
	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

1. CÁLCULO DE LOS TANQUES

1.1 TANQUE DE 500 m³

1.1.1 Dimensiones del tanque

En este tanque almacenaremos 500 m³ de aceite de oliva donde fijamos la altura en 6 m (19,68 pies). Calculamos pues el diámetro:

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot H$$

Donde:

V: Volumen del recipiente: 500 m³



D: Diámetro requerido

H: altura estipulada: 6 m

Por lo que el diámetro será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{\pi \cdot 6}} = 10,30 m$$

También fijamos el número de chapas por virola en 5, es decir la envolvente tendrá 15 chapas. Por lo que para averiguar el largo de chapa tendremos:

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

$$Largo\ de\ chapa = \frac{Perímetro}{n^{\circ}\ de\ chapas}$$

El perímetro no lo tenemos pero lo podemos hallar por lo cual será:

$$Perímetro = \pi \cdot D = \pi \cdot 10,30 = 32,35\ m$$

Esto quiere decir que:

$$Largo\ de\ chapa = \frac{Perímetro}{n^{\circ}\ de\ chapas} = \frac{32,35}{5} = 6,47\ m$$



Las características generales del tanque serán las expuestas en la tabla 1:

Tabla 1: Características del tanque de 500 m³

Tanque 500 m ³		
	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Volumen	500 m ³	1640 pies ³
Altura	6 m	19.68 pies
Diámetro	10.30 m	33.78 pies
Perímetro	32.35 m	106.11 pies
Ancho de chapa	2 m	6.56 pies
Largo de chapa	6.47 m	21.22 pies

1.1.2 Cálculo de la envolvente

Cuando ya se conocen las características del tanque, podemos calcular los espesores de chapa necesarios. Para el cálculo de los espesores de chapa requeridos utilizaremos el código de diseño API-650. Este código proporciona expresiones para calcular los espesores de chapa para la

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

prueba hidrostática y para diseño, en el Sistema Internacional, serán las siguientes:

$$t_d = ([4,9 \cdot D \cdot (H - 0,3) \cdot G]/E \cdot S_d) + C$$

$$t_p = ([4,9 \cdot D \cdot (H - 0,3) \cdot G']/E \cdot S_p) + C$$

Donde:

t_d : espesor de diseño de envolvente (mm)

t_p : espesor de prueba hidrostática de envolvente (mm)

D: diámetro nominal del tanque (m)

H: altura del tanque (m) desde el borde inferior de la virola en consideración hasta el borde superior del tanque incluyendo el ángulo de coronación.

G: densidad del aceite de oliva (kg/m^3)



G': densidad del agua (kg/m^3)

E: eficiencia de la soldadura.

S_d : fatiga máxima admisible de diseño (MPa)

S_p : fatiga máxima admisible de la prueba hidrostática (MPa)

C: sobreespesor de corrosión (mm)

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

El código API-650 también proporciona estas ecuaciones para el Sistema Inglés quedando estas con las siguientes expresiones:

$$t_d = \left(\frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G}{E \cdot S_d} \right)$$

$$t_p = \left(\frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'}{E \cdot S_p} \right)$$

Donde:

t_d : espesor mínimo de diseño de la envolvente (pulgadas)

t_p : espesor mínimo de prueba hidrostática de envolvente (pulgadas)

D: diámetro interior del tanque (pies)

H: altura del tanque (pies) desde el borde inferior de la virola en consideración hasta el borde superior del tanque incluyendo el ángulo de coronación

G: densidad del aceite de oliva

G' : densidad del agua para la prueba hidrostática



E: eficiencia de la soldadura

S_d y S_p : fatiga máxima admisible de diseño y en prueba hidrostática (psi)

C: sobreespesor (pulgadas)

1.1.2.1 Acero empleado y fatiga admisible

Se utilizará el acero inoxidable austenítico de forja estándar tipo AISI 304-L como se describió en la memoria descriptiva. Para este acero habrá que saber sus características mecánicas, sus límites de composición y la fatiga

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

admisible de diseño y de la prueba hidrostática para poder calcular los diferentes espesores mínimos. Donde:

- Características mecánicas

Carga de rotura = 545 MPa = 79047 lb/pulgadas²

Límite elástico = 228 MPa = 33069 lb/pulgadas²

Alargamiento = 60%

- Límites de composición (%)

Carbono (C) máximo: 0,03

Manganeso (Mn): 20

Silicio (Si): 1

Cromo (Cr): 18-20

Níquel (Ni): 8-12



Molibdeno (Mo): 0,6

- La fatiga máxima admisible para el espesor de diseño y de la prueba hidrostática para el acero AISI304-L se muestran en el código de diseño API-650. Por lo tanto el esfuerzo máximo admisible (S_d) y para la prueba hidrostática (S_t) serán:

S_d : 22406 psi

S_t : 24801

Una vez sabido todos los datos podemos proceder a calcular el espesor de las virolas.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- Virola 1:

En la primera virola al calcular el espesor mínimo de diseño de la envolvente tenemos que:

D: 33.78 pies (10.3 m)

H: 19.68 pies (6 m)

G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi

S_p: 24802 psi



$$t_d = \left([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G] / E \cdot S_d \right)$$

$$t_d = \left([2.6 \cdot 33.78 \cdot (19.68 - 1) \cdot 0.916] / 1 \cdot 22046 \right) = 0.068 \text{ pulgadas} = 1.74 \text{ mm}$$

Y para la prueba hidrostática el espesor mínimo será de:

$$t_p = \left([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'] / E \cdot S_p \right)$$

$$t_p = \left([2.6 \cdot 33.78 \cdot (19.68 - 1) \cdot 1] / 1 \cdot 24801.84 \right) = 0.066 \text{ pulgadas} = 1.68 \text{ mm}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

De los dos espesores mínimos calculados se cogerá el de mayor espesor, es decir, tendremos un espesor teórico de 1.74 mm para la primera virola.

- Virola 2

Donde:

D: 47.30pies (14.42 m)

H: 13.12 pies (4 m)

G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi



S_p: 24802 psi

$$t_d = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G] / E \cdot S_d)$$

$$t_d = ([2.6 \cdot 33.78 \cdot (13.12 - 1) \cdot 0.916] / 1 \cdot 22046) = 0.044 \text{ pulgadas} = 1.13 \text{ mm}$$

Y para la prueba hidrostática el espesor mínimo será de:

$$t_p = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'] / E \cdot S_p)$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

$$t_p = ([2.6 \cdot 33.78 \cdot (13.12 - 1) \cdot 1] / 1 \cdot 24801.84) = 0.043 \text{ pulgadas} = 1.09 \text{ mm}$$

Se tomará como espesor teórico para la virola 2 un espesor de 1.13 mm.

- Virola 3

Donde:

D: 47.30pies (14.42 m)

H: 6.56 pies (2 m)

G: 0.916

G': 1



E: 1

S_d: 22046 psi

S_p: 24802 psi

$$t_d = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G] / E \cdot S_d)$$

$$t_d = ([2.6 \cdot 33.78 \cdot (6.56 - 1) \cdot 0.916] / 1 \cdot 22046) = 0.020 \text{ pulgadas} = 0.52 \text{ mm}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Y para la prueba hidrostática el espesor mínimo será de:

$$t_p = \left([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'] / E \cdot S_p \right)$$

$$t_p = \left([2.6 \cdot 33.78 \cdot (6.56 - 1) \cdot 1] / 1 \cdot 24801.84 \right) = 0.019 \text{ pulgadas} = 0.5 \text{ mm}$$

Se tomará como espesor teórico para la virola 3 un espesor de 0.52 mm.

Después de observar estos resultados tenemos que los espesores mínimos obtenidos son menores que los que recomienda el código API-650. Este espesor mínimo recomendado es de 4.76 mm.

Este espesor tampoco será el definitivo ya que se tienen que tener en cuenta otros factores como la tolerancia de siderurgia y como el sobreespesor de corrosión. Todo esto queda reflejado como se indica:

$$t_{adop} = t_{\min} + t_{siderurgi} + C$$

El espesor de siderurgia se añade debido a que el fabricante no puede asegurar un espesor exacto, normalmente da un margen de error entre ± 0.5 y ± 0.1 mm, nosotros lo tomaremos sobre ± 0.25 mm. Además de estos espesores también añadiremos un sobreespesor de corrosión por seguridad de 1 mm en cada virola. Por lo que finalmente tendremos unos espesores que se indican en la siguiente tabla, los resultados finales están redondeados para mayor facilidad de fabricación:



	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Tabla 2: Características de las virolas del tanque

VIROLA	Altura/pies	t _{calc} /pulg	t _{calc} /mm	t _{min} API/mm	t _{siderurgica}	C/mm	t _{adop} /mm
1	19.68	0.068	1.74	4.76	0.25	1	6
2	13.12	0.044	1.13	4.76	0.25	1	6
3	6.56	0.020	0.52	4.76	0.25	1	6

1.1.2.2 Verificación de la rigidez de los tanques

Se necesita comprobar la altura máxima admisible de la pared del tanque sin nervio tal y como se observa la norma API-650.

No se tendrá en cuenta el sobreespesor de corrosión. La altura máxima de una pared que no tenga anillo de refuerzo no excederá del valor H_1 , se medirá en pies. Según la fórmula:

$$H_1 = 6 \cdot (100 \cdot t) \cdot \sqrt{\left(\frac{100 \cdot t}{D}\right)^3} \cdot \left(\frac{100}{V}\right)^2$$

Se procede a tantear las diferentes virolas.

- Primer tanteo $H_{1/1}$

Este tanteo es para la virola 3, es decir, la que está situada en la parte superior. Donde:



$t = 0,197$ pulgadas

$D = 33,78$ pies

$V = 89,5$ millas/h

Por lo que:

$$\begin{aligned}
 H_{1/1} &= 6 \cdot (100 \cdot 0,197) \cdot \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,197}{33,78}\right)^3} \cdot \left(\frac{100}{89,5}\right)^2 \\
 &= 65,72 \text{ pies}
 \end{aligned}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

$H_{1/1} > H_1 = 6,56$ pies, por lo tanto no necesita anillo rigidizador

- Segundo tanteo $H_{1/2}$

Este tanteo es para la virola 2, los datos son los mismos a excepción de H_2 que será 13,12 pies.

Así que tenemos que: $H_{1/2} > H_2$ por lo que tampoco necesitará esta virola anillo rigidizador.

- Tercer tanteo $H_{1/3}$

Este tanteo es para la virola 1, los datos son los mismos a excepción de H_3 que será 19,68 pies.



Así que tenemos que: $H_{1/3} > H_3$ por lo que tampoco necesitará esta virola anillo rigidizador.

1.1.3 Cálculo del techo

El techo de este tanque será cónico autosoportado por cerchas, se adoptará este tipo de techo debido a su diámetro. El espesor nominal estará comprendido entre 4.76 mm y 12.7 mm. Se tomará el espesor mínimo, es decir, 4.76 mm (3/16"). El ángulo que utilizaremos para los cálculos será de $\alpha=10^\circ$. Nos interesa saber el número de chapas que serán necesarias para la construcción del techo. Se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Área del techo} = \text{Área del cono} = \pi \cdot \text{radio} \cdot \sqrt{\text{radio}^2 + \text{altura}^2}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{altura}}{\text{radio}} ; \text{Altura} = \text{tg } \alpha \cdot \text{radio} = \text{tg } 10^\circ \cdot 5,15 = 0,91 \text{ m}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

$$\text{Área del techo} = \text{Área del cono} = \pi \cdot \text{radio} \cdot \sqrt{\text{radio}^2 + \text{altura}^2} = \pi \cdot 5,15 \cdot \sqrt{5,15^2 + 0,91^2} = 84,61 \text{ m}^2$$

$$N^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Área del techo}}{\text{Área de chapa}} = \frac{84,61}{2 \cdot 6,47} = 6,54 \text{ chapas} \approx 7 \text{ chapas}$$

Aumentamos un 20% el número de chapas en concepto de curvas y recortes., por lo que tendríamos:

$$7 \text{ chapas} + 20\% = 8,4 \text{ chapas} \approx 9 \text{ chapas}$$

El espesor que utilizaremos será el mismo que hemos utilizado para la envolvente, es decir, 6 mm.



1.1.4 Cálculo del fondo

Se adoptará como espesor del fondo 8 mm en el cual se incluye el sobreespesor de corrosión y la tolerancia de la siderurgia. Se adoptará este espesor ya que el espesor mínimo es de 6,35 mm. Tendremos que calcular el área del fondo para poder obtener el número de chapas que se necesitarán para el fondo del tanque.

$$\text{Área del fondo} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 5,15^2 = 83,32 \text{ m}^2$$

Una vez calculada el área del fondo tendremos que el número de chapas necesarias para el fondo vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Área del techo}}{\text{Área de chapa}} = \frac{83,32}{2 \cdot 6,47} = 6,44 \text{ chapas} \approx 7 \text{ chapas}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

A este valor se le incrementará un 20% del valor ya que hay que tener en cuenta los recortes y las curvas del fondo. Así que se utilizarán las siguientes chapas:

$$7 \text{ chapas} + 20\% = 8,4 \text{ chapas} \approx 9 \text{ chapas}$$

1.1.5 Anillo de coronamiento

Según el diámetro correspondiente a este tanque le corresponderá un anillo de coronamiento de perfil L de 65 X 65 X 9 que será de acero inoxidable tipo AISI 304-L.



Como el peso lineal del perfil es de 8,51 kg/m tendremos que el anillo pesará:

$$8,51 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{perímetro} = 8,51 \cdot 32,25 = 274,45 \text{ kg}$$

1.2 CALCULO DEL TANQUE DE 1000 m³

1.2.1 Dimensiones del tanque

En este tanque almacenaremos 1000 m³ de aceite de oliva donde fijamos la altura en 6 m (19,68 pies). Para facilitar la construcción de las planchas se utilizarán las mismas dimensiones que en el tanque anterior, es decir, chapas de dos metros de altura y de 6,47 metros de ancho. Al mantener la altura, el número de virolas no variará, por lo que sería de 3.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Sabemos que el tanque es de 1000 m^3 por lo que al aplicar la siguiente fórmula tendremos que:

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot H$$

Donde:

V: Volumen del recipiente: 1000 m^3

D: Diámetro requerido

H: altura estipulada: 6 m

Por lo que el diámetro será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1000}{\pi \cdot 6}} = 14,57 \text{ m}$$

Según estos cálculos tendremos un perímetro de:



$$\text{Perímetro} = \pi \cdot D = \pi \cdot 14,57 = 45,77 \text{ m}$$

El número de chapas por virola necesario será de:

$$n^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Perímetro}}{\text{largo de chapa}} = \frac{45,77}{6,47} = 7,07 \text{ chapas} \approx 7 \text{ chapas}$$

A partir de este número de chapas por virola, sabiendo que tenemos tres virolas en el tanque, tendremos un total de 21 chapas en la envolvente. A continuación calcularemos la capacidad real del tanque.

$$\text{Perímetro} = \text{largo de chapa} \cdot n^{\circ} \text{ de chapas} = 6,47 \cdot 7 = 45,29 \text{ m}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

A partir del perímetro ya podemos calcular el diámetro que quedaría del siguiente modo:

$$D = \frac{\text{Perímetro}}{\pi} = 14.42 \text{ m}$$

Este diámetro lo tomaremos como el de diseño.



Ahora tenemos que calcular la capacidad del tanque que no será exactamente de 1000 m³, será aproximado.

$$V = 0.785 \cdot D^2 \cdot H = 0.785 \cdot 14.42^2 \cdot 6 = 979.38 \text{ m}^3$$

Tras estos cálculos tenemos que las características de este tanque son las expresadas en la siguiente tabla 3:

Tabla 3: Características del tanque de 1000 m³

Tanque 1000 m ³		
	<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema Inglés</i>
Capacidad real	979.38 m ³	3212.37 pies ³
Altura	6 m	19.68 pies
Diámetro	14.42 m	47.30 pies
Perímetro	45.29 m	148.55 pies
Ancho de chapa	2 m	6.56 pies
Largo de chapa	6.47 m	21.22 pies

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

1.2.2 Cálculo de la envolvente

Seguiremos los mismos pasos que hemos seguido para calcular los espesores del tanque de 500 m³. Donde teóricamente tendremos que:

$$t_d = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G] / E \cdot S_d)$$

$$t_p = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'] / E \cdot S_p)$$

- Virola 1

Para la virola 1 tenemos los siguientes valores:

D: 47.30pies (14.42 m)

H: 19.68 pies (6 m)



G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi

S_p: 24802 psi

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Por lo que los espesores teóricos serán:

$$t_d = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G] / E \cdot S_d) = ([2.6 \cdot 47.30 \cdot (19.68 - 1) \cdot 0.916] / 1 \cdot 22046) = 0.096 \text{ pulgadas} = 2.44 \text{ mm}$$

$$t_p = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'] / E \cdot S_p) = ([2.6 \cdot 47.30 \cdot (19.68 - 1) \cdot 1] / 1 \cdot 24802) = 0.093 \text{ pulgadas} = 2.35 \text{ mm}$$

Tras el calculo podemos decir que el espesor mínimo teórico para la virola 1 es de 2.44 mm.

- Virola 2

Para la virola 2 los datos serán los siguientes:

D: 47.30pies (14.42 m)

H: 13.12 pies (4 m)



G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi

S_p: 24802 psi

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Por lo que los espesores teóricos serán:

$$t_d = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G] / E \cdot S_d) = ([2.6 \cdot 47.30 \cdot (13.12 - 1) \cdot 0.916] / 1 \cdot 22046) = 0.062 \text{ pulgadas} = 1.57 \text{ mm}$$

$$t_p = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'] / E \cdot S_p) = ([2.6 \cdot 47.30 \cdot (13.12 - 1) \cdot 1] / 1 \cdot 24802) = 0.060 \text{ pulgadas} = 1.53 \text{ mm}$$

Tras el calculo podemos decir que el espesor mínimo teórico para la virola 1 es de 1.57 mm.

- Virola 3

Para la virola 3 los datos serán los siguientes:

D: 47.30pies (14.42 m)

H: 6.56 pies (2 m)



G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi

S_p: 24802 psi

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Por lo que los espesores teóricos serán:

$$t_d = \left(\frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G}{E \cdot S_d} \right) = \left(\frac{2.6 \cdot 47.30 \cdot (6.56 - 1) \cdot 0.916}{1 \cdot 22046} \right) = 0.028 \text{ pulgadas} = 0.72 \text{ mm}$$

$$t_p = \left(\frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'}{E \cdot S_p} \right) = \left(\frac{2.6 \cdot 47.30 \cdot (6.56 - 1) \cdot 1}{1 \cdot 24802} \right) = 0.027 \text{ pulgadas} = 0.70 \text{ mm}$$



Tras el calculo podemos decir que el espesor mínimo teórico para la virola 3 es de 0.72 mm.

VIROLA	Altura/pies	t _{calc} /pulg	t _{calc} /mm	t _{min} API/mm	t _{siderurgica}	C/mm	t _{adop} /mm
1	19.68	0.096	2.44	4.76	0.25	1	6
2	13.12	0.062	1.57	4.76	0.25	1	6
3	6.56	0.028	0.72	4.76	0.25	1	6

1.2.2.1 Verificación de la rigidez de los tanques

La máxima altura de una pared que no tenga anillo de refuerzo, en pies, no excederá del valor H₁:

$$H_1 = 6 \cdot (100 \cdot t) \cdot \sqrt{\left(\frac{100 \cdot t}{D} \right)^3} \cdot \left(\frac{100}{V} \right)^2$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- Primer tanteo

Este tanteo es para la virola 3, es decir, la que está situada en la parte superior. Donde:

$t = 0,197$ pulgadas

$D = 47,30$ pies

$V = 89,5$ millas/h

Por lo que:

$$H_{1/1} = 6 \cdot (100 \cdot 0,197) \cdot \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,197}{47,30}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,5}\right)^2}$$

$$= 39,66 \text{ pies}$$

$H_{1/1} > H_1 = 6,56$ pies, por lo tanto no necesita anillo rigidizador

▪ Segundo tanteo $H_{1/2}$



Este tanteo es para la virola 2, los datos son los mismos a excepción de H_2 que será 13,12 pies.

Así que tenemos que: $H_{1/2} > H_2$ por lo que tampoco necesitará esta virola anillo rigidizador.

▪ Tercer tanteo $H_{1/3}$

Este tanteo es para la virola 1, los datos son los mismos a excepción de H_3 que será 19,68 pies.

Así que tenemos que: $H_{1/3} > H_3$ por lo que tampoco necesitará esta virola anillo rigidizador.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

1.2.3 Cálculo del techo

El techo de este tanque será cónico autosoportado por cerchas, se adoptará este tipo de techo debido a su diámetro. El espesor nominal estará comprendido entre 4.76 mm y 12.7 mm. Se tomará el espesor mínimo, es decir, 4.76 mm (3/16"). El ángulo que utilizaremos para los cálculos será de $\alpha=10^0$. Nos interesa saber el número de chapas que serán necesarias para la construcción del techo. Se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Área del techo} = \text{Área del cono} = \pi \cdot \text{radio} \cdot \sqrt{\text{radio}^2 + \text{altura}^2}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{altura}}{\text{radio}} ; \text{Altura} = \text{tg } \alpha \cdot \text{radio} = \text{tg } 10 \cdot 7,21 = 1,27 \text{ m}$$

$$\text{Área del techo} = \text{Área del cono} = \pi \cdot \text{radio} \cdot \sqrt{\text{radio}^2 + \text{altura}^2} = \pi \cdot 7,21 \cdot \sqrt{7,21^2 + 1,27^2} = 165,83 \text{ m}^2$$



$$N^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Área del techo}}{\text{Área de chapa}} = \frac{165,83}{2 \cdot 6,47} = 12,81 \text{ chapas} \approx 13 \text{ chapas}$$

Aumentamos un 20% el número de chapas en concepto de curvas y recortes., por lo que tendríamos:

$$13 \text{ chapas} + 20\% = 15,6 \text{ chapas} \approx 16 \text{ chapas}$$

1.2.4 Cálculo del fondo

Seguiremos los cálculos al igual que en el tanque de 500 m³. Se adoptará como espesor del fondo 8 mm en el cual se incluye el sobreespesor de corrosión y la tolerancia de la siderurgia. Se adoptará este espesor ya que el espesor mínimo es de 6,35 mm.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Tendremos que calcular el área del fondo para poder obtener el número de chapas que se necesitarán para el fondo del tanque.

$$\text{Área del fondo} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 7,21^2 = 163,31 \text{ m}^2$$

Una vez calculada el área del fondo tendremos que el número de chapas necesarias para el fondo vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Área del techo}}{\text{Área de chapa}} = \frac{163,31}{2 \cdot 6,47} = 12,62 \text{ chapas} \approx 13 \text{ chapas}$$

A este valor se le incrementará un 20% del valor ya que hay que tener en cuenta los recortes y las curvas del fondo. Así que se utilizarán las siguientes chapas:



$$13 \text{ chapas} + 20\% = 15,6 \text{ chapas} \approx 16 \text{ chapas}$$

1.2.5 Anillo de coronamiento

Según el diámetro correspondiente a este tanque le corresponderá un anillo de coronamiento de perfil L de 65 X 65 X 9 que será de acero inoxidable tipo AISI 304-L.

Como el peso lineal del perfil es de 8,51 kg/m tendremos que el anillo pesará:

$$8,51 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{perímetro} = 8,51 \cdot 45,29 = 385,42 \text{ kg}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

1.3 CÁLCULO DEL TANQUE DE 2000 m³

1.3.1 Dimensiones del tanque

En este tanque almacenaremos 2000 m³ de aceite de oliva donde fijamos la altura en 6 m (19,68 pies). Para facilitar la construcción de las planchas se utilizarán las mismas dimensiones que en el tanque anterior, es decir, chapas de dos metros de altura y de 6,47 metros de ancho. Al mantener la altura, el número de virolas no variará, por lo que sería de 3.

Sabemos que el tanque es de 2000 m³ por lo que al aplicar la siguiente fórmula tendremos que:

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot H$$

Donde:

V: Volumen del recipiente: 2000 m³

D: Diámetro requerido



H: altura estipulada: 6 m

Por lo que el diámetro será:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2000}{\pi \cdot 6}} = 20,60 \text{ m}$$

Según estos cálculos tendremos un perímetro de:

$$\text{Perímetro} = \pi \cdot D = \pi \cdot 20,60 = 64,72 \text{ m}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

El número de chapas por virola necesario será de:

$$n^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Perímetro}}{\text{largo de chapa}} = \frac{64,72}{6,47} = 10 \text{ chapas}$$

Es decir, tendremos en la envolvente un número total de chapas de 30 al tener tres virolas el tanque de 2000 m³.

Tras estos cálculos tenemos que las características de este tanque son las expresadas en la siguiente tabla 5:



Tabla 4: Características del tanque de 2000 m³

Tanque 2000 m ³		
	<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema Inglés</i>
Capacidad real	2000 m ³	6560 pies ³
Altura	6 m	19.68pies
Diámetro	20,60 m	67.57 pies
Perímetro	64,72 m	212.28 pies
Ancho de chapa	2 m	6.56 pies
Largo de chapa	6.47 m	21.22 pies

1.3.2 Cálculo de la envolvente

Seguiremos los mismos pasos que hemos seguido para calcular los espesores del tanque de 2000 m³. Donde teóricamente tendremos que:

$$t_d = \left(\frac{2.6 \cdot D \cdot (H-1) \cdot G}{E \cdot S_d} \right)$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

$$t_p = \left(\frac{[2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G']}{E \cdot S_p} \right)$$

- Virola 1

Para la virola 1 tenemos los siguientes valores:

D: 67.57pies (20,6 m)

H: 19.68 pies (6 m)

G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi



S_p: 24802 psi

Por lo que los espesores teóricos serán:

$$t_d = \left(\frac{[2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G]}{E \cdot S_d} \right) = \left(\frac{[2.6 \cdot 67.57 \cdot (19.68 - 1) \cdot 0.916]}{1 \cdot 22046} \right) = 0.136 \text{ pulgadas} = 3.45 \text{ mm}$$

$$t_p = \left(\frac{[2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G']}{E \cdot S_p} \right) = \left(\frac{[2.6 \cdot 67.57 \cdot (19.68 - 1) \cdot 1]}{1 \cdot 24802} \right) = 0.132 \text{ pulgadas} = 3.36 \text{ mm}$$

Tras el cálculo podemos decir que el espesor mínimo teórico para la virola 1 es de 3,45 mm.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- Virola 2

Para la virola 2 los datos serán los siguientes:

D: 67.57pies (20,6 m)

H: 13.12 pies (4 m)

G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi



S_p: 24802 psi

Por lo que los espesores teóricos serán:

$$t_d = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G] / E \cdot S_d) = ([2.6 \cdot 67.57 \cdot (13.12 - 1) \cdot 0.916] / 1 \cdot 22046) = 0.088 \text{ pulgadas} = 2.25 \text{ mm}$$

$$t_p = ([2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'] / E \cdot S_p) = ([2.6 \cdot 67.57 \cdot (13.12 - 1) \cdot 1] / 1 \cdot 24802) = 0.086 \text{ pulgadas} = 2.18 \text{ mm}$$

Tras el calculo podemos decir que el espesor mínimo teórico para la virola 2 es de 2,25 mm.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- Virola 3

Para la virola 3 los datos serán los siguientes:

D: 67.57pies (20,6 m)

H: 6.56 pies (2 m)

G: 0.916

G': 1

E: 1

S_d: 22046 psi



S_p: 24802 psi

Por lo que los espesores teóricos serán:

$$t_d = \left(\frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G}{E \cdot S_d} \right) = \left(\frac{2.6 \cdot 67.57 \cdot (6.56 - 1) \cdot 0.916}{1 \cdot 22046} \right) = 0.04 \text{ pulgadas} = 1.03 \text{ mm}$$

$$t_p = \left(\frac{2.6 \cdot D \cdot (H - 1) \cdot G'}{E \cdot S_p} \right) = \left(\frac{2.6 \cdot 67.57 \cdot (6.56 - 1) \cdot 1}{1 \cdot 24802} \right) = 0.039 \text{ pulgadas} = 1.00 \text{ mm}$$

Tras el cálculo podemos decir que el espesor mínimo teórico para la virola 3 es de 1,03 mm.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

VIOLA	Altura/pies	t _{calc} /pulg	t _{calc} /mm	t _{min} API/mm	t _{siderurgica}	t _{adop} /mm	C/mm
1	19.68	0.136	3.45	4.76	0.25	6	1
2	13.12	0.088	2.25	4.76	0.25	6	1
3	6.56	0.04	1.03	4.76	0.25	6	1

1.3.2.1 Verificación de la rigidez de los tanques

La máxima altura de una pared que no tenga anillo de refuerzo, en pies, no excederá del valor H_1 :

$$H_1 = 6 \cdot (100 \cdot t) \cdot \sqrt{\left(\frac{100 \cdot t}{D}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{V}\right)^2}$$

- Primer tanteo

Este tanteo es para la virola 3, es decir, la que está situada en la parte superior. Donde:

$t = 0,197$ pulgadas

$D = 67,57$ pies

$V = 89,5$ millas/h



Por lo que:

$$H_{1/1} = 6 \cdot (100 \cdot 0,197) \cdot \sqrt{\left(\frac{100 \cdot 0,197}{67,57}\right)^3 \cdot \left(\frac{100}{89,5}\right)^2}$$

$$= 23,22 \text{ pies}$$

$H_{1/1} > H_1 = 6,56$ pies, por lo tanto no necesita anillo rigidizador

▪ Segundo tanteo $H_{1/2}$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Este tanteo es para la virola 2, los datos son los mismos a excepción de H_2 que será 13,12 pies.

Así que tenemos que: $H_{1/2} > H_2$ por lo que tampoco necesitará esta virola anillo rigidizador.

- Tercer tanteo $H_{1/3}$

Este tanteo es para la virola 1, los datos son los mismos a excepción de H_3 que será 19,68 pies.

Así que tenemos que: $H_{1/3} > H_3$ por lo que tampoco necesitará esta virola anillo rigidizador.



1.3.3 Cálculo del techo

El techo de este tanque será cónico autosoportado por cerchas, se adoptará este tipo de techo debido a su diámetro. El espesor nominal estará comprendido entre 4.76 mm y 12.7 mm. Se tomará el espesor mínimo, es decir, 4.76 mm (3/16"). El ángulo que utilizaremos para los cálculos será de $\alpha=10^\circ$. Nos interesa saber el número de chapas que serán necesarias para la construcción del techo. Se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Área del techo} = \text{Área del cono} = \pi \cdot \text{radio} \cdot \sqrt{\text{radio}^2 + \text{altura}^2}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{altura}}{\text{radio}} ; \text{Altura} = \text{tg } \alpha \cdot \text{radio} = \text{tg } 10^\circ \cdot 10,30 = 1,82 \text{ m}$$

$$\text{Área del techo} = \text{Área del cono} = \pi \cdot \text{radio} \cdot \sqrt{\text{radio}^2 + \text{altura}^2} = \pi \cdot 10,3 \cdot \sqrt{10,3^2 + 1,82^2} = 338,43 \text{ m}^2$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

$$N^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Área del techo}}{\text{Área de chapa}} = \frac{338,43}{2 \cdot 6,47} = 26,15 \text{ chapas} \approx 27 \text{ chapas}$$

Aumentamos un 20% el número de chapas en concepto de curvas y recortes., por lo que tendríamos:

$$27 \text{ chapas} + 20\% = 32,4 \text{ chapas} \approx 33 \text{ chapas}$$

1.3.4 Cálculo del fondo



Se adoptará como espesor del fondo 8 mm en el cual se incluye el sobreespesor de corrosión y la tolerancia de la siderurgia. Se adoptará este espesor ya que el espesor mínimo es de 6,35 mm.

Tendremos que calcular el área del fondo para poder obtener el número de chapas que se necesitarán para el fondo del tanque.

$$\text{Área del fondo} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 10,30^2 = 333,29 \text{ m}^2$$

Una vez calculada el área del fondo tendremos que el número de chapas necesarias para el fondo vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de chapas} = \frac{\text{Área del techo}}{\text{Área de chapa}} = \frac{333,29}{2 \cdot 6,47} = 25,76 \text{ chapas} \approx 26 \text{ chapas}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

A este valor se le incrementará un 20% del valor ya que hay que tener en cuenta los recortes y las curvas del fondo. Así que se utilizarán las siguientes chapas:

$$26 \text{ chapas} + 20\% = 31,2 \text{ chapas} \approx 32 \text{ chapas}$$

1.3.5 Anillo de coronamiento

Según el diámetro correspondiente a este tanque le corresponderá un anillo de coronamiento de perfil L de 80 X 80 X 10 que será de acero inoxidable tipo AISI 304-L.

Como el peso lineal del perfil es de 8,51 kg/m tendremos que el anillo pesará:



$$8,51 \frac{kg}{m} \cdot \text{perímetro} = 8,51 \cdot 64,72 = 550,77 \text{ kg}$$

2. CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN

Una vez que se han calculado los espesores y el número de chapas de cada virola, techo y fondo, es necesario conocer el peso de cada uno de los tanques incluido el aceite de oliva a almacenar. Con esto podremos calcular la estabilidad de los tanques ante la acción sísmica y la acción del viento.

Como hemos calculado anteriormente tenemos que:

Las chapas tendrán un ancho de 2 m y un largo de 6,47 m. También sabemos sus espesores y la densidad del acero inoxidable AISI 304L por lo que podremos calcular el peso de una chapa que será de:

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Densidad = $7,9 \text{ kg/dm}^3 = 7900 \text{ kg/m}^3$

Volumen de una chapa de 6 mm= ancho X largo X espesor =
 $2 \text{ m} \times 6,47 \text{ m} \times 0,006 \text{ m} = 0,07764 \text{ m}^3$

Volumen de una chapa de 8 mm= ancho X largo X espesor =
 $2 \text{ m} \times 6,47 \text{ m} \times 0,008 \text{ m} = 0,10352 \text{ m}^3$

Peso de una chapa de 6 mm= Densidad X Volumen = $7900 \text{ kg/m}^3 \times 0,07764 \text{ m}^3 = 613,356 \text{ kg}$

Peso de una chapa de 8 mm= Densidad X Volumen = $7900 \text{ kg/m}^3 \times 0,10352 \text{ m}^3 = 817,808 \text{ kg}$

Tabla 5: Pesos del tanque de 500 m^3

	Nº Virola	Nº de chapas	Espesor chapa / mm	Peso chapa /kg	Kg
Envolvente	1	5	6	613.36	3066.8
	2	5	6	613.36	3066.8
	3	5	6	613.36	3066.8
Total envolvente		21	6		9200.4
Fondo		7	8	817.81	5724.67
Techo		7	6	613.36	4293.52
Anillo de coronamiento					274.45
Total tanque					19493.04
Total líquido almacenado					458000
TOTAL					477493.04





	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Tabla 6: Pesos del tanque de 1000 m³

	Nº Virola	Nº de chapas	Espesor chapa / mm	Peso chapa /kg	Kg
Envolvente	1	7	6	613.36	4293.52
	2	7	6	613.36	4293.52
	3	7	6	613.36	4293.52
Total envolvente		21	6		12880.56
Fondo		13	8	817.81	10631.53
Techo		13	6	613.36	7973.68
Anillo de coronamiento					385.42
Total tanque					31871.19
Total líquido almacenado					897112.08
TOTAL					928983.27

Tabla 7: Pesos del tanque de 2000 m³

	Nº Virola	Nº de chapas	Espesor chapa / mm	Peso chapa /kg	Kg
Envolvente	1	10	6	613.36	6133.6
	2	10	6	613.36	6133.6
	3	10	6	613.36	6133.6
Total envolvente		30	6		18400.8
Fondo		26	8	817.81	21263.06
Techo		27	6	613.36	16560.72
Anillo de coronamiento					550.77
Total tanque					56775.35
Total líquido almacenado					1832000
TOTAL					1888775.35

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

2.1 Estabilidad ante la acción del viento

La norma NBE/AE/88: Acciones de la edificación define la acción del viento como la acción producida por las presiones y succiones que genera el viento sobre las superficies.

Se explica genéricamente en el capítulo 5 de dicha norma como calcular las acciones del viento sobre el tanque. Nosotros seguiremos el procedimiento indicado en el código API-650 donde se define a parte el vuelco máximo.

La velocidad del viento produce una presión dinámica en los puntos donde la velocidad se anula. La presión dinámica que se considera en el cálculo del tanque es función de la altura de coronación y de su situación topográfica.

Con esto tomamos los siguientes datos: $v = 144 \text{ km/h}$ y $w = 100 \text{ kg/m}^2$

El viento produce sobre cada elemento superficial de una construcción, tanto orientado a barlovento como a sotavento una sobrecarga unitaria (p) en la dirección de su normal positiva o negativa, cuyo viene dado por la expresión:

$$p = c \cdot w$$

Dónde:

w : presión dinámica del viento



c : coeficiente eólico (0,6)

Por lo que la sobrecarga unitaria será:

$$p = c \cdot w = 0,6 \cdot 100 = 60 \text{ kg/m}^2$$

El área expuesta al viento será:

$$\text{Área}_{\text{expuesta}} = H_G \cdot D = (H + h) \cdot D$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- Tanque 500 m³

$$\dot{A}rea_{expuesta} = (H + h) \cdot D = (6 + 0,91) \cdot 10,30 = 71,17 \text{ m}^2$$

- Tanque 1000 m³

$$\dot{A}rea_{expuesta} = (H + h) \cdot D = (6 + 1,27) \cdot 14,42 = 104,83 \text{ m}^2$$

- Tanque 2000 m³

$$\dot{A}rea_{expuesta} = (H + h) \cdot D = (6 + 1,82) \cdot 20,60 = 161,09 \text{ m}^2$$

La sobrecarga del viento (H_v) se calculará como el producto de la presión dinámica (p) por la superficie de los diferentes tanques expuesta al viento. Por lo que la sobrecarga del viento en los diferentes tanques quedaría así:

$$H_v = p \cdot \dot{A}rea_{expuesta}$$

- Tanque 500 m³



$$H_v = p \cdot \dot{A}rea_{expuesta} = 60 \cdot 71,17 = 4270,2 \text{ kg}$$

- Tanque 1000 m³

$$H_v = p \cdot \dot{A}rea_{expuesta} = 60 \cdot 104,83 = 6289,8 \text{ kg}$$

- Tanque 2000 m³

$$H_v = p \cdot \dot{A}rea_{expuesta} = 60 \cdot 161,09 = 9665,4 \text{ kg}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

El momento de volcamiento de la presión del viento se calcula con una ecuación que esta representada en el API 650 en su apartado 3.11.2, será la siguiente:

$$M_{volcamiento} = \frac{p \cdot D \cdot H_G^2}{2}$$

- Tanque 500 m³

Para el tanque de 500 m³ tendremos que:

D: 10,30 m

H_G: 6,91 m

Por lo que:

$$M_{volcamiento} = \frac{p \cdot D \cdot H_G^2}{2} = \frac{60 \cdot 10,30 \cdot 6,91^2}{2} = 14754,16 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

- Tanque 1000 m³



Para el tanque de 1000 m³ tendremos que:

D: 14,42 m

H_G: 7,27 m

Por lo que:

$$M_{volcamiento} = \frac{p \cdot D \cdot H_G^2}{2} = \frac{60 \cdot 14,42 \cdot 7,27^2}{2} = 22864,16 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- Tanque 2000 m³

Para el tanque de 2000 m³ tendremos que:

D: 20,60 m

H_G: 7,82 m

Por lo que:

$$M_{volcamiento} = \frac{p \cdot D \cdot H_G^2}{2} = \frac{60 \cdot 20,60 \cdot 7,82^2}{2} = 37792,18 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Estos momentos de volcamiento no deberán exceder dos tercios del momento resistente de la carga muerta, es decir:

$$M_{volcamiento} \leq \frac{2}{3} M_{resistente}$$

Así que calculamos los momentos resistentes de cada tanque y lo comparamos con sus momentos de volcamiento.



- Tanque 500 m³

$$M_{resistente} = \frac{m_{tanque} \cdot D}{2} = \frac{19493,04 \cdot 10,30}{2} = 100389,16 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Por lo que:

$$M_{volcamiento} \leq \frac{2}{3} M_{resistente} ; 14754,16 \leq \frac{2}{3} \cdot 100389,16 = 66926,11 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Esto quiere decir que no hace falta anclar el tanque.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- Tanque 1000 m³

$$M_{resistente} = \frac{m_{tanque} \cdot D}{2} = \frac{31871,19 \cdot 14,42}{2} = 229791,28 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Por lo que:

$$M_{volcamiento} \leq \frac{2}{3} M_{resistente} ; 22804,16 \leq \frac{2}{3} \cdot 229791,28 = 153194,19 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Esto quiere decir que no hace falta anclar el tanque.

- Tanque 2000 m³

$$M_{resistente} = \frac{m_{tanque} \cdot D}{2} = \frac{56775,35 \cdot 20,60}{2} = 584786,11 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Por lo que:



$$M_{volcamiento} \leq \frac{2}{3} M_{resistente} ; 37792,18 \leq \frac{2}{3} \cdot 584786,11 = 389857,4 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Esto quiere decir que no hace falta anclar el tanque.

2.2 Estabilidad ante la acción sísmica

La estabilidad ante la acción sísmica se calculará según se describe en el API 650 apéndice E “Diseño sísmico del tanque de almacenamiento”.

El movimiento sísmico en función de la frecuencia a la que se produce provocados tipos de reacciones sobre el tanque:

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

- La alta frecuencia provoca un movimiento lateral del terreno sobre el que está situado el tanque implicando que la cantidad de líquido que contiene el recipiente se mueva al unísono con el cuerpo del tanque.
- La baja frecuencia provoca un movimiento de oleaje del líquido contenido en el tanque.

Los tanques tendrán que soportar estas frecuencias. El movimiento lateral de las masas provoca fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque provocando un momento de vuelco que tendrá que resistirlo el tanque. Este momento de vuelco vendrá definido por la siguiente expresión:

$$M_{vuelco} = Z \cdot I \cdot (C_1 \cdot W_{env} \cdot X_{env} + C_1 \cdot W_1 \cdot H_G + C_1 \cdot W_1 \cdot X_1 + C_1 \cdot W_2 \cdot X_2)$$

Donde:

M_{vuelco} : momento de vuelco formado por el sismo

Z: coeficiente sísmico

I: factor de rigidez

C_1, C_2 : coeficiente de fuerza lateral sísmica



W_{env} : peso total del cuerpo del tanque

X_{env} : altura desde el fondo del tanque al centro de gravedad de este

H_G : altura total del tanque

W_1 : peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unísono con el cuerpo del tanque

X_1 : altura desde el fondo del tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a W_1

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

W_2 : peso efectivo de la masa contenida por el tanque que se mueve en el primer oleaje

X_2 : altura desde el fondo hasta el centroide de la fuerza sísmica lateral aplicada al W_2

2.2.1 Periodo natural y coeficientes de fuerza sísmica

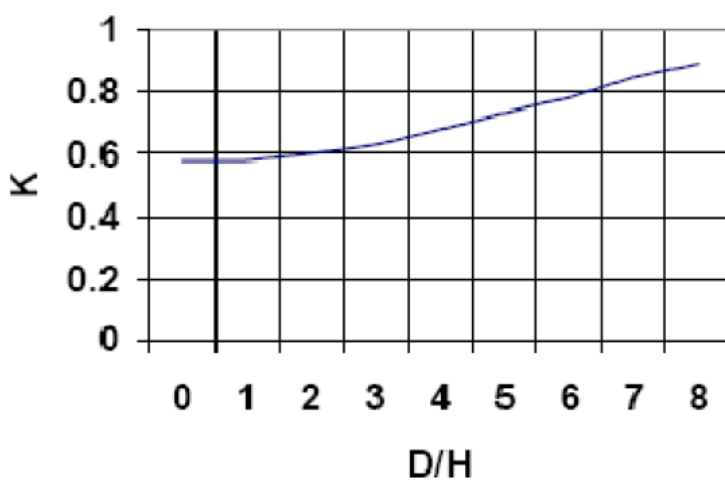
Todos los cálculos se harán sobre el tanque mayor, es decir el de 2000 m³, que es el que puede ser más perjudicado en un ataque sísmico.



Se calcula la relación entre la altura máxima de diseño del aceite y el diámetro.

$$\frac{D}{H} = \frac{20,60}{6} = 3,43$$

Ahora tenemos que atender al gráfico que se muestra a continuación en el cual viene definida la relación entre el factor k y la proporción D/H .

Gráfico: Relación entre la proporción D/H y el factor k



	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Observamos que para nuestra relación $D/H=3,43$ tenemos un factor k de 0,63. Con estos datos podemos obtener el periodo natural (T) que viene definido por la siguiente expresión:

$$T = k \cdot \sqrt{D} = 0,63 \cdot \sqrt{20,60} = 2,86 \text{ s}$$

Tenemos el coeficiente de fuerza sísmica lateral (C_1) que es de 0,6 pero el C_2 depende del valor del periodo natural. Vendrá dado por la siguiente expresión debido a que nuestro $T < 4,5$:

$$C_2 = \frac{0,75 \cdot S}{T}$$

Donde:

S : coeficiente de lugar. Tomaremos $S= 1,5$ ya que no conocemos las propiedades del terreno lo suficiente por lo que C_2 quedaría así:

$$C_2 = \frac{0,75 \cdot S}{T} = \frac{0,75 \cdot 1,5}{2,86} = 0,393$$

2.2.2 Masa efectiva del contenido del tanque

La masa efectiva W_1 y W_2 se determina multiplicando el peso del contenido del tanque (W_T) por las relaciones W_1/W_T y W_2/W_T que se obtienen del siguiente gráfico:



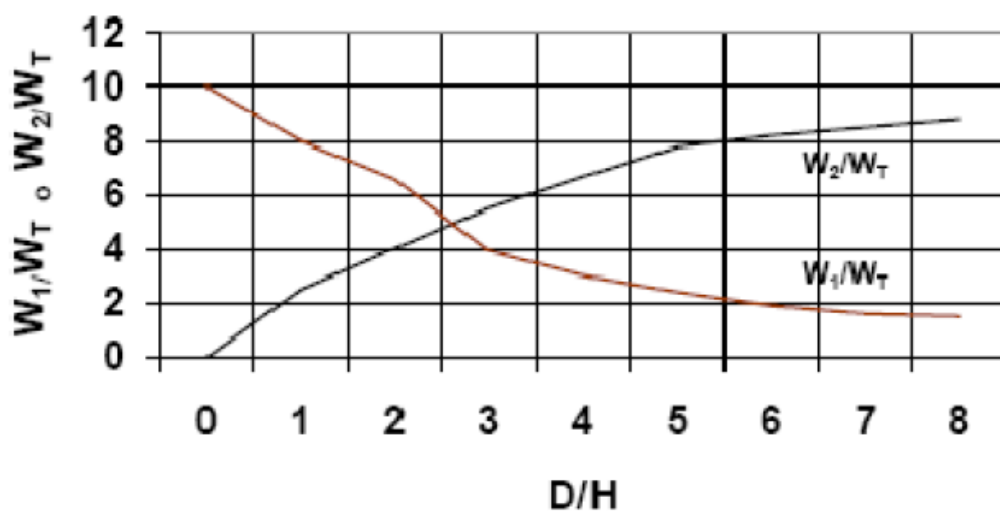
	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Gráfico: Relación entre D/H frente a las masas efectivas



Con este gráfico y D/H= 3,43 podemos decir que: W₁/W_T= 4 y W₂/W_T= 5,5

$$\frac{W_1}{W_T} = 4; \quad W_1 = W_T \cdot 4 = 1832000 \cdot 4 = 7328000 \text{ kg}$$

$$W_1 = 7328000 \text{ kg}$$

$$\frac{W_2}{W_T} = 5,5; \quad W_2 = W_T \cdot 5,5 = 1832000 \cdot 5,5 = 10076000 \text{ kg}$$

$$W_2 = 10076000 \text{ kg}$$

Las alturas desde el fondo del tanque a los centroides de las fuerzas sísmicas laterales aplicadas a W₁, W₂, X₁ y X₂ se determinan multiplicando H por las relaciones X₁/H y X₂/H que se obtienen del siguiente gráfico:



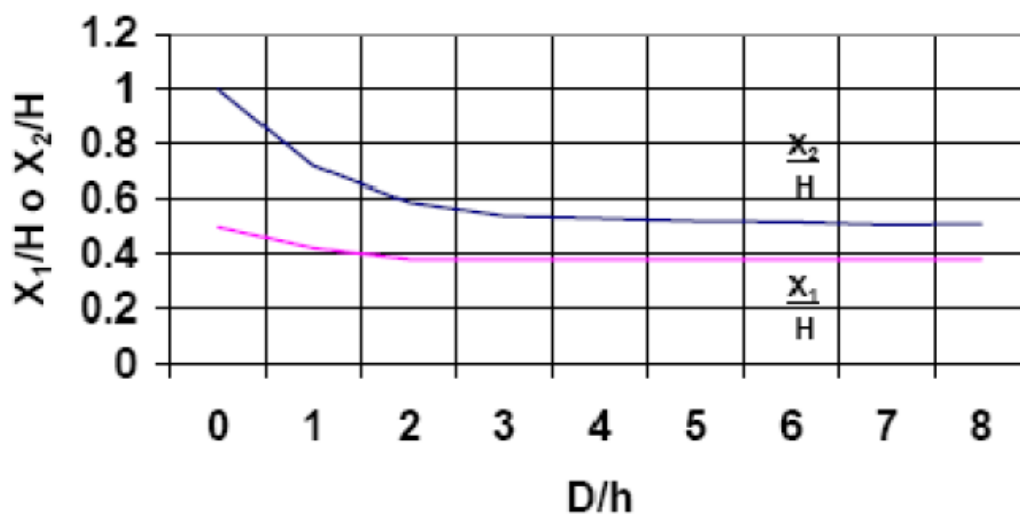
	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Gráfico: Relación entre D/H y la altura de los centroides



Para el tanque quedarán las siguientes alturas:

$$\frac{X_1}{H} = 0,39; \quad X_1 = 0,39 \cdot H = 0,39 \cdot 6 = 2,34 \text{ m}$$

$$X_1 = 2,34 \text{ m}$$



$$\frac{X_2}{H} = 0,55; \quad X_2 = 0,55 \cdot H = 0,55 \cdot 6 = 3,3 \text{ m}$$

$$X_2 = 3,3 \text{ m}$$

2.2.3 Centro de gravedad de la envolvente

Tabla: Datos para calcular el centro de gravedad de tanque de 2000 m³

Virola	nº chapas/virola	W _n (kg)	X _n (m)	W _n ·X _n (kg·m)
1	10	6133,6	1	6133,6
2	10	6133,6	3	18400,8
3	10	6133,6	5	30668
		18400,8		55202,4

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

El centro de gravedad se calculará por la siguiente expresión:

$$X_{env} = \frac{\sum(W_n \cdot X_n)}{\sum(W_n)} = \frac{55202,4}{18400,8} = 3 \text{ m}$$

2.2.4 Momento de vuelco generado por la acción sísmica

Tabla: datos para el cálculo del momento de vuelco



Tanque 2000 m ³	Z	I	C ₁	C ₂	W ₁ /kg	W ₂ /kg	W _{env} /kg	X ₁ /m	X ₂ /m	X _{env} /m
	0,1	1	0,6	0,393	7328000	10076000	18400,8	2,34	3,3	3

$$M_{vuelco} = Z \cdot I \cdot (C_1 \cdot W_{env} \cdot X_{env} + C_1 \cdot W_1 \cdot H_G + C_1 \cdot W_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot W_2 \cdot X_2) = 0,1 \cdot 1 \cdot (0,6 \cdot 18400,8 \cdot 3 + 0,6 \cdot 7328000 \cdot 7,82 + 0,6 \cdot 732800 \cdot 2,34 + 0,393 \cdot 10076000 \cdot 3,3) = 1756783,464 \text{ kg}$$

2.2.5 Peso del contenido del tanque que se opone al vuelco

La resistencia al momento del vuelco respecto del fondo del tanque podrá ser proporcionado por el peso del cuerpo del tanque y mediante anclajes. Para tanque sin anclajes la resistencia al momento de volcamiento de la envolvente depende del espesor de la plancha de fondo anular que queda debajo de la primera virola y que se levantaría de la cimentación en caso de volcado del casco. También depende del límite elástico de las planchas, de la altura de diseño del líquido y del peso específico de dicho líquido.

El peso del contenido del tanque que puede ser usado para resistir el momento de volcamiento del casco se calcula mediante la siguiente expresión:

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

$$W_L = 99 \cdot t_b \cdot \sqrt{(S_{yb} \cdot G \cdot H)}$$

Donde:

W_L : peso de la lámina adyacente a la envolvente que se opone al vuelco

t_b : espesor de la chapa del fondo

S_{yb} : límite elástico de las chapas del fondo

G: gravedad específica del líquido a almacenar

H: altura de cálculo

$$W_L = 99 \cdot t_b \cdot \sqrt{(S_{yb} \cdot G \cdot H)} = 99 \cdot 8 \cdot \sqrt{(228 \cdot 0,916 \cdot 6)} = 28035,99 \text{ N/m} \\ = 2857,9 \text{ kp/m}$$

Se podrá utilizar este W_L siempre y cuando $W_L < 196 \cdot G \cdot H \cdot D$, es decir:

$$W_L < 196 \cdot 0,916 \cdot 6 \cdot 20,60 = 22190,65 \text{ kp/m}$$

$$2857,9 < 22190,65$$



2.2.6 Esfuerzo sobre las paredes de la envolvente

La inestabilidad estructural del tanque viene dada por la expresión:

$$\frac{M_{volcamiento}}{D^2 \cdot (W_T + W_L)} < 1,57$$

$$\frac{M_{volcamiento}}{D^2 \cdot (W_T + W_L)} = \frac{1756783,464}{20,60^2 \left(\frac{18400,8}{\pi \cdot 20,60} + 2857,9 \right)} = 1,31$$

Por lo cual se da la expresión y esto quiere decir que el tanque será estable.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

2.3 Resistencia del terreno

El suelo es uniforme en cuanto a composición, tipología y resistencia no presentando riesgo de inundación y de inestabilidad.

El diseño de cimentaciones para tanque de almacenamiento se ajustará a la normativa vigente para este tipo de instalación. Adoptándose una losa de 30 cm de espesor de hormigón armado de resistencia 25 N/mm^2 , tamaño máximo de árido de 20 mm y mallazo de 15X15X6, apoyada sobre una base de piedra caliza de 20 cm de espesor, sobre 60 mm de relleno de albero de 60 cm previamente explanado y compactado.

3. CUBETO DE RETENCIÓN



3.1 Cálculo justificativo de la altura del cubeto

Según la ITC MIE APQ-006 el volumen del cubeto, para el caso de existir mas de un tanque como es el caso nuestro será, como mínimo el del mayor, y su capacidad se mide considerando que no existe el mayor pero sí los demás. Es decir, del volumen total del cubeto vacío hay que quitar el volumen de cada recipiente que quedaría sumergido bajo el nivel del aceite, exceptuando el tanque de mayor volumen. Para esto tendremos que:

$$V_{\text{cubeto}} = V_{\text{tanque } 2000 \text{ m}} + V_{\text{sumergido tanq } 1000} + V_{\text{sumergido tanq } 500} = 2000 + \pi \cdot 7,21^2 \cdot h + \pi \cdot 5,15^2 \cdot h$$

Las dimensiones del cubeto de retención están fijadas así que se podrá fijar la altura, por lo que:

$$V_{\text{cubeto}} = S_{\text{cubeto}} \cdot h = 2500 \cdot h$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Al comparar estas dos ecuaciones tendremos que:

$$2000 + \pi \cdot 7,21^2 \cdot h + \pi \cdot 5,15^2 \cdot h = 2500 \cdot h$$

$$h = \frac{2000}{2253,36} = 0,89 \text{ m}$$

Una vez hechos los cálculos podemos decir que el volumen del cubeto es de 2250 m³ y con una altura de 0,9 m.

4. SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA



4.1 Dimensionado de tuberías

Se fijan una serie de valores antes de realizar los cálculos necesarios para el diseño de tuberías. Estas características vendrán recogidas en la siguiente tabla:

Caudal requerido	1000 m ³ /día = 41,67 m ³ /hora
Caudal requerido máximo	1200 m ³ /día = 50 m ³ /hora
Velocidad máxima del líquido	2 m/s
Densidad del líquido	0.916 kg/dm ³

Con estos datos podremos calcular el área necesaria de la tubería que quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Área} = \frac{\text{Caudal requerido}}{\text{Velocidad del líquido}} = \frac{50 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{\text{hora}}{\text{s}}}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 6,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Por lo que el diámetro nominal quedaría:

$$D_{nominal} = \sqrt{\frac{4 \cdot \text{Área}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,94 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,094032 \text{ m} = 3,7 \text{ pulgadas}$$

Se adoptará un diámetro nominal de 4 pulgadas, cuyo diámetro exterior según el código ANSI es de 114,3 mm.

Para la elección del Schedule se toma la ecuación que indica el código ANSI B.31.10 que es:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot ((S \cdot E) + (P \cdot \gamma))} + C$$

Dónde:

t: espesor de cálculo

P: presión de cálculo (atmosférica)

D: diámetro exterior del tubo

S: tensión admisible a la temperatura de cálculo: 900 lb/pulgada²: 632,7 kg/cm²

E: coeficiente de unión (0,6)

γ : 0,4



C: sobreespesor de corrosión, erosión o profundidad del roscado

$$t = \frac{1,033 \cdot 11,43}{2 \cdot ((632,7 \cdot 0,6) + (1,033 \cdot 0,4))} = 0,1553 \text{ cm}$$

Se debe aumentar el espesor un 12,5 % debido a las irregularidades de fabricación. Por lo que es espesor adoptado será de:

$$t_{adoptado} = 1,125 \cdot t = 1,125 \cdot 0,1553 = 0,1747 \text{ cm} = 1,747 \text{ mm}$$

Debido a estos cálculos se adoptará finalmente un Schedule = 10 con espesor de 3,40 mm.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

4.2 Pérdida de carga en tuberías y accesorios

4.2.1 Pérdida de carga en el tramo de salida de los tanques

Para calcular la caída de presión por metro lineal de tubería se utiliza la expresión de Darcy:

$$h_f = \phi \cdot \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_i}$$

Dónde:

h_f : pérdida de carga (m)

ϕ : coeficiente de fricción de Fanning

L: longitud total equivalente (m)

V: velocidad del aceite (m/s)

D_i : diámetro interno de la tubería (m)

4.2.1.1 Longitud equivalente

La longitud equivalente total (L) se obtiene de la suma de la longitud lineal de la tubería y la longitud equivalente de los diferentes accesorios.

Tenemos que la longitud lineal de la tubería es de 45,67 metros y la longitud equivalente depende de los accesorios para calcularla nos ayudaremos de la tabla:



	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Tabla 8: Longitud equivalente de los accesorios

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente unitaria / m	Longitud equivalente / m
Codos de 90°	9	4	36
Válvulas de compuerta	3	32	96
Válvulas de retención	3	12	36
Válvulas de seguridad	1	60	60
T de paso recto	2	12	24
Longitud equivalente			252

Después de esto ya podemos calcular la longitud equivalente total que quedaría de la siguiente manera:

$$L_{equivalente\ total} = L_{tubería} + L_{equivalente} = 70,55 + 252 = 322,55\ m$$

4.2.1.2 Coeficiente de fricción de Fanning

Se tendrá que calcular el número de Reynolds y la rugosidad relativa para poder calcular el coeficiente de fricción de Fanning.

El número de Reynolds vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D_i \cdot \rho \cdot V}{\mu}$$



Dónde:

D_i : diámetro interior de la tubería: $114,3 - (2 \cdot 3,40)$: 108,22 mm

V: velocidad del aceite

ρ : densidad del aceite: 916kg/m³

μ : viscosidad del aceite: 0,081 kg/m·s

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

La velocidad del aceite será proporcional al caudal según indica la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{S_t};$$

Dónde S_t es la superficie de paso del tubo.

$$S_t = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,10822^2}{4} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Por lo que:

$$V = \frac{Q}{S_t} = \frac{0,01388 \text{ m}^3/\text{s}}{9,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,51 \text{ m/s}$$

Ya tenemos todos los datos para poder obtener Reynolds por lo que:

$$Re = \frac{D_i \cdot \rho \cdot V}{\mu} = \frac{0,10822 \cdot 916 \cdot 1,51}{0,081} = 1847,97$$

La rugosidad relativa se calcula a partir de la rugosidad de la tubería que en este caso es de 0,0005 m, así que quedaría:



$$\frac{e}{D_i} = \frac{0,0005}{0,10822} = 0,00462$$

Tendremos un régimen laminar así que podremos utilizar la fórmula que a continuación se expresa:

$$\phi = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1847,97} = 0,0346$$

Por lo que la pérdida de carga quedaría:

$$h_f = \phi \cdot \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_i} = 0,0346 \cdot \frac{322,55 \cdot 1,51^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,10822} = 11,98 \text{ m}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

4.2.2 Pérdida de carga en el tramo previo a la entrada a los tanques



La tabla que se expone a continuación muestra los accesorios que se encontraran desde la bomba centrífuga hasta los tanques.

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente unitaria / m	Longitud equivalente / m
Codos de 90°	2	4	8
Válvulas de compuerta	3	32	96
Válvulas de retención	3	12	36
Válvulas de seguridad	1	60	60
T de paso recto	2	12	24
Longitud equivalente			224

Así que observando la tabla tendremos una longitud equivalente para los accesorios de 224 m y teniendo en cuenta que tenemos 58,45 m de tubería lineal tendremos una longitud total de 282,45 m.

Los datos del apartado anterior se pueden utilizar en este apartado también por lo que solo quedaría cambiar la longitud total que es lo que varía. La expresión vendría dada así:

$$h_f = \phi \cdot \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_i} = 0,0346 \cdot \frac{282,45 \cdot 1,51^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,10822} = 10,49 \text{ m}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

4.3 Selección de bombas

- Potencia de entrada a los tanques

Para calcular la potencia de las distintas bombas tendremos que saber la caída de presión que necesita para llevar el aceite de oliva desde la zona de carga hasta los tanques de almacenamiento. La caída de presión viene indicada por la expresión:

$$\Delta P = \rho \cdot H$$

Donde:

ΔP : caída de presión (kg/m^2)

ρ : densidad del aceite de oliva (kg/m^3)

$H = H_g + h_f$: altura total= altura geométrica + pérdida de carga (m)

Así que la presión a transmitir será:

$$H = h_g + h_f = 6 + 10,49 = 16,49$$



$$\Delta P = \rho \cdot H = 916 \cdot 16,49 = 15104,84 \text{ kg/m}^2$$

A partir de estos datos podemos calcular la potencia necesaria de las bombas que se aprecian por la expresión:

$$P_{hidráulica} = g \cdot Q \cdot \Delta P = 9,81 \cdot 0,01388 \cdot 15104,84 = 2056,72 \text{ W}$$

Se supone que el rendimiento del motor es del 60% por lo que la potencia consumida será:

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{hidráulica}}{0,6} = \frac{2056,72}{0,6} = 3427,96 \text{ W}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Las bombas se suelen instalar teniendo en cuenta posibles sobrecargas. Debido a esto la potencia consumida se ve incrementada por un coeficiente de reserva (β) que depende de la magnitud de la potencia necesaria. En este caso el factor será de 1,2 . Así que la potencia instalada quedaría de la siguiente forma:

$$P_{instalada} = P_{eléctrica} \cdot \beta = 3427,96 \cdot 1,2 = 4113,43 \text{ W}$$

Por último, la bomba tendrá que tener una potencia superior ya que tiene que suministrar la altura necesaria para superar la presión hidráulica del tanque debido a la altura que tiene el aceite. De forma que finalmente la potencia del motor a instalar será de:

$$P_{normalizada} = 5,5 \text{ KW}$$

- Potencia de salida de los tanques

Para calcular la potencia de las distintas bombas tendremos que saber la caída de presión que necesita para llevar el aceite de oliva desde la zona de carga hasta los tanques de almacenamiento. La caída de presión viene indicada por la expresión:

$$\Delta P = \rho \cdot H$$

Donde:

ΔP : caída de presión (kg/m^2)



ρ : densidad del aceite de oliva (kg/m^3)

$H = H_g + h_f$: altura total= altura geométrica + pérdida de carga (m)

Así que la presión a transmitir será:

$$H = h_g + h_f = 4 + 11,98 = 15,98$$

$$\Delta P = \rho \cdot H = 916 \cdot 15,98 = 14637,68 \text{ kg/m}^2$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

A partir de estos datos podemos calcular la potencia necesaria de las bombas que se aprecian por la expresión:

$$P_{hidráulica} = g \cdot Q \cdot \Delta P = 9,81 \cdot 0,01388 \cdot 14637,68 = 1993,11 \text{ W}$$

Se supone que el rendimiento del motor es del 60% por lo que la potencia consumida será:

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{hidráulica}}{0,6} = \frac{1993,11}{0,6} = 3321,85 \text{ W}$$

Las bombas se suelen instalar teniendo en cuenta posibles sobrecargas. Debido a esto la potencia consumida se ve incrementada por un coeficiente de reserva (β) que depende de la magnitud de la potencia necesaria. En este caso el factor será de 1,2 . Así que la potencia instalada quedaría de la siguiente forma:



$$P_{instalada} = P_{eléctrica} \cdot \beta = 3321,85 \cdot 1,2 = 3986,21 \text{ W}$$

Por último, la bomba tendrá que tener una potencia superior ya que tiene que suministrar la altura necesaria para superar la presión hidráulica del tanque debido a la altura que tiene el aceite. De forma que finalmente la potencia del motor a instalar será de:

$$P_{normalizada} = 5,5 \text{ KW}$$

4.4 Venteos

Los venteos van en proporcionalidad con el caudal máximo de entrada o salida de los tanques. Como mínimo serán de 35 mm de diámetro interior. Se instalarán dos venteos por tanque por seguridad. Los venteos que se instalarán serán del mismo diámetro que las tuberías calculadas anteriormente, es decir, 114,3 mm.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

5. SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS PLUVIALES

5.1 Dimensionado de las tuberías

La arqueta de aguas pluviales tiene unas dimensiones de 1,5 X 4 X 5 m, lo que en volumen será 30 m³ de capacidad. Se estima el tiempo de evacuación en una hora aproximadamente, para desplazar estos pluviales se necesitará una bomba que mueva un caudal de 30 m³/h. Para los cálculos de tuberías se estima la velocidad del agua en 1,5 m/s. Con esto ya podemos calcular las dimensiones de las tuberías con las siguientes expresiones:

$$A = \frac{Q_{max}}{v} = \frac{30 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s}}{1,5 m/s} = 5,56 \cdot 10^{-3} m^2$$



El diámetro nominal será:

$$D_{Nominal} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,56 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,0841 m = 3,3 \text{ pulgadas}$$

Con estos datos y teniendo en cuenta al código ANSI decidimos tomar un diámetro nominal de 4 pulgadas, cuyo diámetro exterior es de 114,3 mm. Ahora procederemos a calcular el espesor, el cual se debe mayorar al tener en cuenta el proceso de fabricación de las tuberías y seleccionamos el Schedule.

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot ((S \cdot E) + (P \cdot \gamma))} + C$$

$$t = \frac{1,033 \cdot 11,43}{2 \cdot ((632,7 \cdot 0,6) + (1,033 \cdot 0,4))} = 0,1553 cm$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Este espesor al mayorarlo quedaría así:

$$t_{mayorado} = 1,125 \cdot 0,1553 = 0,1747 \text{ cm} = 1,747 \text{ mm}$$

A partir de aquí podemos seleccionar una tubería con diámetro nominal de 4 pulgadas y Schedule 10 con un espesor de 3,04 mm superando así el espesor mínimo.

Al tener este diámetro nominal cambiará la velocidad del aceite quedando así:

$$V = \frac{Q}{A} = 1,02 \text{ m/s}$$



5.2 Pérdidas de carga en tuberías y accesorios

Para calcular esta pérdida de carga emplearemos la ecuación de Darcy. Tendremos que calcular tanto la longitud equivalente como el coeficiente de fricción de Fanning:

-Longitud equivalente total:

Tabla 9: Longitudes equivalentes para pluviales

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente unitaria / m	Longitud equivalente / m
Codos de 90°	2	4	8
Válvulas de compuerta	1	32	32
Válvulas de retención	1	12	12
Longitud tuberías			60
Longitud equivalente total			112

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

-Coeficiente de fricción de Fanning

Primero habrá que calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_i \cdot \rho \cdot V}{\mu} = \frac{0,10822 \cdot 916 \cdot 1,02}{0,081} = 1248,30$$

Lo que nos da un régimen laminar, esto hace que se pueda calcular directamente el coeficiente de fricción de Fanning mediante la ecuación.

$$\phi = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1248,30} = 0,0513$$

Ya tenemos todas las variables para poder obtener la pérdida de carga con lo cual:

$$h_f = \phi \cdot \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_i} = \frac{0,0513 \cdot 112 \cdot 1,02^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,10822} = 2,82 \text{ m}$$



5.3 Selección de bombas

La presión que habrá que transmitir será de:

$$\Delta P = h_f \cdot \rho = 2,82 \text{ m} \cdot 916 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2583,12 \text{ kg/m}^2$$

A partir de estos datos se podrá calcular la potencia de la bomba, la bomba a calcular tendrá un rendimiento del 60%.

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{g \cdot Q \cdot \Delta P}{\eta} = \frac{9,81 \cdot 8,33 \cdot 10^{-3} \cdot 2583,12}{0,6} = 351,81 \text{ W}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Mayorándola con el coeficiente β quedará la potencia instalada así:

$$P_{instalada} = P_{eléctrica} \cdot \beta = 351,81 \cdot 1,5 = 527,72 \text{ W}$$

Finalmente normalizamos la potencia de la bomba quedando así:

$$P_{normalizada} = 550 \text{ W}$$

6. SISTEMA DE DERRAMES



6.1 Dimensionado de las tuberías

Los derrames de aceite de oliva serán recogidos en una arqueta de 1 X 1 X 0,7 m, donde se instalará una bomba que conducirá el aceite de oliva a un recipiente para proceder a su reciclado. El caudal del bombeo se calculará en función de los siguientes datos:

Volumen del recipiente	2000 m ³
Densidad del aceite de oliva	916 kg/m ³
Grado de llenado histórico	20%
Grado de llenado	1 tn/h
Tiempo máximo de llenado	48 h

Con estos datos podemos calcular el caudal máximo:

$$Q_{max} = \frac{2000 \cdot 1 \cdot 0,2}{0,916 \cdot 48} = 9,1 \frac{m^3}{h} = 2,53 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Tras esto se calcula el diámetro nominal de las tuberías:

$$A = \frac{Q_{max}}{v_l} = \frac{2,53 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,26 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,26 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,04011 m = 40,12 mm$$



$$= 1,58 \text{ pulgadas}$$

Se selecciona por exceso una tubería según el código ANSI de diámetro nominal de 4 pulgadas ($D_{exterior} = 114,3 \text{ mm}$). Ahora calculamos el espesor, lo mayoramos por los posibles errores de fabricación y seleccionamos el Schedule.

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot ((S \cdot E) + (P \cdot \gamma))}$$

$$t = \frac{1,033 \cdot 11,43}{2 \cdot ((632,7 \cdot 0,6) + (1,033 \cdot 0,4))} = 0,1553 cm$$

Una vez obtenidos estos datos seleccionamos una tubería de diámetro nominal 4 pulgadas y Schedule 10. Esta selección implica un espesor de 3,04 mm superior al mínimo establecido por la norma.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

6.2 Pérdidas de carga en tuberías y accesorios

Para averiguar la pérdida de carga lo haremos por la ecuación de Darcy. Pero primero tenemos que obtener la longitud equivalente y el coeficiente de fricción de Fanning.

-Longitud equivalente total:

Tabla 10: Longitudes equivalentes para derrames

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente unitaria / m	Longitud equivalente / m
Codos de 90°	4	4	16
Válvulas de compuerta	1	32	32
Válvulas de retención	1	12	12
Longitud tuberías			92
Longitud equivalente total			152



-Coeficiente de fricción de Fanning

Primero habrá que calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_i \cdot \rho \cdot V}{\mu} = \frac{0,10822 \cdot 916 \cdot 1,5}{0,081} = 1835,73$$

Lo que nos da un régimen laminar, esto hace que se pueda calcular directamente el coeficiente de fricción de Fanning mediante la ecuación.

$$\phi = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1835,73} = 0,0349$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Ya tenemos todas las variables para poder obtener la pérdida de carga con lo cual:

$$h_f = \phi \cdot \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_i} = \frac{0,0349 \cdot 152 \cdot 1,5^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,10822} = 5,62 \text{ m}$$

6.3 Selección de bombas

La presión que habrá que transmitir será de:

$$\Delta P = h_f \cdot \rho = 5,62 \text{ m} \cdot 916 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5147,92 \text{ kg/m}^2$$

A partir de estos datos se podrá calcular la potencia de la bomba, la bomba a calcular tendrá un rendimiento del 60%.



$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{g \cdot Q \cdot \Delta P}{\eta} = \frac{9,81 \cdot 8,33 \cdot 10^{-3} \cdot 5147,92}{0,6} = 701,12 \text{ W}$$

Mayorándola con el coeficiente β quedará la potencia instalada así:

$$P_{instalada} = P_{el\acute{e}ctrica} \cdot \beta = 701,12 \cdot 1,5 = 1051,68 \text{ W}$$

Finalmente normalizamos la potencia de la bomba quedando así:

$$P_{normalizada} = 1100 \text{ W}$$

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

7. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN

En primer lugar para la instalación eléctrica se va a dimensionar la sección de los conductores teniendo en cuenta la potencia y tensión que va a suministrar. Para ello se va a utilizar la ecuación con la que debe hacerse este cálculo según el REBT. Esta ecuación establece:

$$S = \frac{L * P_c}{\sigma * e * V}$$

Donde:

L: longitud de cada conductor en metros.



P_c: potencia de calculo del receptor en Vatios

σ: conductividad del conductor ($\sigma_{Cu} = \frac{56m}{\Omega} * mm^2$)

e: caída de tensión permitida en el tramo calculado en Voltios (0,5 por 100)

V: tensión de alimentación en Voltios

Dicho cálculo se aplicará en cada tramo proporcionando la siguiente tabla. Además se incluye el hilo neutro, el hilo de tierra y el diámetro exterior de los tubos de acero galvanizado que conducen la instalación, cuyo diámetro es función de la sección de los hilos que porta y el número de ellos. La sección de neutro y tierra se establece según lo indicado en el RBET en las ITC-BT 14, 18 y 21.

	PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE OLIVA	
	MEMORIA DE CÁLCULO	

Factor arranque	Potencia nominal(W)	Potencia real (W)	Tensión (V)	Caida tensión adm. (V)	Longitud (m)	Sección cálculo conductores (mm)
1,25	12650	15812,5	380	5	40	5,94
1,25	3200	4000	220	1	35	11,36
1,25	1600	2000	220	2	50	4,06
1,25	1600	2000	220	2	70	5,68

Selección elegida según RBET (mm)	Sección hilo neutro (mm)	Sección hilo tierra (mm)	Nº hilos	Sección exterior canalización (mm)	Intensidad de calculo (A)	Intensidad maxima admisible (A)	Intensidad de protección (A)
6	6	6	5	50	14,5	72	63
16	16	16	3	63	10,5	153,125	
6	6	6	3	50	5,2	88,2	63
6	6	6	3	50	5,2	88,2	63