



Curso de Especialización de Postgrado

Diseño y cálculo de tanques metálicos soldados y atornillados/apernados

Bajo Normas:

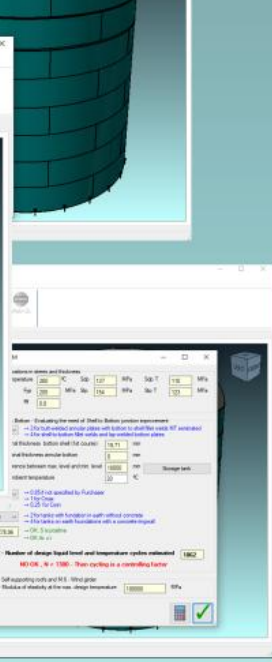
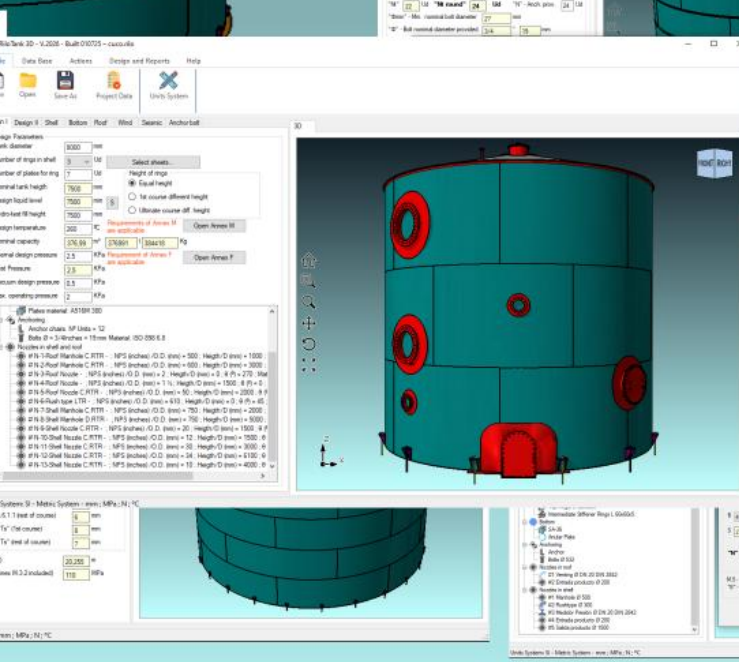
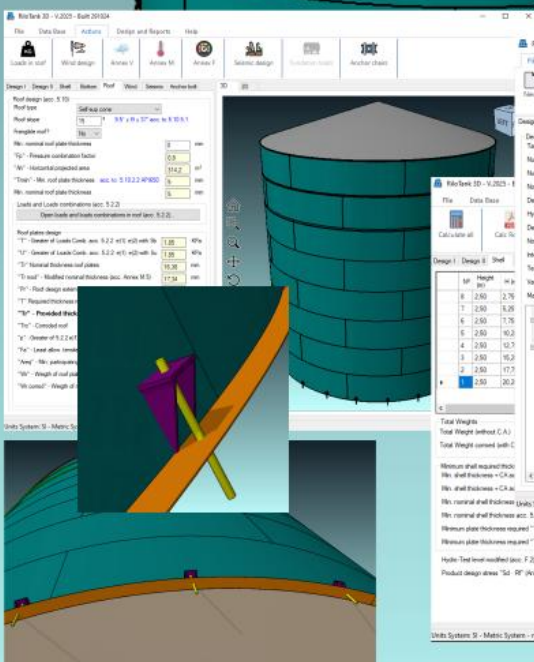
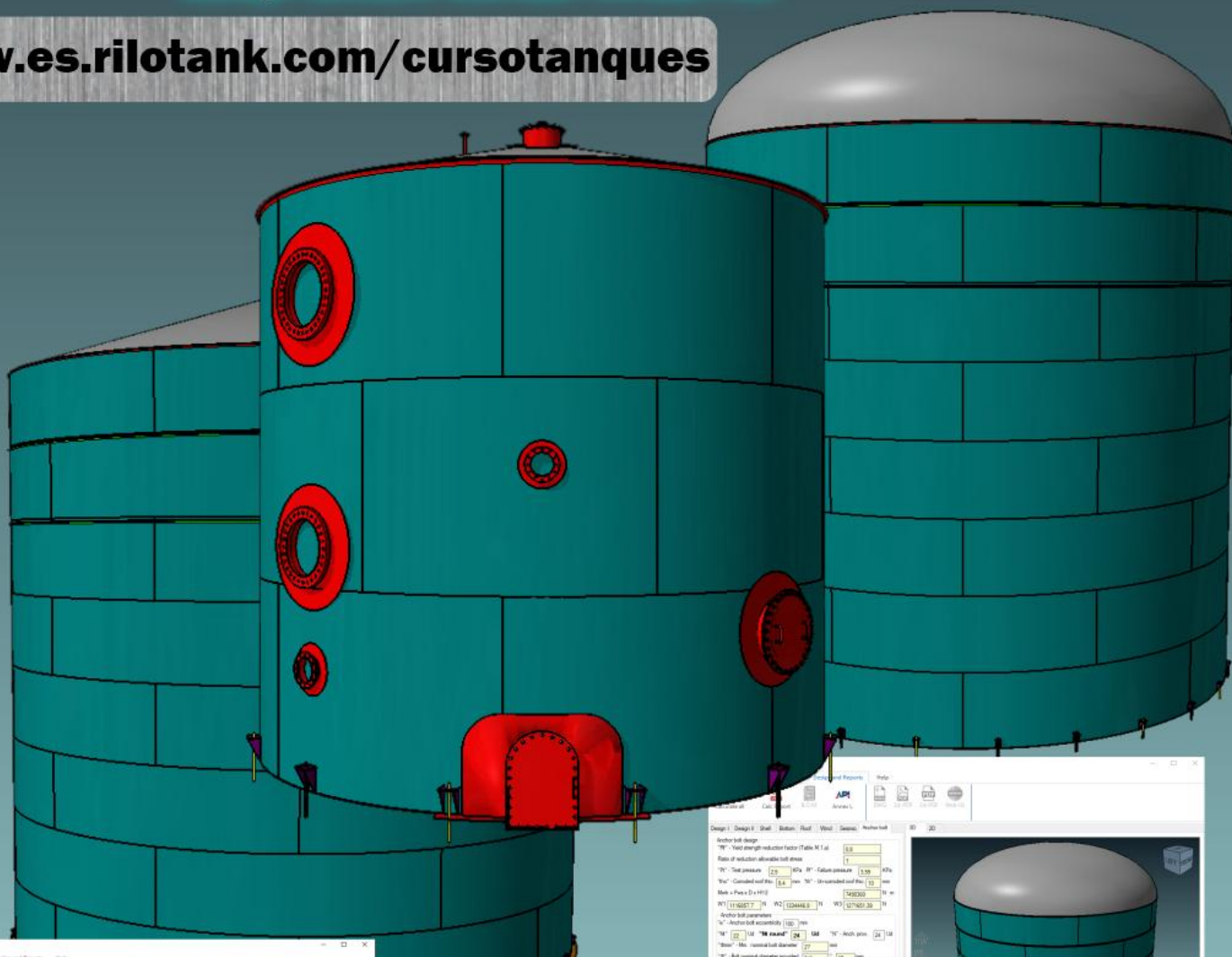
API-650 14th + API 2000 th

Eurocodes EN 1993-1-8 + 1-1 + 1-3 + NFPA 22 + AWWA

Otras normas locales de acción sísmica

Incluye software RiloTank Versión PRO

www.es.rilotank.com/cursotanques



ACCIÓN SÍSMICA (ANEXO E – API 650)

1.- INTRODUCCIÓN

La comprobación de la acción sísmica según Anexo E API 650, tiene lugar en la pestaña “Seismic” de la pantalla principal del software, ver figura 1. Estas comprobaciones del Anexo E API 650 están en concordancia con la normativa ASCE 7

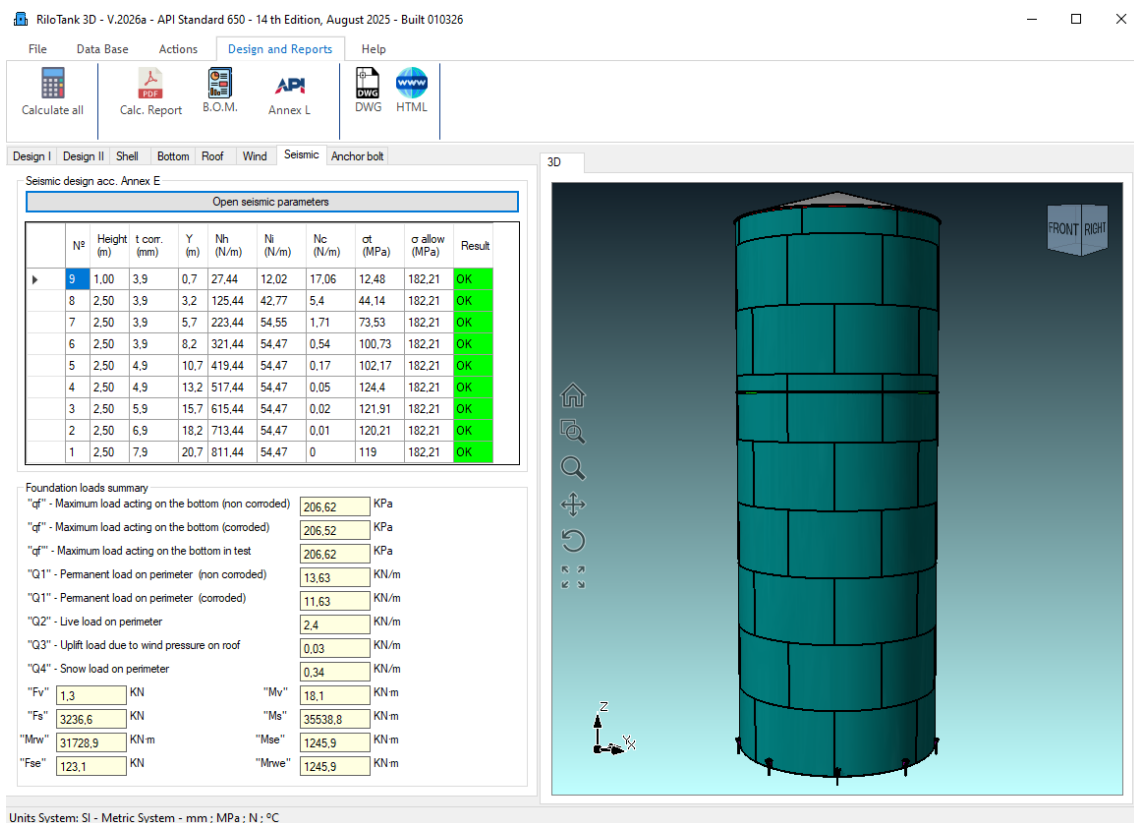


Figura 1.- Pestaña “Seismic” donde tienen lugar todas las comprobaciones del Anexo E API 650

Además de presentar los resultados del diseño sísmico en la tabla de la sección “Seismic design acc. Annex E”, también se presenta otra sección llamada “Foundation loads summary”, que como su nombre indica es el resumen de las cargas a cimentación, con las cuáles se puede diseñar dicha cimentación del tanque en cuestión.

Con respecto al cálculo sísmico, aunque en esta pantalla se presenta una tabla con todos los resultados del mismo, ver figura 2, se puede acceder a todos los cálculos detallados pulsando el botón “Open seismic parameters”.

	Nº	Height (m)	t corr. (mm)	Y (m)	Nh (N/m)	Ni (N/m)	Nc (N/m)	σ_t (MPa)	σ_{allow} (MPa)	Result
▶	9	1,00	3,9	0,7	27,44	12,02	17,06	12,48	182,21	OK
	8	2,50	3,9	3,2	125,44	42,77	5,4	44,14	182,21	OK
	7	2,50	3,9	5,7	223,44	54,55	1,71	73,53	182,21	OK
	6	2,50	3,9	8,2	321,44	54,47	0,54	100,73	182,21	OK
	5	2,50	4,9	10,7	419,44	54,47	0,17	102,17	182,21	OK
	4	2,50	4,9	13,2	517,44	54,47	0,05	124,4	182,21	OK
	3	2,50	5,9	15,7	615,44	54,47	0,02	121,91	182,21	OK
	2	2,50	6,9	18,2	713,44	54,47	0,01	120,21	182,21	OK
	1	2,50	7,9	20,7	811,44	54,47	0	119	182,21	OK

Figura 2.- Tabla resumen de resultados de cálculo sísmico en pantalla principal del software (pestaña "Seismic"). Debido a que no todos los resultados caben en la tabla, es probable que tenga que desplazarse por la tabla para visualizar el resto de comprobaciones con las barras de desplazamiento horizontal y vertical

En el software RiloTank 3D, todos estos cálculos se realizan de forma automática en apenas unos segundos siguiendo el procedimiento Anexo E (acoplado a ASCE7) según el siguiente procedimiento:

Al pulsar el botón "Open seismic parameters", aparecerá la pantalla "Seismic design according Annex E - API 650" (ver figura 3):

Seismic design according Annex E - API 650

1.1 Seismic parameters

1.1.1 Design and seismic data

"Xs" - Height from bottom shell to COG of shell: 9,14 m

"Xr" - Height from bottom shell to COG of roof: 21,357 m

"Xn" - Height from bottom shell to COG of insulation: 10,5 m

"Ws" - Weight of tank shell + appurtenances: 288983 N

"Wr" - Weight of tank roof + attach. + 10% snow: 54514 N

"Wp" - Weight of tank contents: 10355192 N

"Wt" - Weight of tank bottom: 32628 N

"Wn" - Weight of shell insulation: 0 N

Seismic design

Seismic calc: ☒ Yes ☐ No

Method calc: ☒ ASCE 7-10 method outside of USA ☐ ASCE 7-16 method outside of USA ☐ Mapped ASCE 7-10 Method in USA ☐ Mapped ASCE 7-16 Method in USA

"SUG" - Seismic use group: III

Site class: D

1.2 Seismic design loads

1.2.1 Structural period of vibration

"E" - Impulsive Natural Period: 200000 MPa

"H/D" - 2,625 m

"C" - Figure E.1: 6,1

"T" - 0,228 s

"Z" - Convective (Sloshing) Period

"Ka" - 0,578 s

"Tc" - 2,943 s

"Sp" - Seismic peak ground acceleration = "So": 0,227 g

"Ss" - 0,57 g

"S1" - 0,28 g

"Fa" - Acceleration based site coefficient (0.2 sec): 1,35

"Fv" - Velocity based site coefficient (1 sec): 1,83

"TL" - Regional-dependent transition period: 4 s

"tu" - Equivalent uniform thickness tank shell: 6,31 mm

"SDS" - 0,7639 s

"SD1" - 0,52 s

"Ts" - 0,6807 s

1.3 Resistance to overturning

Annex E.6 & E.7

1.1.3 Seismic factors

1. Response Modification Factors Table E.4

Anchorage system: Self-anchored

"Rwi" - 3,5

"Rwc" - 2

"Q" - Scaling factor: 1 (2/3 for the ASCE 7 methods or earthquakes of T=2500 years; otherwise, 1 shall apply)

1.1.4 Design spectral response accelerations

"Ai" - Impulsive spectral acceleration: 0,327 g

"K" - Coefficient to adjust the spectral acceleration from 5% to 0.5%: 1,5

"Ac" - Convective spectral acceleration: 0,199 g

Nº	Height (m)	t provided (mm)	Wi (Kg)	SOgi (m)	Wi : COGi
▶ 9	1,00	5	986	21,25	20952,5
8	2,50	5	2466	18,75	46237,5
7	2,50	5	2466	16,25	40072,5
6	2,50	5	2466	13,75	33907,5
5	2,50	6	2959	11,25	33288,75
4	2,50	6	2959	8,75	25891,25
3	2,50	7	3453	6,25	21581,25
Total Wi				26140	Kg
Total Wi : COGi				238948,2	Kg

Figura 3.- Pantalla donde se lleva a cabo todo el cálculo sísmico de forma muy detallada

En esta pantalla aparecen varias pestañas, debido principalmente a la cantidad de comprobaciones a realizar en el cálculo sísmico según Anexo E. Todas las comprobaciones aparecen detalladas y agrupadas por pestañas.

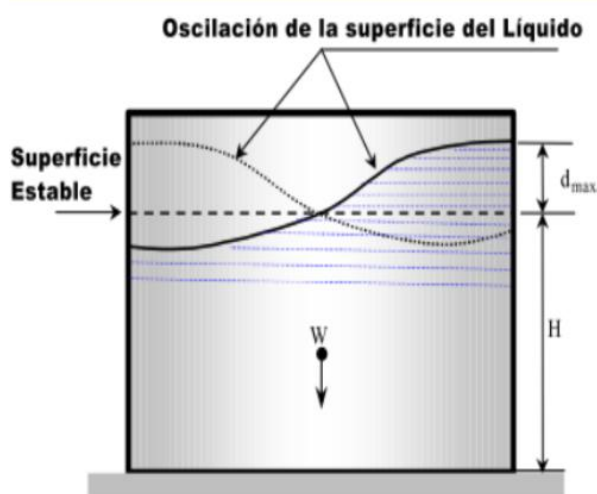
En esencia dicha pantalla se divide en las siguientes pestañas que incorporan las siguientes comprobaciones:

- **1.1. Seismic parameters:** La cual se divide en las siguientes secciones:
 - **“Seismic design”** En esta sección se realiza la introducción de datos por parte del usuario en las celdas de color blanco, se indica si se desea realizar el cálculo sísmico o no y cual será el método empleado, hallándose de forma automática los datos geométricos del tanque (centros de gravedad, pesos, alturas) necesarios para realizar las comprobaciones.
Como se aprecia, se pueden optar por 2 métodos de cálculo diferentes según en el Anexo E:
 - **Mapped ASCE 7 Method según E.4.2:** Es el método a utilizar cuando la localización del tanque se encuentre en USA, para utilizar los mapas USGS de la normativa ASCE para hallar de forma directa los parámetros S_s y S_1 , pudiendo seleccionar entre los mapas de:
 - ASCE 7-10.- Seleccionado la opción “Mapped ASCE 7-10 Method in USA”. Para calcular los coeficientes F_a y F_v se utilizarán las tablas E.1a y E.1b
 - ASCE 7-16.- Seleccionado la opción “Mapped ASCE 7-16 Method in USA”, esta opción representa una novedad en la edición 14th de API puesto que para calcular los coeficientes F_a y F_v se utilizarán las nuevas tablas E.2a y E.2b. **Esta es la novedad que aparece en la nueva edición ya que se puede utilizar las nuevas tablas para hallar F_a y F_v de la norma 14th basadas en ASCE 7-16 y que están en concordancia con ASCE 7-22**
 - **Method outside of USA:** Es el método a utilizar la localización del tanque se encuentra fuera de USA. En este caso los parámetros S_s y S_1 se calculan mediante la definición simplificada: $S_s = 2,5 \cdot S_p$ y $S_1 = 1,25 \cdot S_p$, pudiendo seleccionar para el cálculo de F_a y F_v también:
 - ASCE 7-10.- Seleccionado la opción “ASCE 7-10 Method outside of USA”. Para calcular los coeficientes F_a y F_v se utilizarán las tablas E.1a y E.1b
 - ASCE 7-16.- Seleccionado la opción “Mapped ASCE 7-16 Method outside of USA”, esta opción representa una novedad en la edición 14th de API puesto que para calcular los coeficientes F_a y F_v se utilizarán las nuevas tablas E.2a y E.2b. **Como decimos, esta es la novedad que aparece en la nueva edición ya que se puede utilizar las nuevas tablas para hallar F_a y F_v de la norma 14th basadas en ASCE 7-16 y que están en concordancia con ASCE 7-22, pero el procedimiento aplicar sigue siendo el mismo:**
 - **Calcular S_s y S_1 con la simplificación ofrecida por la norma**

- En función de la clase de suelo "Site Class", tomar F_a de la tabla E.2a y F_v de la tabla E.2b
- Seguir el procedimiento de cálculo:

Matices técnicos importantes: Las nuevas tablas E.2 para hallar F_a y F_v en la edición 14th, hacen que F_v suela ser algo mayor lo que impacta más en la parte convectiva), mientras que F_a cambia menos (ver figura siguiente para saber la diferencia entre parte convectiva e impulsiva). El resultado típico es que en tanques bajos casi no cambia nada, pero en tanques más esbeltos, puede subir bastante el momento de vuelco del tanque debido a la acción sísmica

- Masa líquida impulsiva " m_i ".-** Da origen a presiones impulsivas, está situada en la parte inferior del tanque y sufre aceleraciones varias veces superiores a la aceleración pico* que experimenta el terreno, lo que puede provocar deformaciones en parte inferior de la pared del tanque similares
- Masa líquida convectiva " m_c ".-** Da origen a presiones convectivas, está situada en la parte superior del tanque y se mueve con grandes periodos dando origen al oleaje que puede llegar a producir deformaciones en pared superior del tanque. A partir de ella se puede determinar la denominada "altura de resguardo" para evitar el derrame del líquido en caso de seísmo.



Masas impulsiva y convectiva

A partir de F_a y F_v obtenidos por cualquiera de los métodos anteriores, calcular:

$$SMS = F_a \cdot S_s$$

$$SM1 = F_v \cdot S1$$

$$SDS = Q \cdot SMS$$

$$SD1 = Q \cdot SM1$$

$$\text{Espectro (E.12–E.16)}$$

A_i / A_c

Hallar esfuerzos cortantes y Momentos de vuelco (V, M)

Por último calcular anclajes y freeboard (altura libre de ola)

$Q = 2/3$

R_{wi} / R_{wc} (Tabla E.4)

Esto lo realiza todo de forma automática el software RiloTank 3D, en las siguientes pantallas:

Seismic design

Seismic calc
☒ Yes ☐ No

Method calc
☒ ASCE 7-10 method outside of USA
☐ ASCE 7-16 method outside of USA
☐ Mapped ASCE 7-10 Method in USA
☐ Mapped ASCE 7-16 Method in USA

"SUG" - Seismic use group III

Site class D

"Sp" - Seismic peak ground acceleration = "So" 0,227 g
 "Ss" 0,57 g
 "S1" 0,28 g
 "Fa" - Acceleration based site coefficient (0.2 sec) 1,35
 "Fv" - Velocity based site coefficient (1 sec.) 1,83
 "TL" - Regional-dependent transition period 4 s
 "tu" - Equivalent uniform thickness tank shell 6,31 mm
 "SDS" 0,7639 s
 "SD1" 0,52 s
 "Ts" 0,6807 s

	Nº	Height (m)	t provided (mm)	Wt (Kg)	SOGi (m)	Wi - COGi
	9	1,00	5	986	21,25	20952,5
	8	2,50	5	2466	18,75	46237,5
	7	2,50	5	2466	16,25	40072,5
	6	2,50	5	2466	13,75	33907,5
	5	2,50	6	2959	11,25	33288,75
	4	2,50	6	2959	8,75	25891,25
	3	2,50	7	3453	6,25	21581,25
				Total Wt		26140 Kg
					Kg Total Wi-COGi	238948,2 Kg

- **"1.1.1 Design and seismic data".**- Presenta los resultados de alturas a centros de gravedad y pesos, teniendo en cuenta otras cargas que gravitan en el tanque, el usuario no deberá introducir ningún dato ya que todos los resultados los ofrece el software de forma automática, por ellos las celdas son todas de color amarillo en esta sección

1.1.1 Design and seismic data

"Xs" - Height form bottom shell to COG of shell 10,5 m
 "Xr" - Height form bottom shell to COG of roof 22,86 m
 "Xn" - Height form bottom shell to COG of insulation 11,25 m
 "Ws" - Weigth of tank shell + appurtenances 274321 N
 "Wr" -Weight of tank roof + attach. + 10% snow 54514 N
 "Wp" - Weight of tank contents 11261271 N
 "Wf" - Weight of tank bottom 31996 N
 "Wn" - Weight of shell insulation 0 N

- **1.1.2 Structural period of vibration"**

1.1.2 Structural period of vibration

1). Impulsive Natural Period

"E" 200000 MPa
 "H/D" 2,812 m
 "Ci" - Figure E.1 6,1
 "Ti" 0,222 s

2). Convective (Sloshing) Period

"Ks" 0,578
 "Tc" 2,943 s

○ “1.1.3 Seismic factors”

1.1.3 Seismic factors

1. Response Modification Factors Table E.4

Anchorage system

"Rwi"

"Rwc"

"I" - Importance Factor Table E.5

"Q" - Scaling factor (2/3 for the ASCE 7 methods or earthquakes of T=2500 years; otherwise, 1 shall apply)

○ “1.1.4 Design spectral response accelerations”

1.1.4 Design spectral response accelerations

"Ai" - Impulsive spectral acceleration g

"K" - Coefficient to adjust the spectral acceleration from 5% to 0.5%

"Ac" - Convective spectral acceleration g

- **1.2. Seismic design loads:** La cual se divide en varias secciones, donde se realiza de forma automática el cálculo de la masa efectiva del tanque, de los centros de acción efectiva de fuerzas laterales, y el cálculo de momentos con tanque lleno y vacío y de esfuerzos cortantes con tanque lleno y vacío:

1.2.1 Effective mass of tank contents "Wi" - Effective impulsive portion of the liquid weight 10388398 N "Wc" - Effective convective portion of the liquid weight 920922 N	1.2.2 Center of action for effective lateral forces "Xi" - Center of action for Ringwall Overturning Moment 10,498 m "Xc" - Center of action for Ringwall Overturning Moment 20,32 m "Xis" - Center of action Slab for Overturning Moment 11,73 m "Xcs" - Center of action Slab for Overturning Moment 20,32 m
1.2.3 Overturning moment Full tank "Mrw" - Ringwall Moment 37238887 N · m "Ms" - Slab Moment 41409846 N · m	Empty tank "Mrw" - Ringwall Moment 1350887 N · m "Ms" - Slab Moment 1350887 N · m
1.2.4 Shear force Full tank "Vi" - Impulsive component of lateral force base shear 3518937 N "Vc" - Convective component of lateral force base shear 183067 N "V" - Seismic base shear 3523695 N	Empty tank "Vi" - Impulsive component of lateral force base shear 118124 N "Vc" - Convective component of lateral force base shear 0 N "V" - Seismic base shear 118124 N

- **1.3. Resistance to overturning:** En esta pestaña tiene lugar la comprobación de la resistencia frente a vuelco del tanque frente a la acción de sismo, indicándose si son necesarios anclajes por sismo y si es necesaria la utilización de placa anular en el tanque:

1.3.1 Thickness of bottom plate under shell and its radial width		
"ta" - Bottom/annular plate thickness	6,4	mm
"Ls" - Bottom/Annular plate radial width	600	mm
"J" - Anchorage ratio	14,31	
"Av" - Vertical earthquake accelerat coefficient	0,36	% g
"Ge" -Effective specific gravity	0,869	N
% Roof acting on shell	100	%
"L" - Max. width for determ. resisting force	280	mm
"wrs" - Roof load acting on shell + 10% snow	2169,06	N/m
"Wt" - Tank and roof weigth acting on shell	13083,95	N/m
"wa" - Resisting force of bottom annular	40119,31	N/m
"Wa max." - Resisting max. force of bottom annular	31464,79	N/m
"Wa provid."	31464,79	N/m
"Wint" - Uplift load due to product pressure	5000	N/m

Tank cannot be Self-anchored, modify annular ring if $L < 0.035D$ or add Mechanical anchorage

1.3.2 Annular plate requirements		
"L" - Min. projection of annular inside the shell	450	mm
"Ls" - Selected width of bottom/annular plate	600	mm

The bottom/annular plate width is satisfactory

La elección de si es necesario anclar el tanque mediante pernos y silletas, está en función del parámetro "J" que es el Anchorage Ratio. En función de su valor se seguirá un procedimiento u otro según la tabla del Anexo E - E-6:

Table E.6—Anchorage Ratio Criteria

Anchorage Ratio J	Criteria
$J \leq 0.785$	No calculated uplift under the design seismic overturning moment. The tank is self-anchored.
$0.785 < J \leq 1.54$	Tank is uplifting, but the tank is stable for the design load providing the shell compression requirements are satisfied. Tank is self-anchored.
$J > 1.54$	Tank is not stable and cannot be self-anchored for the design load. Modify the annular ring if $L < 0.035D$ is not controlling or add mechanical anchorage.

- **"Annex E.6 y E.7".**- En esta última pestaña tiene lugar las comprobaciones de compresión del cilindro por acción sísmica, la resistencia a deslizamiento del tanque, posibles problemas de oleaje en la parte superior del tanque debido a sismo para el diseño de borde libre y la verificación del esfuerzo circunferencial "Hoop stress" que da lugar a fenómenos de inestabilidad en la parte inferior del cilindro tanque conocidos como "deformación en pata de elefante" provocada por la aceleración sísmica vertical.

1.4 Shell compression (Annex E.6.2.2)

" σ_c " - Max. longitudinal shell compression stress MPa

GHD²/t² m³/mm²

"F_c" - Seismic allowable compression stress MPa

Ratio

The tank is Structurally Stable

1.5 Sliding resistance (Annex E.7.6)

" μ " - Max. allowable sliding friction

"Weights": W_s + W_r + W_f + W_p N

"V_s" - Resistance force to tank sliding N

"V" - Seismic base shear force N

No additional lateral anchorage is required for mechanically-anchored tanks

1.6 Freeboard for sloshing wave height

"S_{ds}" - Design 5% damp. spectral accel. Parameter at 0.2s g

" δ_s " - Sloshing wave height above product design height mm

"A_f" - Acceleration coeff for sloshing wave calculation g

"S_{ds}" - Case

"SUG"

" δ " - Min required freeboard mm

1.7 Check for hoop stress (Annex E.6.1.1 E.6.2.4)

"D/H" - Ratio D/H

"E" - Joint efficiency Joint Efficiency Recommendations

"S_d" - Basic allowable design stress MPa

"F_{y shell}" - Minimum yield strength of shell material MPa

"F_{y weld}" - Minimum yield strength of weld material MPa

Nº	Height (m)	t corroed (mm)	Y (m)	N _h (N/m)	N _i (N/m)	N _c (N/m)	σ_t (MPa)	σ_{allow} (MPa)	Result
9	1.00	3.9	0.7	27.44	9.52	22.26	13.25	182.21	OK
8	2.50	3.9	3.2	125.44	33.9	7.05	41.16	182.21	OK
7	2.50	3.9	5.7	223.44	43.23	2.23	68.69	182.21	OK
6	2.50	3.9	8.2	321.44	43.17	0.71	94.11	182.21	OK
5	2.50	4.9	10.7	419.44	43.17	0.22	95.23	182.21	OK
4	2.50	4.9	13.2	517.44	43.17	0.07	115.64	182.21	OK
3	2.50	5.9	15.7	615.44	43.17	0.02	112.02	182.21	OK

© Curso de Especialización de Postgrado Diseño y Cálculo de Tanques Metálicos

© Copyright - Todos los derechos reservados.