



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DISEÑO DE UN TANQUE DE ACERO, CILINDRICO, DE TECHO CONICO

Biblioteca Central
24 ENE. 1980
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA :

Alfredo Ramos Sánchez

QUERETARO, QRO., ENERO 12 DE 1980

No. Reg. 2303

Clas. TS

Clas. 624.177

R176d

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DISEÑO DE UN TANQUE DE ACERO
CILINDRICO DE TECHO CONICO

Blanca C. Cantal

UNIVERSIDAD NACIONAL DE GUATEMALA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

Blanca C. Cantal

GUATEMALA, D.F., Mayo 17 de 1960



ESC. DE INGENIERIA

EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR

OFICIO NUM: 342

JUNIO 24 DE 1978.-

ASUNTO: SE APRUEBA TEMA
DE TESIS.

SEÑOR PASANTE:
ALFREDO RAMOS SANCHEZ.
P R E S E N T E .-

En respuesta a su atenta solicitud, relativa al Tema de Tesis Profesional, me permito comunicarle a Ud., el que para tal efecto -- fué propuesto por el SR. ING. ANTONIO SANCHEZ HERNANDEZ. El Título de Tesis será:

"DISEÑO DE UN TANQUE DE ACERO, CILINDRICO, DE TECHO CONICO " .

- CAPITULO I. INTRODUCCION.-
- CAPITULO II. ESPECIFICACIONES GENERALES.-
II.1 REGLAMENTOS.-
II.2 CARGAS.-
II.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO.-
- CAPITULO III. FONDO.-
III.1 ANALISIS.-
III.2 DISEÑO.-
- CAPITULO IV. PAREDES DEL TANQUE.-
IV. 1 ANALISIS.-
IV. 2 DISEÑO.-
- CAPITULO V. TECHO.-
V. 1 ANALISIS.-
V. 2 DISEÑO.-
V. 3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES COMPLEMENTARIOS.-
- CAPITULO VI. ACCESORIOS.-
- CAPITULO VII. CIMENTACION.-
VII.1 DESCRIPCION GENERAL.-
VII.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.



ESC. DE INGENIERIA

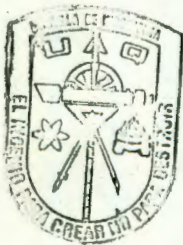
EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR

* 2 *

CAPITULO VIII. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.-
VIII.1 FABRICACION TALLER.-
VIII.2 FABRICACION CAMPO.-
VIII.3 MONTAJE

CAPITULO X. BIBLIOGRAFIA.-

También hago de su conocimiento las disposiciones de nuestra Escuela, en el sentido de que antes de su Examen Profesional deberá cumplir el requisito del Servicio Social y de que el presente oficio se imprima en todos los ejemplares de sus Tesis.-



ATENTAMENTE

"EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR "

ING. JUAN JOSE VAZQUEZ PEÑA.
DIRECTOR.

C.c.p.- Archivo Escuela de Ingeniería.- Centro Universitario.-
C.c.p.- Mesa de Profesiones de la U.A.Q.- Centro Universitario.-
C.c.p.- Sr. Ing. Antonio Sánchez Hernández.- Presente.-

A mis padres

Francisco Ramos Jiménez
Margarita Sánchez de Ramos

A mis hermanos

Francisco
Diana Margarita

A los Ings,

Antonio Sánchez Hernández.

Antonio Flores M.

Eliseo Arias O.

Juan José Vazquez Peña.

Alberto Rezéndiz Molina.

A mis maestros.

A mis amigos.

Agradeciendo las facilidades
otorgadas, al
Cap. Luis Llampallas T.
Industria del Hierro, S.A.

U N O

I N T R O D U C C I O N

El descubrimiento de grandes yacimientos de hidrocarburos en nuestro país, ha dado origen a una búsqueda cada vez - más intensa de técnicas que permitan hacer frente a las necesidades generadas por la explotación, conducción a - plantas, industrialización, almacenamiento y distribución de hidrocarburos y sus derivados, de acuerdo al crecimien to de la demanda interna de dichos productos, y también de acuerdo a las necesidades del mercado internacional, al que nos es posible acceder dado el volumen de nuestras re servas.

Si bien es cierto que los recursos existentes en nuestro México, tanto materiales como económicos y humanos nó son de la magnitud deseable, también lo es el que -vistas estas carencias- podemos hacer uso de experiencias llevadas a cabo en otros países. Esto nos permite pasar al aprove chamiento de dichas técnicas en la resolución y satisfac- ción de nuestros problemas y necesidades sin distracción de nuestros nó abundantes recursos hacia la investigación o experimentación, lo que permitiría el empleo de los mis mos en otras actividades prioritarias también dentro del proceso de desarrollo que padecemos, sin que esto signifi- que -obviamente- renunciar al desarrollo de nuestra pro- pia tecnología.

Podría pensarse que esto crearía alguna dependencia tecno lógica hacia el exterior, pero esta se daría -hecho el - planteamiento anterior- en la medida en que sepamos apro vechar dichas bases para el logro de una tecnología pro- pia, totalmente acorde a las necesidades de nuestro medio.

Sea pues objetivo del presente trabajo, el presentar al menos una información general, enfocada totalmente desde el punto de vista práctico, de un campo tan poco explorado de la ingeniería civil, como lo es el

"Diseño de un tanque de acero, cilíndrico, de techo cónico"

por medio de métodos que son ya práctica común en otros países y que empiezan a ser usados en el nuestro.

Dicho diseño ha sido desarrollado de una manera estándar, lo cual se traduce en seguir unas ciertas normas de sencilla aplicación, como veremos enseguida.

D O S

E S P E C I F I C A C I O N E S

G E N E R A L E S .

2.1. REGLAMENTOS.

El diseño de nuestro tanque de acero, cilíndrico, de techo cónico, estará regido por las siguientes normas y especificaciones generales:

a. Normas A.P.I. 650 "Tanques de Acero Soldado para Almacenamiento de Petróleo".

Esta norma cubre los requisitos de materiales, diseño, fabricación, erección y pruebas para tanques de almacenamiento de acero, soldados, cilíndricos verticales, desplantados sobre el terreno, con o sin cubierta, para presiones internas semejantes a la atmosférica.

b. Especificaciones generales de construcción de tanques atmosféricos PEMEX TA-1.

Cubren los requisitos mínimos para fabricación, montaje, transporte, inspección y pruebas de todas las partes que integran el tanque.

c. Cimentaciones de Tanques, Norma PEMEX 2.214.01.

Cubre los requisitos mínimos para cimentaciones para tanques de acero cilíndricos verticales, de fondo plano, desplantados sobre el terreno. Abarca diferentes tipos de cimentaciones: superficiales y profundas.

2.2 CARGAS.

a. Fondo.

La función principal del fondo plano de un tanque de almacenamiento cilíndrico vertical, consiste en proporcionar una perfecta transmisibilidad del peso de la masa del líquido, a la cimentación.

b. Cuerpo.

En el casco o cuerpo del tanque, actúa el empuje hidrostático del líquido.

c. Techo.

Para fines de diseño, deberán considerarse además de las cargas naturales (Viento, lluvia, etc.) una carga viva no menor de 125 kg/m^2 (25 lb/ft^2).

d. Estructura Soporte.

Además de sí misma, sustentará, en su caso, el techo y/o aquellos accesorios complementarios del tanque - (Plataformas, escaleras, etc.).

e. Cimentación.

La masa del tanque.

Los puntos aquí mencionados, se tratarán con la amplitud y claridad debidas en la sección correspondiente a cada uno de ellos en particular, dentro del presente trabajo.

2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO.

El término "Tanques Atmosféricos" se aplica a aquellos recipientes de acero cilíndricos, verticales, de acero, soldados o remachados, que trabajan a presiones de magnitud aproximadamente igual a la atmosférica, y con una carga igual a la presión hidrostática del líquido.

En cuanto a su uso, se clasifican en las siguientes formas:

a. Abiertos.

Comúnmente usados en aquellos casos donde los materiales han de ser mezclados o procesados -podrían considerarse como decantadores- se emplean cuando el líquido a almacenarse no necesita preservarse del me

dio ambiente. Recipientes de este tipo tienen diámetros del orden de 200 a 300 ft.

b. Cerrados.

Se emplean para el caso de fluidos combustibles o de aquellos que emiten humos tóxicos. Substancias químicas peligrosas tales como ácidos o sosa cáustica, lo son menos en recipientes de éste tipo. La naturaleza combustible del petróleo y sus derivados hace necesario el empleo de estos tanques siempre. El diseño más económico para tanques atmosféricos cerrados es el tipo cilíndrico vertical con techo cónico y fondo plano, descansando directamente sobre el apoyo de una cimentación compuesta por arena, grava o roca triturada. Estos tanques son provistos de respiraderos ó ventilas que permiten la expansión y contracción de los fluidos como resultado de los cambios de temperatura.

Dentro del diseño de tanques en general concurren un cierto número de factores que influyen en él. La selección de el tipo de recipiente que desarrolle el servicio requerido deberá hacerse en base a las siguientes consideraciones:

- Función y localización del tanque,
- Naturaleza del fluido,
- Presión y temperatura de operación,
- Volumen necesario de almacenamiento.

Un tanque deberá ser diseñado partiendo de la función que va a desempeñar en su vida útil. Los requerimientos de diseño no serán los mismos para un tanque de almacenamiento que para uno de decantado.

La localización de un tanque es importante a considerar ya que, para efectos de diseño, no podemos hacer las mismas consideraciones para un tanque que se localice en una zona desértica, que para uno localizado en una zona tropical o fría. En el primer caso deberemos tomar muy en cuenta los cambios en líquidos y en el propio recipiente debidos a las variaciones de temperatura. Para el segundo y tercer caso deberemos considerar cargas de viento y corrosión, y nieve, respectivamente.

De la naturaleza del fluido dependerá muchas veces el tipo de tanque a escoger, ya que no se darán las mismas condiciones de diseño que van a regir para el almacenamiento de agua, que para el almacenamiento de gasolina o gas. En el primer caso tendremos solamente presión hidrostática y en menor escala, cambios de volumen por temperatura. En el segundo caso, aparte de las presiones, tendremos grandes esfuerzos debidos al cambio de volumen por variación de temperatura.

Aspecto muy importante dentro del diseño es el de los materiales.

En general, los aceros usualmente utilizados pueden ser aleaciones o inoxidables. Pueden proveerse también de ciertos forros, apropiados para contener determinados fluidos. Los aceros de bajo carbón son generalmente más bien suaves y dúctiles. Tienen la ventaja de ser fácilmente cortables, rolables y ensamblables en las diferentes formas usadas en la fabricación de tanques. Su resistencia última a la tensión oscila entre 55 y 65 Mpsi (millares de psi) y su contenido de carbón entre 0.15 y 0.25 %. En contrapunto, los aceros de baja aleación (alta resistencia), son u

na clase especial de aceros de bajo carbón que son mucho más fuertes por la adición de un grupo de elementos de aleación (Cr, Mo, Ti, Si, etc.). Estos aceros tienen un punto de cedencia mayor que los aceros normales con el mismo contenido de carbón. Su principal desventaja consiste en presentar escasa ductilidad, lo cual dificulta la fabricación. Algunos al soldarse presentan una cierta tendencia a incrementar su dureza o resultan acerados. Esto dá como resultado esfuerzos internos en las juntas soldadas. Estas desventajas pueden omitirse si el contenido de aleación, así como el de carbón, son mantenidos bajos.

El escoger un tipo específico de acero dependerá, en primer lugar, del tipo de tanque. Seguidamente, de las normas de diseño a que se apegue el proyectista.

Para los objetivos del presente trabajo, se requiere proporcionar un servicio de almacenamiento para petroleo crudo, de las siguientes características:

Capacidad Nominal: 750000 bls.

Gravedad específica: 0.82.

Altura nominal: 64 ft, 8 anillos.

% Exp.: 1.0 a 10 °C.

Previendo una variación de 20 °C, la capacidad real será: 735 000 bls.

TRES

FONDO

Previo al dimensionamiento de las placas del fondo, haremos algunas consideraciones de carácter constructivo, de acuerdo con 2.1.a.

a. Las placas del fondo tendrán un espesor nominal mínimo de $1/4$ " sin considerar alguna tolerancia por corrosión. A fin de lograr un mínimo de costuras, las placas se solicitarán de las mayores dimensiones posibles. En México, se fabrican hasta de 8 x 20 ft. Las placas de las orillas, las cuales poseen un lado irregular, tendrán en su lado regular, 96 " de ancho, de preferencia. Las placas se cortarán de tal forma que una vez acabados los fondos, éstos sobresalgan por lo menos una pulgada más a lla de la orilla exterior de la soldadura de la junta cuerpo-fondo del tanque.

b. A elección del proyectista, las placas del fondo podrán soldarse en traslape o a tope, cumpliendo en cualquier caso, con los siguientes requisitos:

b.1. Placas soldadas a traslape.- Serán razonablemente rectangulares y con los bordes a escuadra. El traslape de tres placas no distará entre sí, ni del cue rpo del tanque, menos de 12" (304.8 mm). Las placas del fondo no necesitan ser soldadas más que en su cara superior, con soldadura de chaflán completo y continuo en todas sus costuras. Las placas localizad as inmediatamente debajo del anillo inferior del cuerpo, tendrán los extremos exteriores de sus costuras adaptados y soldados a traslape de tal forma que ofrezca una superficie lisa de apoyo para las placas del casco (Fig. 3.1).

b.2. Placas soldadas a tope.- Tendrán sus bordes paralelos y estarán preparados con chaflán rectangular o bisel. De ser estas rectangulares, la abertura de la raíz no será menor de $1/4$ " (6.4 mm). Las soldaduras a tope se harán colocando debajo de la costura una tira de $1/8$ " (3.2 mm) de espesor por lo menos, pun teada con soldadura a la cara inferior de la placa

ver Fig. 3.3. De ser necesario, se empleará un sepa
rador para mantener la abertura en la raíz entre los
bordes de la placa.

c. La unión del borde inferior del primer anillo del cuer
po con la placa del fondo se hará con una soldadura de -
bisel a ambos lados de la placa del casco. El tamaño de
cada soldadura no excederá de $1/2''$, ni será menor que
el grosor nominal de la placa más delgada de las dos a u
nir. Tampoco será menor que los valores siguientes:

Espesor de la placa	Tamaño de la soldadura
In.	de filete In.
$3/16$ y Menores	$3/16$
$3/16$ y hasta $3/4$	$1/4$
$3/4$ y hasta $1-1/4$	$5/16$
$1-1/4$ y hasta $1-1/2$	$3/8$

d.

d. Juntas típicas de placas del fondo.

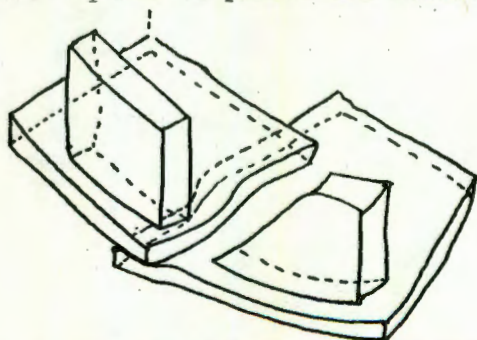


Fig. 3.1. Preparación de la unión cuerpo-fondo
a traslape.

$1''$ min (PEMEX)

$1-1/4''$ min (A.P.I.)

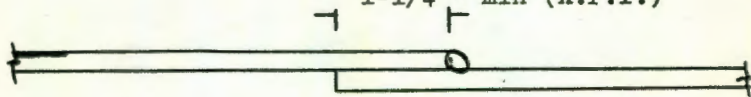


Fig 3.2 Junta traslapada de cordón sencillo.

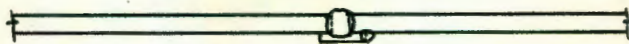


Fig. 3.3 Junta a tope, cordón sencillo con solera de respaldo.

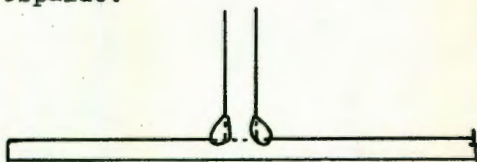


Fig. 3.4 Junta fondo-cuerpo.

e. Requerimientos especiales. Dependiendo del método de diseño a emplear, existen algunos requisitos en particular. Tal es el caso de los tanques "G" (tanques diseñados de acuerdo al método propuesto por el apéndice g de 2.1.a). Dichos tanques deberán proveerse de una placa anular que se suelda al fondo del primer anillo. En su circunferencia exterior, esta placa deberá ser circular pudiendo adoptar la forma de un polígono por la parte interior, con tantos lados como placas anulares necesite. La soldadura de las placas entre sí, será a tope. Con una anchura radial que provea al menos 24" entre la parte interna del cuerpo y cualquier junta traslapada en el resto del tanque, tendrá una proyección mínima de 2" hacia el exterior del cuerpo.

Los espesores de dicho anillo serán de acuerdo a la siguiente tabla.

Espesor Nominal del ler. anillo, In.	Espesor Mínimo de Placa, In.
$t \leq 1/2$	1/4
$1/2 < t \leq 7/8$	5/16
$7/8 < t \leq 1 \ 1/4$	3/8

Las placas del primer anillo del cuerpo se fijarán a las placas anulares en idéntica forma que si se soldara de -
rectamente a las placas del fondo, excepto que cada soldadura deberá hacerse con un mínimo de dos pasadas.

3.2. DISEÑO.

Los fondos para tanques cilíndricos verticales desplantados sobre el terreno, se construyen de placas de espesor mucho menor al de las placas usadas para el cuerpo. Esto es posible porque el fondo es soportado en su total superficie por una base de arena y/o grava. En este caso, las placas estarán sujetas a compresión simple. Teóricamente, un espesor mucho menor al mínimo especificado sería suficiente para un fondo plano, pero considerando la sedimentación probable de partículas en suspensión, el método de remoción de las mismas, y para dar más holgura a las soldaduras, usaremos el mínimo especificado por el A.P.I. que es de 1/4".

Es conveniente que las placas sean ordenadas simétricamente en relación a los ejes del fondo. En la práctica esto representa una ventaja porque nos permitirá habilitar el material en grupos de cuatro piezas. De otra forma, si las placas se ordenan simétricamente respecto a un eje, únicamente se podrán cortar dos placas a la vez.

De la formula

$$C_{\text{barriles}} = 0.14 \frac{D^2 H}{\text{nom}}$$

Obtenemos

$$D_{\text{nom}} = \left(C_{\text{barriles}} / 0.14 H \right)^{1/2}$$

y

$$D_{\text{nom}} = \left(750\,000 / 0.14 \times 64 \right)^{1/2}$$

$$D_{\text{nom}} = 290 \text{ ft, } 88.40 \text{ mts.}$$

Si consideramos lo especificado en la sec 3.1.a, el diámetro del fondo está dado por:

$$D_f = D_{\text{nom}} + d$$

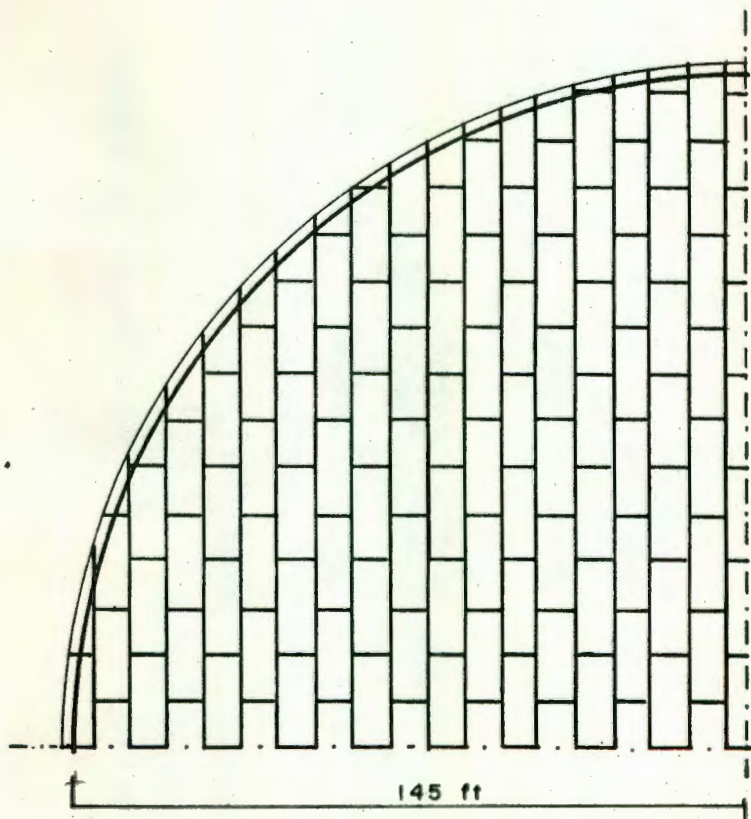
y

$$d = 1" + 1/2 \text{ esp. ler. anillo.}$$

∴

$$D_f = 290.213 \text{ ft} = 88.456 \text{ mts.}$$

El croquis C 3.1 nos muestra el arreglo final de las placas del fondo.



ARREGLO FINAL DEL FONDO

INGENIERIA U. A. G.	
TESIS PROFESIONAL	
ALFREDO RAMOS SANCHEZ	
NOV. 79	C - 3.2.1.

CUATRO

PAREDES DEL TANQUE .

4.1. ANALISIS.

Para tanques pequeños y medianos (tanques de producción), con fondo plano, el diseño completo se hace en base a un mismo espesor de placas. El espesor más usual es de 3/16 o 1/4 " con anchos no menores de 5' (60 in). Las placas en la pared pueden tener juntas doblemente soldadas a tope, con penetración completa, o juntas simples soldadas a tope, con placas de apoyo y penetración completa. Dicho diseño es simple y ha sido estandarizado.

El diseño de tanques grandes de almacenamiento con fondo plano, ha sido de igual modo estandarizado. A diferencia del caso anterior, estos estándares proveen varias alternativas.

En general, los métodos de dimensionamiento de envolvertes para tanques, propuestos por el A.P.I. (2.1.a), se basan en los siguientes considerandos:

a. Los esfuerzos se calculan en la hipótesis de que el tanque está lleno de agua a 20 °C (o de el líquido a almacenar, de peso mayor que el agua). Las cargas radiales aisladas sobre el cuerpo del tanque, tales como la carga concentrada sobre plataformas o pasarelas elevadas entre tanques, deben absorberse por medio de secciones estructurales de acero, nervaduras de placa, o aumentando miembros compuestos.

b. El esfuerzo efectivo máximo a tensión, antes de aplicar el factor E de eficiencia de junta, será hasta de 21 000 psi (1476.3 kg/cm²).

El diseño básico, propuesto por el A.P.I. se basa en calcular el espesor de los anillos en la hipótesis de que el recipiente contiene agua, y la tensión en cada anillo se

calcula empíricamente un pié arriba de la costura horizontal del anillo. El esfuerzo de trabajo es un tercio de la resistencia última del acero, es decir, considera un factor de seguridad de 3.

Obvio es decir que lo ideal será variar el espesor de la pared con la profundidad.

La presión varía de máxima -en la parte inferior- a mínima -en la parte superior- de un anillo cualquiera. Si basamos nuestro diseño en la presión ejercida en el borde superior del anillo cualquiera en cuestión, nos dará por consiguiente un diseño bajo. Análogamente, un diseño basado en la presión ejercida en la parte inferior, nos resultaría sobrado; además, debemos hacer ciertas consideraciones adicionales ya que, por ejemplo, en el caso del primer anillo (el más bajo de la envolvente), las placas del fondo ofrecen una considerable restricción en su parte inferior. Dicha restricción adicional es efectiva hasta una altura apreciable. En un anillo intermedio, sobre un anillo de placas más pesadas que él, el tope de dichas placas estará bajo esforzado, lo que tenderá a cancelar cualquier sobreesfuerzo en la junta. De aquí que un diseño basado en la presión tomada a un pié de altura de la parte más baja del anillo resulte conservador.

4.1.1. Aspectos Constructivos.

a. Disposición de los miembros.- El tanque deberá trazarse de tal forma que tenga sus anillos exactamente verticales. Salvo especificación en contrario las placas colindantes en juntas horizontales deberán tener un eje vertical común. Juntas verticales en anillos adyacentes no deberán alinearse. Se fijarán una de otra a una distancia mínima de 5t, siendo

t el espesor del anillo más grueso en esa junta.
 b. Angulos de Coronamiento.- De acuerdo al diámetro del tanque, se suministrarán angulos tope de la envolvente, según la siguiente tabla:

Ø ft	∇ in
35 y menores	2 1/2 x 2 1/2 x 1/4
35 a 60	2 1/2 x 2 1/2 x 1/4
mayor de 60	3 x 3 x 3/8

La pierna sobresaliente del angulo podría extenderse hacia adentro o afuera del cuerpo, a opción del cliente.

c. Juntas horizontales y vericales.- Serán soldadas a tope, con fusión y penetración completas, de doble cordón. En el caso de las juntas verticales podría utilizarse algún otro método que dé resultados equivalentes.

d. Tamaño de Soldaduras.- Ver sección 3.1.c, también:

1. Soldaduras en ranura.- La penetración de la junta.

2. Soldaduras en chaflán.- Para chaflanes de catetos iguales, la longitud del más grande isóceles recto que pudiera inscribirse dentro de la sección transversal del chaflán. Para chaflanes de catetos desiguales, la longitud de cateto del mayor rectángulo que pueda ser inscrito dentro de la sección transversal del chaflán.

e. Juntas típicas verticales en el cuerpo.



e.1 Junta V sencilla a tope.



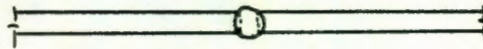
e.2 Junta U sencilla a tope.



e.3 Junta V doble a tope



e.4 Junta U doble a tope



e.5 Junta bisel cuadrado a tope

f. Juntas típicas horizontales en el cuerpo.



f.1 Junta de bisel sencillo a tope, de penetración completa



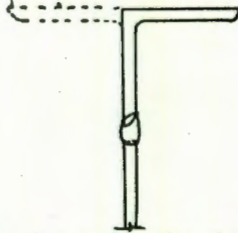
f.2 Junta a tope de doble bisel, penetración completa.



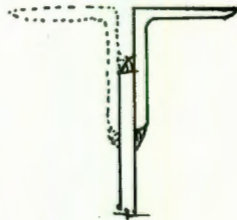
f.3 Soldadura de doble bisel, penetración parcial



f.4. Junta de bisel cuadrado, a tope, penetración completa.



f.5. Junta a tope Angulo tope- Cuerpo, de penetración completa.



alternativa de f.5.

4.2. DISEÑO.

El Instituto Norteamericano del Petroleo, A.P.I. (2.1.a) nos proporciona varios métodos para el dimensionamiento de paredes de tanques atmosféricos:

- 4.2.1. Metodo Básico A.P.I. 650.
- 4.2.2. Tanques "D".
- 4.2.3. Tanques "G".
- 4.2.4. Tanques "K".

4.2.1. Método Básico.

En el desarrollo del método básico de diseño del A.P.I. 650, el más conservador de los tres básicos, el esfuerzo máximo a tensión del acero será de 21 000 psi.

La junta soldada entre placas puede no ser tan fuerte como el acero adjunto en las placas de la pared. Esto ha sido comprobado en la práctica y por lo mismo, se ha introducido un factor de eficiencia de junta "E". Este factor es siempre menor que la unidad y es dado por varios códigos para diferentes tipos de juntas. El factor de eficiencia de junta para una unión vertical doblemente soldada a tope, se considera de el orden del 85 %.

Conviene hacer notar que los espesores de pared obtenidos por este método -y por cualquier otro del A.P.I.- son netos y, por tanto, deberá añadirse un sobreespesor "c" que será la tolerancia por corrosión, de ser necesaria.

Bien.

El espesor mínimo de pared podrá calcularse con la fórmula:

$$t = \frac{2.6 (D) (H-1) (g)}{(0.85) (21\ 000)} \quad (F- 2.2.1.a)$$

donde

t = Espesor de pared mínimo, in.

D = Diámetro nominal del tanque, ft.

H = Altura de la envolvente, desde el fondo del anillo en cuestión hasta el ángulo de remate, o al fondo del vertedero que limite la altura de llenado del tanque.

g = Gravedad específica, en ningún caso menor que 1.0.

En ningún caso, el espesor nominal de las paredes no será menor que:

Ø nominal, ft.	Espesor, in.
menor de 50	3/16
50 a 120	1/4
120 a 200 incl.	5/16
200 y Mayores	3/8

El espesor nominal máximo de las placas será de 1 1/2".

4.2.2.- Tanques "D"

Para el diseño de tanques de acuerdo al método del apéndice D de 2.1.a, se consideran dos condiciones básicas de diseño:

1. Cuando suponemos al tanque lleno de un líquido de gravedad específica "G" (Condición de diseño):

Esfuerzo permisible de diseño, 21 000 psi.

Factor E de eficiencia de junta, 1.0.

Espesor de pared mínimo:

$$t_1 = \frac{2.6 D (H-1) G}{21\ 000} + c$$

2. Si lo suponemos lleno de agua (Prueba hidrostática):

Esfuerzo permisible: 23 000 psi.

Eficiencia de junta E, 1.0.

Espesor de pared mínimo:

$$t_2 = \frac{2.6 D (H-1)}{23\ 000} + c$$

entonces, el espesor mínimo requerido para la pared, t, será el mayor de los dos valores anteriores, y a su vez, menor a 1 1/2", y mayor que los espesores mínimos enlistados en la sección 4.2.1.

Para efectos de selección de materiales se deberá considerar la temperatura de diseño del metal. De no haber requerimientos especiales que lo justifiquen en contrario, dicha temperatura será la temperatura ambiente del día de más baja temperatura de la localidad donde se vá a instalar; más 15 °F.

La tabla T- 4.2.2, es comparativa de los diferentes aceros a utilizarse en este método básico alternativo de diseño.

TABLE D-1—Minimum Requirements for Steel Plates for Use with Alternate Design Basis for API Standard 650 Tank Shells

 Applicable Specifications¹ For All Courses

Plate thickness, inches	Insert Plates and Flanges				
	0 ≤ 1/2	> 1/2 ≤ 1	> 1 ≤ 1 1/2	> 1 1/2 ≤ 2 (Normalized)	> 1 1/2 ≤ 3 (Normalized)
Design metal temperature, deg F					
Above + 50...	A 283, grade C ² A 131, grade A A 36 Fe 42, Fe 44, grade B ³ Gr 41-44	A 283, grade C ² A 36 Fe 42, Fe 44, grade B ³ Gr 41-44	A 36 Fe 42, Fe 44, grade C ⁶ Gr 41-44 ¹¹	A 573, grade 58 Fe 42, Fe 44 ⁴ , grade D ⁴	A 516
Above + 20...	A 283, grade C ² A 131, grade A A 36 A 442 Fe 42, Fe 44, grade B ³ Gr 41-44 G 40.21, grade 38W G 40.21, grade 44W	A 131, grade B A 36 ⁵ A 442 Fe 42, Fe 44, grade C ⁶ Gr 41-44 ¹¹ G 40.21, grade 38W G 40.21, grade 44W	A 573, grade 58 ⁷ A 36 ⁵ A 442 G 40.21, grade 38T G 40.21, grade 44T A 662, grade B	A 573, grade 58 Fe 42, Fe 44, grade D ⁴ Gr 41-44 ⁴	A 516
Above - 10...	A 131, grade B A 442 Fe 42, Fe 44, grade C ⁴ Gr 41-44 ¹¹ G 40.21, grade 38W G 40.21, grade 44W	A 573, grade 58 Fe 42, Fe 44, grade D ⁴ Gr 41-44 ⁴ G 40.21, grade 38T G 40.21, grade 44T A 573, grade 65 A 573, grade 70 A 516 A 662, grade B	A 573, grade 58 ⁷ A 442 Fe 42, Fe 44, grade D ⁴ Gr 41-44 ⁴ G 40.21, grade 38T G 40.21, grade 44T A 573, grade 65 A 573, grade 70 A 516 A 662, grade B	A 573, grade 58 Fe 42, Fe 44, grade D ⁴ Gr 41-44 ⁴	A 516
Above - 40...	A 573, grade 58 Fe 42, Fe 44, grade D ⁴ Gr 41-44 ⁴ G 40.21, grade 38T G 40.21, grade 44T A 573, grade 65 A 573, grade 70 A 516 A 662, grade B ¹⁰	A 131, grade CS ¹⁰ A 573, grade 58 ¹⁰ Fe 42, Fe 44, grade D ^{4, 10} Gr 41-44, grade D ^{4, 10} G 40.21, grade 38T ¹⁰ G 40.21, grade 44T ¹⁰ A 573, grade 65 ¹⁰ A 573, grade 70 ¹⁰ A 516 ¹⁰ A 662, grade B ¹⁰	A 131, grade CS ¹⁰ A 573, grade 58 ¹⁰ A 442 Fe 42, Fe 44, grade D ^{4, 10} Gr 41-44 ^{4, 10} G 40.21, grade 38T ¹⁰ G 40.21, grade 44T ¹⁰ A 573, grade 65 ¹⁰ A 573, grade 70 ¹⁰ A 516 ¹⁰ A 662, grade B ¹⁰	A 131, grade CS	A 573, Class 1

Notes:

1. All specification numbers refer to ASTM specifications except G 40.8 which is a Canadian Standards Association specification. Fe 42 and Fe 44 which are contained in ISO Recommendation R 630 and Gr. 41-44 which refer to National Standards. (A National Standard, for the purposes of this Code, is one which has official or quasi-official sanction of the government of the country in which it originates.)

2. ASTM A 285, Grade C, may be used as an alternative for ASTM A 283, grade C.

3. For Fe 42 and Fe 44, the maximum percentage of manganese shall be 1.50 (ladle).

4. Killed and fine grain.

5. Nonrimming only.

6. Semi-killed or killed.

7. ASTM A 573, grade 58, may be used to 1 1/2 in. thickness, inclusive, without normalizing.

8. ASTM A 36 used in this thickness and temperature range shall have a manganese content to 0.80 to 1.20 percent by ladle analysis.

9. ASTM A 36 may be used at design metal temperatures of 35 F and higher.

10. Normalized.

11. Killed.

4.2.3. Tanques "G".

Aquí se nos presenta un diseño básico de paredes para tanques empleando aceros de alta resistencia, los cuales poseen mejores propiedades mecánicas, mayor tenacidad y esfuerzos de trabajo superiores, como se muestra en la tabla T- 4.2.3.

En general, el presente método no difiere grandemente de los procedimientos mostrados anteriormente (4.2.1 y 4.2.2). Los requerimientos ahí mostrados son válidos aquí también con excepción del espesor máximo de pared, el que podría ser incrementado hasta 1 3/4". A semejanza del anterior, el método del apéndice G nos presenta 2 condiciones básicas de diseño:

a. En base a un líquido de gravedad determinada,

$$t_d = \frac{2.6 (D) (H-1) \rho}{S_d} \quad (\text{F- 4.2.3a})$$

b. Si lo suponemos lleno de agua,

$$t_t = \frac{2.6 (D) (H-1)}{S_t} \quad (\text{F- 4.2.3b})$$

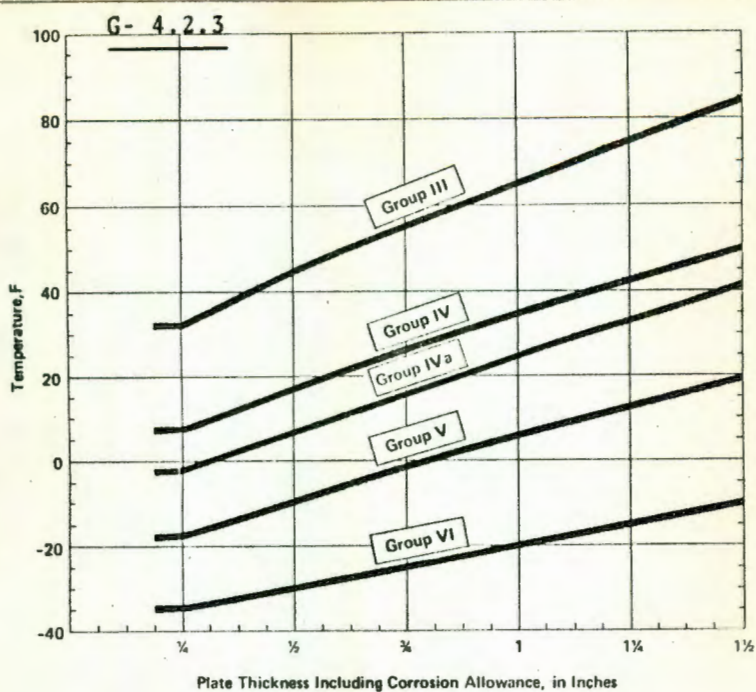
donde:

- t_d = Espesor de diseño del casco, in.
- t_t = Espesor por prueba hidrostática, in.
- S_d = Esfuerzo máximo permisible de diseño, psi.
- S_t = Esfuerzo máximo permisible para prueba hidrostática, psi.

La tabla T- 4.2.3 incluye los esfuerzos ya calculados de S_d y S_t .

Para efectos de diseño del primer anillo, S_d será el menor valor de:

- 2/3 del esfuerzo de cedencia, ó
- 3/8 del esfuerzo a tensión.



Materials:

Group III, as-rolled, semi-killed, or fully killed:
API Std 650, Sect. G.10

Group IV, as-rolled, fully killed, fine grain:
API Std 650, Sect. G.10; ASTM A 573, grade 70
CSA G40. 21, grade 50T

Group IVa, as-rolled, fully killed, fine grain, carbon 0.20
max. (ladle), manganese 1.60 max. (ladle):
API Std 650, Section G.10 Mod.; ASTM A 573, grade 70
Mod. (See Note 3, Table G-1).

Group V, normalized, fully killed, fine grain:
API Std 650, Sect. G.10; ASTM A 573, grade 70
ASTM A 633, grades C and D.

Group VI, normalized or quench-tempered, fully killed,
fine grain, reduced carbon:
ASTM A 131, grade EH 36; ABS grade EH 36
ASTM A 537, Classes 1 and 2
ASTM A 678, grades A and B

FIG. G-1—Minimum Permissible Design Metal Temperature for Plates Used in Tank Shells Without Impact Testing (In Degrees Fahrenheit)

TABLE G-1—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (In Pounds per Square Inch)

T-4.2.3.				Product Design Stress, S_d		Hydrostatic Test Stress, S_t	
Steel Specification	Notes	Minimum Yield Strength	Minimum Tensile Strength	1st Course	Upper Courses	1st Course	Upper Courses
API Standard 650, Sect. G.10	1,6	50,000	70,000	26,300	28,000	28,000	30,000
ASTM A 573, grade 70	1,3	42,000	70,000	26,300	28,000	28,000	30,000
ASTM A 537, Class 1	1,3,4	50,000	70,000	26,300	28,000	28,000	30,000
ASTM A 537, Class 2	1,3,5	60,000	80,000	30,000~	32,000	32,000	34,300
ASTM A 633, grades C and D	1,3	50,000	70,000	26,300	28,000	28,000	30,000
ASTM A 678, grade A	1,2	50,000	70,000	26,300	28,000	28,000	30,000
ASTM A 678, grade B	1,2,3	60,000	80,000	30,000	32,000	32,000	34,300
ABS hull structural steels:							
Grade EH 36	1,4	51,000	71,000	26,600	28,400	28,400	30,400
ASTM A131, grade EH 36	1,4	51,000	71,000	26,600	28,400	28,400	30,400
CSA 40.21, grade 50T	1,7	50,000	70,000	26,300	28,000	28,000	30,000
ISO R630:							
Fe 52, grades C and D	1	48,500	71,000	26,600	28,400	28,400	30,400

Notes:

1. By agreement between purchaser and manufacturer, the tensile strength of the materials in this table may be increased up to 75,000 psi minimum and 90,000 psi maximum (and to 85,000 psi minimum and 100,000 psi maximum for ASTM A 537, Class 2). When this is done, the allowable stresses shall be determined as indicated in Par. G.3.

2. Boron additions not permitted.

3. The manganese and silicon limits listed in Table G-3 may be applied to A537, A573, A633-D, and A678-B, and the material shall be marked as "Mod" following the specification listing.

4. Insert plates permitted to 2 in. thick, incl.

5. The tensile, bend, and impact tests (if any) shall be on each plate as specified.

6. The minimum yield strength may be reduced to 42,000 psi with permission of the purchaser.

7. Plates shall have a maximum of 20 ksi above the minimum tensile strength specified. Elements added for grain refining or strengthening shall be restricted in accordance with Table G-2.

Para anillos superiores:

2/3 del esfuerzo de cedencia, ó

2/5 del esfuerzo a tensión.

En el caso de S_t , para el primer anillo, el menor valor de:

3/4 del esfuerzo de cedencia.

2/5 del esfuerzo a tensión.

Para anillos superiores:

3/4 del esfuerzo de cedencia, ó

3/7 del esfuerzo a tensión.

La selección de materiales se hará en base a la tabla T- 4.2.3 y a la gráfica G- 4.2.3. La temperatura de diseño del metal se obtendrá de acuerdo a lo mencionado en 4.2.2.

En los anillos superiores, donde el esfuerzo de trabajo es menor, podremos usar el diseño propuesto por el apéndice D, el cual usa aceros convencionales, lo que redundaría en reducción del costo de materiales, teniendo especial cuidado en no rebasar los esfuerzos permitidos por dicho apéndice pa ra el material en particular, y en no colocar anillos superio res más gruesos que el inmediato inferior.

De utilizar este método básico, deberemos considerar, para el fondo del tanque, lo mencionado en la sección 3.1.e. Tanques para servicio refrigerado, no podrán ser diseñados por este sistema.

4.2.4. Tanques K.

El apéndice K nos muestra un procedimiento para calcular el espesor de pared del cuerpo de tanques atmosféricos como una alternativa de los métodos mostrados en 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3 del presente trabajo, los cuales usan un punto fijo de diseño localizado 12 pulgadas arriba del fondo de cada anillo.

El procedimiento, desarrollado por L.P. Zick y R.V. McGrath,

utiliza un punto de diseño variable en cada anillo para calcular espesores de pared, lo cual dá como resultado esfuerzos circunferenciales más cercanos a los reales que los obtenidos en dichos métodos. Normalmente provee una sensible reducción en los espesores de los anillos y por tanto en el peso total del material. Más importante es el hecho de que permite la construcción de tanques más grandes dentro de la limitación del máximo espesor de pared permisible.

Los esfuerzos admisibles de trabajo para tanques K se considerarán de acuerdo a lo enunciado para cada método en particular al que se aplica el procedimiento.

Los espesores de placa se calcularán de la siguiente manera.

a. Espesor del Primer Anillo (t_1).

Para el cálculo del primer anillo, obtendremos un valor preliminar, por medio de las fórmulas siguientes:

$$t_d = \frac{2.6 (D) (H-1) G}{S_d} \quad (K-1)$$

$$t_t = \frac{2.6 (D) (H-1)}{S_t E} \quad (K-2)$$

donde:

D = Diámetro nominal del tanque, ft.

H = Altura de la envolvente, ft.

G = Gravedad específica del líquido a almacenar (para tanques 4.2.1, en ningún caso menor que 1).

E = Factor de eficiencia longitudinal de junta, 0.85 para 4.2.1, 1.0 para 4.2.2 y 4.2.3.

S_d = Esfuerzo permisible de diseño.

S_t = Esfuerzo permisible para prueba hidrostática.

Una vez obtenidos estos valores, calculamos el espesor del primer anillo (t_1) para ambas condiciones, por medio de las siguientes formulas:

$$(K-3) \quad t_{1d} = \left[1.06 - \frac{0.463 D}{H} \sqrt{\frac{H G}{S_d E}} \right] \left(\frac{2.6 H D G}{S_d E} \right)$$

$$(K-4) \quad t_{1t} = \left[1.06 - \frac{0.463 D}{H} \sqrt{\frac{H G}{S_t E}} \right] \left(\frac{2.6 H D G}{S_t E} \right)$$

t_{1d} y t_{1t} no excederán a t_d y t_t respectivamente.

b. Espesor del segundo anillo (t_2).

La localización teórica del punto de diseño para determinar el espesor del segundo anillo se vé afectada debido a que la unión con el fondo del tanque eleva la posición del esfuerzo máximo en la parte baja de la pared de tanques grandes, a la cercanías de la junta entre el primero y segundo anillos.

El espesor del segundo anillo depende tanto de la altura del primer anillo, como de su radio, espesor y columna de agua; se obtiene a partir de las siguientes expresiones, condiciones tanto para t_d como para t_t :

$$\text{Si } M \leq 1.375, \quad t_2 = t_1$$

$$\text{Si } M \geq 2.625, \quad t_2 = t_{2a}$$

Pero si $1.375 < M < 2.625$, entonces:

$$(K-5) \quad t_2 = t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left[2.1 - \frac{h_1}{1.25 \sqrt{rt_1}} \right]$$

donde:

h_1 = Altura del 1er. anillo, in.

r = Radio nominal del tanque, in.

t_{2a} = Espesor del segundo anillo, en in, calculado como se indica a continuación, para anillos superiores.

c. Espesor de los anillos superiores (t_x).

Para el diseño del espesor de pared de los anillos superiores -tercer anillo en adelante- obtendremos primeramente un valor preliminar, t_u , usando las expresiones K-1 ó K-2, según el caso.

Para obtener la distancia del punto variable de diseño, x , u saremos el menor valor obtenido de las expresiones siguientes

$$x_1 = 0.61 r t_u + 0.32 C h_u$$

$$x_2 = C h_u$$

$$x_3 = 1.22 r t_u$$

donde :

t_u = Espesor del anillo superior en la junta circular, in.

$$C = \frac{k (k-1)}{1+ k k}$$

$$k = \frac{t_L}{t_u}$$

t_L = Espesor del anillo inferior en la misma junta, in.

h_u = Altura de la parte inferior del anillo en consideración a la parte superior del angulo tope, o a la parte inferior del derramadero, in.

Una vez definido lo anterior, obtendremos t_x , cuyo valor es-

tá definido por:

$$\frac{2.6 D \left(H - \frac{x}{12} \right) G}{S_d E} \quad (\text{Diseño para un líquido de gravedad específica } G)$$

ó

$$\frac{2.6 D \left(H - \frac{x}{12} \right)}{S_t E} \quad (\text{Condición de prueba hidrostática)$$

El valor así obtenido, nos dará el valor del espesor 't' de pared, en pulgadas, del anillo 'x' en cuestión. Entonces usando este valor obtenido para t_x , repetimos el procedimiento hasta lograr una diferencia pequeña entre los valores calculados de t_x en las iteraciones.

Bien.

Consideremos el ejemplo del capítulo anterior, utilizando también placa de 8'x 20'. Entonces:

$$G = 0.82$$

$$D = 290 \text{ ft.}$$

$$H = 64 \text{ ft, } 8 \text{ anillos.}$$

$$h_1 = 96 \text{ in, } 8 \text{ ft.}$$

Temperatura de metal: Si lo ubicamos en una zona cuya temperatura ambiente más baja es 0 °C,

$$T_m = 47 \text{ °F.}$$

Diseñaremos para prueba hidrostática (1 0.82), según las especificaciones del apéndice G, utilizando el procedimiento del apéndice K.

De la gráfica G- 4.2.3, observamos que para una temperatura de 47 °F, aceros del grupo III o del grupo IV nos cubrirán satisfactoriamente las necesidades del servicio. Para tener un margen de seguridad en caso de que se presentara alguna temperatura ambiente más baja de lo previsto, optaríamos por un acero de las especificaciones mencionadas para el grupo IV. La elección de una en particular, se determinaría en base a existencias en el mercado y en base a costo de adquisio

ción.

De la tabla T- 4.2.3, vemos que:

$S_t = 28\ 000$ Psi para el primer anillo, $30\ 000$ psi para anillos superiores.

PRIMER ANILLO

$$E = 30$$

$$S_t = 28,000 \text{ PSI}$$

$$t_1 = t_t, t \text{ } \neq 20 \text{ uó mayor que } t_t$$

$$t_t = \frac{2.6 D (H-1)}{S_t E} = \frac{2.6 (290)(63)}{28\ 000 (1)}$$

$$t_t = 1.697''$$

$$t_{it} = \left[1.06 - \left(\frac{0.463 (290)}{64} \sqrt{\frac{64}{28,000}} \right) \right] \left(\frac{2.6 (64)(290)}{28 \times 10^3} \right)$$

$$t_{it} = 1.654 \text{ in} < t_t = 1.697 \text{ in} \quad \underline{\underline{OK}}$$

$$\therefore \underline{\underline{t_1 = 1.654 \text{ in}}}$$

SEGUNDO ANILLO

$$\frac{h_1}{\sqrt{r t_1}} = \frac{96}{\sqrt{1740 (1.697)}} = 1.789$$

$$t_1 \text{ tenemos que } 1.375 < 1.789 < 2.625 \text{ in}$$

$$\therefore t_2 = t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left[2.1 - \frac{h_1}{1.25 \sqrt{r_{e1}}} \right]$$

$$\underline{t_{2a}}$$

$$H = 86 \text{ ft}$$

$$h_u = 672 \text{ in}$$

$$t_c = 1.654 \text{ in}$$

$$t_{tx} = \frac{2.6 D (H-1)}{S_t E} = 1.382 = t_u$$

$$K = \frac{t_c}{t_u} = 1.197$$

$$K^{\frac{1}{2}} = 1.094$$

$$C = \frac{K^{\frac{1}{2}} (K-1)}{1 + K K^{\frac{1}{2}}} = 0.093$$

$$\sqrt{r_{tu}} = 49.038 \text{ in}$$

$$C h_u = 62.496 \text{ in}$$

ENTRANCES:

$$* x_1 = 0.61 \sqrt{r_{tu}} + 0.32 C h_u = 49.912 \text{ in}$$

$$x_2 = C h_u = 62.496 \text{ in}$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{r_{tu}} = 59.826 \text{ in}$$

$$* \text{MEJOR VALOR } \therefore x = 49.912 \text{ in}$$

$$\frac{X}{12} = 4.159 \text{ ft}$$

$$y \quad t_{tx} = \frac{2.60 (4 - \frac{x}{12})}{St E} = 1.309 \text{ in}$$

2^o tent = 0.-

$$H = 56 \text{ ft}, \quad h_u = 672 \text{ in}, \quad t_u = 1.309 \text{ in}$$

$$t_L = 1.654 \text{ in}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = 1.264$$

$$\sqrt{K} = 1.124$$

$$C = \frac{K^{1/2} (K-1)}{1 + K^{1.5}} = 0.123$$

$$\sqrt{rt_u} = 47.725 \text{ in.}$$

$$Ch_u = 82.656 \text{ in.}$$

$$X_1 = 0.61 \sqrt{rt_u} + 0.32 Ch_u = 55.562 \text{ in}$$

$$X_2 = Ch_u = 82.656 \text{ in}$$

$$X_3 = 1.22 \sqrt{rt_u} = 58.225 \text{ in}$$

$$\therefore X = 55.562 \text{ in}$$

$$\frac{X}{12} = 4.63 \text{ ft}$$

$$t_{tx} = \frac{2.6 D (H - \frac{x}{12})}{St E} = 1.291 \text{ in}$$

3^{er} tanteo.

$$H = 56 \text{ ft}, \quad h_u = 67.2 \text{ in}, \quad t_u = 1.291 \text{ in}, \quad t_2 = 1.654 \text{ in}$$

$$K = \frac{t_u}{t_2} = 1.281$$

$$K^{1/2} = 1.132$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K\sqrt{K}} = 0.13$$

$$\sqrt{rt_u} = 47.396 \text{ in}$$

$$C h_u = 87.236 \text{ in}$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{rt_u} + 0.32 C h_u = 56.827$$

$$x_2 = C h_u = 87.236 \text{ in}$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{rt_u} = 57.823 \text{ in}$$

$$\therefore x = 56.827 \text{ in}$$

$$\frac{x}{12} = 4.736 \text{ ft}$$

$$y \quad t_{tx} = \frac{2.6 D (H - \frac{x}{12})}{St E}$$

$$= 1.288 \text{ in} \approx 1.291 \text{ in}$$

$$\therefore t_{2a} = 1.288 \text{ in}$$

Substituyendo, tenemos que:

$$t_2 = t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left[2.1 - \frac{h_1}{1.25 \sqrt{r_2}} \right]$$

$$t_2 = 1.50032 \approx \underline{\underline{1.500 \text{ in}}}$$

TERCER ANILLO

1^{er} tanteo.

$$H = 48 \text{ ft}, \quad h_u = 576", \quad t_L = 1.500", \quad D = 290 \text{ ft.}$$

$$t_{tx} = \frac{2.6 D (H-1)}{S_t E} = \underline{1.181 \text{ in}}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = 1.270$$

$$K^{\frac{1}{2}} = 1.127$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K\sqrt{K}} = 0.125$$

$$C h_u = 72.00 \text{ in}$$

$$\sqrt{r t_u} = 45.331 \text{ in}$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{r t_u} + 0.32 C h_u = 50.692$$

$$x_2 = C h_u = 72 \text{ in}$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{r t_u} = 55.304 \text{ in}$$

$$\therefore X = 50.692 \text{ m}$$

$$\frac{X}{12} = 4.227 \text{ ft}$$

$$y \quad t_{tx} = \frac{2.60 (H - \frac{X}{12})}{3t \bar{E}} = 1.100 \text{ m}$$

Segundo tanteo.

$$H = 48 \text{ ft}, \quad h_u = 576 \text{ m}, \quad t_L = 1.500 \text{ m}, \quad t_u = 1.100 \text{ m}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = 1.364$$

$$K^{1/2} = 1.168$$

$$C = \frac{K^{1/2} (K-1)}{1 + K^{1.5}} = 0.164 \text{ m}$$

$$Ch_u = 94.436 \text{ m}$$

$$\sqrt{rt_u} = 43.749 \text{ m}$$

$$X_1 = 0.61 \sqrt{rt_u} + 0.32 Ch_u = 56.907 \text{ m}$$

$$X_2 = Ch_u = 94.436 \text{ m}$$

$$X_3 = 1.22 \sqrt{rt_u} = 53.374 \text{ m}$$

$$\therefore X = 53.374 \text{ m}$$

$$\frac{x}{12} = 4.448 \text{ ft}$$

$$\therefore t_{tx} = \frac{2.6 D (H - \frac{x}{12})}{S_t E} = 1.095$$

TERCER TAUTO.

$$t_u = 1.095 \text{ in}, H = 48 \text{ ft}, h_u = 576 \text{ in}, t_c = 1.500$$

$$k = \frac{t_c}{t_u} = 1.370$$

$$k^{1/2} = 1.170$$

$$c = \frac{\sqrt{k} (k-1)}{1 + k\sqrt{k}} = 0.166$$

$$\sqrt{rt_u} = 43.650$$

$$ch_u = 95.616$$

$$x_1 = 0.61 \sqrt{rt_u} + 0.32 ch_u = 57.22 \text{ in}$$

$$x_2 = ch_u = 95.616 \text{ in}$$

$$x_3 = 1.22 \sqrt{rt_u} = 53.253 \text{ in}$$

$$\therefore t_{tx} = \frac{2.6 D (H - \frac{x}{12})}{S_t E} = 1.095'' = t_{tx} \text{ (see taut. 1)}$$

$$\therefore t_3 = 1.095''$$

Si usamos placa de $1\text{-}\frac{1}{8}$ " esp, $t_3 = 1.125$ "

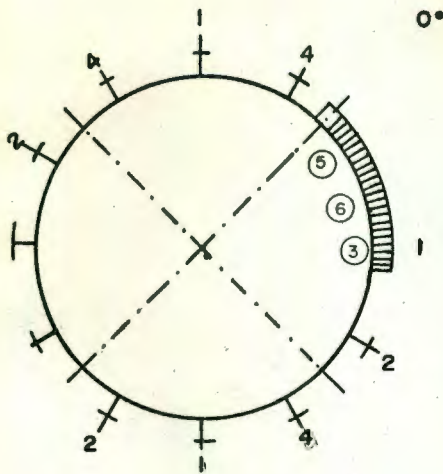
A modo de abreviar, la siguiente tabla nos muestra el espesor obtenido para cada uno de los anillos siguiendo el procedimiento anterior. Los espesores aquí mostrados son de la sección neta (no incluye el factor c, el cual deberá especificarlo el comprador de requerirlo), aproximados al espesor comercial in mediatamente superior, como se hizo para el tercer anillo.

Anillo	$t_{\text{necesario}}$ in	t_{real} in		
1°	1.6540	1.750	(1-3/4)	t_1
2°	1.5000	1.500	(1-1/2)	t_2
3°	1.0950	1.125	(1-1/8)	t_3
4°	0.9210	1.000	(1)	t_4
5°	0.7140	0.750	(3/4)	t_5
6°	0.5290	0.562	(9/16)	t_6
7°	0.3400	0.375	(3/8)	t_7
8°	0.3400	0.375	(3/8)	t_8

TABLA T- 4.2.1.

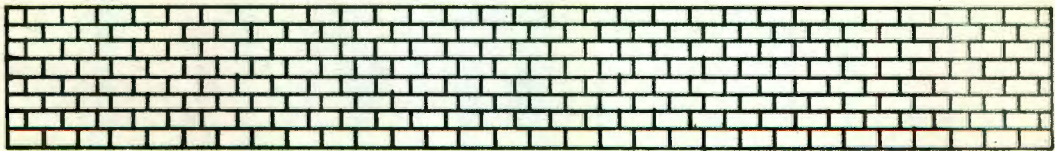
Como puede notarse, el cálculo del séptimo anillo dió como resultado 0.340 in, el cual es menor al mínimo permisible, de acuerdo con la sección 4.2.1, por tanto, el cálculo del espesor de pared t_8 , se hace innecesario.

El croquis C- 4.2.1 muestra el arreglo de los componentes del cuerpo, y la orientación de los accesorios en el mismo.



1	REGISTRO HOMBRE
2	REGISTRO DESAZOLVE
3	BOQUILLAS CARGA
4	BOQUILLA DESCARGA
5	REGISTRO HOMBRE
6	BOQUILLAS INSPECCION

ACCESORIOS



360°

911.06 ft (277.691 mm)

PARED DEL TANQUE

INGENIERIA U. A. O.	
TESIS PROFESIONAL	
ALFREDO RAMOS SANCHEZ	
NOV. 79	C - 4.21.

C I N C O

T E C H O

5.1. ANALISIS

En el estudio de cubiertas para tanques de almacenamiento, observamos que existen varios tipos de ellas, a saber:

a. Techo Cónico Soportado.

Consiste en una cubierta de forma semejante a la superficie de un cono recto, soportado por un sistema ya sea de largueros sobre vigas y columnas; o largueros sobre armaduras, con o sin columnas.

b. Techo Cónico Autosoportado.

Un techo cónico autosoportado es aquel de forma similar a la de un cono recto, soportado unicamente en su periferia. Tienen una pendiente minima que vá del 16.6% al 75%, correspondiente a un angulo de 37 °.

c. Techo de Cúpula.

Es un techo semejante a un casquete esférico, soportado únicamente en su periferia.

d. Techo de Sombrilla.

Consiste en una cubierta de cúpula modificada de tal forma que cualquier sección horizontal es un polígono regular, con tantos lados como placas se empleen en la circunferencia exterior del techo. Esta soportado unicamente en su periferia.

Para el caso que nos ocupa, dado el volumen a almacenar y el tamaño del recipiente, usaremos un techo cónico soportado. Previo al diseño del techo, haremos ciertas consideraciones, de acuerdo con nuestras especificaciones.

1. El techo y estructura que lo soporte, se diseñaran con una carga viva de 25 lbs/ft², 122 kg/m².
2. Las placas tendrán un espesor nominal minimo de 3/16 in, máximo 1/2 ". Las soldaduras de las placas del techo serán unicamente en su parte superior, con chafla -

nes completos y continuos. Las placas NO DEBERAN fijarse a los largueros que las soporten. Se fijarán únicamente al angulo tope del cuerpo con una soldadura de chaflán continuo de 3/16", por la parte superior.

3. La pendiente del techo será del 6% (0.75" en 12"), ó mayor, si así se requiere.

4. La estructura soporte podrá ser de secciones fabricadas, roladas o formadas. Si bien los largueros estarán en contacto con el techo, se deberán considerar sin soporte lateral por parte de éste, y se arriostrarán por algún metodo aceptable, de ser necesario. En areas sísmicas se usarán varillas de 0.75" como tensores, las que podrán omitirse en secciones I ó H.

5. Los miembros estructurales internos y externos tendrán un espesor de pared nominal minimo de 3/16". Los largueros deberán espaciarse de tal forma que en la circunferencia exterior, no estén a más de 2 π ft (6.28 ft, 1.91 m) c. a c. En anillos interiores, este espaciamiento no excederá de 5-1/2 ft.

6. Los clips de apoyo para la hilera exterior de largueros se soldarán al cuerpo del tanque. Guías de sujeción en la base de las columnas se soldarán al fondo para prevenir movimientos laterales de las columnas. Las columnas para el techo podrán fabricarse de perfiles estructurales o tubo de acero. Si se usa tubería, deberá sellarse o disponer de dispositivos de venteo y drenaje.

7. Esfuerzos Permisibles en la Estructura.

7.1. TENSION.

Acero Laminado, sección neta, Psi	20 000
Kg/cm ²	1 406
Soldaduras achaflanadas de penetración completa, en el espesor del area de la placa,	
Psi	18 000
Kg/cm ²	1 265

7.2. COMPRESION.

Acero laminado, donde se prevee deflexion

lateral, Psi 20 000
 Kg/cm² 1406
 Soldaduras achaflanadas, penetración completa en el espesor de la placa, psi 20 000
 Kg/cm² 1406
 Columnas, en el area completa de la sección transversal:

$$L/r \leq 120$$

$$1 - \frac{(L/r)^2}{34\ 700} - \frac{33\ 000\ Y}{FS} \quad (F- 5.1.7.2a.)$$

$$120 < L/r \leq 131.7$$

$$1 - \frac{(F- 5.1.7.2a)}{200r} \quad (\text{Ver nota 1})$$

$$131.7 < L/r$$

$$\frac{(149 \times 10^6\ Y)}{(L/r)^2(1.6 - L/200r)} \quad (\text{Nota 2})$$

Donde:

L = Longitud libre de la columna, in.

r = Radio de giro minimo.

FS = Factor de seguridad

$$FS = 5/3 + (L/r)/350 - (L/r)^3/18.3 \times 10^6$$

Y = 1.0 si t/r \geq 0.015

$$Y = \frac{200}{3} (t/r) \left(2 - \frac{200}{3} (t/r) \right)$$

para secciones donde t/r < 0.015

t = Espesor de la sección tubular, in.

1/4 " min para miembros principales,

3/16 " para miembros secundarios .

r = Radio externo de la sección, in.
 $L/r < 180$ para miembros principales .
 $L/r < 200$ para miembros secundarios.

7.3. FLEXION.

Tensión y compresión en fibras extremas de perfiles laminados y miembros compuestos, con un eje de simetría en el plano de carga, y un claro no soportado en el patín de compresión no mayor de 13 veces su ancho, y con una relación ancho de patín-espesor del alma que no exceda de 17 veces, y la relación peralte-espesor menor de 70, psi. 22 000
Kg/cm² 1 546.6

tensión y compresión en fibras extremas de miembros asimétricos, donde el miembro está lateralmente soportado a intervalos de 13 veces el ancho de su cara a compresión, psi 20 000
kg/cm² 1 406

Tensión en fibras extremas de otros perfiles laminados, miembros compuestos o formados, psi. 20 000
kg/cm. 1 406

Compresión en fibras extremas de perfiles alminados vigas formadas o miembros compuestos, psi 20 000
kg/cm². 1406

Compresión en fibras extremas de perfiles laminados vigas formados o miembros compuestos, los cuales tengan un eje de simetría en el plano de carga, será el mayor de los dos valores siguientes:

$20\ 000 - 0.571 (L/r)^2$ ó

$$\frac{12 \times 10^6}{L_d/A_f} \leq 20\ 000$$

donde:

L = Claro libre en la cara de compresión, in
r = radio de giro de la sección sobre un eje
en el plano de carga.

d = Ancho de la sección.

A_f = Area de la cara de compresión.

Compresión en fibras extremas de otras secciones a
simétricas, psi , , , , , , , , , , . .

$$\frac{12 \times 10^6}{L_d / A_f} \leq 20\ 000$$

7.4 CORRIENTE.

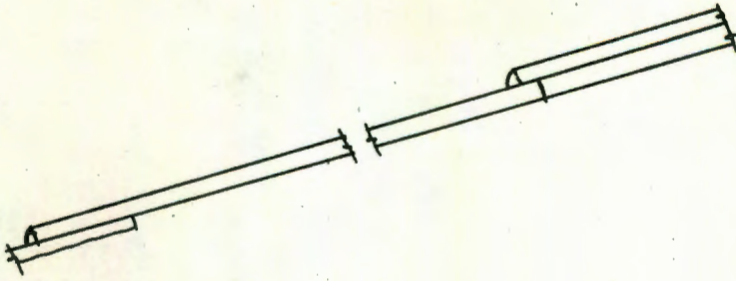
En el área total del alma de largueros y vigas, ó
vigas y trabes donde el peralte "h" es nó mayor de
60 t, en in, ó cuando el alma está suficientemente
atiesada, psi 13 000
kg/cm². 915

En el área total del alma de los largueros y vigas
ó vigas y trabes, si el alma no está atiesada y el
peralte "h" es mayor de 60t, el mayor valor prome-
dio de V/A no será mayor de:

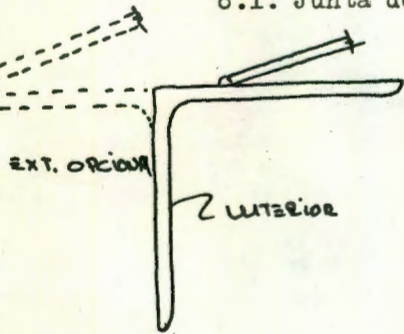
$$\frac{19,500}{1 + h^2 / 7200t^2}$$

Nota 1.- Los esfuerzos permisibles, sin incluir el
factor "Y", han sido tabulados en el manual AISC S
310-311, ed. 1969, tabla 1-33, columna "Miembros
Principales". En el manual monterrey corresponde a
la Tabla V, pag. 69. Manual Ahmsa pags 23 y 24.

Nota 2.- Ibid anterior, excepto columna "Miembros
secundarios".



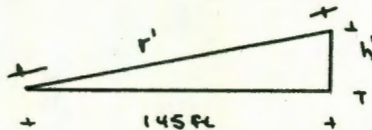
8.1. Junta de Placas.



8.2. Junta de Placas del techo con angulo tope del cuerpo

5.2. DISEÑO.

Primeramente, obtendremos r' que será el radio final del techo, considerando el aumento de longitud por efectos de la pendiente



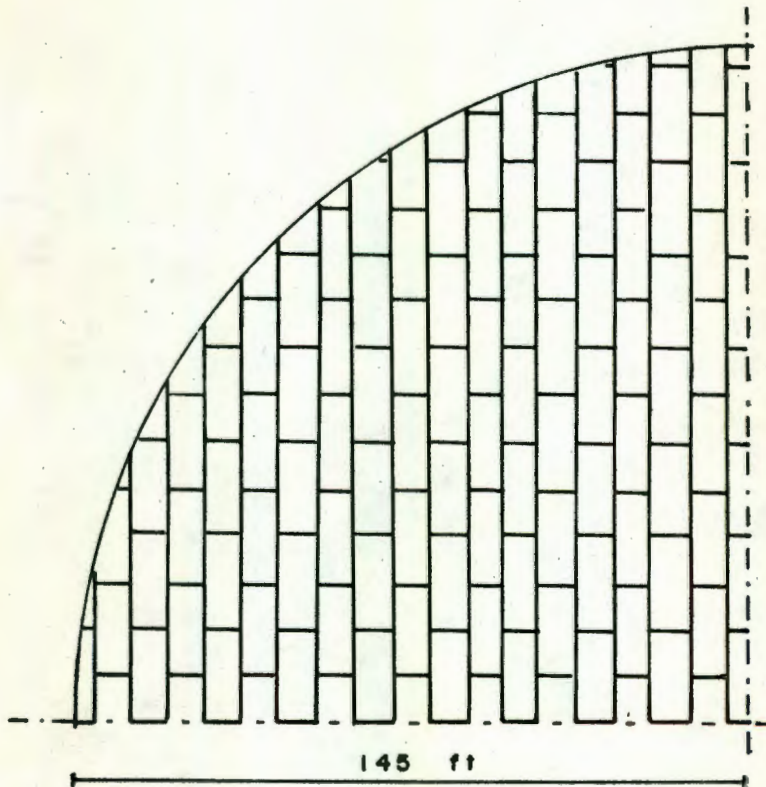
$$h' = 0.06 \times 145 = 8.70 \text{ ft}$$

$$r' = \sqrt{145^2 + 8.70^2}$$

$$r' = 145.26 \text{ ft.}$$

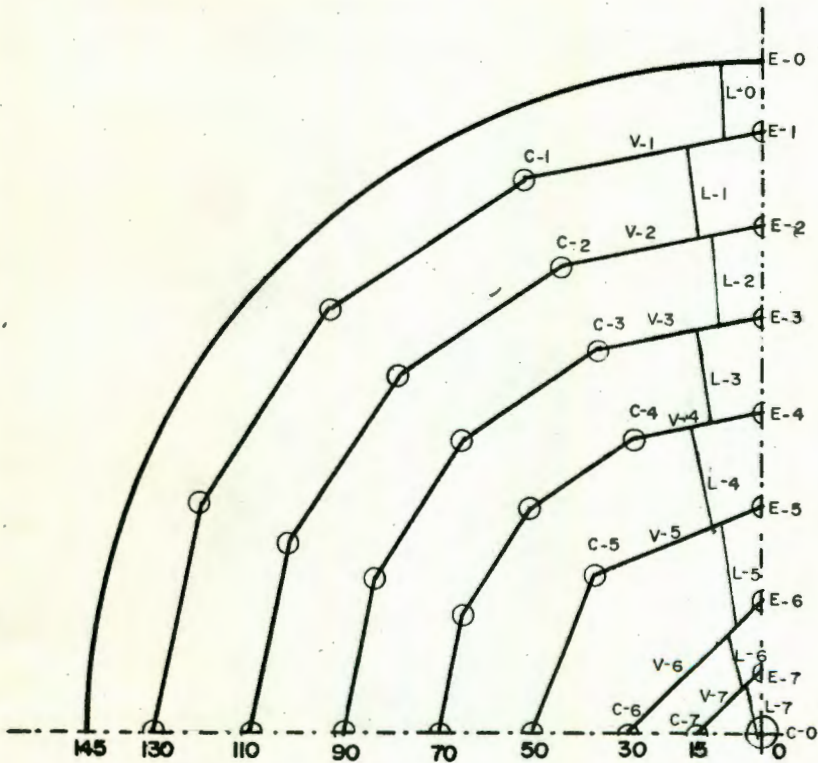
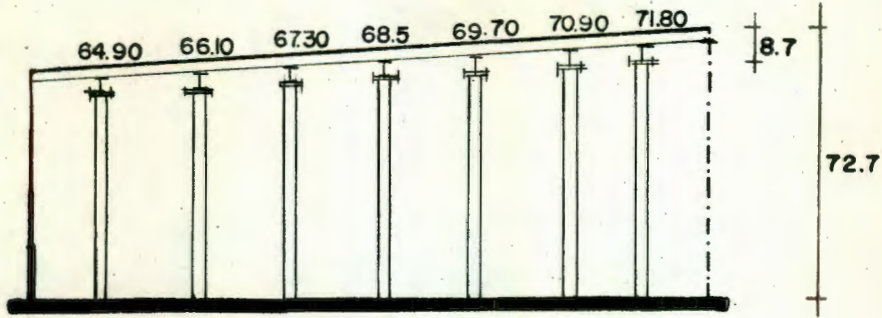
Para facilitar su manejo, usaremos laminas de 6'x20', en el espesor mínimo especificado, 3/16".

El arreglo de los componentes es similar al del fondo, y se muestra en la figura C- 5.2.1.



ARREGLO FINAL DEL TECHO

INGENIERIA U. A. O.	
TESIS PROFESIONAL	
ALFREDO RAMOS SANCHEZ	
NOV. 79	C - 5.2.1.



ESTRUCTURA SOPORTE

5.3. ELEMENTOS ESTRUCTURALES COMPLEMENTARIOS.

El croquis C- 5.3.1 nos muestra el proyecto simétrico del arreglo de la estructura soporte del tanque.

a. Largueros.

La estructura soporte de cubiertas de tanques de almacenamiento debe diseñarse para prevenir la flexión de las placas, de tal forma que los largueros se diseñarán con un espaciamiento tal que prevenga un sobreesfuerzo en ellas. Las laminas se considerarán como vigas continuas uniformemente cargadas. Los largueros y vigas, como simplemente apoyadas, con carga uniforme también.

a.1. Espaciamiento de los Largueros.

Consideremos una faja de techo de ancho unitario localizada en la periferia del tanque. Despreciando el soporte proporcionado por la pared, esta faja se tomará pues como una viga con carga uniformemente repartida, con un momento flexionante $wl^2/12$, y que ocurre sobre los largueros.

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

$$\therefore M_{\max} = \frac{P l^2}{12}$$

donde

L = Longitud de la faja entre largueros,
cm

P = Carga uniforme, kg/cm

$$= 0.0122 + 0.00375 = 0.0157 \text{ kg/cm.}$$

Tenemos que:

$$f_{\text{perm}} = \frac{M}{S}$$

donde:

f_{perm} = Esfuerzo permisible de trabajo,
1 406 kg/cm²

S = Modulo de sección = $\frac{b t^2}{6}$

Para un ancho unitario, $S = \frac{t^2}{P L^{26}}$

entonces: $f_{perm} = \frac{t^2}{2 t^2}$

y $L^2 = \frac{f_{perm} (2 t^2)}{P}$

$\therefore L = (f_{perm} \cdot 2t^2 / P)^{1/2}$

$L = 209.718 \text{ cm} = 6.88 \text{ ft.}$

Considerando que por especificación (ver 5.1.5) el espaciamiento máximo de los largueros no excederá de 6.283 ft, probaremos una separación de 6.0 ft en la periferia del tanque.

El número mínimo de largueros, en la periferia será:

$$n = \frac{\pi D}{6} = 151.844 .$$

Para determinar el número exacto de piezas, escogeremos uno tal que sea un múltiplo de los lados de los polígonos interiores donde descansará uno de los extremos de los largueros, con el fin de mantener la simetría. Es bueno también considerar que la longitud de los largueros esté entre 20 y 24 ft, pues claros mayores nos resultarían en perfiles muy pesados. En nuestro caso, tomaremos 4 claros de 20 ft y 3 de 15, c. a c. con lo cual tendremos 7 anillos interiores.

Bien.

Como el primer anillo será un Decahexagono:

$$n = 160 \text{ largueros } L_0$$

El espaciamiento real será, en la pared (eje E_0 del C - 5.3.1), de:

$$e_0 = \frac{\tilde{n} D}{160} = 5.69 \text{ ft} \therefore \underline{\text{ok}}$$

El espaciamiento de los extremos de los largueros que se apoyan en las vigas será:

$$e_1^? = \frac{L_{V_1}^{V_2}}{N_{L_1}^{L_2}} = \left(2 r_{E_1}^{E_2} \sin \frac{360}{2\pi E_1} \right) / N_{E_1}^{E_2}$$

donde:

$e_1^?$ = espaciamiento del larguero sobre la viga V_1, \dots, V_7 .

$N_{L_1}^{L_2}$ = No. de largueros L_1, \dots, L_7 /Viga.

$L_{V_1}^{V_2}$ = Longitud de cara del polígono (Long. de la viga V_1, \dots, V_7)

$r_{E_1}^{E_2}$ = Radio de la circunferencia que circunscribe al polígono.

π = No. de lados del anillo de vigas.

Bien. Tenemos que:

$$e_1 = \frac{L_{V_1}^{V_2}}{N_{L_1}^{L_2}} = \frac{1}{16} \left[2 (130) \left(\sin \frac{360}{2(16)} \right) \right] = \frac{50.723}{16}$$

$$e_1 = 5.0723 \text{ ft} < 5.5 \text{ ft} \quad (\text{VER } 5.1.5)$$

$$\therefore \text{ PARA EL LARGUERO } L_0, \quad e_0 = 5.69 \text{ ft} \\ e_1 = 5.0723 \text{ ft.}$$

Largueros L_1 .

$$Pe_1 = 16 L_{V1}$$

donde

pe_1 = Perimetro efectivo del poligono E_1

L_{V1} = Longitud de la viga V_1

$$Pe_1 = 811.568 \text{ ft}$$

$$N = \frac{811.568}{5.5} = 147.558$$

Aproximando:

$$N_1 = 160 \therefore e_1 = 5.0723 \text{ ft.}$$

$$e_2 = \frac{1}{10} \left[2 (110) \sin N \frac{360}{2(16)} \right]$$

$$e_2 = 4.292 \text{ ft.}$$

\therefore PARA los largueros L_1 , $e_1 = 5.0723 \text{ ft}$
 $e_2 = 4.292 \text{ ft}$

A modo de abreviar, en la tabla T-5.3.1 se muestran los espaciamientos obtenidos para cada uno de los largueros siguiendo el procedimiento utilizado para los largueros L_1 .

La longitud de los largueros, dada por:

$$L_1^2 = \bar{E}_1^2 + h_1^2 = L_{V1}^2 \tan^2 \frac{\alpha_1^2}{4} + \bar{E}_1^2$$

donde

$E_i^2 =$ Espaciamiento entre dos ejes

$h_i^2 =$ Flecha entre la circunferencia (E_1, \dots, E_7) y el centro del arco de la viga.

$L_{Vp} =$ Longitud de la viga en cuestión.

$$\alpha_i^2 = \frac{360}{\text{No. de lados}}$$

se incluye en la misma tabla.

MCA	NO. DE TRAVES.	e_0 ft/m	e_1 Id	e_2 Id	e_3 Id	e_4 Id	e_5 Id	e_6 Id	e_7 Id	LONG. Id	Atrib. ft ² /m ²
L_0	160	5.64 1.794	5.02 1.546							12.498 8.33	99.564 9.25
L_1	160		5.02 1.546	4.29 1.308						22.114 6.740	112.12 10.42
L_2	128			5.368 1.635	4.34 1.338					21.729 6.623	116.47 10.82
L_3	112				5.02 1.524	3.90 1.184				21.345 6.506	107.09 9.949
L_4	80					5.46 1.665	3.83 1.166			23.805 7.256	130.047 12.082
L_5	64						4.78 1.458	2.65 0.808		28.383 8.774	137.717 12.794
L_6	32							5.30 1.61	2.65 0.808	15.606 4.757	82.712 7.684
L_7	16								5.30 1.61	15.606 4.757	79.600 7.386

Tabla T - 5.3.1. Resumen de Largueros.

La tabla T - 5.3.2 nos muestra las longitudes correspondientes a las vigas que soportan a los largueros. Dichos valores -como se pudo observar, se obtuvieron dentro del calculo del espaciamiento de los largueros.

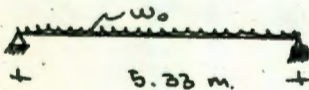
Mca.	Nº Ptas	Long ft	Long. Mts
V ₁	16	50.723	15.460
V ₂	16	42.920	13.082
V ₃	16	35.116	10.703
V ₄	16	27.313	8.325
V ₅	8	38.268	11.664
V ₆	4	42.426	12.931
V ₇	4	21.213	6.466

T - 5.3.2. Resumen de Vigas.

a.2. Dimensionamiento de los Largueros.

Se hará por flexión, utilizando Acero A-36 y normas AISC. Los esfuerzos permisibles de trabajo serán de acuerdo a la sección 5.1.

Largueros L₀.



$$w_0 = \frac{160(9.25)}{5.33} = 277.67 \text{ kg/m}$$

$$M = \frac{wL^2}{8} = 986.05 \text{ kg-m}$$

flexión.

De la fórmula de la escuadría:

$$f_b = \frac{m y}{I} = \frac{m}{S}$$

VEMOS QUE: $S = \frac{m}{f_b} = \frac{98.685}{1.406} = 70.132 \text{ cm}^3$

USANDO IPR de B x 5-1/4 y 25.3 kg/m.l, $S_x = 231 \text{ cm}^3$

tenemos que:

$$M_T = 986.05 + \frac{25.3(5.33)^2}{8}$$

$$= 1075.893$$

$$y \quad f_b = \frac{M_T}{S} = 465.80 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{ok}$$

Apoyo Lateral.

Revisaremos las r atigas de trabajo a la flexión lateral por cualquiera de las formulas siguientes, usando el mayor valor obtenido de ellas.

$$F_b = \left(1 - \frac{\left(\frac{L}{r}\right)^2}{2 C^2 C_b} \right) 0.6 F_y \quad (1)$$

$$F_b = \frac{843700}{L_d / A_f} \quad (2)$$

$$C_c = \left(\frac{2\pi E}{f_y} \right)^{1/2} = 126 \quad A_c = 20 \quad A-36.$$

$C_b = 1$ POR CONDICIÓN DE APOYO.

DEL MANUAL AISC:

$$A_f = 10.37 \text{ cm}^2 = 13.3 (0.78)$$

$$h = 533 \text{ cm}$$

$$d = 20.3 \text{ cm}$$

$$I_{Af} = \frac{0.78 (13.3)^3}{12}$$
$$= 152.92 \text{ cm}^4$$

$$r_{Af} = \left(\frac{I_{Af}}{A_f} \right)^{1/2} = 3.84 \text{ cm}$$

Substituyendo valores en (1) y (2):

$$F_b = \left(1 - \frac{(533/3.84)^2}{2(126)(1)} \right) 1546 = 607.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b = \frac{843700}{\frac{533(20.3)}{10.37}} = 807.93 \text{ (rige) } \underline{\underline{OK}}$$

Cortante.

EL ESFUERZO CORTANTE ESTA DADO POR:

$$F_v = \frac{VQ}{bI}$$

donde:

F_v = Esfuerzo Cortante, kg/cm^2 .

V = Fuerza cortante Máxima.

Q = Momento estático respecto al eje neutro del área comprendida entre la fibra en estudio y la fibra más alejada del E.N.

b = Ancho de la sección.

I = Momento total de inercia de la sección, respecto al E.N.

Bien. La sección de la viga I.P.R. de $8 \times 5 \frac{1}{4} \times 25$ kg-m.l. tiene las siguientes propiedades:

$$A = 32.26 \text{ cm}^2$$

$$d = 20.30 \text{ cm}$$

$$b = 13.30 \text{ cm}$$

$$t_w = 0.58 \text{ cm}$$

$$I_x = 2348 \text{ cm}^4$$

$$S_{za} \quad Q = Ay = 32.26 \left(\frac{1}{2}\right)(20.3) = 327.439 \text{ cm}^3$$

$$y \quad V_{\max} = \frac{P}{2} = \frac{277.674 (5.33)}{2} \\ = 740 \text{ kg} \uparrow$$

el esfuerzo de trabajo al corte será:

$$F_v = \frac{740(327.439)}{13.30(2348)} = 7.96 \text{ cm}^2 \therefore \underline{\underline{V.O.K}}$$

Aplastamiento horizontal del Alma.

El flambeo o aplastamiento horizontal del alma, se debe principalmente a la aplicación de cargas concentradas sobre la sección. La viga deberá tener una longitud de apoyo tal que le permita absorber los esfuerzos debidos a las reacciones; y un ancho de patín, suficientemente grande que le permita transmitir adecuadamente al resto de la sección cargas concentradas sobre la viga.

Estos efectos se evalúan por medio de las siguientes fórmulas:

$$\frac{R}{t(N+k)} = 0.75 f_y$$

$$\frac{1480}{0.58(N+1.6)} = 1898 \quad ; N \geq 0$$

$$\frac{R}{t(N+2k)}$$

En este caso no es necesario porque el larguero está sometido únicamente a cargas uniformemente repartidas.

Flecha.

Del manual AHMSA, para una viga simplemente apoyada, cargada uniformemente, la deflexión máxima está dada por:

$$d_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{wL^3}{EI} \leq \frac{1}{360} L$$

PARA ESTE CASO, $d_{\max} = 0.115 \text{ cm}$ OK

La tabla T - 5.3.3 nos muestra el dimensionamiento obtenido para cada uno de los largueros.

5.3.2a. Apoyos de largueros L_0 en la pared.

Para el diseño de las ménsulas de apoyo de los largueros L_0 sobre la pared del tanque, asumiremos que el valor del esfuerzo en dicha pared debido a la presión hidrostática, es igual a cero.

El área necesaria para apoyo de la ménsula, está dada por:

$$A = \frac{\text{Reacción del larguero}}{\text{Esfuerzo Permisible}}$$

$$E = 20\,000 \text{ Psi} = 1406 \text{ kg/cm}^2$$

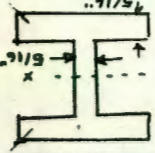
$$R = 807.42 \text{ kg}$$

$$A = 0.574 \text{ cm}^2$$

Por necesidad en construcción, usaremos la ménsula que se ilustra en un espesor de 1 cm. Este tamaño permitirá conectar adecuadamente el L_0 (I.P.R. de 8 x 5 1/4") al cuerpo.

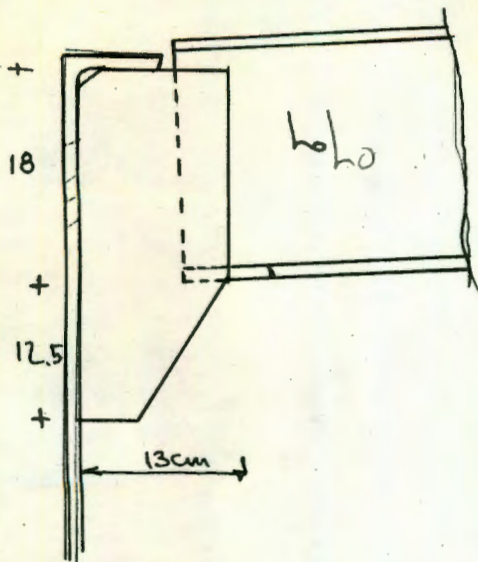
T-5.3.3. DISENO DE LARGUEROS

$wpp = 37.06 \text{ kg/m}$
 $A = 47.12 \text{ cm}^2$
 $S_y = 254.49 \text{ cm}^3$
 $S_x = 345.59 \text{ cm}^3$
 $I_y = 2585 \text{ cm}^4$
 $I_x = 3511 \text{ cm}^4$
 $b = 20.32 \text{ cm}$
 $d = 20.32 \text{ cm}$
 $B \times B$
 H. C. C.



MCA	LONG	W	M	SACCION	WPP	Sx	Mx	Fo	RANC	Aj	Iaj	Faj	(1 - 2C/L)²	W/Aj
mts	cm	cm	kg-m	kg/cm²	kg/m	cm³	kg-m	kg/cm²	kg/cm²	cm²	cm⁴	cm	cm	cm²
L0	5.33	277.67	98.05	10R-8x5 1/4	26.3	231	1035.89	465.8	802.42	10.32	152.92	3.84	602.54	802.95
L1	6.34	242.35	140.61	10R-8x5 1/4	25.3	231	1494.45	646.95	918.83	10.32	152.92	3.84	45.98	638.93
L2	6.23	261.39	143.20	10R-8x5 1/4	25.3	231	1531.92	680.5	949.32	10.32	152.92	3.84	93.61	650.28
L3	6.506	244.64	129.49	10R-8x5 1/4	25.3	231	1428.25	618	878.11	10.32	152.92	3.84	148.33	662.46
L4	7.256	266.40	145.23	10R-8x5 1/4	25.3	231	1492.13	658	1100.95	10.32	152.92	3.84	743.99	923.00
L5	8.274	233.28	159.66	10R-8x5 1/4	25.3	231	1492.13	658	1183.98	10.32	152.92	3.84	458.18	763.31
L6	4.757	258.40	130.92	10R-8x5 1/4	25.3	231	1492.13	658	650.04	10.32	152.92	3.84	726.80	922.28
L7	4.572	258.40	130.92	10R-8x5 1/4	25.3	231	1492.13	658	625.17	10.32	152.92	3.84	321.42	957.55
L0	32.26	20.3	15.3	0.58	2348	32144	846	1.6	-	-	1.48	0.0015		
L1	32.26	20.3	13.3	0.58	2348	32144	846	1.6	-	-	1.87	0.0022		
L2	32.26	20.3	13.3	0.58	2348	32144	995	1.6	-	-	1.84	0.0022		
L3	32.26	20.3	13.3	0.58	2348	32144	1321	1.6	-	-	1.81	0.00202		
L4	41.12	20.3	20.3	0.3735	3511	47822	739	1.6	-	-	2.02	0.04127		
L5	41.12	20.3	20.3	0.3735	3511	47822	796	1.6	-	-	2.44	0.00496		
L6	19.03	20.1	10.0	0.43	3511	19125	930	1.3	-	-	1.32	0.00080		
L7	19.03	20.1	10.0	0.43	3511	19125	933	1.3	-	-	1.27	0.0007		

H. C. C. COMPLETO



Soldadura:

$$P = 807.2 \text{ kg}$$

$$e = 13 \text{ cm}$$

$$h = 30.5 \text{ cm}$$

$$f_s = \frac{807.2}{2(30.5)} = 13.233 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = \frac{m_c}{I} = \frac{(807.20 \times 13)(15.25)}{\frac{1}{12}(1)(30.5)^3} = 67.68 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = (13.233^2 + 67.68^2)^{1/2} = 68.96 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \text{GUEISO NECESARIO} = \frac{68.96}{1265} = 0.054 \text{ cm}$$

Se usarán electrodos E-60 con cordón de espesor mínimo especificado por el A.P.I. para placa de 3/8" (Sec. 3.1.3), de 1/4 in, de filete, por una sólo cara.

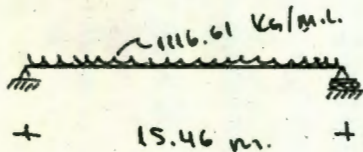
5.3.3. Dimensionamiento de Vigas.

Viga V₁.

Asumiendo que las vigas actúan con carga uniformemente repartida, cada una de ellas soportará 10 extremos de largueros L₀ (w₀=302.98 kg/m) y 10 extremos de largueros L₁ (w₁=272.65 kg/m), con claros de 5.33 y 6.74 mts respectivamente. La viga tomará entonces, la mitad de la carga de cada larguero.

De la tabla T - 5.3.2, L_{v1} = 15.46 mts.

$$w_{v1} = \frac{(302.98)(10)(5.33)}{(2)(15.46)} + \frac{272.65(10)(6.74)}{(2)(15.46)} = 1116.61 \text{ kg/m.l.}$$



$$M_{v1} = \frac{wL^2}{8} = 33,360.21 \text{ kg-m}$$

Revisaremos de manera análoga a los largueros.

Flexión.

$$f_b = \frac{M}{S}$$

$$\therefore S = \frac{M}{f_b} = 2,372.70 \text{ cm}^3$$

USANDO I.P.R. $18'' \times 11\text{-}3/4'' \times 170 \text{ kg-m}$, $S_x = 3606 \text{ cm}^3$

$$M_T = 33,360.21 + \frac{170 (15.46)^2}{8} = 38,439.21$$

$$f_b = \frac{38,439.21}{3606} = 1065.98, \quad \underline{\text{OK}}$$

Apoyo Lateral.

$$L = 1546 \text{ cm}, \quad d = 46.9 \text{ cm}, \quad A_f = 30.1 (2.52) = 75.85 \text{ cm}^2$$

$$I_{Af} = \frac{2.52 (30.1)^2}{12} = 5726.89 \text{ cm}^4$$

$$r_{Af} = \left(\frac{5726.89}{75.85} \right)^{1/2} = 8.69 \text{ cm}$$

$$F_b = \left(1 - \frac{(1546/8.69)^2}{2 (126)^2 (1)} \right) f (1546) = 4.946 \text{ kg/cm}^2$$

$$o' \quad \bar{F}_b = \frac{843700}{\frac{1546 (46.9)}{75.85}} = 882.59, \quad \underline{\underline{Rig}}, \quad \underline{\underline{\text{OK}}}.$$

Cortante.

$$A = 216.19, \quad d = 46.90, \quad b = 30.10, \quad t_w = 1.51, \quad I_x = 84,653 \text{ cm}^4$$

$$Q = A_y = 216.19 \left(\frac{46.90}{2} \right) = 5069.65 \text{ cm}^3$$

$$\therefore U_{\max} = \frac{1116.61 (15.46)}{2} = 8631.395 \text{ kg}$$

$$y \quad F_v = \frac{8631.395 (5069.65)}{30.10 (84,653)} = 17.173 \text{ kg/cm}^2$$

OK

Longitud de Apoyo.

$$\frac{R}{t(N+k)} \leq 0.75 f_y \leq 1898 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{R}{1898t} = N+k$$

$$\therefore N = \frac{R}{1898t} - k$$

$$N = 0.988 \text{ cm, OK}$$

Ancho de Patín.

$$\frac{R}{t(N+2k)} = \frac{918.83 + 807.42}{1.51(20.1 + 2(4))} = 30.01 \text{ Kg/cm}^2, \text{ OK}$$

Flecha.

$$d_{\max} p \geq 2m = \frac{15.46}{360} = 4.29 \text{ cm}$$

$$d_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{WL^3}{EI}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \left(\frac{11.1661 (1546)^3}{2.039 \times 10^6 (84,653)} \right) = 0.00311$$

$$0.00311 < 4.29 \therefore \text{OK}$$

La tabla T - 5.3.4 muestra un resumen del diseño de las vigas.

5.3.4. Diseño de Columnas.

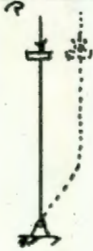
Tomemos como ejemplo el calculo siguiente:

Columna C₀.

De el croquis C- 5.3.1 vemos que la altura de la columna C₀ está dada por:

$$L_{C_0} = 72.7 - d_{L_7} = 21.79 \text{ mts.}$$

Si consideramos a la columna articulada por la parte inferior, con traslación libre por la parte superior, utilizando el procedimiento del AISC tendremos que:



$$K=2$$

$$P = 16 R_{L_3} = 10,002.72 \text{ Kg}$$

$$Kl = 2(21.79) = 43.58 \text{ mts}$$

Usando I.P.R. - C.P.S. Γ de $18 \times 8\frac{3}{4} + 8' \times 17.11 \text{ Kg}$

tendremos que:

$$\frac{KL}{r} = \frac{4358}{18.33} = 247.57$$

de la tabla de esfuerzos admisibles del manual AHMSA, INTERPOLANDO, VEMOS QUE A LA RELACION DE ESBELTEZ ANTERIOR, CORRESPONDE un f_a de:

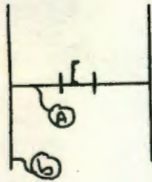
$$172.1 + (170.7 - 172.1)(0.57) = 171.20 \text{ Kg/cm}^2$$

$B \equiv N$.

$t \geq \rho \geq \text{mos } 70\%: \quad \frac{P}{A} = \frac{10\,000}{142.97} = 69.95 < 171.30. \therefore \text{OK}$

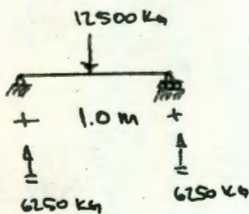
Apoyo de la columna.

Consistirá en una sección de 3 canales formando una "H" de 1.0 x 1.0 mts.



$$P_{\text{TOTAL}} = 10\,000 + 21.79 (112.51) \\ = 12\,451 \approx 12\,500 \text{ Kg}$$

DISEÑAREMOS POR CORTANTE LA VIGA 'A'.



Sea $F_V = \frac{VQ}{bI}$ el esfuerzo cortante

$$Q = A\bar{y}$$

b, I, \bar{y}, A , datos de manual

Probaremos con C.P.S. de $8 \times 17.11 \text{ Kg/m.l.}$

$$A = 21.68 \text{ cm}^2, \quad \bar{y} = 10.16 \text{ cm}, \quad b = 5.74 \text{ cm}, \quad I = 1344.4 \text{ cm}^4$$

$$Q = 21.68 \times 10.16 = 220.27 \text{ cm}^3$$

$$F_V = \frac{12\,500 (220.27)}{5.74 (1344.4)}$$

$$F_V = 356.80 \text{ Kg/cm}^2 < 6520 \text{ Psi } (460 \text{ Kg/cm}^2)$$

Aplastamiento horizontal del alma (por carga concentrada).

Está dado por:

$$\frac{R}{t(N + 2k)} = 0.75f_y$$

R = Carga concentrada.

t = Espesor del alma.

N = Longitud de distribución de la carga.

k = Distancia del límite del filete al lado exterior del patín.

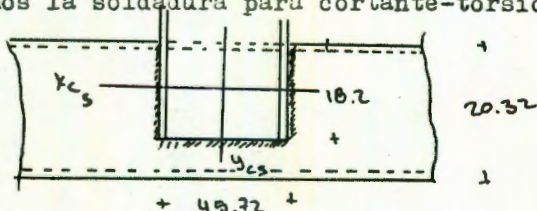
$$\frac{12\,500}{0.359 (18 \times 2.54 \times 2 \times 2.1)} = 447.83, \text{ OK}$$

Vigas B.

Para conservar la simetría, serán idénticas a la viga A, y por tanto, únicamente revisaremos la conexión entre éstas y aquella, y entre la columna y la viga A.

a. Columna-Viga A.

Diseñaremos la soldadura para cortante-torsión.



Suponiendo a la soldadura de tipo unitario tendremos:

$$A_1 = 40.72 \times 19.2 = 912.21 \text{ cm}^2$$
$$A_2 = 18.12 \times 40.72 = \frac{828.45}{83.76} \text{ cm}^2$$

$$x_1 = x_2 = \frac{47.72}{2} = 23.86 \text{ cm} = \bar{x}$$

$$y_1 = \frac{19.12}{2} = 9.56 \text{ cm}$$

$$y_2 = \frac{18.12}{2} = 9.06 \text{ cm}$$

Ejes Centroidales.

$$\bar{x} = \frac{m y}{A} = \frac{(912 \times 23.86) - 828.45 (23.86)}{83.96} = 23.86 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{912 (9.56) - 828.45 (9.06)}{83.96} = 14.47 \text{ cm}$$

Momento Polar Centroidal.-

$$I_{xc} = \left(\frac{47.72 (19.12)^3}{12} + 912.21 (4.91)^2 \right) - \left(\frac{45.72 (18.12)^3}{12} + \dots \right. \\ \left. \dots + 828.45 (3.91)^2 \right) = 14456.67$$

$$I_{yc} = \left(\frac{19.12 (47.72)^3}{12} \right) - \frac{18.12 (45.72)^3}{12} \\ = 28834.47 \text{ cm}^4$$

MOMENTO POLAR DE INERCIA

$$I_z = 14,456.67 + 28,834.47 = 43,291.14 \text{ cm}^4$$

$$F_{za} \text{ Maxima Horizontal} = \frac{T v}{I_z} = \frac{12500 (9.06)}{43291.14} = 2.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{za} \text{ Maximo Vertical} = \frac{T h}{I_z} = \frac{12500 (22.86)}{43291.14} = 6.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{za} \text{ Cortante} = \sqrt{(6.60 + 148.88)^2 + (2.62)^2} =$$

$$= 155.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{actua} \text{ Cortante} = \frac{P}{A} = 148.88 \text{ kg/cm}^2$$

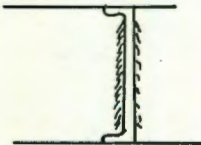
Esfuerzo permisible en soldadura de filete, electrodos E-60, 1265 kg/cm².

$$\text{Gruzo de Soldadura: } \frac{155.50}{1265} = 0.12 \text{ cm}$$

USAREMOS CORDÓN de 6 mm (1/4") de ESPESOR.

Unión vigas A-B.

Dimensionaremos el ancho de cordón para flexión cortante, utilizando el mismo procedimiento que para las ménsulas.



$$P = 6250 \text{ kg}$$

$$E = 8 \text{ mm}$$

$$h = 8'' = 20.40 \text{ cm}$$

$$f_s = \frac{12500}{2(20.40)} = 305$$

$$f = \frac{12500 (0.8) (10.20)}{\frac{1}{12} (1) (20.40)^3 (2)} = \frac{102000}{1400.00} = 72.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = (305^2 + 72.25^2)^{1/2} = (91000 + 5120)^{1/2}$$

$$= 322.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{GRUPO NECESARIO} = \frac{322.5}{1265} = 0.265 \text{ cm}$$

Aeró también de 1/4" (6mm) con E-60, de

FILETE.

La tabla a continuación incluida, T - 5.3.5 nos muestra el diseño de las columnas.

M C A	LONG MTS	P TON	SECCIÓN PROPUESTA	KL CM	r CM	$\frac{kt}{r}$	f_a Kg/cm ²	A CM ²	P/A Kg/cm ²	WPP IPR Kg/ml	WPP c.PS Kg/ml
C0	21.96	10.-	IPR-CPS 18x8 3/4 + 8"	4392	18.33	247.57	171.30	142.97	69.95	95.40	17.11
C1	19.33	17.26	IPR-CPS 16x7 + 8"	3866	15.81	244.53	175.61	97.62	176.81	59.60	17.11
C2	19.49	18.16	IPR-CPS 16x8 3/4 + 8"	3898	18.33	212.66	232.15	97.62	186.03	95.40	17.11
C3	19.85	14.36	IPR-CPS 16x7 + 8"	3970	15.99	248.28	170.34	107.10	137.82	67.10	17.11
C4	20.32	12.12	IPR-CPS 18x8 3/4 + 8"	4064	18.33	221.71	213.65	142.97	84.77	95.40	17.11
C5	20.59	22.17	IPR-CPS 18x8 3/4 + 8"	4118	18.33	224.66	208.05	142.97	155.07	95.40	17.11
C6	20.95	26.03	IPR-CPS 18x8 3/4 + 8"	4190	18.33	228.89	200.94	142.97	182.01	95.40	17.11
C7	21.23	7.98	IPR-CPS 18x8 3/4 + 8"	4246	18.33	231.64	195.72	142.97	55.82	95.40	17.11

S E I S

A C C E S O R I O S

Para su cabal funcionamiento, un tanque de almacenamiento requiere de ciertos elementos complementarios cuya única función consiste en proporcionar aquellos servicioscolaterales al almacenamiento propiamente dicho.

La tabla siguiente, nos muestra una posible clasificación de los accesorios, según su servicio.

SERVICIO	TIPO DE ACCESORIO
Interconexión	Boquillas, Valvulas, tubería en gral.
Medición y venteo	Indicadores; de nivel, temperatura, Valvulas de venteo con arrestador de flama.
Inspección	Registros Hombre.
Limpieza	Registros de desazolve.
Intercomunicación	Plataformas y escaleras.

6.1. Boquillas y Válvulas.

a. Boquillas. Pueden ser de dos tipos: Roscadas o bridadas. Comunmente empleadas para la conexión de tuberías, valvulas o instrumentos al tanque, las boquillas bridadas van de 1 1/2" hasta 48 " de diámetro, para boquillas en el cuerpo, y de 1 1/2" a 12" para boquillas en la cubierta. Las boquillas roscadas permitirán la instalación de instrumentos de medición y control al tanque. Varían de $\frac{3}{4}$ " a 3" en el cuerpo

b. Valvulas. Prestan servicio de bloqueo y derivación en entradas y salidas. Serán de tamaño adecuado a la tubería. Las válvulas de venteo deberán ser provistas de arrestador de flama.

6.2. Medición y control.

Se logra a base de indicadores de flujo (en tuberías), indicadores de nivel, de temperatura e interruptores de

nivel.

6.3. Registros Hombre.

Pueden localizarse en el cuerpo o en la cubierta del tanque. En tamaños de 20, 24, 30 y 36 pulgadas para los de cuerpo, y de 20 y 24 pulgadas en los de techo.

6.4. Registros de desazolve.

Como parte del mantenimiento durante la operación de un tanque, la limpieza periódica de su interior es de importancia durante su vida económica, ya que la acumulación de impurezas en su interior es indeseable bajo cualquier punto de vista.

6.5 Plataformas y escaleras.

a. Plataformas y pasarelas.

Serán metálicas en todas sus partes, con las siguientes características:

1. Ancho mínimo a nivel de piso in . 24
2. El piso será de material antiderrapante o rejilla,
3. Altura máxima de la pasarela, a partir del piso, in, 42
4. Altura mínima del guardapié in . 3
5. Abertura máxima entre el piso y el guardapié . . 1/4
6. Deberá tener una guarda a la altura media del barandal.
7. Espaciamiento máximo de los postes del barandal, in, 96
8. La estructura una vez terminada deberá ser capaz de soportar una carga concentrada móvil de 1 000 lb.
la estructura del pasamanos será capaz de soportar una carga de 200 lb aplicada en cualquier dirección sobre el mismo.

b. Escaleras.

Serán también metálicas en todas sus partes, debiéndose sujetar a lo siguiente:

1. Ancho mínimo in, 48.

2. Declive máximo con la horizontal . . . grados, 50.
3. Ancho de escalón (huella) mínimo, . . . in, 8.
4. Los escalones serán de rejilla o material antiderrapante.
5. La estructura una vez terminada soportará una carga móvil concentrada de 1 000 lb.

En escaleras rectas, se les proveerá de pasamanos a ambos lados. En el caso de escaleras circulares, se les dotará también de escalera a ambos lados si la distancia entre ésta y el tanque excede a 8 in. Escaleras circunferenciales estarán completamente soldadas al cuerpo del tanque y los extremos de los escalones estarán libres con respecto al terreno.

A continuación se incluyen unas tablas tomadas del API. Std 650 que muestran diferentes tipos de boquillas y registros con su refuerzo especificado.

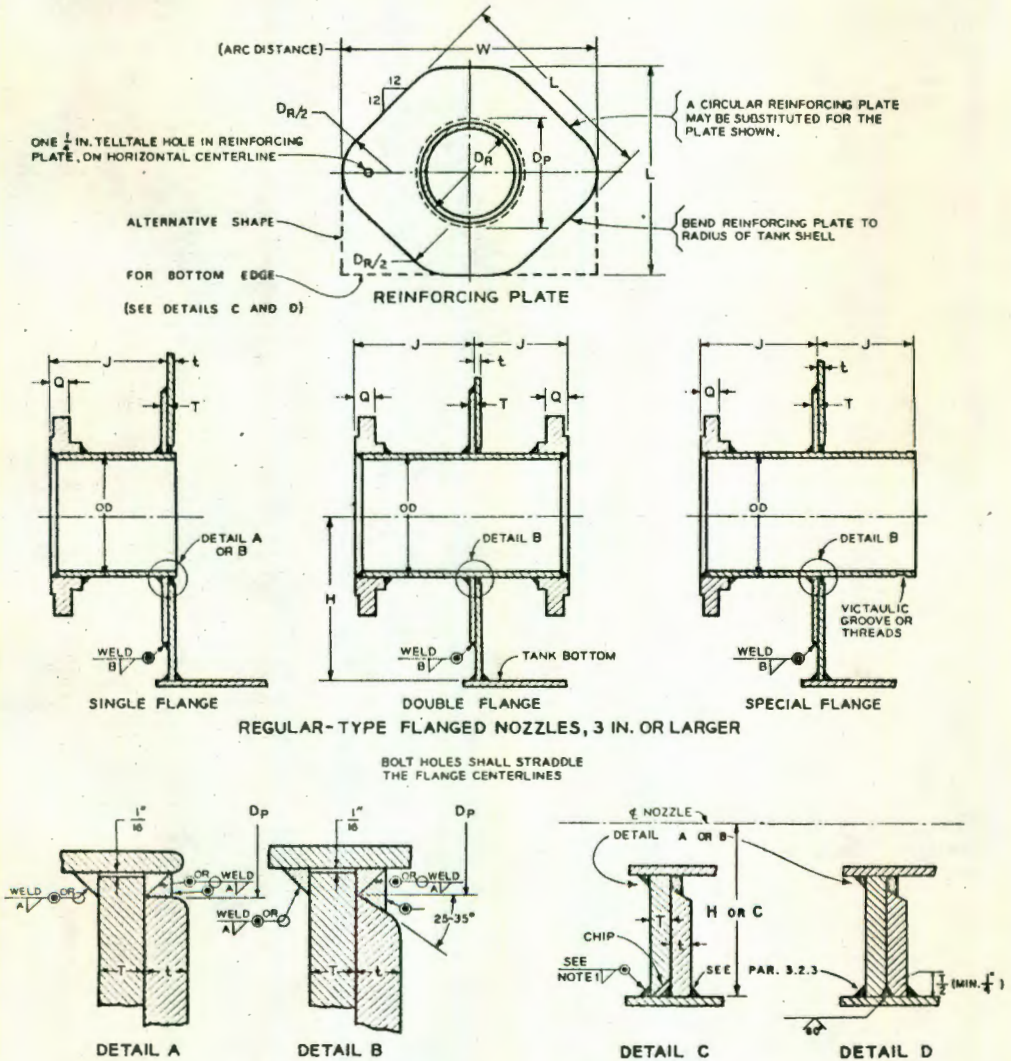
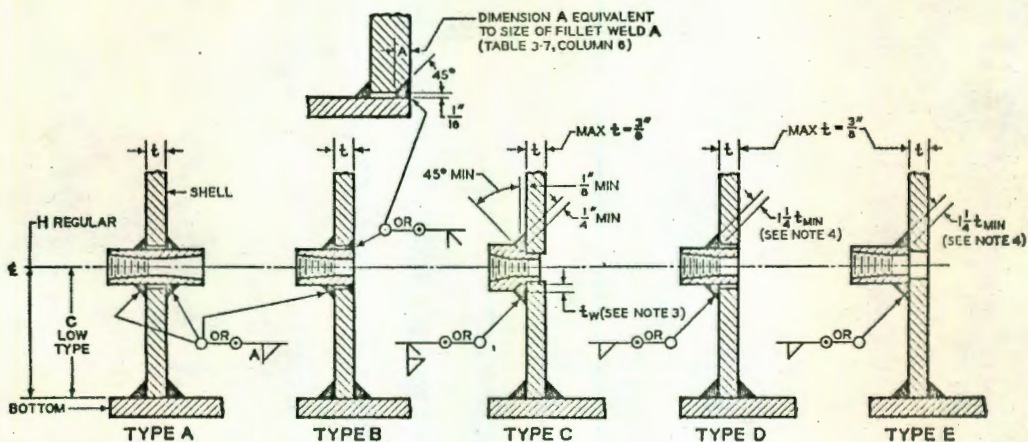


FIG. 3-7—Shell Nozzles (See Tables 3-6, 3-7, and 3-8).



SCREWED-TYPE SHELL NOZZLES, 3/4 IN. TO 2 IN., INCLUSIVE

Notes:

1. See Par. 3.3.7(f) regarding size of welds.
2. See Par. 3.6.11, "Threaded Connections," regarding couplings used in shell nozzles.
3. t_w shall be not less than the thickness of Schedule 160 pipe.

4. t_{min} shall be the smaller of $\frac{3}{4}$ in. or the thickness of either part joined by the fillet weld.

5. 3-in. nozzle requires reinforcement.

6. Welding bevel details may vary from those shown if agreed to by the purchaser.

FIG. 3-7—Continued

TABLE 3-6—Shell Nozzles (See Fig. 3-7)

All dimensions are in inches.

(1) Size of Nozzle	(2) OD of Pipe	(3) Min. Thickness of Flanged Nozzle Pipe Wall ^a n	(4) Diameter of Hole in Reinforcing Plate D _n	(5) Length of Side of Reinforcing Plate L ₁	(6) Width of Reinforcing Plate W	(7)‡ Min. Distance from Shell to Flange Face J	(8)‡ Min. Distance from Bottom of Tank to Center of Nozzle		(9)‡
							Regular Type H	Low Type C	
Flanged Fittings									
48	48		48 1/4	96 3/4	117	16	52		48 3/8
46	46		46 1/4	92 3/4	112	16	50		46 3/8
44	44		44 1/4	88 3/4	107 1/4	15	48		44 3/8
42	42		42 1/4	84 3/4	102 1/2	15	46		42 3/8
40	40		40 1/4	80 3/4	97 3/4	15	44		40 3/8
38	38	See Table 3-7, Col. (2)	38 1/4	76 3/4	92 3/4	14	42		38 3/8
36	36		36 1/4	72 3/4	88	14	40		36 3/8
34	34		34 1/4	68 3/4	83 1/4	13	38		34 3/8
32	32		32 1/4	64 3/4	78 1/2	13	36		32 3/8
30	30		30 1/4	60 3/4	73 1/2	12	34		30 3/8
28	28			28 1/4	56 3/4	68 3/4	12	32		28 3/8
26	26		26 1/4	52 3/4	64	12	30		26 3/8
24	24	0.50	24 1/4	49 1/2	60	12	28		24 3/8
22	22	0.50	22 1/4	45 1/2	55 1/4	11	26		22 3/8
20	20	0.50	20 1/4	41 1/2	50 1/2	11	24		20 3/8
18	18	0.50	18 1/4	37 1/2	45 3/4	10	22		18 3/8
16	16	0.50	16 1/4	33 1/2	40 3/4	10	20		16 3/8
14	14	0.50	14 1/4	29 1/2	36	10	18		14 3/8
12	12 3/4	0.50	12 1/4	27	33	9	17		13 3/8
10	10 3/4	0.50	10 1/4	23	28 1/4	9	15		11 1/2
8	8 5/8	0.50	8 1/4	19	23 1/4	8	13		9 1/2
6	6 5/8	0.432	6 1/4	15 3/4	19 1/4	8	11		7 3/8
4	4 1/2	0.337	4 5/8	12	15 1/4	7	9		6
3	3 1/2	0.300	3 3/4	10 1/2	13 1/2	7	8		5 1/2
2 3/8	2 3/4	0.218	2 1/2	...	...	6	7		3 1/2
1 1/2	1.90	0.200	2	...	...	6	6		3
Screwed Fittings									
3	4.00	Coupling	4 1/8	11 1/4	14 1/4	...	9		5 5/8
2 3/8	2.875	Coupling	3	...	...	...	7		3
1 1/2	2.200	Coupling	2 3/4	...	...	...	3		3
1 1/8	1.576	Coupling	1 11/16	...	...	...	5		3
3/4	1.313	Coupling	1 1/16	...	...	...	4		3

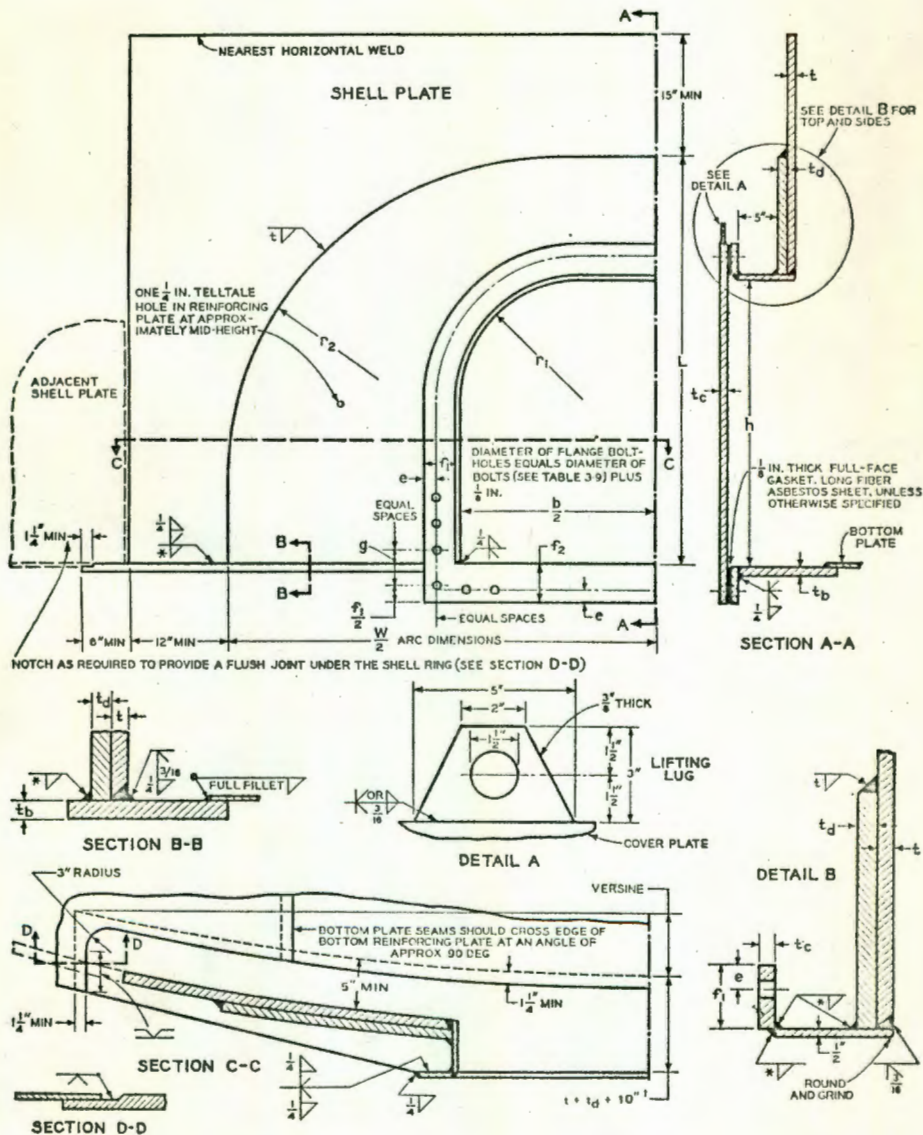
^a Extra-strong pipe—for sizes up to 12 in., inclusive, refer to API Standard 5L; for sizes over 12 in. to 24 in., inclusive, refer to the latest edition of ASTM A 53, A 134, A 135, or A 139. Pipe made from formed plate electrically butt welded may be substituted for any of the abovementioned pipe sections.

† Width of shell plate shall be sufficient to contain reinforcing plate and to provide clearance from girth joint of shell course.

‡ Unless specified otherwise by purchaser, nozzle shall be located at minimum distance.

§ Flanged and screwed nozzles in 2-in. pipe size or smaller do not require reinforcing plates. D_n will be the diameter of the hole in the shell plate and weld A will be as given in Column (6), Table 3-7. Reinforcing plates may be used if desired.

|| Screwed nozzle in the 3-in. pipe size requires reinforcement.



* Thickness of thinner plate joined, with a maximum of 1/2 in.
 † When an annular plate is provided, the reinforcing plate shall become a segment of the annular plate and shall be the same width as the annular plate.

FIG. 3-9—Flush-Type Cleanout Fittings (See Tables 3-9, 3-10, and 3-11).

TABLE 3-9—Flush-Type Cleanout Fittings (See Fig. 3-9)

All dimensions are in inches.

(1)	(2)	(3)	(4)*	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Height of Opening h	Width of Opening b	Arc Width of Shell Reinforcing Plate H'	Upper Corner Radius of Opening r_1	Upper Corner Radius of Shell Reinforcing Plate r_2	Edge Distance of Bolts e	Flange Width (Except at Bottom) f_1	Bottom Flange Width f_2	Special Bolt Spacing [†] g	Number of Bolts	Diameter of Bolts
8	16	46	3 $\frac{1}{4}$	14	1 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{4}$	22	$\frac{3}{8}$
24	24	72	8	29	1 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	36	$\frac{3}{8}$
36	48	106	15	41	1 $\frac{3}{8}$	4	4 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{4}$	46	1
48	48	125	16	51 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	4	5	4 $\frac{1}{2}$	52	1

* By agreement between purchaser and manufacturer, the upper corner radii of Table D-2 may be substituted for the radii listed in Table 3-9.

† Spacing at lower corners of cleanout fitting flange.

TABLE 3-10—Thicknesses of Cover Plate, Bolting Flange, and Bottom Reinforcing Plate for Flush-Type Cleanout Fittings (See Fig. 3-9)

All dimensions are in inches unless otherwise stated.

(1)	(2)	(6) Size of Opening (Height, h , Times Width, b)							
		8 by 16		24 by 24		36 by 48		48 by 48	
Max. Tank Height (Feet) H	Equivalent Pressure* (Pounds per Square Inch)	Min. Thickness of Bolting Flange and Cover Plate t_c	Min. Thickness of Bottom Reinforcing Plate t_b	Min. Thickness of Bolting Flange and Cover Plate t_c	Min. Thickness of Bottom Reinforcing Plate t_b	Min. Thickness of Bolting Flange and Cover Plate t_c	Min. Thickness of Bottom Reinforcing Plate t_b	Min. Thickness of Bolting Flange and Cover Plate t_c	Min. Thickness of Bottom Reinforcing Plate t_b
20	8.7	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$
34	14.7	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	1	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$
41	17.8	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$
53	23	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$
60	26	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

* Equivalent pressure is based on water loading.

TABLE 3-11—Thickness and Height of Shell Reinforcing Plate for Cleanout Fittings (See Fig. 3-9)

All dimensions are in inches unless otherwise stated.

(1) Thickness of Lowest Shell Course <i>t_s</i>	(2) Max. Tank Height (Feet) <i>H</i>	(6) Size of Opening (Height, <i>A</i> , Times Width, <i>B</i>)							
		(3) 8 by 16		(5) 24 by 24		(7) 36 by 48		(9) 48 by 48	
		(3) Thickness of Shell Reinforcing Plate <i>t_s</i>	(4) Height of Shell Reinforcing Plate <i>L</i>	(5) Thickness of Shell Reinforcing Plate <i>t_s</i>	(6) Height of Shell Reinforcing Plate <i>L</i>	(7) Thickness of Shell Reinforcing Plate <i>t_s</i>	(8) Height of Shell Reinforcing Plate <i>L</i>	(9) Thickness of Shell Reinforcing Plate <i>t_s</i>	(10) Height of Shell Reinforcing Plate <i>L</i>
$\frac{3}{16}$	70	$\frac{1}{4}$	14	$\frac{3}{16}$	34 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$	51 $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{16}$	68 $\frac{1}{2}$
$\frac{1}{4}$	70	$\frac{5}{16}$	14	$\frac{3}{8}$	35 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	53	$\frac{3}{8}$	70 $\frac{1}{2}$
$\frac{5}{16}$	70	$\frac{3}{8}$	14	$\frac{7}{16}$	35 $\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	54	$\frac{7}{16}$	72
$\frac{3}{8}$	31	$\frac{3}{16}$	14	$\frac{1}{2}$	35	$\frac{3}{8}$	52 $\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	70 $\frac{1}{2}$
$\frac{3}{8}$	70	$\frac{3}{16}$	14	$\frac{1}{2}$	36	$\frac{3}{8}$	53	$\frac{9}{16}$	70 $\frac{1}{2}$
$\frac{7}{16}$	33	$\frac{3}{8}$	14	$\frac{5}{8}$	33 $\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	53	$\frac{5}{8}$	71 $\frac{1}{2}$
$\frac{7}{16}$	70	$\frac{3}{8}$	14	$\frac{5}{8}$	35	$\frac{5}{8}$	53 $\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	71 $\frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$	33	$\frac{3}{8}$	14	$\frac{11}{16}$	33 $\frac{1}{2}$	$\frac{11}{16}$	53	$\frac{11}{16}$	72
$\frac{1}{2}$	70	$\frac{3}{8}$	14	$\frac{11}{16}$	35	$\frac{11}{16}$	54	$\frac{3}{4}$	70 $\frac{1}{2}$

Note: Dimensions *t_s* and *L* may be varied within the limits defined in Par. 3.3.8.

TABLE 3-14—Roof Manholes (See Fig. 3-14)

All dimensions are in inches.

(1) Size of Manhole	(2) Diameter of Neck ID	(3) Diameter of Cover Plate D_c	(4) Diameter of Bolt Circle D_B	(5) Number of Bolts	(6) Diameter of Gasket		(8) Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_r	(9) OD of Reinforcing Plate D_R
					ID	OD		
20	20	26	$23\frac{1}{2}$	16	20	26	$20\frac{1}{8}$	42
24	24	30	$27\frac{1}{2}$	20	24	30	$24\frac{1}{8}$	46

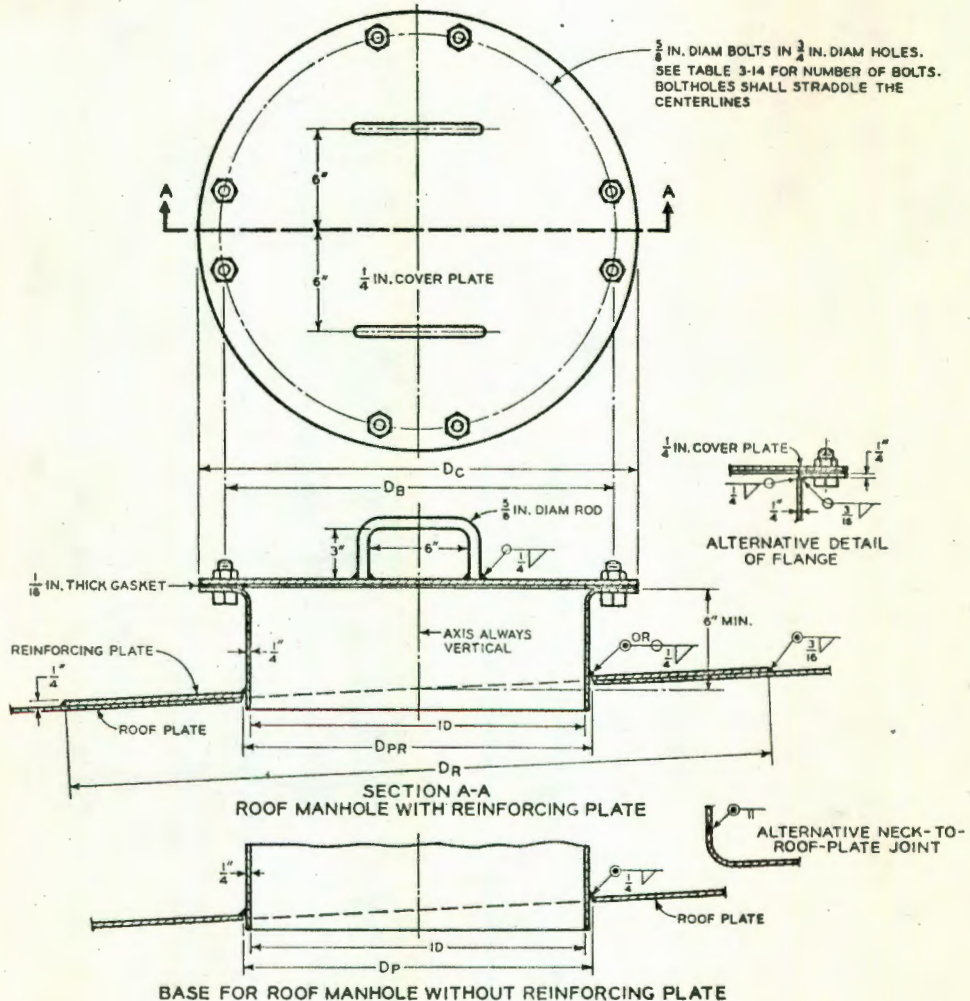


FIG. 3-14—Roof Manholes (See Table 3-14)

TABLE 3-15—Flanged Roof Nozzles (See Fig. 3-15)

All dimensions are in inches.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Nominal Size of Nozzle	OD of Pipe Neck	Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_R	Minimum Height of Nozzle H	OD of Reinforcing Plate D_R
1½	1.900	2	6	5*
2	2½	2½	6	7*
3	3½	3½	6	9*
4	4½	4½	6	11*
6	6½	6½	6	15*
8	8½	8½	6	18
10	10¾	11	8	22
12	12¾	13	8	24

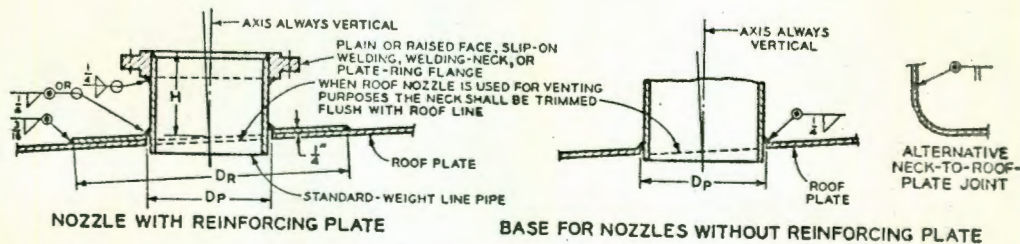
* Reinforcing plates are not required on 6-in. or smaller nozzles, but may be used if desired.

TABLE 3-16—Screwed Roof Nozzles (See Fig. 3-16)

All dimensions are in inches.

(1)	(2)	(3)	(4)
Nominal Size of Nozzle	Nominal Size of Coupling	Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_R	OD of Reinforcing Plate D_R
¾	¾	1½	4*
1	1	1¾	4½*
1½	1½	2½	5*
2	2	3	7*
3	3	4½	9*
4	4	5½	11*
6	6	7½	15*
8	8	9¾	18
10	10	12	22
12	12	14¼	24

* Reinforcing plates are not required on 6-in. or smaller nozzles, but may be used if desired.



Requirement Notes:

1. Slip-on welding and welding-neck flanges shall conform to the requirements for 150-lb forged carbon steel raised-face flanges as given in ANSI B 16.5.

2. Plate-ring flanges shall conform to all dimensional requirements for slip-on welding flanges, except that the extended hub on the back of the flange may be omitted.

FIG. 3-15—Flanged Roof Nozzles (See Table 3-15).

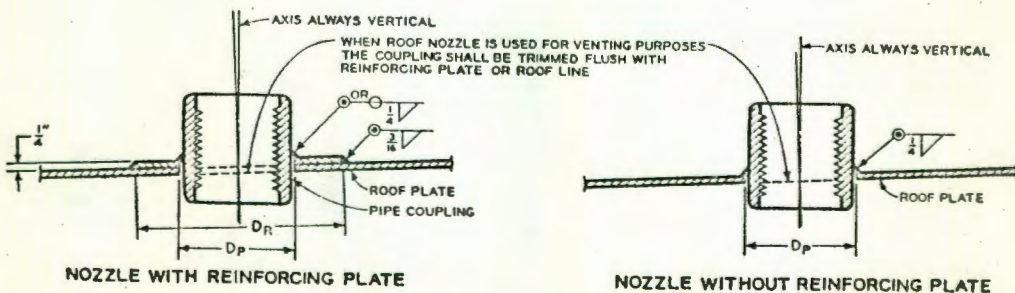
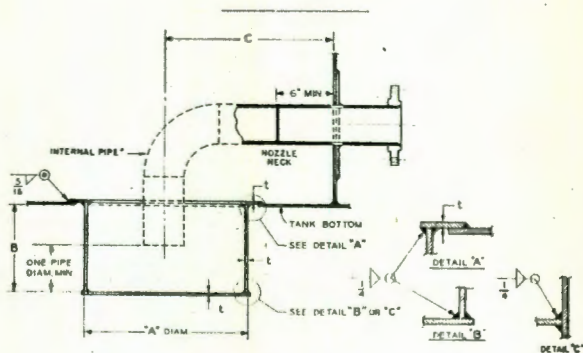


FIG. 3-16—Screwed Roof Nozzles (See Table 3-16; Also see Par. 3.6.11 for Thread Requirements).

TABLE 3-17—Diameters for Drawoff Sump

Nominal Pipe Size (Inches)	Diameter of Sump A (Inches)	Depth of Sump B (Inches)	Distance from Center of Pipe to Shell C (Feet)	Thickness of Plates in Sump t (Inches)
2	24	12	3½	¾
3	36	18	5	¾
4	48	24	6¾	¾
6	60	36	8½	¾

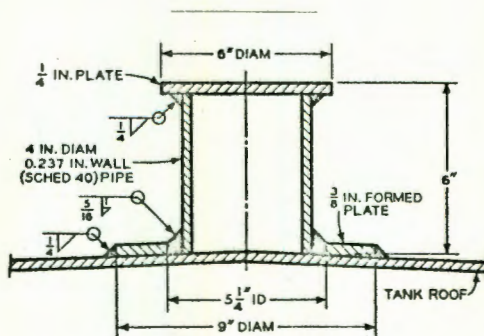


* Internal pipe thickness for pipe in sizes less than 3 in. shall not be less than that shown in Table 3-6. For pipe 3 in. and larger the wall thickness shall not be less than ¼ inch.

Erection Procedure Notes:

1. Cut hole in bottom plate.
2. Make neat excavation to conform to shape of drawoff sump.
3. Place and weld sump.

FIG. 3-17—Drawoff Sump.



Note: Where seams or other attachments are located at the center of the tank roof, the scaffold support shall be located as near the center as possible.

FIG. 3-18—Scaffold Cable Support.

TABLE 3-18—Platforms and Walkways

1. All parts to be made of metal.	
2. Width of floor level (min.), in inches	24
3. Flooring to be made of grating or nonslip material.	
4. Height of top railing above floor,* in inches	42
5. Height of toeboard (min.), in inches	3
6. Space between top of floor and bottom of toeboard (max.), in inches	¼
7. Height of midrail—approximately one-half the distance from top of walkway to top of railing.	
8. Distance between railing posts (max.), in inches	96
9. The completed structure shall be capable of supporting a moving concentrated load of 1,000 lb, and the handrailing structure shall be capable of withstanding a load of 200 lb applied in any direction at any point on the top rail.	
10. Handrails to be on both sides of platform, discontinuing where necessary for access.	
1. At handrail openings, any space between tank and platform wider than 6 in. should be floored.	
2. Tank runways, which extend from one part of a tank to any part of an adjacent tank or to ground or other structure, shall be so supported as to permit free relative movement of the structures joined by the runway. This may be accomplished by firm attachment of runway to one tank, but with a slip joint at point of contact between runway and other tank. This is to permit either tank to settle or be disrupted by an explosion without endangering the other.	

* Handrail height as required by ANSI specifications. This height is mandatory in some states.

TABLE 3-19—Stairways

1. All parts to be made of metal.	
2. Width of stairs (min.), in inches	24
3. Angle ° of stairway with a horizontal line (max.), in degrees	50
4. Width of stair treads (min.), in inches	8
[The run (defined as the horizontal distance between the noses of successive tread pieces) and the rise of stair treads shall be such that the sum of twice the rise, plus the run, shall be not less than 24 in. nor more than 26 in. Rises shall be uniform throughout the height of the stairway.]	
5. Treads to be made of grating or nonslip material.	
6. Top railing shall join platform handrail without offset, and the height measured vertically from tread level at nose of tread shall be, in inches	30 to 34
7. Distance between railing posts (max.) measured along slope of railing, in inches	96
8. The completed structure shall be capable of supporting a moving concentrated load of 1,000 lb, and the handrailing structure shall be capable of withstanding a load of 200 lb applied in any direction at any point on the top rail.	
9. Handrails shall be on both sides of straight stairs; also, handrails shall be on both sides of circular stairs when the clearance between tank shell and stair stringer exceeds 8 in.	
10. Circumferential stairways should be completely supported on the shell of the tank, and ends of the stringers should be clear of the ground.	

° It is recommended that the same angle be employed for all stairways in a tank group or plant area.

TABLE 3-20—Stairway Rise, Run, and Angle Relationships

Height of Rise (Inches) R	2R + r = 24 in.				2R + r = 26 in.			
	Width of Run (Inches) r	Angle		Width of Run (Inches) r	Angle			
		(Degrees)	(Minutes)		(Degrees)	(Minutes)		
5½	13½	21	15	..	..	..	..
5½	13	22	56	15	20	9	..	
5¾	12½	24	43	14½	21	38	..	
6	12	26	34	14	23	12	..	
6½	11½	28	30	13½	24	53	..	
6½	11	30	35	13	26	34	..	
6¾	10½	32	45	12½	28	23	..	
7	10	35	0	12	30	15	..	
7½	9½	38	20	11½	32	13	..	
7½	9	39	50	11	34	18	..	
7¾	8½	42	22	10½	36	26	..	
8	8	45	0	10	38	40	..	
8½	7½	47	43	9½	41	0	..	
8½	..	..	..	9	43	23	..
8¾	..	..	..	8½	45	49	..
9	..	..	..	8	48	22	..

S I E T E

C I M E N T A C I O N .

7.1. DESCRIPCION GENERAL.

Cuando una evaluación técnica de las condiciones del sub - suelo, basada en la experiencia y/o trabajos exploratorios indica que es innecesario construir alguna estructura interior para soportar el tanque, cimentaciones aceptables pueden ser construidas a partir de materiales del suelo.

En cualquier localización de un tanque, la naturaleza de la condiciones del subsuelo deberá conocerse con el fin de estimar el monto de los asentamientos que podrían suceder y su probable resultado. Esta información puede obtenerse por medio de sondeos, y pruebas de laboratorio. Los asentamientos no deberán alcanzar tal magnitud que ocasionen dificultades en la operación del tanque.

Es conveniente que entre la base del tanque y el terreno circundante haya un desnivel de por lo menos 30 cm. Esto proporcionará drenaje aceptable de toda esa area manteniendo el fondo del tanque seco, y compensará algún asentamiento que pudiera ocurrir. En el terminado de la base, la última capa de material, de \pm 7.5 a 10 cm de espesor deberá ser de arena limpia, grava, roca triturada (en tamaños no mayores a 1"), o algún material equivalente que se afine fácilmente.

Como acabado final de la base, ésta se estabilizará con un producto asfáltico que deberá presentar absoluta garantía - contra corrosión galvánica e incendio durante las operaciones de soldadura del fondo.

Por otra parte, es necesario que la base sea coronada de la periferia hacia el centro del tanque. Una pendiente del 1% min. será suficiente para compensar cualquier asentamiento pequeño, el cual es probablemente mayor en el centro del - tanque.

7.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

La cimentación se considerará sometida a una carga de valor igual a la suma del peso de la estructura más la presión a aplicada por el fluido a tanque lleno, afectada por un factor de carga de 1.4; y de una presión hidrodinámica atribuible a sismo, aplicada en el fondo del tanque, afectada también por un factor de carga, de 1.1. La carga total será comparada con la resistencia estimada del suelo afectada por un factor de reducción, que depende del tipo de cimentación.

Los asentamientos respecto a puntos de la superficie del tarreno circundante no afectados por la construcción, no deberán alcanzar una magnitud tal que ocasionen dificultades en la operación del tanque. El máximo asentamiento permisible se fijará tomando en cuenta las características del tanque y la flexibilidad en el sistema de alimentación. Para tanques construidos con aceros A-36, A- 283- C, y A- 283- D, los asentamientos máximos permisibles serán como sigue:

Tipo de Asentamiento	Máximo Permisible
Máximo total en el perímetro	30 cm
Máximo diferencial en el fondo	5 cm/ 10 mts

Por otra parte, los movimientos diferenciales a lo largo del perímetro del tanque deben ser suficientemente reducidos para evitar deformaciones en la envolvente. Se verificará, por tanto, que la compresibilidad del terreno de desplante sea a proxímadamente uniforme a lo largo del perímetro y se evitará en lo posible el desplante de tanques parte sobre terreno

firme y parte sobre relleno o estratos compresibles de espesor variable.

Para el calculo de los asentamientos, la cimentación se considerará sometida exclusivamente a la suma del peso de la estructura más la presión vertical aplicada por el fluido sobre el fondo, al encontrarse lleno el tanque con un factor de carga unitario.

7.2.1. Determinación de las Características de los Suelos.

a. Reconocimiento.

Se llevará a cabo siguiendo la siguiente secuencia:

a.1. Recopilación de antecedentes y reconocimiento superficial.

a.2. Reconocimiento por métodos geofísicos. Se justificará en caso de que permitan reducir el costo de las exploraciones. No se emplearán en caso de superficies de construcción reducidas, o si la información geológica existente es suficientemente precisa. Entre estos métodos podemos mencionar: El método sísmico, el de resistividad eléctrica y los métodos magnéticos y gravimétricos.

a.3. Reconocimiento por medio de sondeos.

Pruebas de Penetración con o sin recuperación de muestras alteradas.-

Las pruebas de penetración se realizarán siguiendo el procedimiento estándar. Los resultados de este tipo de sondeo se emplearán para planear programas de sondeos inalterados, verificar la homogeneidad del subsuelo de la zona y estimar el estado de compacidad y las propiedades mecánicas de los materiales de los cuales no sea posible obtener muestras inalteradas.

Sondeos Inalterados.-

Los sondeos inalterados en trincheras, pozos a cielo abierto, o perforaciones de gran diámetro, per-

mitirán proporcionar al laboratorio las muestras necesarias para la determinación de las propiedades de los suelos. Para cada tanque, se realizará por lo menos un sondeo inalterado y tres alterados localizados respectivamente en el centro y en la periferia del mismo. El número total de sondeos alterados o inalterados deberá ser de por lo menos cuatro por cada 1 000 m² construidos. Este número se incrementará hasta un máximo de 10 si el suelo resulta ser heterogéneo. Los sondeos se llevarán hasta la profundidad del estrato resistente. De no encontrarse dicho estrato, hasta una profundidad tal que el incremento de esfuerzos inducidos a ese nivel por la construcción, sea inferior al 10% de la sobrecarga superficial. La teoría de la elasticidad permite establecer que para el centro de una superficie circular, ésta profundidad es aproximadamente igual a dos veces el diámetro de la misma.

a.4. Pruebas de laboratorio.

En el laboratorio se determinarán las propiedades requeridas para los análisis de estabilidad y asentamientos definidos anteriormente. Se procederá además a la determinación de las propiedades índice de los suelos para la clasificación de los materiales obtenidos de los sondeos. Se determinarán en particular, la variación con la profundidad de las propiedades siguientes:

1. Contenido de humedad y grado de saturación.
2. Densidad de sólidos.
3. Límites de consistencia de los materiales cohesivos.
4. Curva granulométrica de los materiales no cohesivos.

En general, existen dos tipos básicos de cimentaciones para tanques de almacenamiento:

7.2.2. Cimentaciones Superficiales

7.2.3. Cimentaciones Profundas.

Las cimentaciones superficiales se utilizan cuando el sub-suelo natural o estabilizado asegure el cumplimiento de los requisitos mencionados en 7.2.

En caso de que dicho subsuelo natural no permita el cumplimiento de tales requisitos, o de que no sea posible o económicamente rentable la estabilización del suelo, se recurrirá a cimentaciones profundas.

7.2.2 Cimentaciones Superficiales.

a. Capacidad de Carga.-

Para suelos suficientemente homogéneos, la capacidad de carga podrá estimarse por medio de la fórmula de Terzaghi para desplante en áreas circulares superficiales. Tomando en cuenta que la flexibilidad del fondo de los tanques impide la redistribución de los esfuerzos, se considerará que la falla ocurre por corte local.

$$\text{Sea } q_d = (0.8 c N'_c + 0.6 \gamma_m r N'_\gamma) F_R$$

donde q_d = Presión máxima admisible, ton/m^2

c = Cohesión del material, ton/m^2

γ_m = Peso volumétrico medio de los estratos afectados de la cimentación, ton/m^3 .

r = Radio del área circular de desplante, m.

N'_c y N'_γ = Factores de capacidad de carga, para falla por corte local, determinados a partir del ángulo de fricción interna del material.

F_r = Factor de reducción, 0.6.

Los parámetros de resistencia del suelo, c y ϕ , se determinarán por medio de pruebas de laboratorio representativas del estado de consolidación, considerando la carga correspondiente a tanque lleno y en las condiciones del primer llenado.

Para materiales cohesivos, la prueba representativa será una triaxial no consolidada-no drenada, o una de compresión simple. Para materiales no cohesivos, dicha resistencia será determinada en pruebas drenadas de resistencia al corte, o la estimada a partir del estado de compactación y granulometría del material.

En el caso de subsuelos estratificados, se verificará la estabilidad de la cimentación suponiendo que la falla puede ocurrir a lo largo de superficies circulares, recurriendo a métodos de análisis límite (Sueco, Bishop). Ver Fig. F- 7.2.1.

Además de la falla global (círculo A, Fig. F- 7.2.1), se estudiarán las posibles fallas locales partiendo de la teoría de Prandtl:

En el análisis para el cálculo del momento motor, se considerarán las cargas como se indica en 7.2. El momento resistente, afectado de un factor de reducción ($F_R=0.6$) deberá ser mayor o igual al momento motor.

$$M_r = \sum (S_i \Delta L_i) R$$

$$M_m = \sum (T_i) R$$

donde:

T_i = Componente tangencial del peso de la do vela i.

S_i = Resistencia al corte en la base de la dovela i.

En el caso de tanques desplantados sobre un estrato de material blando confinado, Fig. F- 7.2.2, se verificará que no pueda presentarse flujo plástico radial de dicho material. Para ello es conveniente verificar que la presión P aplicada a nivel de desplante es menor que el siguiente valor de:

$$P = 4 c \left(\frac{D'}{D} \right) F_R$$

en que c es la cohesión del material; F_R , factor de reducción, 0.6; y los otros factores tienen el valor indicado en dicha figura.

b. Asentamientos elásticos.-

Se estudiarán los asentamientos inducidos inmediatamente al llenar el tanque, recurriendo a la teoría de la elasticidad.

Generalmente se prueba la cimentación aprovechando la prueba de la estanquidad del tanque. En el caso de que se pretenda usar la carga del tanque para consolidar el suelo de la cimentación, se llenará el tanque siguiendo una secuencia de cargas. En otros casos se llena el tanque en forma progresiva a una velocidad aproximadamente constante. Durante el llenado, se procede a la observación con nivel óptico de los asentamientos y bufamientos a lo largo del perímetro del tanque y en el área circundante con respecto a un banco de nivel superficial colocado a una distancia de por lo menos 3ϕ del tanque. Para tanques grandes, 12 m h x 30 m ϕ , y mayores, desplantados sobre materiales blandos, los asentamientos diferenciales entre el centro y la periferia serán observados recurriendo a niveles de agua

enterrados previamente en el terraplén de desplante. El llenado deberá ser interrumpido si los asentamientos absolutos o diferenciales rebasaren los permisibles.

c. Asentamientos por consolidación.

La magnitud total y la evolución con el tiempo de los asentamientos por deformación volumétrica del subsuelo se estimarán por medio de los resultados de pruebas de consolidación unidimensional. La evolución de los asentamientos se puede estimar recurriendo a la teoría de Terzaghi para suelos cohesivos. En suelos no cohesivos se considerará que los asentamientos son inmediatos.

d. Susceptibilidad a la licuación.

Se considerará susceptible a la licuación y por tanto inadecuado para desplante superficial de un tanque, todo estrato superficial de arena fina uniforme o de limo poco plástico ($I_p < 6$) en estado saturado, que presente una resistencia menor de 10 goples/30 cm en la prueba de penetración estándar.

Existen dos tipos de cimentaciones superficiales:

7.2.2.1. Cimentación sobre muro anular de concreto reforzado

7.2.2.2. Cimentación sobre zapata anular de grava o roca triturada.

7.2.2.1. Cimiento sobre anillo de Concreto.

Recomendable para cualquier tipo de tanques, especialmente para aquellos de cúpula flotante y para tanques de más de 30 mts de diámetro o de 12 mts de profundidad. El fondo del tanque descansa sobre un terraplén cuya altura se fijará en inción de la magnitud de los asentamientos totales esperados y de la posibilidad de inundación de la zona. Como se menciona en 7.1, su altura nunca será menor a 30 cm con respecto

al terreno circundante. El terraplén se construirá después de substituir el material indeseable, siguiendo las recomendaciones mencionadas ahí mismo.

El muro anular de concreto se construirá con el propósito de repartir la carga concentrada de la pared cilíndrica, proteger el terraplén durante y después de la construcción y aislar el fondo de la humedad. El muro descansará sobre suelo inalterado o compactado y se dimensionará de tal forma que la presión de contacto en la parte inferior sea aproximadamente igual a la presión actuante en el relleno confinado a la misma profundidad.

Usando este criterio, el ancho se calculará a partir de la siguiente formula:

$$b = \frac{100 W}{\gamma_f H/2 + h (\gamma_m - \gamma_c)} = 30 \text{ cm}$$

donde:

b = Ancho del muro, cm.

H = Altura del tanque, M.

h = Altura del muro, M.

W = Peso de la envolvente y de la fracción de techo soportada.

γ_f = Peso Volumétrico del relleno confinado, Ton/M³.

γ_m = Peso Volumétrico del Fluido, Idem.

γ_c = Peso Volumétrico del Concreto, Id.

Así mismo, el muro será reforzado en forma continua para resistir la presión horizontal atribuible al material confinado, por medio de la fórmula:

$$T = \frac{P_o D}{2}$$

donde:

T = Fuerza de tensión en el muro, Ton.

D = Diámetro Interior, M.

P_o = Presión horizontal atribuible al efecto combinado del relleno y la sobrecarga de el fluido, Ton/M³.

$$P_o = k_a (\gamma_m h + \gamma_f H)$$

y

$$k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

donde ϕ = Angulo de fricción interna del material de relleno.

En ausencia de datos, o de información confiable, k_a podría considerarse igual a 0.7.

7.2.2.2. Cimentación sobre Zapata Anular de Grava o Roca Triturada.

En caso de que nó se justifique el empleo de un muro anular de concreto, o si el suelo presenta una resistencia superficial apreciable, se recurrirá a este tipo de cimentaciones.

La base del tanque descansará sobre un terraplén de las características descritas en 7.1. La pared del tanque se apoyará sobre la zapata anular de grava triturada o de roca a través de placas metálicas de por lo menos 1.25 cm de espesor. Estas placas deberán extenderse a ambos lados de la pared por lo menos 15 cm. La tolerancia para nivelación será de + 3 mm por tramo de 10 m.

7.2.3. Estabilización del Subsuelo.

En los casos en que el subsuelo no permita asegurara la estabilidad del tanque, o pueda ocasionar asentamientos mayores que los permisibles, se estudiará la posibilidad de estabilizarlo por alguna de las siguientes técnicas en seguida enumeradas.

a. Remoción del material objetable.- Estratos blandos localizados a poca profundidad, podrán removerse y ser substituidos por un material compactado.

b. Compactación de materiales sueltos.- En caso de materiales sueltos, se compactarán por medio de vibroflotación o hincado de pilotes cortos. En todo caso, la compacidad lograda se verificará por medio de la prueba de penetración estándar.

c. Preconsolidación del suelo.- Cuando el tanque se = desplante sobre un estrato blando poco profundo, menor a 8 mts, se podrá preconsolidar el suelo por alguno de los siguientes métodos:

c.1. Precarga por llenado progresivo del tanque.

c.2. Precarga con terraplén.

c.3. Precarga por incremento de los esfuerzos efectivos por abatimiento del nivel freático.

d. Estabilización por medio de inyecciones.- La eficiencia de estabilización por inyecciones de lachada de cemento o productos quimicos, deberá ser comprobada por pruebas de penetración estándar y para la sección

7.2.2.d.

e: Confinamiento de estratos blandos.- Para reducir el riesgo de falla por flujo plástico en el caso de des-plante sobre estrato blando, este podrá confinarse por medio de un muro anular de tablestacas, de concreto reforzado, o de grava. De ser de concreto, este muro se diseñará en base al procedimiento mostrado en 7.2.2.1, considerando la resistencia pasiva del suelo en la periferia de los mismos.

7.2.3. Cimentaciones Profundas.

Las cimentaciones profundas más usuales son sobre pilas o pi lotes de punta, de fricción o mixtos.

Para el analisis de capacidad de carga, se siguen métodos di ferentes según el proyectista, pero en algunos problemas en particular, se diseña partiendo de resultados obtenidos en experiencias anteriores.

Realizado el analisis anterior, se puede optar por diferentes soluciones, las más usadas son:

- a. Cimentación Rígida.
- b. Cimentación Flexible.

La cimentación rígida se emplea cuando las características del tanque y del producto lo requieren. Los pilotes empleados serán pilotes de punta cuyas cabezas estarán unidas por una losa de concreto reforzado diseñada despreciando el sopor te proporcionado por el suelo en su parte inferior. El tanque descansará sobre la losa a través de un terraplén como el des crito en 7.2.

La cimentación flexible puede emplearse en donde el estrato resistente es muy profundo y el nivel de desplante de los pi lotes es sobre arcilla blanda. En este caso, las cabezas de los pilotes serán cubiertas y rodeadas por una capa de grava o roca triturada compactada que asegurará la transmisión de las cargas a los pilotes por arqueo y permitirá también la absorción de pequeños movimientos diferenciales entre pilotes. Este material y el relleno subyacente se confinarán con un muro sobre el que descansará el tanque.

O C H O

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .

8.1. FABRICACION TALLER.

La fabricación en taller de un tanque comprende las siguientes operaciones:

- a. Suministro de Materiales.
- b. Elaboración de Planos de Taller.
- c. Elaboración de Planos de Montaje.
- d. Trazo.
- e. Corte.
- f. Enderezado.
- g. Rolado o Formado.
- h. Presentación Parcial de los componentes.

a. Suministro de Materiales.

El término "Materiales" comprende cualquiera de los siguientes piezas: placas, láminas, perfiles, pernos, remaches, tornillos, soldadura, piezas forjadas, de fundición, o cualquier otra mencionada de proyecto.

En el contrato de compra se especificará cuáles de éstos proporciona el fabricante y cuales el propietario.

b. Planos de Taller.

Estos planos deberán mostrar en detalle las dimensiones y demás datos complementarios para efectuar las operaciones mencionadas en 8.1.d,e,f,g.

c. Planos de montaje.

Mostrarán la secuencia óptima de montaje de las piezas, según el habilitado de las mismas.

Se harán planos de montaje para el fondo, el cuerpo y el techo del tanque.

d. Trazo.

Las placas y láminas deberán trazarse de acuerdo a los

planos e indicaciones del proyecto, con objeto de que se adapten perfectamente a los lugares donde irán colocadas y a las placas que deberán unirse.

e. Corte.

Las placas y láminas se cortarán con cizalla o soplete guiado mecánicamente, o maquinadas. El corte con cizalla se limitará a 10 mm de espesor ($3/8$ in) en placas a unirse a tope, y a 15 mm ($5/8$ ") para placas con juntas traslapadas. Los cantos de placas y laminas despues del corte deberán ser lisos, uniformes y libres de escoria, y perfectamente libres de impurezas antes de ser soldadas.

f. Enderezado.

Cuando el material requiera ser enderezado, se hará por presión o por cualquier procedimiento adecuado. Nó se p permitirá el empleo del marro o de calentamiento para obtener la forma requerida.

g. Rolado.

El rolado de placas y laminas se hará siempre en frio, y por un procedimiento tal que nó perjudique las características y propiedades físicas del material.

La tolerancia de la curvatura en placas y láminas en tanques atmosféricos nó excederá al 1% del diámetro y, en el caso de las paredes del recipiente, será menor del 1% o de 304.8 cm medidos diametralmente.

h. Presentación de los Componentes.

El fondo completo deberá ser presentado en el taller. En estas condiciones, se marcarán y numerarán los traslapes trazando un circulo de pintura alrededor de los números para facilitar su localización. En el plano de montaje del fondo deberán aparecer los mismos números. Estando pesentado el fondo, se marcará el centro uel mismo así

como las circunferencias interior y exterior del tanque por medio de líneas de punto de golpe separados entre sí no mas de 25.0 cm. También se comprobará que las bayonetas ensamblen perfectamente.

El techo deberá también ser presentado en el taller. En las placas de la periferia se revisará el corte con una plantilla patrón que tenga una longitud de $1/20$ del diámetro nominal del tanque, admitiéndose variaciones hasta de ± 3 mm.

8.2. FABRICACIÓN CAMPO.

La fabricación campo comprenderá el habilitado de aquellos elementos auxiliares para el montaje de un tanque de almacenamiento.

Estrobos, balancines, calzas, sietes, andamiajes, cuñas, etcétera, se prepararán en función del tamaño de las piezas a unir, No obstante, debido a una cierta contingencia, se vea la necesidad de fabricar algún componente del tanque en campo.

Dentro de la fabricación campo de un tanque de almacenamiento, se contemplan también los trabajos de inspección y pruebas del tanque.

8.2.1. Inspección.

- a. Materiales.- El fabricante está obligado a proporcionar las muestras que se requieran para la inspección de los componentes ANTES DE SER EMBARCADOS, y nó que dará relevado de sus responsabilidades si posteriormente, en el montaje o pruebas, se encuentran defectos que ameriten la reparación o reposición de algún material o mano de obra.
- b. Juntas.- Se deberán inspeccionar todas y cada una de las juntas. Dicha inspección se hará por métodos radiográficos o por medio de cortes practicados en las

juntas. Se deberán proporcionar al comprador tomas las radiografías y cortes que se indiquen en los planos de proyecto o especificaciones particulares, así como de las reparaciones a que haya lugar.

De acuerdo al A.P.I. - 650, la toma de radiografías será como sigue:

b.1. Juntas verticales.- Deberá tomarse una impresión radiográfica en los primeros 10 ft de cada junta vertical terminada de cada tipo y grosor, hecna p por cada soldador. De cualquier forma, sin considerar el numero de operarios ahí trabajando, se hará una toma adicional a cada 100 ft, o fracción.

b.2. Juntas Horizontales.- Donde se especifica fusión y penetración completas, se tomará una placa en los primeros 3 mts de junta terminada del mismo tipo y espesor. Adicionalmente, se tomará una placa por cada 200 ft o fracción.

De acuerdo a PEMEX, donde se especifica radiografiado por muestreo, éste será como sigue, cuando menos:

- Una radiografía por cada procedimiento de soldadura empleado.
- Una radiografía por cada 15 mts de soldadura o fracción.

Si se especifica radiografiado 100%, se proporcionará al comprador, para su bservación, las películas que cubran el 100% de la soldadura, debidamente identifi cadas.

8.2.2. PRUEBAS.

- a. Fondo.- La prueba del fondo consiste en lo siguiente:
1. Después de haber soldado el primer anillo, se cons truirá un borde de tierra de 0.50 mts alrededor del tanque, el cual se llenará de agua manteni endo una carga de 152 mm (6") e inspeccionando todas las juntas.
 2. Se aplicará aire comprimido por medio de una conex

ión provisional soldada en el centro del tanque, y empleando a la vez jabonadura, aceite de linaza o cualquier otro material equivalente.

Se tendrá especial cuidado en no dañar la cimentación.

- b. Cuerpo. La prueba del cuerpo se hará hasta después de terminado totalmente el soldado del mismo, y después de conectar las tuberías de carga y descarga hasta la primera valvula. Podrá hacerse por cualquiera de los siguientes métodos:
1. En caso de disponer de agua, el tanque se llenará hasta el ángulo tope del cuerpo, inspeccionándose durante toda la operación.
 2. En caso de no tenerse agua, se aplicará en todas las costuras, por el interior, aceite altamente penetrante, observándose en el exterior si hay filtraciones.
 3. Se podrá probar el cuerpo aplicando aire a presión por la parte interior y comprobando la existencia de fugas por la parte exterior, empleando aceite de linaza, jabonadura, o equivalentes.
- c. Techo.- La prueba del techo se efectuará una vez terminado de soldar el tanque. Se aplicará aire a presión por la parte interior, y empleando aceite de linaza o jabonadura, se detectarán las fugas. La presión interna no excederá al equivalente del peso unitario de las placas del techo.

8.3. MONTAJE.

El montaje o erección del tanque se hará respetando los requerimientos constructivos mencionados en las secciones 3.1, 4.1 y 5.1, para fondo, pared y techo del tanque respectivamente, sin embargo, debemos hacer algunas consideraciones adicionales:

a. Soldadura.- Los tanques se soldarán por medio de soldadura ya sea de arco sumergido ó arco protegido. No deberá soldarse nunca si las partes a unir están mojadas. Tampoco deberá soldarse si está lloviendo o con fuerte viento salvo si el soldador y la obra están adecuadamente protegidos. La soldadura en las juntas deberá tener una penetración completa y quedará libre de defectos tales como traslapes, valles y lomos sobresalientes. Para asegurar que el espacio entre biseles quede completamente lleno, se depositará metal como refuerzo que sobresalga de la superficie de la placa de modo que la superficie de metal soldada en ningún momento quede bajo las placas adyacentes. El refuerzo no excederá, preferentemente, de 1/16".

b. Fondo.- Antes de colocar en su lugar las láminas del fondo, se limpiarán perfectamente, y a la cara que va a estar en contacto con la base, se le aplicará un recubrimiento adecuado; previo a la soldadura, las placas se colocarán con un traslape mínimo de 1-1/2" o a tope si así lo indica el proyecto. Se elaborará una secuencia de soldadura, de manera que evite al máximo las deformaciones y mantenga el fondo con una superficie perfectamente plana. La unión del fondo con el cuerpo ira soldada a doble cordón (interior y exterior), las soldaduras entre el fondo y el cuerpo deberán estar terminadas antes de proceder a soldar las placas del fondo que se hayan dejado sin soldar para compensar las contracciones de soldaduras previas.

c. Cuerpo.- Las placas de la envolvente deberán soldarse a tope y serán mantenidas en su posición durante toda la operación de soldado.

El desalimeamiento vertical de una junta no excederá al 10% del espesor de las placas o de 1/16", cualquiera que sea el mayor. En soldaduras a tope en cordones horizon-

tales, el desalineamiento entre la placa superior y la inferior no deberá pasar al 20% del espesor de la placa superior, o un máximo de 1/8", excepto en placas con espesores menores de 5/16" en que se permite un desalineamiento de 1/16".

Las costuras verticales se harán de abajo hacia arriba previa limpieza en la raíz de la soldadura. Los puntos empalmados en el montaje deberán quitarse y no quedar en la soldadura definitiva.

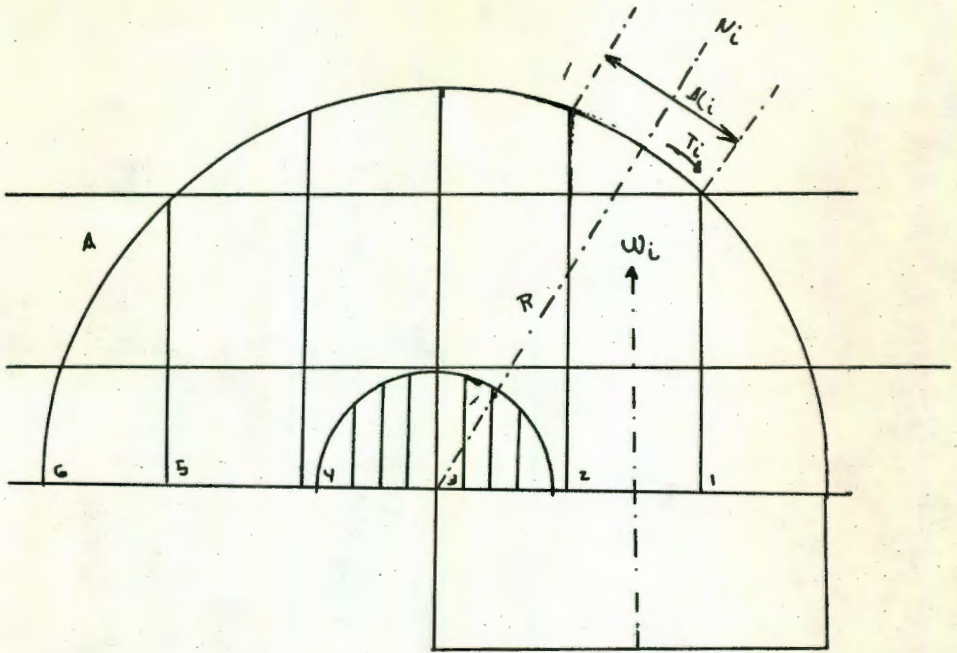


Fig. 7.2.1.

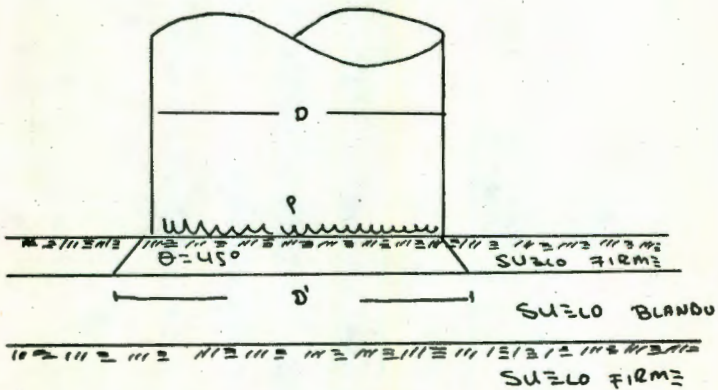


Fig. 7.2.2.

NUEVE

BIBLIOGRAFIA .

a. Normas.

- "Welded Steel Tanks for Oil Storage".- A.P.I. Std. 650.
American Petroleum Institute, 6a. ed. Abril 15, 1977.
- "Cimentaciones de tanques". Especificaciones generales
para Proyecto de Obras. Petroleos Mexicanos.
Norma 2.214.01. Primera Edición, 1974.
- Especificaciones Generales de Construcción de Tanques.
Norma PEMEX TA-1. Primera Edición.

b. Especificaciones.

- "Manual AHMSA".- Construcción de Acero.
Altos Hornos de México, S.A. 1a. Edición, 1975.
- "Manual para Constructores".- Cia. Fundidora de Hierro y
acero de Monterrey, S.A. Ed. 1975.

c. Textos.

- "Design of Large-Diameter Cylindrical Shells".-
L.P. Zick & R.V. McGrath.
- "Mecánica de Suelos".
Eulalio Juárez Badillo- Alfonso Rico Rodríguez
- "Diseño de Estructuras de Acero"
Jack C. McCormack.
- "Análisis Estructural"
Rodolfo Luthé García.
- "Resistencia de Materiales".
Daniel Sierra y Pedro Irigoyen.

ESTA TESIS SE IMPRIMIO EN

copiroyal

MADERO NUM. 85-C TEL. 2-24-33

QUERETARO, QRO.