramente rectangular con sus bordes a escuadra, éstas únicamente son soldadas por la parte superior con soldadura de filete continuo y completo en toda la longitud de la junta. Cuando no se requiere placa anular se debe verificar que las placas del fondo y las del anillo inferior tengan sus bordes exteriores, de tal forma que las placas de la envolvente se apoyen uniformemente sobre las del fondo, como se muestra en la figura IV.5a.

El tamaño de la soldadura en las juntas a traslape en el fondo, es igual al espesor de las placas del mismo.

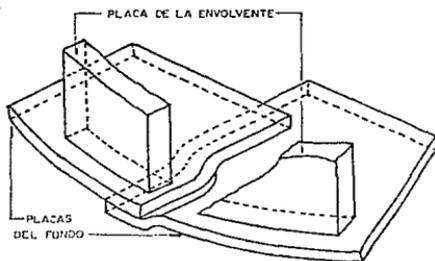


FIGURA IV. 5a

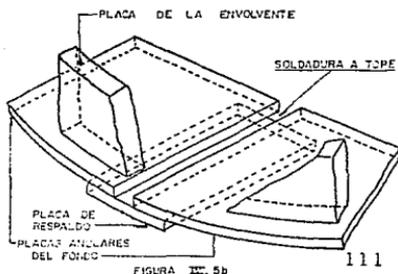


FIGURA IV. 5b

IV. 3b JUNTAS A TOPE EN EL FONDO

Unicamente se permiten juntas soldadas a tope en la unión de placas anulares del fondo, debiendo tener los bordes paralelos, preparados para la soldadura con ranuras en V o cuadradas.

Cuando se emplean biseles en las placas del fondo, el ángulo puede variar entre los 40° y 60°

Cuando se emplean ranuras cuadradas, la abertura en la raíz no deberá ser menor de 6.3mm, y estas juntas a tope deben realizarse usando una placa de respaldo con espesor mínimo de 3.2mm, la cual es punteada por la parte posterior de la placa. Cuando es necesario, se utiliza un separador metálico para mantener la abertura de la raíz de la junta entre las dos placas, las cuales se pretende unir.

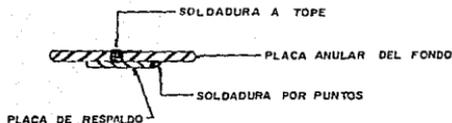


FIGURA IX.6

JUNTAS A TOPE EMPLEADAS EN PLACAS ANULARES

IV. 3c SOLDADURA DE FILETE EN LA UNION FONDO-ENVOLVENTE

La fijación del anillo inferior de la envolvente con la placa del fondo se hace con soldadura de filete continuo en ambos lados de la placa de la envolvente. El tamaño de cada filete no será mayor de 13mm del espesor de la placa más delgada de la junta, normalmente se recomienda que el tamaño del filete sea igual al espesor de la placa del fondo.

Esta unión se efectúa después de haber unido la placa anular del fondo, verificando que las soldaduras de la placa del fondo sobre las cuales estará el anillo inferior de la envolvente, se esmerilen, de tal forma que se obtenga un buen asentamiento entre este anillo y la placa anular del fondo.

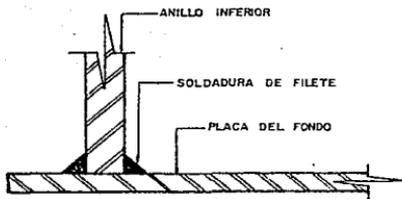


FIGURA IX. 7

IV. 3d DISTRIBUCION DE LAS PLACAS DEL FONDO

Es muy importante tener como antecedente un esquema, en el cual se muestre la distribución de las placas del fondo, debido a que en éste se pueden visualizar las dimensiones de cada placa, así mismo, se pueden cortar y marcar acorde con la distribución establecida en el mismo, por otro lado nos ayuda a visualizar en que placas estará ubicado el sumidero.

El fondo debe tener una pendiente del 1% medida desde el centro hacia el perímetro exterior del tanque, esto lo deben tomar en cuenta al construir la cimentación para que se conserve esta pendiente cuando se haga la distribución de las placas del fondo.

A continuación se muestra un esquema típico de la distribución de las placas del fondo, en el que su número depende del diámetro y de las dimensiones de éstas. No hay que perder de vista si el tanque es o no anclado, ya que esto repercute en el diámetro del fondo.

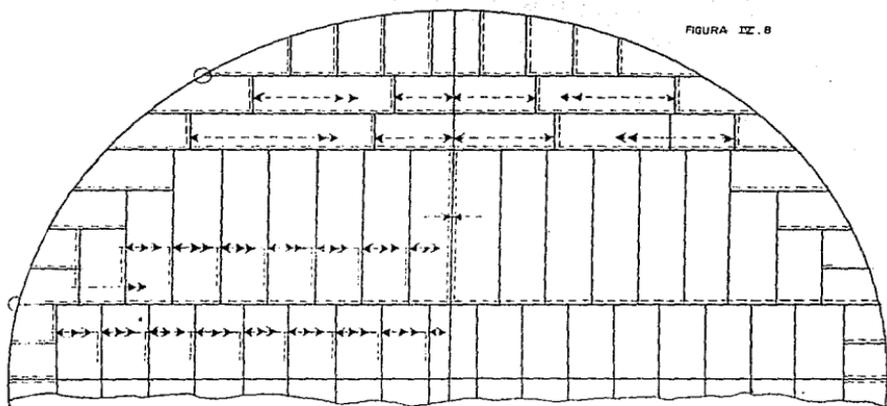


FIGURA IX. 8

IV. 3c FABRICACION DE SUMIDROS A NIVEL DE FONDO

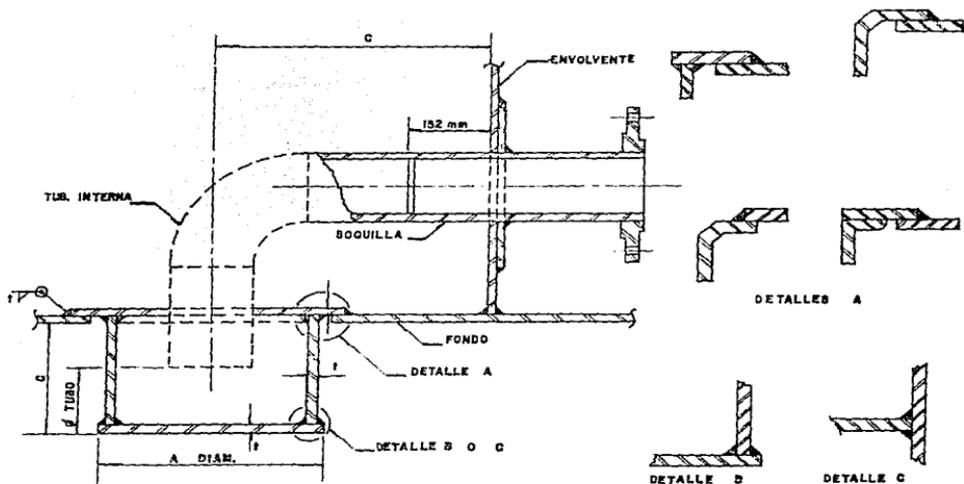


FIGURA IV.9

Ø TUBO mm	A mm	B mm	C mm	t mm	Espesor tubo
51	610	305	1,067	8	5.53
76	914	457	1,524	10	6
102	1,219	610	2,057	10	6
152	1,524	914	2,591	11	6

Durante la fabricación del fondo se debe de considerar el sumidero, si es que se requiere, este sirve para poder efectuar el vaciado total del tanque, su forma es cilíndrica y se localiza bajo el nivel del fondo del tanque. Su fabricación consta esencialmente de placas y de una tubería conectada a una boquilla con proyección interior.

En la figura 14.9 se muestran las dimensiones y detalles requeridos para la fabricación de sumideros.

IV. 4 FABRICACION DEL TECHO

Como ya se mencionó en el capítulo I, existen dos tipos de techos, soportados y autosoportados, para elegir cualquiera de ellos hay que considerar algunos factores entre los cuales están los siguientes :

Diámetro del tanque
Producto almacenado
Espesor de la placa del techo
Angulo entre la horizontal y el techo

Y a las restricciones anteriores están ligados otros problemas que repercuten notablemente en la elección de que un techo sea soportado o autosoportado.

Asimismo, existe una notable diferencia en la fabricación entre un techo y otro, debido a que en un techo autosoportado, únicamente se debe tener cuidado con la distribución de las placas, ya que en algunos casos éstas serán de forma de arco

radial debido a que el ángulo formado entre la horizontal y el techo es muy pronunciado, cuando este ángulo es el menor amparado por el código, la distribución de las placas es similar a un techo soportado.

En un techo soportado existe mayor complejidad durante la fabricación debido a que por sencillo que sea, involucra detalles de columnas, largueros, bases de columna, traveses y todas las conexiones que son utilizadas en la unión de la estructura de soporte del techo.

IV. 4a JUNTAS EN EL TECHO

Las placas del techo se soldan únicamente por la parte superior, y la junta empleada es a traslape, el tamaño del filete de soldadura es igual al espesor de la placa del techo, y el traslape usado entre las placas es de 25.4mm, como se muestra en la figura

En la unión de las placas del techo con el ángulo de coronamiento, se utiliza soldadura de filete continuo en toda la longitud de la junta y el tamaño de esta soldadura es de 5mm.

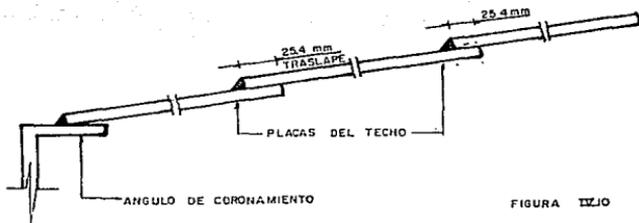


FIGURA IV.4a

IV. 4b DISTRIBUCION DE LAS PLACAS DEL TECHO

De la misma manera que en la distribución de las placas del fondo, se requiere hacer un esquema de la distribución de las placas del techo, estas placas únicamente son soldadas al ángulo de coronamiento, y de ninguna forma se permite que sean soldadas a la estructura de soporte cuando se tienen techos soportados, en algunos casos se utiliza la misma distribución de placas en techos soportados y autosoportados, Fig. IV.11

En algunos casos se dificulta esta distribución, por lo que las placas se cortan en forma de arco radial y se conforman para poder obtener un techo cónico más pronunciado, como se muestra en la Fig. IV.12

DISTRIBUCION DE PLACAS EN TECHOS SOPORTADOS Y AUTOSOPORTADOS

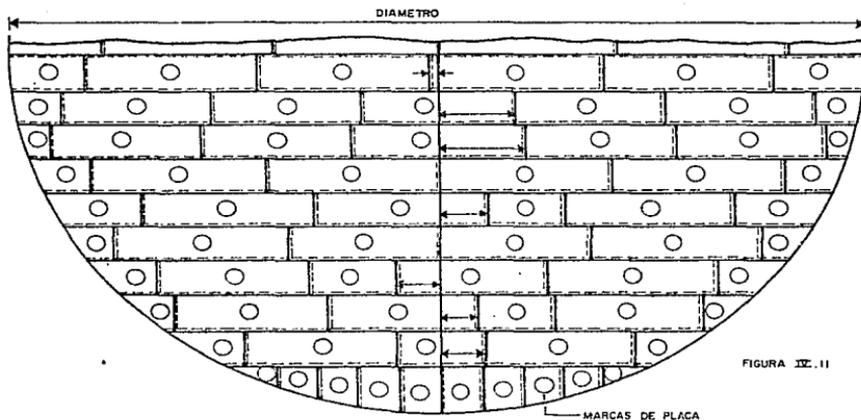


FIGURA IV.11

La distribución de las placas del techo, depende del diámetro del tanque, dimensiones de las placas, localización de boquillas y registros en el techo, debido a que se pretende que las boquillas y registros estén centrados en la placa correspondiente, con el fin de no tener soldaduras traslapadas.

DISTRIBUCIÓN DE PLACAS EN TECHOS AUTOSOPORTADOS

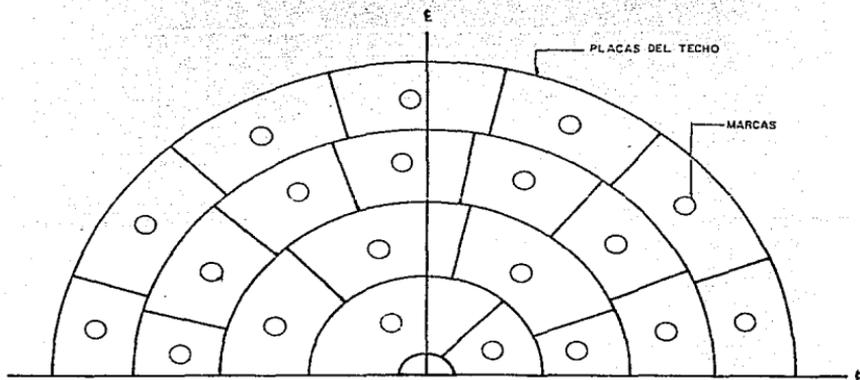


FIGURA III.12

IV. 5 ESTRUCTURA EN TECHOS SOPORTADOS

=====

En los techos soportados existen diferentes uniones entre sus elementos principales como son columnas, traveses y largueros, - también es necesario conocer en que forma están unidos los largueros exteriores con la envolvente del tanque, y de que manera las columnas distribuyen la carga uniforme que soporta el fondo del tanque.

Las dimensiones de los elementos principales no son arbitrarios, debido a que las proporciones de estas secciones son producto del diseño de cada una de estas como se puede observar en el capítulo III; sin embargo, existen elementos secundarios empleados en la unión de los elementos principales, y son normalmente placas de diferentes formas, sus dimensiones dependen de las proporciones de las secciones, pero no se permite usar placa de un espesor menor a 13mm.

A continuación se presentan los detalles típicos de unión de la estructura en techos soportados.

IV. 5a UNION COLUMNA CENTRAL - LARGUEROS

La unión entre la columna central y los largueros de la primera circunferencia, se lleva a cabo por medio de tornillos y grapas. Las grapas son soldadas espaciadamente sobre una placa circular llamada placa capitel, estas grapas son las que sujetan los largueros.

La placa capitel a su vez está sujeta a una placa rectangular la cual esta soldada en la parte superior de la columna central, como se muestra en la Fig. IV.13

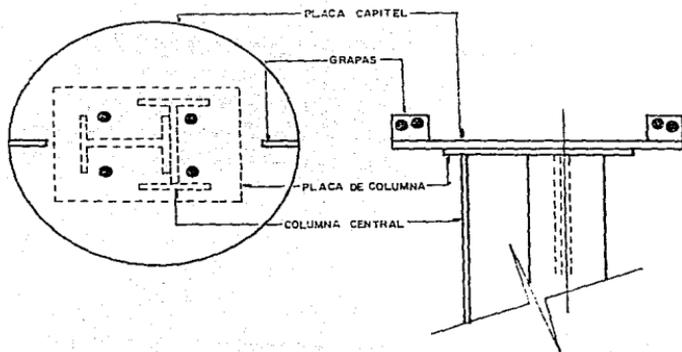


FIGURA IX. 13

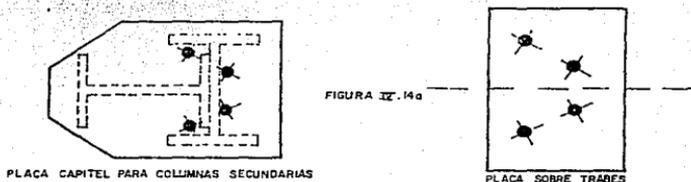
La sujeción entre placa capitel y la placa superior de la columna central se lleva a cabo por medio de tornillos.

Sobre la placa capitel se soldan las grapas espaciadamente, - de tal modo que el número de largueros que están apoyados sobre la columna central sea igual al número de grapas.

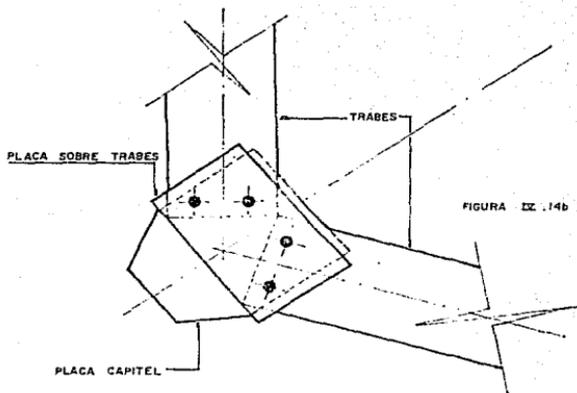
IV. 5b UNION TRABE - COLUMNA

Esta unión únicamente se efectúa en columnas secundarias, debido a que la columna central en ningún momento está conectada a traves.

En columnas secundarias se tiene una placa soldada a la parte superior de la columna como se muestra en la Fig. IV.14.



La unión se lleva a cabo por medio de tornillos, los cuales sujetan la trabe entre las dos placas, como se muestra a continuación, Fig. IV 14b.



IV. 5c GRAPAS DE CONEXION ENTRE LARGUEROS Y ENVOLVENTE

Estas placas únicamente son usadas en tanques de almacenamiento con techos soportados y van unidas a la envolvente con soldadura de filete en todos sus lados, el tamaño de la soldadura de filete es igual al espesor del anillo superior de la envolvente.

Esta placa sirve como conexión entre la envolvente y los largueros que se encuentran en la circunferencia exterior, por tanto el número de placas de conexión largueros-envolvente es igual al número de largueros calculados para el diámetro nominal del tanque, a continuación se muestra un esquema en el cual se pueden identificar éstas.

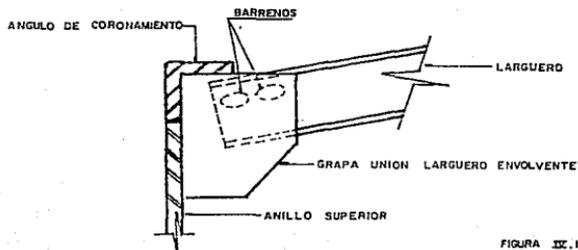


FIGURA III.15

IV. 5d GRAPAS DE CONEXION ENTRE LARGUEROS Y TRABES

Estas placas que sirven como conexión entre largueros y traveses, el número de placas es igual al número de largueros que descansan sobre la trabe y estas placas están soldadas en la parte superior de las traveses en dirección a los largueros, debido a

que estas placas unen traveses y largueros por medio de tornillos como se muestra a continuación :

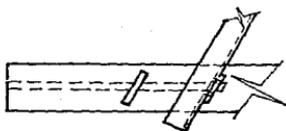
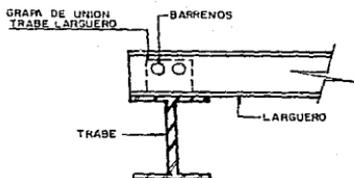


FIGURA IX. 15



IV. 5e BASE DE LAS COLUMNAS

Las columnas deben tener una base, la cual distribuya la carga uniforme que soporta la columna sobre el área de la base y a su vez esta la transmite sobre el fondo del tanque.

Estas bases normalmente son fabricadas con secciones tipo C, las dimensiones de la sección dependen de las dimensiones de la columna, y las dimensiones de la base dependen de la placa capitel.

Esta base además de distribuir la carga uniforme que soporta la columna, y sirve para mantenerla más estable, ya que en ningún momento la base de la columna puede ir soldada en el fondo del tanque, únicamente se podrá mantener estable por medio de grapas soldadas al fondo que no permitirán el desplazamiento de la base de la columna sobre el fondo del tanque en ninguna dirección.

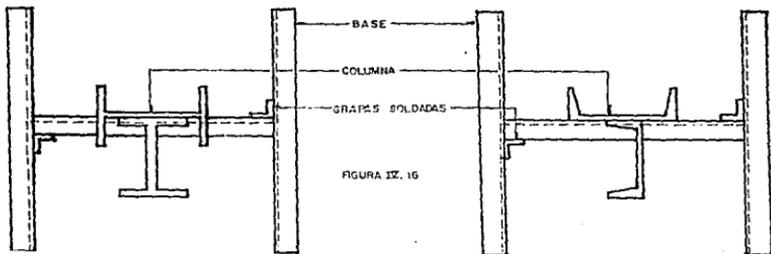


FIGURA IX. 16

CONCLUSIONES

Los requisitos que se mencionan a continuación, son aplicables únicamente para el diseño y fabricación de tanques de acero - cilíndricos verticales con fondo plano y techo soportado o - autosoportado y que están diseñados para trabajar a una presión máxima de 1.033 kg/cm^2

Aunque estos requisitos están enfocados en su esencia a el - diseño y la fabricación de los tanques de almacenamiento atmosférico para la industria del petróleo, también pueden ser aplicados para toda la industria en general, sin perder de vista - que es necesario conocer información complementaria, con el - fin de satisfacer los requerimientos.

Los materiales más empleados para la fabricación de estos recipientes son aceros al carbón debido a su bajo costo comparado con otros aceros y además a que es mucho más fácil su conformado, habilitado y su operación de soldadura.

Los electrodos más comúnmente usados para aceros al carbono - son los de la serie E-60XX y E-70XX, y en particular para el material A-283-C se utilizan los siguientes electrodos:

En la unión de placas de la envolvente, para soldaduras en la raíz se emplean electrodo E-6010, y para cordones de vista - E-7018.

En uniones de envolventes y placas del fondo, se utiliza el - E-7018.

Para uniones en placas del fondo y techo el electrodo más recomendado es el E-7018, y en la unión ángulo de coronamiento techo el E-6010.

En las uniones de toda la estructura de soporte se utiliza el E-7018.

Los materiales de aceros al carbón con mayor empleo en los componentes de los tanques son:

A-283-C	Para placas de la envolvente fondo y techo.
A-105	Para boquillas forjadas.
A-106	Para tubería y sus conexiones.
A-36	Acero misceláneo.
A-307-B	Tornillería y tuercas.
A-570	Láminas.

Entre los requerimientos que se consideran primordiales, para elaborar el diseño de un tanque de almacenamiento atmosférico, se encuentran algunos datos e información complementaria que nos sirven durante todo el proceso de diseño, ya sea para calcular los espesores de placa en los componentes del tanque, hasta la elaboración del análisis sísmico.

En lo referente a los espesores requeridos de placas se concluye que en el fondo y el techo estos espesores ya están fijados por las normas de Petróleos Mexicanos, y para obtener un espesor de diseño se le debe sumar el espesor por corrosión admisible, cuando ésta exista.

Para el cálculo de espesores requeridos en cada una de los anillos de la envolvente se emplea el método de un pie y su método.

do opcional en el cual únicamente se introduce el concepto de eficiencia de las juntas soldadas.

Existe otra forma de calcular espesores en la envolvente, y éste es por el método de punto variable, el cual reduce los espesores de tal forma que los espesores obtenidos, son confiables, sin embargo este método está restringido por Petróleos Mexicanos y únicamente puede ser usado cuando se especifique por escrito. Debido a lo laborioso que resulta este método se recomienda elaborar un programa de computadora por ser un método iterativo con la finalidad de reducir el tiempo para su diseño.

En el cálculo de espesores de la envolvente se considera la gravedad específica del agua siempre y cuando el líquido almacenado tenga una gravedad específica menor o igual a la unidad, de otra forma se considera la gravedad específica del líquido almacenado.

De acuerdo a las dimensiones establecidas por Petróleos Mexicanos, los espesores mínimos requeridos son:

Hasta una capacidad de 10000 BLS usar tmin. = 4.9 mm.

Hasta una capacidad de 80000 BLS usar tmin. = 6.4 mm.

Hasta una capacidad de 200000 BLS usar tmin. = 7.9 mm.

En el diseño de techos soportados se deben calcular cada uno de sus componentes, los largueros y trabes se someten a un análisis similar puesto que para cuestiones de diseño se consideran como vigas con carga uniformemente distribuida y dicho análisis consiste en calcular lo siguiente para cada caso:

- Carga uniforme soportada.
- Momento máximo generado.
- Módulo de sección requerido.
- Módulo de sección propuesto.

Posteriormente se considera el peso de la sección propuesta se calcula, la carga uniforme soportada, momento máximo generado - módulo de sección requerido, y además se hace una revisión por deflexión, donde la deflexión máxima en el centro de la viga - debida a las cargas aplicadas debe ser menor a la deflexión - máxima permisible.

En el diseño de columnas se pueden concluir que, indiscutiblemente se debe calcular el centro de gravedad de las secciones compuestas propuestas para las columnas, con la finalidad de - obtener los momentos de inercia respecto al centro de gravedad de esta forma podemos saber que eje esta más propenso a presentar pandeo lateral.

Por otro lado necesitamos conocer el peso máximo que esta soportando la columna y la carga máxima que debe soportar, teniendo estos dos datos se puede asegurar que la sección propuesta es o no la adecuada.

En análisis sísmico como ya se mencionó en el capítulo III es una adaptación del código API-650 a las condiciones sísmicas - que prevalecen en nuestro país, y es requisito que todos los - tanques de almacenamiento sean analizados sísmicamente con el fin de determinar si éstos requieren anclas.

Aún antes de la fabricación existen algunos factores que se --

deben tomar en cuenta, para cuando se lleve a cabo la construcción de un tanque, ésta sea lo más confiable posible, es por ello que se debe elegir proveedores de materiales, especialmente de las placas para poder determinar las variables en que nos puede surtir el material, como son dimensiones y calidad de las placas, por otro lado se debe contar con personal calificado tanto para el montaje como para la unión de las placas.

Con respecto al personal que efectuará los trabajos de soldadura debe ser gente calificada y además tiene que demostrar que es capaz de poder efectuar la operación de soldadura de acuerdo a lo que marca el código ASME en su sección correspondiente.

Una vez que se cuentan con los recursos humanos adecuados, se inicia la fabricación del tanque, y entre otras actividades que se deben de cuidar tenemos las siguientes:

El corte y habilitado de las placas, éstos se hace tomando en cuenta la lista de materiales elaborados previamente y de acuerdo a los dibujos taller en los cuales especifican las dimensiones de cada placa que será parte integral del tanque, por otro lado se pretende aprovechar al máximo la placa sin que por ello se tenga que escatimar en materiales.

Una vez que se inicia la construcción del equipo se cuida primordialmente sus dimensiones nominales del fondo, techo, anillos de la envolvente de acuerdo a la secuencia de construcción que se menciona a continuación:

Primeramente se inicia el ensamble de las placas del fondo, distribuyéndolas de acuerdo a los dibujos de taller, cuando se tienen placas anulares en el fondo, esta son las que en primer

lugar se acomodan y se puntean a tope sobre el muro anular de concreto, posteriormente se distribuyen las placas del centro y se puntean a traslape, cuando no hay placas anulares la secuencia de construcción es del centro hacia el exterior del diámetro del tanque y en ambos casos las soldaduras definitivas se hacen hasta después de haber erigido el primer anillo con la finalidad de poder corregir deformaciones causadas por el peso de la envolvente.

El primer anillo de la envolvente se erige sobre las placas del fondo de acuerdo a su distribución previa, y se emplean a puntear a tope en el centro y los externos hasta cerrar el primer anillo, posteriormente se procede a puntearlas con soldadura de filete con la placa del fondo, de aquí que se debe verificar que no existen deformaciones en la envolvente para aplicar las soldaduras continuas en la unión fondo-envolvente y en juntas verticales interiores y exteriores.

Posteriormente se arma el segundo anillo ayudándose de algunos herrajes punteados a ambos anillos para poder obtener la concetricidad y la separación entre placas, y así efectuar la soldadura por puntos, tanto en juntas verticales como en horizontales checando que no existan deformaciones para poder efectuar soldaduras continuas en las juntas horizontales y posteriormente en las juntas verticales, siguiendo la misma secuencia en la erección de los anillos restantes sin perder de vista que las juntas verticales no deben coincidir en dos anillos continuos.

En el techo existen otros parámetros a controlar antes del tendido de las placas, ya que en primera instancia se procede a erigir la estructura de soporte formada por traveses,

ros, columnas y sus elementos de sujeción, los cuales nos deberán proporcionar la altura, diámetro y pendiente del cono cuando se efectúa el tendido de las placas, así estas son puestas a traslape, efectuando las soldaduras definitivas hasta haber verificado la pendiente, el traslape de las placas y su diámetro exterior.

Todas las placas del techo únicamente son soldadas por la parte superior y de ninguna forma deben ir soldadas a la estructura de soporte debido a que la junta de las placas del techo con la envolvente es frágil y en caso de que exista una explosión en el interior del tanque únicamente el techo sea desprendido parcial o totalmente de todo el equipo, con lo cual se evita que exista un rompimiento en la envolvente, y consecuentemente derramamiento y propagación del fuego.

Por lo que se refiere a los accesorios de tanques de almacenamiento atmosféricos, se puede decir que como mínimo debe de tener una boquilla de alimentación, una boquilla de descarga, un registro para inspección, y un control de registro de nivel.

La boquilla de alimentación debe estar orientada en una dirección tal que nos permita obtener condiciones óptimas entre el proceso y el tanque. La alimentación puede ser por abajo o por la parte superior del equipo, normalmente sucede esto último.

La boquilla de descarga se orienta de tal forma que se obtenga una distancia recta entre esta boquilla y las bombas, con el fin de enviar el producto almacenado ya sea directamente al transporte o en su defecto enviarlo a un lugar específico.

El registro de inspección se orienta en el cuerpo de la envol-

vente debiendo tener cuidado que no interfiera con otras boquillas y con la escalera. Este registro sirve para darle mantenimiento al equipo y para hacer chequeos e inspecciones en sus partes internas.

Los instrumentos de nivel se orientan de tal forma que se tenga acceso a estos por medio de la plataforma o la escalera, - con la finalidad de poder efectuar su mantenimiento correspondiente.

Existen más accesorios que dependiendo del producto almacenado son requisitos de seguridad y deben ir integrados al tanque, - como son venteos, cámaras de espuma, válvulas de seguridad, - serpentines, boquillas de servicios, y arrestadores de flama - entre otros.

Otro de los accesorios que son importantes para los tanques - de almacenamiento son las escaleras, estas pueden ser marinas o helicoidales y éstas se orientan de forma que se tenga acceso al registro y accesorios del techo, así como a los de la - envolvente.

Para finalizar se mencionan las actividades que se desarrollan en la compra y procura del equipo.

COTIZACION:

Dentro de esta actividad se invitan a un número determinado de fabricantes aptos para la fabricación de un equipo y la finalidad es elegir el que nos ofrezca los mayores beneficios evaluados técnica y comercialmente. Esta actividad se lleva a - - cabo después de la edición del plano de diseño aprobado para -

cotización, y entre los factores que se consideran para la selección del fabricante se pueden nombrar los siguientes:

- Materiales.
- Dimensiones.
- Tiempo de entrega de dibujos a partir de pedido.
- Tiempo de entrega del equipo a partir de pedido.
- Costo del equipo.
- Costo escalado.
- Estímulo fiscal.
- Costo de transporte.
- Condiciones de pago.

Después de la cotización se hace el pedido al fabricante seleccionado el cual debe cumplir con lo estipulado en la tabla técnica y comercial. El fabricante seleccionado debe enviar los dibujos de taller para su revisión, y en caso de no estar de acuerdo con los requerimientos estos no se aprueban y se les hacen las correcciones pertinentes devolviéndolos al fabricante el cual tiene la obligación de corregirlos hasta que sean aprobados para construcción.

La siguiente etapa es la visita a los talleres, en la cual se verifica muy superficialmente, el marcaje de las placas, así como su corte y habilitado.

La fabricación normalmente se efectúa en campo debido a los problemas que origina el transporte del equipo, y únicamente se fabrica en el taller cuando se tiene el transporte adecuado para hacer el movimiento.

BIBLIOGRAFIA
=====

- 1 - ASTM ASOCIACION AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES
 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)
- 2 - API INSTITUTO AMERICANO DEL PETROLEO (AMERICAN -
 PETROLEUM INSTITUTE)
- STD. 650 WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE
- STD. 620 WELDED STEEL TANKS FOR LOW PRESURE
- 3 - A.W.S SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA (AMERICAN -
 WELDING SOCIETY)
- MANUAL DE SOLDADURA.
- 4 - ASME ASOCIACION AMERICANA DE INGENIEROS MECANICOS -
 (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)
- BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.
- SECC. II MATERIALES.
- SECC. V PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.
- SECC. IX CALIFICACION DE SOLDADURAS.
- 5 - A.I.S.C INSTITUTO AMERICANO DE CONSTRUCCIONES DE ACERO
 (AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION)
- MANUAL DE CONSTRUCCIONES DE ACERO.

- 6 - C.F.E MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. COMISION -
FEDERAL DE ELECTRICIDAD E INSTITUTO DE INVESTI
GACIONES ELECTRICAS, DISEÑO POR SISMO Y VIENTO.
- 7 - I.M.P. CURSO REGIONAL DE RECIPIENTES A PRESION. -
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.
- 8 - PEMEX CRITERIO NORMATIVO DE DISEÑO DE AREAS DE ALMACEN
NAMIENTO. PETROLEOS MEXICANOS SPCO CR-E-05.
- 9 - AHMSA MANUAL DE ALTOS HORNOS DE MEXICO, S. A.
- 10 - GUIA PARA LA INSPECCION DE EQUIPOS DE REFINERIA
CAPITULO XII (TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOS-
FERICOS Y DE BAJA PRESION).
- 11 - RESISTENCIA DE MATERIALES
FERDINAND, L SINGER ED. HARPER Y ROW PUBLISHERS
INC.
- 12 - CALCULO SIMPLIFICADO DE ESTRUCTURAS DE ACERO
HARRY PARKER EDICIONES URMO.

- 13 - CONTROL DE INCENDIOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS INFLAMABLES .
NATIONAL FIRE SYSTEM INC.
- 14 - EQUIPMENT DESIGN LLORD E BROWNELL, EDWIN H YOUNG.
JHON WILEY AND SONS. INC. NEW YORK.
- 15 - TAYLOR FORGE, PIPING COMPONENTS FOR ENERGY SYSTEMS. E.P.G.