

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS
INDUSTRIALES DE MADRID

DEPARTAMENTO DE FORMACIÓN

CURSO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS SEGÚN EL CÓDIGO API-650

Dirigido por: **Luis Oria Vidal**

Madrid, 25 al 27 de junio de 2007





Colegio Oficial de Ingenieros
Industriales de Madrid

Hernán Cortés, 13. 28004 Madrid. Tel: 91 524 18 02 - Fax 91 524 09 33.

1.-BASES DE DISEÑO

1.1- CONCEPTOS Y LIMITACIONES

1.1.1.-Las Bases de Diseño que en este libro se exponen se sustentan sobre los mismos principios en los que se basan los Códigos Internacionales que diseñan tanques atmosféricos, como pueda ser el Código API STANDARD 650; Código UNE 62-004-76 y otros varios. Las formulas y ecuaciones aquí utilizadas, difieren de las formulas de los otros Códigos y Standards, puesto que el sistema de unidades aquí utilizado es el Internacional, pero si que son equivalentes a las de esos Códigos, puesto que derivan de las mismas hipótesis y conceptos, siendo los resultados idénticos.

1.1.2.-Las Bases, comprenden los materiales apropiados a utilizar, las formulas y principios necesarios para el diseño, la fabricación y el montaje de los tanques no enterrados de almacenamiento.

Sirven para cualquier tipo tanques de acero con forma cilíndrica y vertical, y no incluye a los tanques horizontales sobre soportes ni a los tanques refrigerados.

Los tanques pueden ser abiertos o cerrados por su parte superior y de dimensiones y capacidad variable, sometidos solo a la presión interna aproximadamente atmosférica, (la presión interior no será superior al peso de las chapas del techo) aunque en determinadas condiciones y con determinados requisitos puede admitirse una presión interna superior. Solo se consideran los tanques cuyo fondo esta uniformemente soportado, y en los tanques no refrigerados que tengan una máxima temperatura de operación de 90ºC.

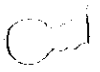
1.1.3.- Se acepta que los tanques son de fondos planos y soportados uniformemente.

1.1.4.-La temperatura máxima de operación no debe de superar los .90ºC. En el caso de que esta temperatura excediera el valor de 90ºC, sin superar el máximo limite de temperatura establecido en 260ºC, será necesario para poder diseñar un tanque el cumplir con los requisitos complementarios que se exponen en el Tema-18. La temperatura de operación superior a los 90ºC no es permitida en los tanques abiertos ni tampoco en aquellos que tiene techo flotante.

1.1.5.-Los tanques fabricados con materiales de acero inoxidable, tipo austenítico, deben de aplicar los valores de las tensiones admisibles, de módulos de elasticidad y demas factores y limitaciones que se dan en el Tema-19.

1.1.6.- Los materiales que se emplean para el diseño de los tanques pueden ser de cualquier Acero al Carbono, del cual se tengan los correspondientes certificados de fabricación donde conste el Limite Elástico, la Carga de Rotura y la composición química del material. Los materiales deberán de tener los certificados de aptitud, correspondientes a las pruebas que deben superar para cumplir con la especificación exigida por la Norma Internacional ASTM.





Hernán Cortés, 13. 28004 Madrid. Tel: 91 524 18 02 - Fax 91 524 09 33.

2-MATERIALES

2.1.- GENERAL

Cuando una chapa cuyo material no se corresponde con uno de los listados en la especificación ASTM para chapas, pero que sus características mecánicas y las pruebas a que se ha sometido son similares a la especificación ASTM, dicho material será considerado apto para su utilización.

Las chapas de la envolvente estarán limitadas para un espesor máximo de 45 mm, a menos que el material de dichas chapas indique que solo son apartas para utilizarse con un espesor menor. Las chapas usadas para refuerzos o en bridas pueden tener un espesor mayor de 45 mm. Las chapas de espesor mayor de 40 mm serán normalizadas

2.2.- ESPECIFICACIONES ASTM

Las chapas que sean conforme a la siguiente especificación de ASTM serán aceptadas como las chapas que cumplen con todos los requisitos en el diseño de los tanques que aquí se contemplan. Dicha especificación contiene la relación de alguno de los materiales que a continuación se relaciona

a).-ASTM A 36M/A-36

Para chapas de un espesor máximo de 40 mm. El A36M/A 36 no será considerado aceptable para la construcción de Tanques a menos que sea expresamente establecido.

b).- ASTM A 131M/A 131

Grado A- para chapas de máximo espesor de 12,5 mm
Grado B- para chapas de máximo espesor de 25 mm.
Grado CS- para chapas de máximo espesor de 40 mm(chapas sueltas añadidas y en bridas hasta 50 mm).
Grado EH36- para chapas de máximo espesor de 45 mm chapas sueltas añadidas y en bridas

* Pasar Recordar q si para de 28 mm para las soldaduras habra que dar tratamiento térmico.

c)-ASTM A 283M/A 283

Grado C para chapas de máximo espesor de 25 mm.

d)-ASTM A 285M/A 285

Grado C para chapas de máximo espesor de 25 mm.

e)-ASTM A 516M

Grados 380, 415,450,485 y **A 516** Grados 55, 60, 65 y 70 para chapas de máximo espesor de 40 mm.(chapas sueltas y bridas de espesor máximo de 100 mm)

f)-ASTM A 537M/A 537

Clase 1 y Clase 2 para chapas de máximo espesor de 45 mm. .(chapas sueltas y bridas de espesor máximo de 100 mm)

g)-ASTM A 573M

Grados 400,450,485 y **A 573**- Grados 58, 65 y 70 para chapas de máximo espesor de 40 mm.

h)-ASTM A 633M /A 633

Grados C y D para chapas de máximo espesor de 45 mm. (chapas sueltas y bridas de espesor máximo de 100 mm)

i)-ASTM A 662M /A 662

Grados B y C para chapas de máximo espesor de 40 mm.

j)-ASTM A 678M /A 678

Grado A para chapas de máximo espesor de 40 mm. .(chapas sueltas y bridas un de espesor máximo de 65 mm) y Grado B para chapas de máximo espesor de 45 mm. .(chapas sueltas y bridas de espesor máximo de 65 mm).La adición de Boro no esta permitida

k)-ASTM A 737M /A 737

Grado B para chapas de máximo espesor de 40 mm.

l)- ASTM A 841M /A 841

Para chapas de espesor máximo de 40 mm (chapas sueltas y bridas 65 mm)

2.3.- ESPECIFICACION CSA

Las Chapas de esta especificación son aceptables dentro de los limites siguientes:

CSA G40.211-M , Grados 260W; 300W y 350 W

a)-Si es requerido la prueba de impacto se designan como Grados 260WT; 300WT y 350 WT.

b)-La W en los grados indica que debe de ser un acero semicalmado o totalmente calmado.

c)-Las chapas deberan tener un Limite de Rotura no mayor de 140MP (20 .000 Psi)

d)-los grados 260W y 300W son aceptables para chaps de un espesor máxoimo de 25 mm si son acero semicalmado y un máximo espesor de 40 mmsi el acero es totalmente calmado y de grano fino.

e)-El grado 350W es aceptable para chapas con un espesor máximo de 45 mm.Si son chapas que se insertan el espesor máximo es de 50 mmpara acero totalemente calmado y de grado fino

2.4.- ESPECIFICACION ISO

ISO 630 en grados E 275 y E 235 son aceptables dentro de los límites siguientes

a)- El Grado E 275 en las calidades C y D para chapas de un espesor máximo de 40 mm con un máximo de Manganeso del 1,6% en caliente.

b)- el Grado E 355 en las calidades C y D para chapa de un espesor máximo de 45 mm (para chapas insertadas el espesor máximo es de 50 mm)

2.5.-STANDARS NACIONALES

Las chapas producidas y sometidas a pruebas de acuerdo con los requerimientos de los reconocidos Standard Nacionales (USA) y dentro de las limitaciones quimicas y mecanucas de la Tabla adjunta sona ceptables cuando ello es aprobado por el contratista.Los requerimientos de este grupo no aplica a las especificaciones ASTM, CSA e ISO

	Limire de Rotura				Minimo Limite Elastico		Máximo Espesor		Composición Quimica			
Grado	Minimo		Maximo						Max.% Carbono		Max % Fosforo	
	MPa	Ksi	MPa	Ksi	MPa	Ksi	mm	in	Caliente	Normal	Caliente	Noemal
235	360	52	510	74	235	34	20	0,75	0,20	0,24	0,04	0,05
250	400	58	530	77	250	36	40	1,5	0,23	0,27	0,04	0,05
275	430	62	560	81	275	40	40	1,5	0,25	0,29	0,04	0,05

Hernán Cortés, 13. 28004 Madrid. Tel: 91 524 18 02 - Fax 91 524 09 33.

2.6.- CLASIFICACION EN GRUPOS DE LOS MATERIALES DE CHAPA SEGÚN ASTM

GRUPO I Laminado Semicalmado	GRUPO II Laminado Calmado o Semicalmado	GRUPO III Laminado,Calmado Grano Fino	GRUPO IIIA Normalizado,Calmado Grano Fino
A 283M C	A 131M B	A 573M-58	A 131M CS
A 285M C	A 36M	A 516M-55	A 573M-400
A 131M A	G40.21M-260W	A 516M-60	A 516M-380
A 36M	Grado 250	G40.21M-260W	A 516M-415
Grado 235		Grado 250	G40.21M-260W
Grado 250			Grado 250

GRUPO IV Laminado Calmado Grano Fino	GRUPO IVA Laminado Calmado Grano Fino	GRUPO V Normalizado Calmado Grano Fino	GRUPO VI Normalizado Templado Calmado Grano Fino
A 573M-450	A 662M C	A-573M-485	A 131M EH 36
A 573M-485	A 537M-485	A 516M-450	A 633M C
A 516M-450	G40.21M-300W	A 516M-485	A 633M D
A 516M-485	G40.21M-350W	G40.21M-300W	A537M Clase I
A 662 B		G40.21M-350W	A 537M Clase II
Gao.KLM-300W			A 678M A
Gao.KLM-350W			A 678M B
E 275			A 737M B
E 355			A 841
Grado 275			

Sirve para relacionar con el espesor de las chapas de los fondos del tanque. En API-650 no se calcula nunca. En API-620 sí.

Según espesor de virola inferior y material del fondo, se especifica un anillo. Se verá + adelante.

Hernán Cortés, 13. 28004 Madrid. Tel: 91 524 18 02 - Fax 91 524 09 33.

3-JUNTAS

3.1 DEFINICIONES

3.1.1 Junta soldada a tope con doble cordón: Es una unión entre dos partes contiguas aproximadamente en el mismo plano que es soldada por ambos lados.

3.1.2 Junta soldada a tope con simple cordón con tira de respaldo: Es una unión entre dos partes contiguas aproximadamente en el mismo plano en que es soldada solo por un lado con el uso de una placa metálica u otro material con garantía suficiente.

3.1.3 Junta a solape con doble cordón: Es una unión entre dos partes sobre solapadas en que los solapes de cada una de las partes están unidos con filetes. de soldadura

3.1.4 Junta de solape con simple cordón: Es una unión entre dos partes sobre solapadas en que solo se suelda una de los bordes del solape.

3.1 5 Soldadura a tope: Es una soldadura situada en una ranura entre dos miembros adyacentes. La ranura puede ser cuadrada, tener forma de V(simple o doble), o forma de U (simple o doble) o pueden ser simples o dobles biselados.

3.1.6 Filete de soldadura: Es una soldadura de sección aproximadamente triangular que une dos superficies que forman ángulo recto, o una junta de solape, junta en T o junta de esquina.

3.1.7 Soldadura a filete completo: Es una soldadura cuya dimensión es igual a los espesores de los miembros unidos.

3.1.8 Soldadura por puntos : Es una soldadura hecha para sujeción de las partes de una estructura en una línea recta

3.2.- DIMENSIONES DE LA SOLDADURA

3.2.1 La dimensión de una ranura soldada esta basada en la penetración de la junta (que es la profundidad del bisel más la penetración de la raíz.

3.2.2 La medida de los catetos iguales de un filete soldado, se basa en la longitud del cateto del mayor triángulo rectángulo isósceles que puede inscribirse dentro de la sección transversal del filete de soldadura. La dimensión se mide por la altura sobre el lado desigual del triangulo isósceles de dimensione máximas que pueda inscribirse. La medida de los catetos desiguales de un filete de soldadura se basa en la longitud de los catetos del mayor triangulo rectángulo que puede inscribirse en la sección transversal del filete de soldadura

3.3 .- RESTRICCIONES EN LAS UNIONES

3.3.1 El mínimo valor de la medida de un filete de soldadura será el siguiente: Para chapas de espesor Igual a 5 mm será una soldadura de filete completo (los catetos del triangulo rectángulo Isósceles del filete de soldadura tienen longitud de 5 mm) y en chapas de

espesor con mas de 5 mm el espesor de la soldadura no será menor que 1/3 del espesor de la chapa más delgada en la unión y que no será menor de 5 mm.

3.3.2 Las uniones (juntas) soldadas con solape simple solo están permitidas en las chapas del fondo y del techo del tanque..

3.3.3 Las uniones soldadas a solape, con soldaduras por puntos, estarán solapadas en un mínimo de cinco veces el espesor de la chapa más delgada de la unión. En cualquier caso, en las uniones con solape con doble soldadura, el solape no excederá de 50 mm, y en uniones con solape con simple soldadura, el solape no excederá de 25 mm.

3.4. TIPOS DE JUNTAS

Figura 3-1 Juntas Horizontales en la Envolvente

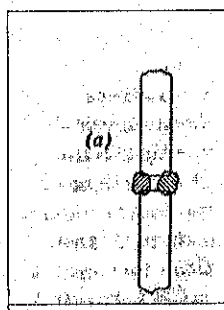
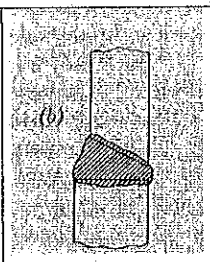
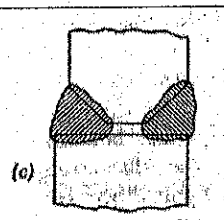
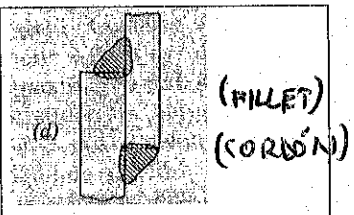
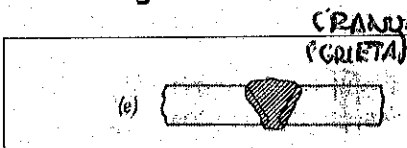
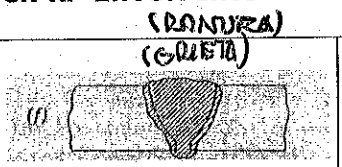
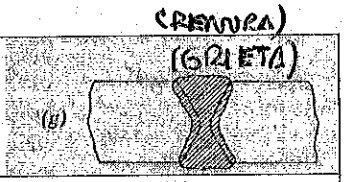
			
Junta de doble bisel con doble soldadura a tope con penetración parcial	Junta de simple bisel con doble soldadura a tope con penetración total	Junta de doble bisel con doble soldadura a tope con penetración parcial	Junta de solape con doble soldadura

Figura 3-2 Juntas Verticales en la Envolvente

		
Junta a tope en simple V con doble soldadura	Junta a tope en simple U con doble soldadura	Junta a tope en doble V con doble soldadura

Distingue entre cordones y grietas.
los cordones sí sueman (cuentan) para el refuerzo de uniones.
El area de las grietas, se considera que refuerzan. Pero sí q aguantan esfuerzos.

Figura 3-3 Juntas Verticales en la Envolvente

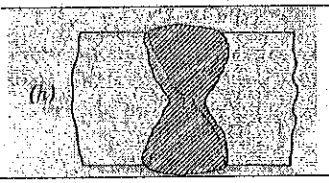
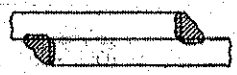
		
Junta a tope en doble U con doble soldadura	Junta a tope con ranura cuadrada con doble soldadura	Junta de solape con doble filete de soldadura total

Figura 3-4 Juntas en Techo y Techo-Envolvente

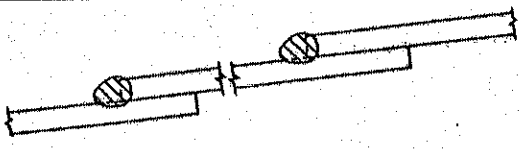
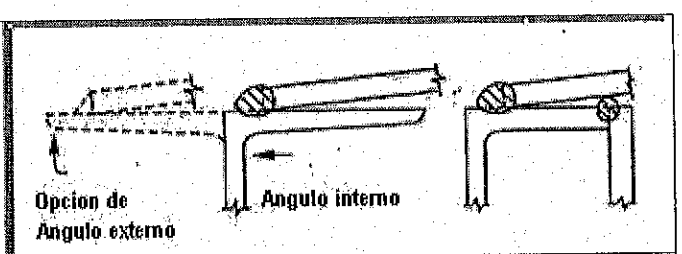
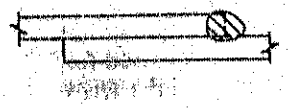
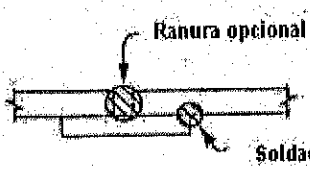
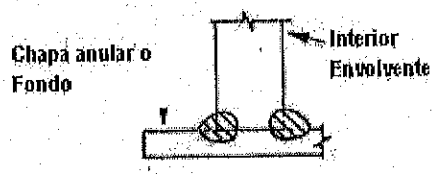
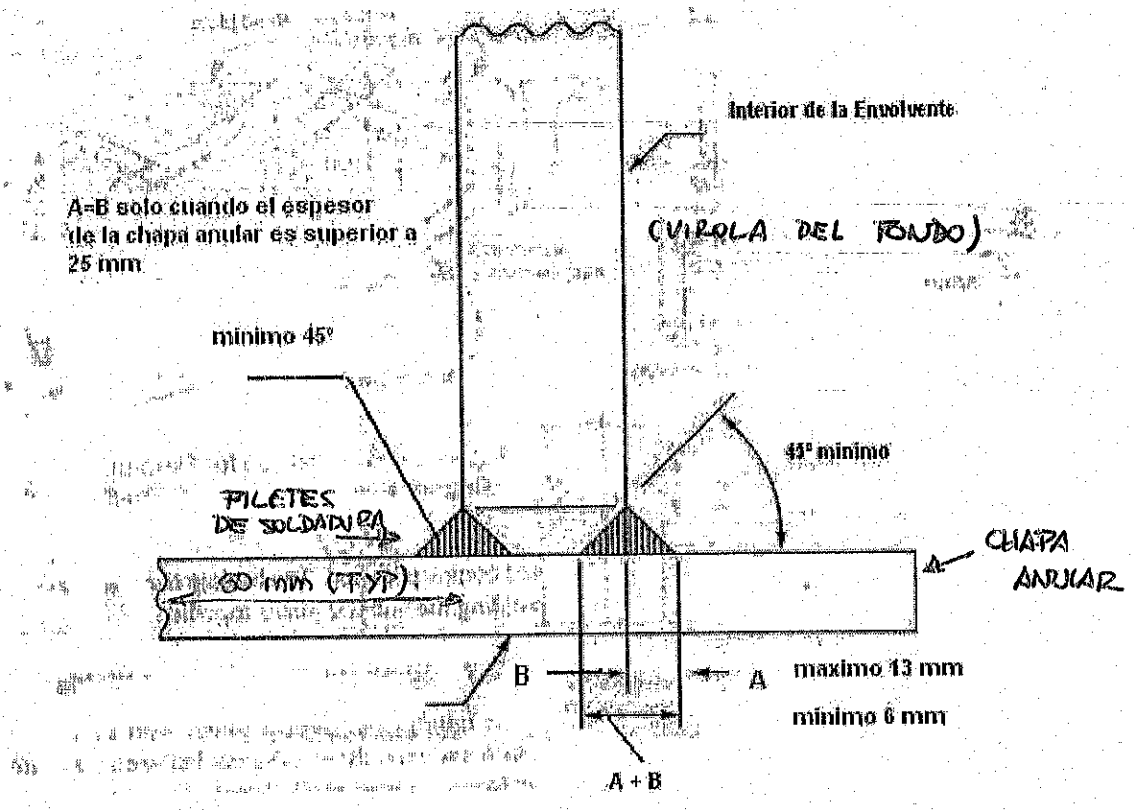
	
a) Junta de solape en el techo	b) Junta Chapa techo con ángulo en Envolvente

Figura 3-5 juntas en el Fondo –Envolvente

		
a) Junta de solape con simple soldadura de filete completo	b) Junta a tope con simple soldadura y placa de respaldo	c) Juntas en la unión Fondo-Envolvente Placa Anular-Envolvente

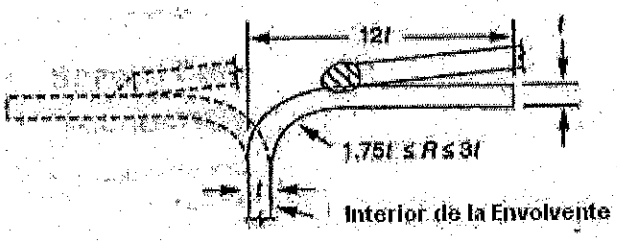


A= medida máxima del filete de soldadura 13 mm

B= soldadura de la ranura puede exceder a dimensión del filete de la soldadura A solo cuando la chapa anular es mas gruesa de 25 mm

A +B = el espesor mas delgado de la chapa anular del fondo o de la envolvente

Figura 3-6 Detalle de doble filete y ranura en Junta Placa Anular del Fondo con la Envolvente
Para chapas con espesor > 13 mm



Alternativa a la Unión Techo-Envolvente

Figura 3-7 Detalle de la alternativa de unión Techo-Envolvente del punto 3.7.e

( )

( )

3.4.1.-JUNTAS VERTICALES EN LA ENVOLVENTE

a)-Las juntas verticales serán uniones a tope con penetración completa y fusión total, conseguida por doble soldadura u otra mayor que ha obtenido la misma calidad del metal depositado en el interior y exterior de las superficies soldadas

b)- Las juntas verticales en las virolas contiguas de la envolvente no deben de estar alineadas, estarán descentradas en cada una un mínimo de distancia de $5t$, donde t es el espesor de la chapa de la virola gruesa en el punto de desvío.

3.4.2.- JUNTAS HORIZONTALES EN LA ENVOLVENTE

a)- Las juntas horizontales deben tener penetración y fusión completa. No obstante, perfiles en ángulo podrán ser añadidos en la coronación de la envolvente con unión mediante doble soldadura de solape.

b)- A menos que se especifique de otra forma, en juntas horizontales, las chapas colindantes en la envolvente deberán tener en común el eje vertical.

3.4.3.-JUNTAS DE SOLAPE EN LOS FONDOS

Las chapas del fondo soldadas con solape serán razonablemente rectangulares y con los bordes cuadrados. El solape de tres chapas en el fondo del tanque será como mínimo de 300 mm para cada una, desde la envolvente del tanque, y desde la soldadura a tope de la junta de la chapa anular y el fondo. Cuando las chapas anulares son usadas o son requeridas por .4.2.1 ellas estarán soldadas a tope y tendrán una distancia radial con un ancho previsto de al menos 600 mm entre el interior de la envolvente y a cualquier junta soldada de solape en el resto del fondo. Las chapas del fondo si es necesario estarán soldadas en el lado alto con un con filete continuo lleno de soldadura en toda la junta. A menos que chapas anulares de fondo sean usadas, las chapas del fondo debajo de la parte circular inferior de la envolvente, deberán tener liso el final exterior y las juntas empotradas y soldadas a solape con las chapas de la envolvente.

3.4.4. -JUNTAS EN LOS FONDOS CON SOLDADURA A TOPE

Las chapas de los fondos soldadas a tope deberán tener los bordes paralelos y cuadrados, preparados para ser soldada a tope con otras o con ranuras en V. Si son usadas ranuras cuadradas, la raíz en las aberturas no será menor que 6 mm. Las soldaduras a tope deben de ser hechas con soldaduras puntuales con una placa de apoyo no menor de 3 mm de espesor en el lado inferior de la chapa. Un espaciador metálico deberá ser usado para mantener la raíz de la abertura entre los bordes contiguos de la chapa a menos que el fabricante presente otro método, para la soldadura a tope del fondo y que tiene que aprobar el comprador. La unión de tres chapas en el fondo del tanque será al menos de 300 mm de solape en cada una y desde la envolvente del tanque..

3.4.5.-JUNTAS EN LA CHAPA ANULAR DEL FONDO

Las juntas radiales de la chapa anular del fondo estarán soldadas a tope de acuerdo con 3.4.4 y tendrán completa penetración y fusión. La placa de respaldo para la soldadura, será compatible con las chapas anulares.

3.5.-FILETES DE SOLDADURA ENTRE EL FONDO Y LA ENVOLVENTE

a)- Para fondo y chapa anular con espesor nominal de 12,5 mm y menores, la unión entre el borde de las chapas del fondo y la virola mas bajo de la envolvente será un filete continuo de soldadura superficial en cada lado de la chapa de la envolvente.

Las dimensiones de cada soldadura no tendrá mas de 12,5 mm y no debe de ser menor que el espesor nominal de la más delgada de las dos chapas unidas (que son, la chapa de la envolvente en el fondo con la chapa que esta inmediatamente bajo la envolvente) o menor que los siguientes valores:

Espesor nominal de las chapas de la envolvente **milímetros**	Medida mínima de los filetes de soldadura **milímetros**
5 mm	5 mm
De 5 a 20 mm	6 mm
De 20 a 32 mm	8 mm
De 32 a 45 mm	10 mm

b)-Para chapas anulares con espesor nominal mayor que 12.5 mm, la unión soldada deberá ser del tamaño de cualquiera de los lados de los filetes soldados, o la profundidad de la ranura mas la medida de la pata (pata =altura sobre la hipotenusa del triangulo rectángulo isósceles circunscrito a la soldadura) del filete para una combinación soldada, en que la medida sea igual al espesor de la placa anular (ver Fig 3-6)

c)- Los filetes soldados entre los fondos y la envolvente para materiales de los Grupos IV, IVA, V y VI, serán hechos con un mínimo de dos pasadas.

3.6.- JUNTAS EN VIGAS CONTRA VIENTO

a).- Juntas a tope con penetración total serán usadas para las secciones en juntas en anillo

b).- Soldadura continua será usada para las juntas horizontales del lado de la cabeza de la viga y para todas las juntas verticales. Las juntas horizontales en los lados del fondo serán juntas estancas si lo especifica el comprador. La estanqueidad debe de ser considerada para minimizar el potencial peligro de contenido de agua, que podría causar la corrosión.

3.7 JUNTA DEL ANGULO EN CABEZA ENVOLVENTE CON EL TECHO

a)- Las chapas del techo serán soldadas en el lado de arriba con filetes de soldadura continuos en todas las costuras.

b)- Las chapas del techo estarán unidas al ángulo de cabeza del tanque con filetes continuos de soldadura, solo en el ala de cabeza.

c)- La sección del ángulo de la cabeza para techos autoportantes, será unida por soldadura a tope, fusión y penetración total.

d)- Es opcional para techos auto-soportados tipo cono, domo, o umbrela, que los bordes de las chapas del techo pueden ser pestañas soldadas horizontalmente al resto de placa junto al ángulo de cabeza. Lo cual mejora las condiciones de la soldadura.

e)- Las envolventes de los tanques deben reforzarse con ángulos en la cabeza con dimensiones no menores que:

Para Tanques con diámetro menor o igual a 11 m, el ángulo será de 55 x 55 x 6 mm

Para tanques con diámetro mayor de 11 m pero menores de diámetro de 18 m el ángulo será de 60 x 60 x 6

Para tanques con diámetro mayor de 18 m el ángulo será de 80 x 80 x 10 mm

El ala del ángulo pueda extenderse en el exterior o en el interior del tanque.

f)- Para tanques con diámetro igual o menor que 9 m y soportando un techo cónico, el ángulo del borde de cabeza con la envolvente puede ser la pestaña en lugar de colocar el ángulo de cabeza. El radio de curvatura y la anchura del borde de la pestaña serán conformes a los detalles de la Fig 3-7.f. Estas construcciones pueden ser usadas en cualquier tanque con techo auto-soportado si el total del área de la sección transversal en la unión cumple los requisitos para la construcción del ángulo de cabeza. Ningún oto perfil que no sea un ángulo o una faja deberá ser añadido para formar la pestaña entre la envolvente y el techo.

3.8.-FACTOR DE EFICIENCIA EN JUNTAS SOLDADAS

El factor de eficiencia de soldadura E tendrá por valor:

E= 1,00 radiografiado al 100%

E=0,85 Radiografiado Spot

E= 0,70 No radiografiado

Los Valores en Capítulos 18 y 19

Realmente no se recogen en API 650 para ac. carbono, aunque sí para inoxidable. Son coeficientes universales.

4-FONDOS

4.1.- ESPESOR DELA CHAPA DEL FONDO

Las chapas del fondo tendrán un espesor mínimo de 6 mm sin incluir el margen de corrosión el cual será especificado.

4.1.1.-Las chapas del fondo tendrán al menos el ancho de 25 mm que sobresalga del borde exterior de la soldadura que une el fondo a la chapa de la envolvente.

4.1.2.- Las chapas del fondo se soldarán de acuerdo a 3.4.3 y 3.4.4..

4.2.-CHAPA ANULAR DEL FONDO

4.2.1-Cuando la virola de la envolvente en el fondo es diseñada usando la tensión admisible para los materiales que pertenecen a los Grupos IV, IVA, V y VI, será necesaria una chapa anular del fondo soldada a tope (ver 3.4.6). Cuando la virola de la envolvente en el fondo es de un material de los Grupos IV, IVA V o VI y la máxima tensión producida en esa primera virola (la inferior de la envolvente) es menor o igual que 1632 Kg /cm^2 (160 MPa) o la máxima tensión producida en la prueba hidrostática en esa primera virola es de 1754 kg/cm^2 (172 MPa), podrán ser usadas las chapas del fondo soldadas a solape (ver 3.4.3) , en lugar de la chapa anular del fondo soldada a tope. (DATOS SACADOS DE API-650).

4.2.2-Las chapas anulares del fondo deberán tener una anchura en dirección radial de al menos 600 mm entre el interior de la envolvente y cualquier junta soldada a solape en el resto del fondo y tener una proyección de 50 mm hacia el exterior de la envolvente. Cuando es requerida una anchura radial mayor de la chapa anular esta es calculada con la formula siguiente:

SISTEMA INTERNACIONAL S.I
$a = \frac{215\, t_b}{(H\,G)^{0,5}}$

a = ancho en **mm**
t_b = espesor de la chapa anular en **mm**
H = máxima altura del nivel del liquido en **m**
G = peso especifico del líquido = 1 para agua; G<1 para líquidos menos densos; G > 1 para líquidos más densos (

4.2.3-El espesor de la chapa anular nunca será menor que los listados en la Tabla 4-1 y hay que sumarle a estos espesores el de la corrosión admisible.

Hernán Cortés, 13. 28004 Madrid. Tel: 91 524 18 02 - Fax 91 524 09 33.

Tabla 4-1 Espesores de la Chapa Anular del Fondo

Espesor Nominal de la 1ª Virola (Fondo) mm	Tensión en Prueba Hidrostática en la 1ª Virola de la Envolvente(Fondo) Espesor de la chapa anular del fondo mm			
	≤ 1899 Kg/cm^2 ≤ 190 MPa	≤ 2110 Kg/cm^2 ≤ 210 MPa	≤ 2346 Kg/cm^2 ≤ 230 MPa	≤ 2.550 Kg/cm^2 ≤ 250 MPa
t < 19 (3/4")	6	6	7	9
19 ≤ t < 25 (1")	6	7	10	11
25 ≤ t < 32	6	9	12	14
32≤ t < 38	8	11	14	17
38 ≤ t < 45	9	13	16	19

Nota: La Tensión Hidrostática es calculada por la formula: $S_H = [50\ D\ (H-0,3048) / t]$

D=Diámetro del tanque en m
H =Altura del tanque en m
t = Espesor de la virola en mm (reducido espesor de corrosión, ya que la prueba se hace al principio de su vida, cuando aún no se ha corroido en absoluto).

5- TENSIÓNES ADMISIBLES

5.1.-TENSIÓN ADMISIBLE EN ENVOLVENTE, FONDO Y TECHO

5.1.1 La máxima tensión admisible producida en el diseño, S_d, será la que aparece en la Tabla 5-1 para materiales ASTM

El espesor neto- (espesor nominal menos la corrosión) será el utilizado en él calculo.

La tensión de diseño S_d será el menor de los 2/3 del Limite Elástico (yiedl strenght) o de los 2/5 del Limite de Rotura (tensile strength) para materiales no contemplados en la especificación ASTM. (El menor de ellos dos).

5.1.2 La máxima tensión admisible de la prueba hidrostática, S_t,aparece en la Tabla 5-1.

El espesor total, incluyendo la corrosión admisible será usado en el cálculo de la prueba hidrostática:

La Tensión de prueba hidrostática debe de ser el menor de los 3/4 del Limite Elástico (yield strentgh) o de los 3/7 del Limite de Rotura (tensile strength) para materiales no contemplados en la especificación ASTM.

5 TABLA DE TENSIONES ADMISIBLES PARA MATERIALES DE ACERO AL CARBONO
PARA CHAPAS EN LA ENVOLVENTE, FONDO Y TECHO

Tabla 5-1:_Materiales ASTM con sus Tensiones Admisibles S_d en Diseño y S_t en Prueba Hidrostática

MATERIAL DE CHAPA	Grado	Mínimo Limite Elástico E kg/ cm^2-(MPa)	Mínima Resistencia A la Tracción R kg/ cm^2-(MPa)	Tensión Diseño S_d kg/ cm^2-(MPa)	Tensión Prueba S_t kg/ cm^2-(MPa)
A-283M A-283	C	2050-(205)	3800-(380)	1370-(137)	1540-(154)
A-285 M A-285	C	2050.(205)	3800-(380)	1370-(137)	1540-(154)
A-131 M A-131	A, B,CS	2350-(235)	4000-(400)	1570-(157)	1710-(171)
A-36 M A-36	-	2500-(250)	4000-(400)	1600-(160)	1710-(171)
A-131 M A-131	EH 36	3600-(360)	4900-(490)	1960-(196)	2100-(210)
A-537 M A-537	400 58	2200-(220)	4000-(400)	1470-(147)	1650-(165)
A-573 M A-537	450 65	2461-(240)	4500--(450)	1600-(160)	1800-(180)
A-573 M A-573	485 70	2900(290)	4850-(485)	1930-(193)	2080-(208)
A-516 M A-516	380 55	2050-(205)	3800-(380)	1370-(137)	1540-(154)
A-516 M A-516	415 60	2200-(220)	4150-(415)	1400-(147)	1650-(165)
A-516 M A-516	450 65	2400-(240)	4500-(450)	1600-(-160)	1800-(180)
A-516 M A-516	485 70	2600-(260)	4850-(485)	1730-(173)	1950(195)
A-662 M A-662	B B	2750-(275)	4500-(450)	1800-(180)	1930-(193)
A-662 M A-662	C C	2950-(295)	4850-(485)	1940-(194)	2080-(208)
A-537 M A-537	1 1	3450-(345)	4850-(485)	1940-(194)	2080-(208)
A-537 M A-537	2 2	4150-(415)	5500-(550)	2200-(220)	2360-(236)
A-633 M A-633	C, D C, D	3450-(345)	4850-(485)	1940-(194)	2080-(208)
A-678 M A-678	A A	3450-(345)	4850-(485)	1940-(194)	2080-(208)
A-678 M A-678	B B	4150-(415)	5500-(550)	2200-(220)	2360-(236)
A-737 M A-737	B B	3450-(345)	8509(485)	1940(194)	2080-(208)
A-841 M A-841	Clase 1 Clase 1	3450-(345)	4850-(485)	1940-(194)	2080-(208)

Tabla 5-1:_Materiales CSA con sus Tensiones Admisibles S_d en Diseño y S_t en Prueba Hidrostática

MATERIAL DE CHAPA	Grado	Mínimo Limite Elástico E kg/ cm²-(MPa)	Mínima Resistencia A la Tracción R kg/ cm²-(MPa)	Tensión Diseño S_d kg/ cm²-(MPa)	Tensión Prueba S_t kg/ cm²-(MPa)
G40.21M	260W	2600-(260)	4100-(410)	1640-(164)	1760-(176)
G40.21M	300W	3000-(300)	4500-(450)	1800-(180)	1930-(193)
G40.21M	350WT	3500-(350)	4800-(480)	1920-(192)	2060-(206)
G40.21M	-350W	3500-(350)	4500-(450)	1800-(180)	1930-(193)

Tabla 5-1:_Materiales Standard Nacionales con sus Tensiones Admisibles S_d en Diseño y S_t en Prueba Hidrostática

MATERIAL DE CHAPA	Grado	Mínimo Limite Elástico E kg/ cm²-(MPa)	Mínima Resistencia A la Tracción R kg/ cm²-(MPa)	Tensión Diseño S_d kg/ cm²-(MPa)	Tensión Prueba S_t kg/ cm²-(MPa)
	235	2350-(235)	3650-(365)	1370-(137)	1540-(154)
	250	2500-(250)	4000-(400)	1570-(157)	1710-(171)
	275	2750-(275)	4300-(430)	1670-(167)	1740-(174)

Tabla 5-1:_Materiales ISO 630 con sus Tensiones Admisibles S_d en Diseño y S_t en Prueba Hidrostática

MATERIAL DE CHAPA	Grado	Mínimo Limite Elástico E kg/ cm²-(MPa)	Mínima Resistencia A la Tracción R kg/ cm²-(MPa)	Tensión Diseño S_d kg/ cm²-(MPa)	Tensión Prueba S_t kg/ cm²-(MPa)
E 275	C,D	2650-(265)	4100-(410)	1640-(164)	1750-(175)
E 355	C,D	3450-(345)	4900-(490)	1960-(196)	2100-(210)

6.-ENVOLVENTE

6.1 GENERAL

6.1.1 El espesor requerido será el mayor de, el espesor de diseño de la envolvente, más la corrosión admisible, o el espesor de la prueba hidrostática pero nunca será menor que los siguientes:

Diámetro Nominal del Tanque m	Espesor Nominal de la Chapa mm
D < 15	5
15 ≤ D < 36	6
36 ≤ D < 60	8
60 ≤ D	10

Jamás, menos de estos valores. Aunque saliese por cálculo.

6.1.2.- El diámetro nominal del tanque será el diámetro del fondo entre los ejes verticales en el primer cursor (virola) de la envolvente.

6.1.3.-Los espesores de las chapas de la envolvente son los referidos para la construcción. El espesor especificado está basado en los requerimientos de montaje.

6.1.4 El espesor de la envolvente será calculado con el tanque lleno hasta un nivel H de liquido, que tiene un peso especifico previamente especificado..

6.1.5 El espesor para la prueba hidrostática debe de ser calculado con el tanque lleno con agua hasta el nivel H, en el caso de la densidad del liquido sea < 1,00.Para líquidos con densidad >1,00 la prueba se realizara con el tanque lleno de agua, estando esta a una presión hidrostática equivalente a 1,25 veces la presión hidrostática que producirá el liquido en el fondo del tanque.

6.1.6 La tensión calculada para cada (virola) de la envolvente no será mayor que la tensión permitida para el tipo de material usado en la virola. Una virola no será más delgada que la virola superior

6.1.7.- El espesor neto de las virolas de la envolvente (espesor nominal menos corrosión) es el que se usara en todos los cálculos

6.2.- CALCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE

6.2.1.- El calculo del espesor requiere que el punto en que se realiza esta 0,3048 m (1 pie) por encima del fondo de cada virola.. Este método no debe usarse para tanques de diámetro mayor de 60 metros.

6.2.2.-El mínimo espesor requerido en las chapas de la envolvente será el mayor que resulte en el cálculo.

EN OPERACIÓN

UNIDADES MÉTRICAS **Espesor** **mm**	**SISTEMA INTERNACIONAL** **Espesor** **mm**
$t_d = \frac{50\,D\,(H-0.348)\,G}{S_d E} +$ **C.A.**	$t_d = \frac{4{,}9\,D\,(H-0.3)\,G}{S_d E}$ **+ C.A.**

EN PRUEBA HIDROSTATICA → No hay factor de eficiencia de soldadura porq de = 9 fuegue en P.H.

UNIDADES MÉTRICAS Espesor mm	SISTEMA INTERNACIONAL Espesor mm
$t_d = \frac{50\,D\,(H-0.348)}{S_d}$	$t_d = \frac{4{,}9\,D\,(H-0.3)}{S_d}$

t_d = Espesor de la envolvente requerido en (mm)

t_t = Espesor de la envolvente en prueba hidrostática (el real) en (mm)

D = Diámetro nominal del tanque en (m)

H = Nivel del liquido en metros. Altura desde el fondo de la virola considerada, a la cabeza de la envolvente, incluido el ángulo de coronación si lo hay; o al nivel superior de cualquier exceso de liquido por encima de la altura de llenado del tanque; o de cualquier otro nivel especificado por el comprador, restringido por el techo flotante, o el contenido permitido por la acción de la energía sísmica. en (m)

G = Peso especifico del liquido almacenado (solo el valor) =1 para agua; G < 1 para líquidos menos densos; G > 1 para líquidos más denso

CA = Corrosión admisible en (mm)

S_d = Tensión admisible en las condiciones de diseño en (kg/cm^2) (MPa) (dado en Tabla 5-1 para material ASTM

S_t = Tensión admisible en condiciones de prueba hidrostática en (kg/cm^2) (MPa) (dado en Tabla 5-1 para material ASTM

E = Factor de Eficiencia de soldadura en las juntas
E = 1,00 Radiografiado Total
E =0,85 radiografiado Spot
E = 0,70 No radiografiado

6.3.-EJEMPLO DEL CALCULO DE LA ENVOLVENTE (1)

1.-CARACTERISTICAS DEL TANQUE

D= Diámetro del tanque = 20 metros

Q= Capacidad = 4712 m^3

C.A= Corrosión admisible =1,5 mm

E = Factor de soldadura = 1,00

P_d= Presión de Diseño = Atmosférica

T_d= Temperatura de Diseño 50ºC

Nº de Virolas = 8

H= Altura total = 15 m

G= densidad del liquido = 1,8

2 MATERIAL EMPLEADO

Acero al Carbono SA-283 Gr.C

Carga de Rotura S_t= (MTS = 3867 Kg/cm^2

Limite Elástico S_y= (MYS) = 2109 Kg/cm^2

2.1.-TENSION ADMISIBLE

Tabla 5-1 la Tensión Admisible S_d

S_d =1406 Kg/cm^2

TOMAMOS PARA TENSION DE CALCULO: S_d= 1406 Kg/cm^2

2.2.-TENSION EN PRUEBA HIDROSTATICA

En Tabla 5-1 La Tensión en la prueba Hidrostática

S_t =1582 Kg/cm^2

TOMAMOS PARA TENSION EN PRUEBA HIDROSTATICA: S_h= 1582 Kg/cm^2

3.- CALCULO DE LOS ESPESORES DE LA ENVOLVENTE

En Operación t_v = 50D(H-0,3048) G/S_dE+C.A

En Prueba t_t = 50D(H-0,3048) $/S_t$

Dimensiones

D = Diámetro del tanque en m = 20 m

H = Altura desde el fondo de la virola considerada hasta el techo del tanque en m = 15 m

G= Peso especifico del liquido = 1,8

E =1,00

S_d = Tensión Admisibles del material = 1406 Kg/cm^2

S_h = Tensión en prueba Hidrostática = 1582 "

t_v = Espesor requerido en operación de la virola considerada en mm.

t_h= Espesor de virola en prueba Hidrostática en mm.

El espesor de la pared se tomara el mayor de los que resulte en cada caso pero "nunca menor de 5 mm "

Según esto el espesor mínimo de las virolas en la pared será por 6.1.1 para tanques mayores de 15 m < D < 36 m

t_{min} = 6 mm

3.1 CALCULO DEL ESPESOR DE LAS VIROLAS EN OPERACIÓN

La formula para el calculo del espesor de las virolas es en este caso:

Para D = 20 m ; t_v = =[50 x 20(H-0,3048)x 1,8] / [1406 x 1,00] =1,28 x (H-0,3048)

VIROLAS	Altura H en m	Altura en m de	Espesor t_v en mm sin C.A	Espesor t_v en mm con C.A	Espesor en mm	Espesor en mm
V-1 (fondo)	15,00	14,695	18,81	20,31	6	22
V-2	14,00	13,695	17,53	19,03	6	20
V-3	12,00	11,695	14,97	16,47	6	18
V-4	10,00	9,695	12,41	13,91	6	14
V-5	8,00	7,695	9,85	11,35	6	12
V-6	6,00	5,695	7,29	8,79	6	10
V-7	4,00	3,695	4,73	6,23	6	8
V-8 (cabeza)	2,00	1,695	2,17	3,67	6	6

La Virola del fondo tiene una 1m de altura. El resto 2m.

4.- COMPROBACION DE LA TENSION EN LAS VIROLAS DE LA ENVOLVENTE BAJO PRUEBA HIDROSTATICA

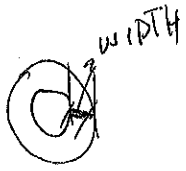
$S_t = 50\ D\ (H-0{,}3048)] / t_t = [50 \times 20 \times (H-0{,}3048)] / t_t = 1000 \times (H-0{,}3048) / t_t$

VIROLAS	Altura H de Virola m	Altura H-0,3048 m	Espesor real en Prueba mm	Valor Calculado de S_t kg/cm^2	Valor Real de S_t Kg/cm^2
V-1	15,00	14,695	22	667,95	1582
V-2	14,00	13,695	20	684,75	1582
V-3	12,00	11,695	18	649,72	1582
V-4	10,00	9,695	14	629,50	1582
V-5	8,00	7,695	12	641,25	1582
V-6	6,00	5,695	10	569,50	1582
V-7	4,00	3,695	8	461.87	1582
V-8	2,00	1,695	6	283	1582

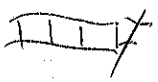
" LOS ESPESORES ADOPTADOS SON VALIDOS PARA TODAS LAS VIROLAS "

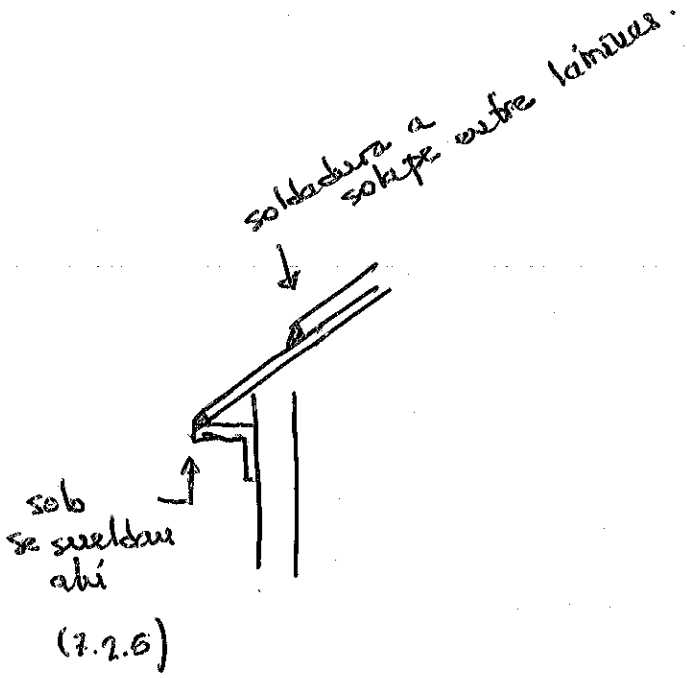


30X50X6



30X5





7-TECHOS

API no regula techos flotantes pero no hay código q los regule.

7.1 DEFINICIONES → Solo del resto (soportados y autosoportados).

Las siguientes definiciones se aplican al diseño del tipo de techo

a).- *Techo cónico soportado* Es un techo formando aproximadamente la superficie de un cono recto que esta soportado por viguetas o vigas y columnas o por vigas y armaduras con o sin columnas (soportado). Planchas dispuestas sobre un entramado de nervios. Se calculan para q salgan planchas de 5 mm.

b).-*Techo cónico auto-soportado* Es un techo formando aproximadamente la superficie de un cono recto que esta soportado solo en la periferia (autosoportado).

c).- *Techo domo soportado* Es un techo formando aproximadamente una superficie esférica que esta soportado por viguetas o vigas y columnas o por vigas y armaduras con o sin columnas

d).- *Techo domo auto-soportado* Es un techo formando aproximadamente una superficie esférica que esta soportado solo en la periferia.

e).- *Techo umbrela auto-soportado* Es una modificación del techo domo, tal que la sección horizontal es un polígono regular con tantos lados como chapas del techo y que esta soportado solo en la periferia.

Las chapas del techo deben dimensionarse siempre. Para las cargas q se
7.2.- GENERAL tengan. Con mínimo nominal de 5 mm + corrosión.

7.2.1.- Todos los techos y estructuras de soporte de los mismos deberán estar diseñados para soportar las cargas muertas mas las cargas vivas uniformes no menores de (120 kg/m^2) (1,20 KPa) (Viento +Nieve) en la proyección horizontal

7.2.2.- Las chapas del techo deben de tener un mínimo nominal de 5 mm.
A este espesor debe de añadirse el sobre espesor por corrosión después de que el espesor necesario haya sido calculado.

7.2.3.- Las chapas de los techos cónicos soportados no deben de unirse a los miembros estructurales que las soportan, a no ser que sea especificado. (Solo entre sí, a solape. Pero unida a los nervios (correas q las mantienen).

7.2.4. -Todos los miembros estructurales internos y externos deberán tener un mínimo espesor nominal de 4,3 mm en cualquiera de sus componentes. (correas de tubo, de espesor mínimo 4,3 mm).

7.2.5. - Las chapas del techo serán unidas al ángulo de coronación del tanque con un filete continuo de soldadura pero solo en la parte superior del ala del ángulo que se une a la envolvente (ver Figura 7-1)

7.2.6.- Para todos los tipos de techos, las chapas pueden ser rigidizadas por la sección soldada a las chapas, pero no será rigidizada por la sección de la soldadura a las vigas o las correas (cables).

7.2.7.- Cuando se especifican cargas laterales que actúan sobre las columnas soportes del techo, las columnas deben de proporcionar y cumplir con los requerimientos para soportar la combinación de carga axial de compresión y de flexión que se da en 7.3

7.2.8.- Un techo es considerado frágil *(frangible) si la junta entre techo-envolvente puede fallar antes que la junta entre la envolvente-fondo por una eventual excesiva presión interna*.

Cuando el comprador especifica un tanque con techo frágil (frangible), el diseño del tanque debe de cumplir con todo: (TODOS OBLIGATORIAMENTE)

a).- El tanque debe de tener un diámetro de (15,25 m) o mayor.

b).- El solape del techo en la unión con el ángulo de cabeza no debe de exceder de 2/12 = 0,1666

c).- El techo se une al ángulo de cabeza con un simple filete continuo de soldadura cuyo espesor no debe de exceder de (5 mm)

d).- Los detalles del aro de compresión de la unión entre la envolvente y el techo se muestran en los detalles a - d de la Figura 7-1

7.2.- GENERAL

7.2.6.- (continuación)

e).- El ángulo de cabeza puede ser menor que el requrido por 3.7.e

f).- Todos los miembros en la región de la unión techo-envolvente, incluidos los aros de aislamiento, contribuyen al área (A) de la sección transversal

g) .- El área (A) de la sección transversal en la junta de unión techo-envolvente es menor que el valor límite dado por:

UNIDADES SISTEMA INTERNACIONAL Area A = mm^2	UNIDADES SISTEMA TECNICO Area A = mm^2
$A = \frac{W}{1390 \tan\theta}$	$A = \frac{0{,}000734\, W}{\tan\theta}$

A = área necesaria en mm^2

W = Peso Total de la envolvente y de cualquier forma estructural soportada por la envolvente y el techo (sin contar el peso de las chapas del techo) en (N) Kg

tang θ = Tangente del ángulo entre el techo y el plano horizontal, en la unión techo-envolvente.

7.3.- ESPESOR DE COLUMNAS Y MIEMBROS ESTRUCTURALES PARA TECHOS

El mínimo espesor de los miembros estructurales, incluida la corrosión no será menor de 6 mm para las columnas, riostras y vigas de arriostramiento que resistan esfuerzos de compresión axial, mientras que para cualquier otro miembro estructural el espesor será como mínimo 4 mm.