

ESTÁNDAR API 650 -2016

DISEÑO DE TANQUES SOLDADOS ATMOSFÉRICOS

EQUIPOS E INSTALACIONES INDUSTRIALES

FACULTAD DE INGENIERÍA - UNCUIYO

CHAPAS o Planchas

4.2.1.1 Salvo lo dispuesto en 4.1, las planchas deberán cumplir con una de las especificaciones listadas en 4.2.2 a 4.2.6, sujetas a las modificaciones y limitaciones de esta norma.

4.2.1.2 Las planchas para cascos, techos y fondos pueden ordenarse por espesor en el borde o por peso (kg/m^2 [lb/pie^2]), como se especifica en 4.2.1.2.1, 4.2.1.2.2 y 4.2.1.2.3.

4.2.1.2.1 El espesor del borde ordenado no debe ser menor que el espesor de diseño calculado o el espesor mínimo permitido.

4.2.1.2.2 El peso ordenado debe ser suficiente para proporcionar un espesor de borde no menor que el espesor de diseño calculado o el espesor mínimo permitido.

4.2.1.2.3 Ya sea que se utilice un criterio de espesor o de peso, se acepta una deficiencia no mayor a 0.3 mm (0.01 in.) respecto del espesor de diseño calculado o del espesor mínimo permitido.

4.2.1.3 Todas las planchas deben fabricarse mediante procesos de hogar abierto, horno eléctrico o proceso de oxígeno básico. Se pueden usar aceros producidos mediante procesos de control termomecánico (TMCP), siempre que la combinación de composición química y controles integrados de fabricación del acero sea mutuamente aceptada por el comprador y el fabricante, y siempre que se logren las propiedades mecánicas especificadas en los espesores requeridos. Se debe usar acero con contenido de cobre si así lo especifica el comprador.

4.2.1.4 Las planchas para cascos están limitadas a un espesor máximo de 45 mm (1.75 in.), a menos que se indique un espesor menor en esta norma o en la especificación de la plancha. Las planchas utilizadas como insertos o bridas reforzadas pueden tener un espesor mayor a 45 mm (1.75 in.). Las planchas, según se designa en 4.2.10.1 y con espesor mayor a 40 mm (1.5 in.), deben ser normalizadas o templadas, refinadas al grano y ensayadas al impacto.

4.2.1.5 Los componentes de planchas no listados en 4.2.10.1 (es decir, componentes de compresión de límites no presurizados) deben estar limitados al espesor máximo que se designe según normas ASTM, CSA, ISO, EN u otra norma nacional reconocida.

Especificaciones ASTM

Especificación	Grado	Espesor máximo
ASTM A36M/A36	-	40 mm (1.5 in.)
ASTM A131M/A131	A	13 mm (0.5 in.)
ASTM A131M/A131	B	25 mm (1 in.)
ASTM A131M/A131	EH36	45 mm (1.75 in.) (planchas insertas y bridas reforzadas hasta un espesor máximo de 50 mm [2 in.]).
ASTM A283M/A283	C	25 mm (1 in.)
ASTM A285M/A285	C	25 mm (1 in.)
ASTM A516M/A516	380, 415, 450, 485 / 55, 60, 65, 70	40 mm (1.5 in.) (planchas insertas o bridas reforzadas hasta un espesor máximo de 100 mm [4 in.]).
ASTM A537M/A537	Clase 1 y 2	45 mm (1.75 in.) (planchas insertas o bridas reforzadas hasta un espesor máximo de 100 mm [4 in.]).
ASTM A573M/A573	400, 450, 485 / 58, 65, 70	40 mm (1.5 in.)
ASTM A633M/A633	C y D	45 mm (1.75 in.) (planchas insertas o bridas reforzadas hasta un espesor máximo de 100 mm [4 in.]).
ASTM A662M/A662	B y C	40 mm (1.5 in.)
ASTM A678M/A678	A	40 mm (1.5 in.) (planchas insertas hasta un espesor máximo de 65 mm [2.5 in.])
ASTM A678M/A678	B	45 mm (1.75 in.) (planchas insertas o bridas reforzadas hasta un espesor máximo de 65 mm). No permite adiciones de boro.
ASTM A737M/A737	B	40 mm (1.5 in.)
ASTM A841M/A841	A, Clase 1 y B, Clase 2	40 mm (1.5 in.) (planchas insertas reforzadas hasta un espesor máximo de 65 mm [2.5 in.]).

Especificación CSA

La especificación CSA G40.21, Grados 260W/(38W), 300W/(44W), y 350W/(50W) son aceptables para planchas dentro de las limitaciones indicadas a continuación. Si se requieren pruebas de impacto, se requieren los grados WT.

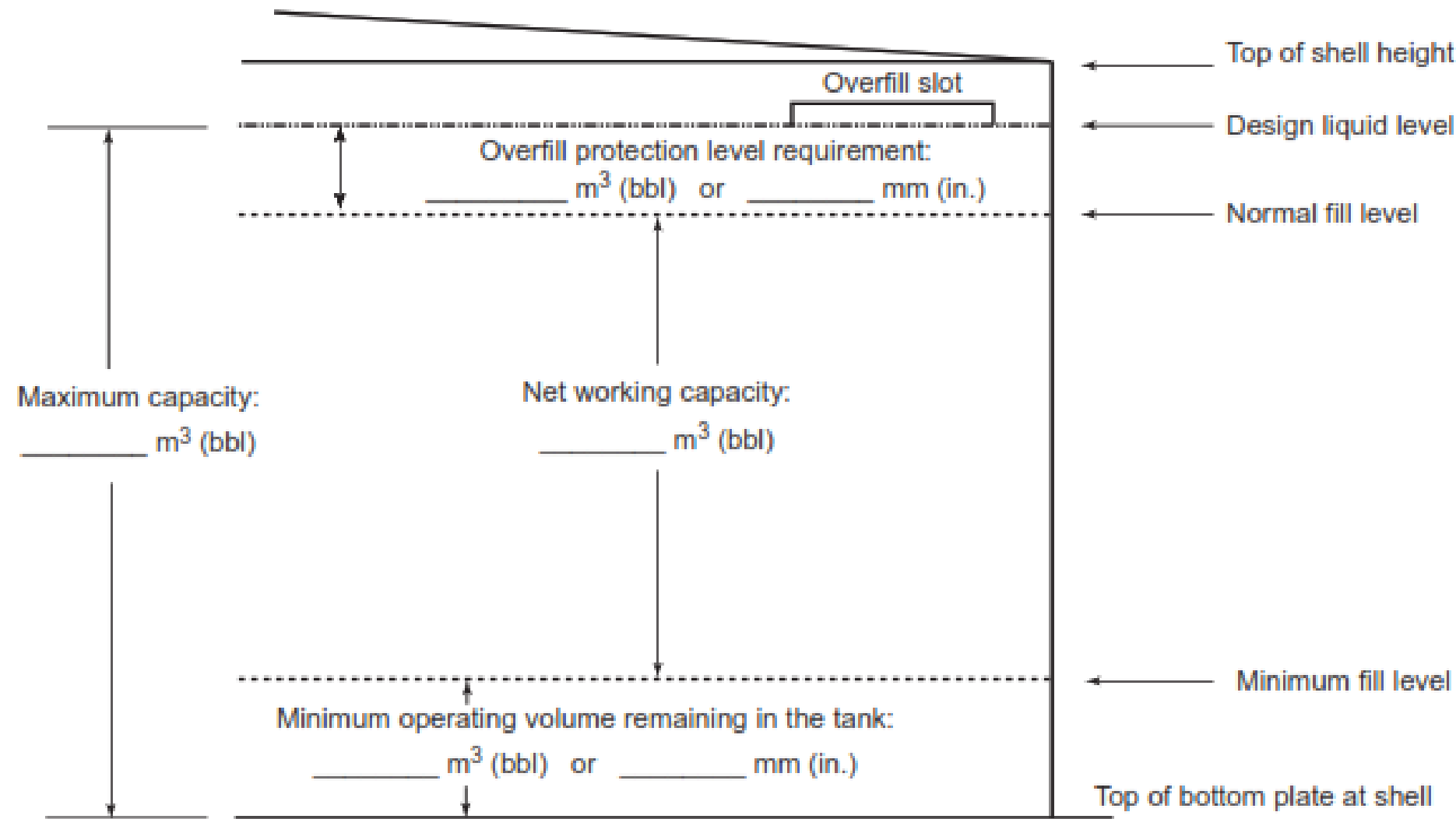
- a)** Los Grados 260W/(38W) y 300W/(44W) son aceptables para planchas con un espesor máximo de 25 mm (1 in.) si están semi calmadas, y hasta 40 mm (1.5 in.) si están totalmente calmadas y refinadas al grano.
- b)** El Grado 350W/(50W) es aceptable para planchas con un espesor máximo de 45 mm (1.75 in.) (planchas insertas reforzadas hasta un espesor máximo de 100 mm [4 in.]) si está totalmente calmado y refinado al grano.

Especificaciones ISO

Las planchas provistas bajo la norma ISO 630 en los grados E275 y E355 son aceptables dentro de las siguientes limitaciones:

- a)** El Grado E275 en calidades C y D para planchas con un espesor máximo de 40 mm (1.5 in.);
- b)** El Grado E355 en calidades C y D para planchas con un espesor máximo de 45 mm (1.75 in.) (planchas insertas reforzadas hasta un espesor máximo de 50 mm [2 in.]).

HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPO



Consideraciones de diseño

Cargas

- a) Carga Muerta (DL):** El peso del tanque o del componente del tanque, incluyendo cualquier sobre espesor por corrosión, salvo que se indique lo contrario.
- b) Presión Externa de Diseño (P_e):** No debe ser menor a 0.25 kPa (1 in. de agua), excepto que la Presión Externa de Diseño (P_e) se puede considerar como 0 kPa (0 in. de agua) para tanques con respiraderos de circulación que cumplan los requisitos del **Anexo H**. Consultar el **Anexo V** para el diseño con presión externa mayor a 0.25 kPa (1 in. de agua). Los requisitos para presiones externas de diseño que excedan este valor, así como los requisitos para resistir la flotación y la presión de fluidos externos, deberán ser acordados entre el Comprador y el Fabricante (ver Anexo V). Los tanques que cumplan con los requisitos de esta norma pueden estar sujetos a un vacío parcial de 0.25 kPa (1 in. de agua), sin necesidad de proporcionar cálculos adicionales de soporte.
- c) Presión Interna de Diseño (P_i):** No debe exceder los 18 kPa (2.5 lbf/in²).
- d) Prueba Hidrostática (Hf):** La carga debida al llenado del tanque con agua hasta el nivel de diseño del líquido.

Cargas

e) Cargas del Techo Flotante Interno:

1. **Carga muerta del techo flotante interno (D_f):** Incluye el peso de los compartimientos de flotación, sello y todos los demás componentes adheridos al techo flotante.
2. **Carga viva uniforme sobre el techo flotante interno (L_f1):** 0.6 kPa [12.5 lbf/ft²] si no se proporcionan drenajes automáticos, (0.24 kPa [5 lbf/ft²]) si se proporcionan drenajes automáticos.
3. **Carga puntual sobre el techo flotante interno (L_f2):** Al menos dos hombres caminando por cualquier parte del techo. Se aplica una carga puntual de 2.2 kN [500 lbf] sobre 0.1 m² [1 ft²] para representar a dos personas caminando sobre el techo.
4. **Presión de diseño externa del techo flotante interno (P_{f_e}):** de 0.24 kPa [5 lbf/ft²] como mínimo.

Cargas

f) Carga mínima viva sobre el techo (L_r): 1.0 kPa (20 lb/ft²) sobre el área proyectada horizontal del techo. La carga viva mínima también puede determinarse conforme al ASCE 7, pero no debe ser inferior a 0.72 kPa (15 psf). Esta carga debe informarse al Comprador.

g) Sísmica (E): Las cargas sísmicas deben determinarse conforme a E.1 hasta E.6 (ver Hoja de Datos, Línea 8).

h) Nieve (S): La carga de nieve en el suelo debe determinarse conforme al ASCE 7, Figura 7-1 o Tabla 7-1, a menos que el Comprador especifique una carga basada en una probabilidad anual del 2% de ser excedida (intervalo medio de recurrencia de 50 años) o una norma nacional (como el *National Building Code of Canada*).

1. La carga de nieve equilibrada de diseño (S_b) será el 84% de la carga de nieve en el suelo. Alternativamente, puede determinarse conforme al ASCE 7. La carga equilibrada debe informarse al Comprador.
2. La carga de nieve no equilibrada de diseño (S_u) para techos cónicos con pendiente de 10° o menor será igual a la equilibrada. Para todos los demás techos, será 1.5 veces la equilibrada y debe aplicarse sobre un sector de 135° sin nieve, con los 225° restantes con carga normal. Alternativamente, puede determinarse conforme al ASCE 7.
3. Ambas cargas de nieve, equilibrada y no equilibrada, deben informarse al Comprador.

i) Líquido Almacenado (F): Carga debida al llenado del tanque con el líquido de diseño hasta el nivel especificado por el Comprador (ver 5.6.3.2).

Cargas

j) Presión de Prueba (P_t): Según lo requerido por F.4.4 o F.8.3.

k) Viento (W): La velocidad del viento de diseño (V) debe ser alguna de las siguientes:

- La velocidad de ráfaga de 3 segundos según el ASCE 7-05 multiplicada por \sqrt{I} , Figura 6-1; o
- La velocidad de ráfaga de 3 segundos según el ASCE 7-10 para la categoría de riesgo especificada por el Comprador (Figuras 26.5-1A, 1B o 1C) multiplicada por 0.78; o
- Una velocidad especificada por el Comprador basada en una probabilidad anual del 2% (recurrencia de 50 años).

La velocidad de ráfaga usada debe informarse al Comprador.

Cargas

1. Presión de viento de diseño (PWS y PWR) usando la velocidad del viento (V):

- Para el cascarón del tanque:
 $PWS = 0.86 \text{ kPa} \times (V^2/190^2)$,
- $[18 \text{ lbf/ft}^2 \times (V^2/120^2)]$ sobre superficies cilíndricas proyectadas verticalmente.
- Para presión de succión en el techo:
 $PWR = 1.44 \text{ kPa} \times (V^2/190^2)$,
 $[30 \text{ lbf/ft}^2 \times (V^2/120^2)]$ sobre áreas horizontales proyectadas de superficies planas o levemente curvas.
Estas presiones están en conformidad con ASCE 7-05 para exposición al viento Categoría C.

Alternativamente, pueden determinarse de acuerdo a:

- a) ASCE 7-05 (categoría de exposición y factor de importancia provisto por el Comprador); o
- b) ASCE 7-10 (categoría de exposición y riesgo provisto por el Comprador) con velocidades multiplicadas por 0.78 o ASCE 7-10 multiplicado por 0.6; o
- c) Una norma nacional específica para el tanque en cuestión.

Cargas

2. La presión de succión de diseño sobre el techo (viento más presión interna) no debe exceder 1.6 veces la presión de diseño externa P determinada en F.4.1.

(Continuación del punto k) Viento (Wind):

3. Las cargas horizontales de viento a barlovento y sotavento sobre el techo se consideran conservadoramente iguales y opuestas, por lo tanto, **no están incluidas** en las presiones anteriores.
4. Una velocidad de viento de una milla más rápida por segundo de 1.2 es aproximadamente igual a la velocidad de ráfaga de 3 segundos (V).

NOTA: Las velocidades de viento del ASCE 7-10 ya incluyen factores de carga LRFD y categorías de riesgo (factores de importancia), mientras que el API 650 utiliza niveles de esfuerzo admisible. El factor 0.78 aplicado al viento del ASCE 7-10 convierte las presiones a niveles de esfuerzo admisible.

Cargas

l) Cargas Externas (External Loads):

1. El Comprador deberá indicar la magnitud y dirección de las cargas externas o restricciones, si las hubiera, para las cuales deben diseñarse las conexiones del cascarón o del techo. El diseño de dichas cargas debe acordarse entre el Comprador y el Fabricante.
2. Salvo que se especifique lo contrario, el diseño sísmico debe hacerse según el Anexo E.
3. El diseño por fuerzas de viento localizadas sobre componentes del techo debe acordarse entre el Comprador y el Fabricante.
4. Deben considerarse cargas localizadas debidas a ítems como escaleras, plataformas, pasarelas, etc.
5. El Comprador debe indicar la magnitud y dirección de cualquier otra carga distinta a la del acceso normal del personal, para la cual deben diseñarse las tapas de acceso y otras aberturas del techo. También debe acordarse entre el Comprador y el Fabricante.

Combinaciones de Cargas

Las reglas de diseño en esta Norma utilizan estas combinaciones de cargas, incluyendo la ausencia de cualquier carga distinta de DL (dead load) en las combinaciones:

a) **Presión de fluido e interna:** $DL+F+P_i$

b) **Prueba hidrostática:** $DL+H_t+P_t$

c) Viento y presión interna: $DL+W+F_{pi}P_i$

d) Viento y presión externa: $DL+W+F_{pe}P_e$

e) Cargas gravitatorias:

1. $DL+(L_r \text{ o } S_r \text{ o } S_b)+F_{pe}P_e$

2. $DL+P_e+0.4(L_r \text{ o } S_r \text{ o } S_b)$

f) Sismo: $DL+F+E+0.15s+F_{pi}P_i$

g) Cargas gravitatorias para techos fijos con techos flotantes suspendidos:

1. $DL+D_r+(L_r \text{ o } S)+P_e+0.4(P_{ge} \text{ o } L_{f1} \text{ o } L_{f2})$

2. $DL+D_r+(P_{ge} \text{ o } L_{f1} \text{ o } L_{f2})+0.4(L_r \text{ o } S)+F_{pe}P_e$

Combinaciones de Cargas

Factores de Combinación y Medidas de Protección

Factores de Combinación

Definen la relación entre presiones de operación y diseño

- El **factor de combinación de presión interna** (F_{pi}) se define como la razón entre la presión interna de operación normal y la presión interna de diseño, con un valor mínimo de 0.4.
- El **factor de combinación de presión externa** (F_{pe}) se define como la razón entre la presión externa de operación normal y la presión externa de diseño, con un valor mínimo de 0.4.

Medidas de Protección

El Comprador deberá considerar fundaciones, tolerancias por corrosión, pruebas de dureza y cualquier otra medida de protección que se considere necesaria.

Por ejemplo, para tanques aislados, deberán especificarse medios para prevenir la infiltración de agua en el aislamiento, especialmente alrededor de penetraciones del aislamiento y en la unión entre el techo y la pared del tanque.

Capacidad del Tanque

5.2.5.1 El Comprador deberá especificar la capacidad máxima y el nivel (o volumen) de protección contra sobrellenado requerido (ver API 2350).

5.2.5.2 La capacidad máxima es el volumen de producto en un tanque cuando está lleno hasta su nivel de líquido de diseño, tal como se define en 5.6.3.2 (ver Figura 5.4).

5.2.5.3 La capacidad neta operativa es el volumen de producto disponible bajo condiciones normales de operación. La capacidad neta operativa es igual a la capacidad máxima (ver 5.2.5.2) menos el volumen mínimo de operación remanente en el tanque, menos el nivel (o volumen) de protección contra sobrellenado requerido (ver Figura 5.4).

Consideraciones Especiales

5.3.1 Construcción (Foundation)

5.3.1.1 La selección del sitio del tanque y el diseño y construcción de la fundación deberán ser considerados cuidadosamente, como se indica en el Anexo B, para asegurar un soporte adecuado del tanque. La responsabilidad por la adecuación de la fundación es del Comprador. Los datos de carga de la fundación deberán ser proporcionados por el Fabricante en la Hoja de Datos, Línea 13.

5.3.1.2 Se deberá verificar la resistencia por fricción deslizante para tanques sujetos a cargas laterales por viento o cargas sísmicas (ver 5.11.4 y E.7.6).

Consideraciones Especiales

5.3.2 Tolerancias por Corrosión

5.3.2.1 El Comprador, luego de considerar el efecto total del líquido almacenado, el vapor sobre el líquido y el ambiente atmosférico, deberá especificar en la Hoja de Datos, Tabla 1 y Tabla 2, cualquier tolerancia por corrosión que deba proporcionarse para todos los componentes, incluyendo cada virola del cuerpo, el fondo, el techo, las boquillas y bocas de hombre, y para los elementos estructurales.

5.3.2.2 Excluyendo los cuellos de boquillas, las tolerancias por corrosión para boquillas, drenajes tipo "flush", bocas de hombre y techos autoportantes deberán ser añadidas al espesor de diseño, si es calculado, o al espesor mínimo especificado.

5.3.2.3 Para cuellos de boquillas, cualquier tolerancia por corrosión especificada deberá, por acuerdo entre el Comprador y el Fabricante, ser añadida al espesor nominal del cuello indicado en la Tabla 5.6a y Tabla 5.6b (o Tabla 5.7a y Tabla 5.7b), o al espesor mínimo calculado requerido por presión interna y resistencia mecánica. En ningún caso el espesor del cuello deberá ser menor al espesor nominal indicado en la tabla.

5.3.2.4 La tolerancia por corrosión para pernos de anclaje deberá añadirse al diámetro nominal.

5.3.2.5 La tolerancia por corrosión para abrazaderas y soportes deberá añadirse al espesor requerido para la abrazadera o soporte.

5.3.2.6 Para los elementos estructurales internos, la tolerancia por corrosión deberá aplicarse al espesor total salvo que se especifique lo contrario.

Table 5.2a—Permissible Plate Materials and Allowable Stresses (SI) (Continued)

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength MPa	Minimum Tensile Strength MPa	Product Design Stress S_d MPa	Hydrostatic Test Stress S_h MPa
CSA Specifications						
G40.21M	260W		260	410	164	176
G40.21M	260 WT		260	410	164	176
G40.21M	300W		300	440	176	189
G40.21M	300WT		300	440	176	189
G40.21M	350W		350	450	180	193
G40.21M	350WT	$t \leq 65$	350	450 ^a	180	193
		$65 < t \leq 100$	320	450 ^a	180	193
National Standards						
	235		235	365	137	154
	250		250	400	157	171
	275		275	430	167	184
ISO Specifications						
ISO 630	E275C, D	$t \leq 16$	275	410	164	176
		$16 < t \leq 40$	265	410	164	176
	E355C, D	$t \leq 16$	355	490 ^a	196	210
		$16 < t \leq 40$	345	490 ^a	196	210
		$40 < t \leq 50$	335	490 ^a	196	210
EN Specifications						
EN 10025	S 275J0, J2	$t \leq 16$	275	410	164	176
		$16 < t \leq 40$	265	410	164	176
	S 355J0, J2, K2	$t \leq 16$	355	470 ^a	188	201
		$16 < t \leq 40$	345	470 ^a	188	201
		$40 < t \leq 50$	335	470 ^a	188	201

^a By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2, A678M, Grade B, and A841M Class 2 materials may be increased to 585 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 515 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

^b By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2 materials may be increased to 550 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 485 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

a By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2, A678M, Grade B, and A841M, Class 2 materials may be increased to 585 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 515 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

b By agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A537M, Class 2 materials may be increased to 550 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 485 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

Tolerancias por Corrosión

5.6.3.2 El espesor mínimo requerido de las placas del virolado deberá ser el mayor de los valores calculados mediante las siguientes fórmulas:

En unidades del SI:

where

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA$$

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t}$$

t_d is the design shell thickness, in mm;

t_t is the hydrostatic test shell thickness, in mm;

D is the nominal tank diameter, in m (see 5.6.1.1, Note 1);

H is the design liquid level, in m;

= height from the bottom of the course under consideration to the top of the shell including the top angle, if any; to the bottom of any overflow that limits the tank filling height; or to any other level specified by the Purchaser, restricted by an internal floating roof, or controlled to allow for seismic wave action;

G is the design specific gravity of the liquid to be stored, as specified by the Purchaser;

CA is the corrosion allowance, in mm, as specified by the Purchaser (see 5.3.2);

S_d is the allowable stress for the design condition, in MPa (see 5.6.2.1);

S_t is the allowable stress for the hydrostatic test condition, in MPa (see 5.6.2.2).