



**Gerencia de Ingeniería y Geología
Superintendencia de Ingeniería y Servicios**

**Sistema Descarga de Ácido por Camiones
IA-06-1038**

**Memoria de Cálculo Estanque
1038-MC-E-001**

| Revisión | Fecha | Preparó | Revisó | Aprobó | Autorizó |
|-----------------|--------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| A | 10/10/06 | P. Villalobos | H. Lobera | M. Lizama | J.P. Vásquez |
| 0 | | | | | |
| 1 | | | | | |

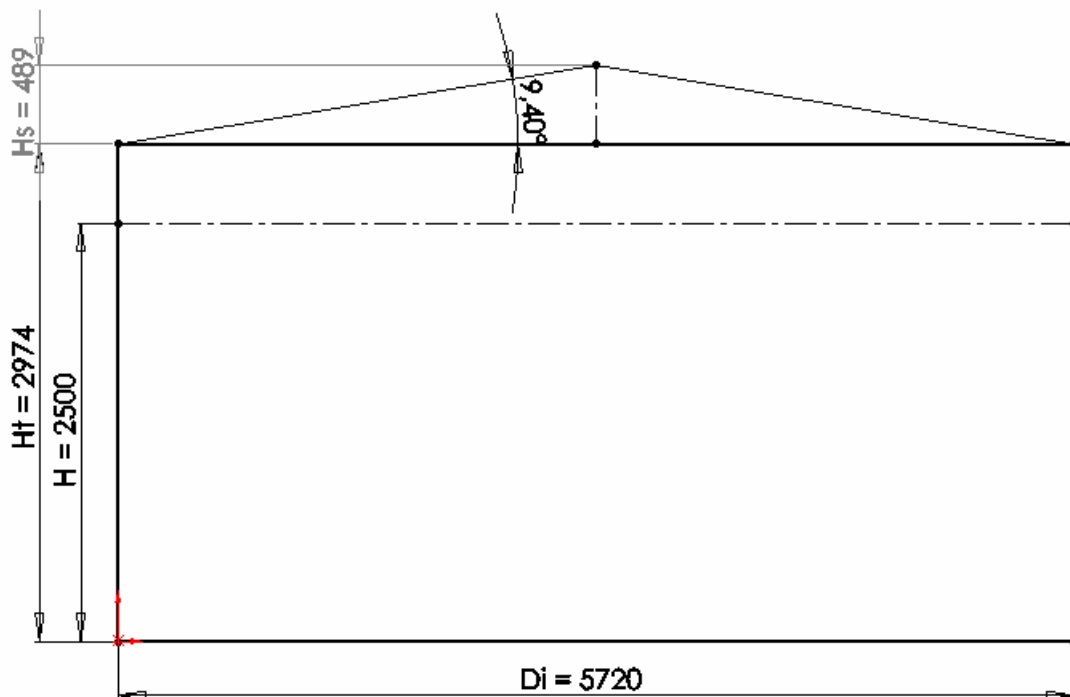
Memoria de Cálculos

1. Especificaciones Generales :

Datos Generales:

Norma Referencia : API Standard 650, Welded Steel
Líquido : Ácido Sulfúrico 98%
Densidad : $\delta = 1830 \text{ kg/m}^3$;
: $G = \delta/\delta_n = 1.83$
Material : Acero A37-24ES
Volumen nominal : 66 m³

Geometría



Altura total : $H_t = 2.974 \text{ m (9.741 ft)}$
Nivel líquido : $H_t = 2.50 \text{ m (8.202 ft)}$
Diámetro medio : $D = 5.72 \text{ m (18.766 ft)}$
Altura de techo : $h = 0.504 \text{ m (1.654 ft)}$

API-650 no se trabajó en el sistema internacional, por lo que, deberán hacerse las conversiones de unidades necesarias cuando se requiera.

2. Cálculos de Espesores

Características del material (Ref. Tabla3.2)

Acero A 36

Sd = 23.200 psi.

St = 24.900 psi.

F0Y = 36.000 psi

Fondo

Se consideró un espesor de 6 mm según norma API-650.

Debido a que el ácido es un agente corrosivo le daremos un factor de seguridad por corrosión de 2 mm por lo tanto el fondo tendrá un espesor final de 8 mm.

Diseño del manto

Para $D < 50$ ft (15.24 m) el espesor mínimo debe ser $3/16''$ (4.76 mm)

El espesor mínimo de pared vertical, considerando un sobre espesor por corrosión de $CA = 2$ mm

td : Espesor de diseño

tt : Espesor de prueba hidráulica

$$td = \left(\frac{2.6 \times D \times (H-1) \times G}{Sd} \right) + CA$$

$$= \frac{(2.6 \times 18.766 \times (8.202 - 1) \times 1.83)}{23.200} + 0.079 = 0.107'' = 2.7 \text{ mm}$$

$$tt = \frac{2.6 \times D \times (H-1)}{St}$$

$$tt = \frac{2.6 \times 18.766 \times (8.202-1)}{24.900} = 0.014'' = 0.36 \text{ mm}$$

Se usará $t_s = 6 \text{ mm} > 4.76 \text{ mm}$ ($3/16''$)

$t_s = 6 \text{ mm}$ (Zona Superior)

$t_s = 8 \text{ mm}$ Inferior (Zona inferior afectada 100% a corrosión ácida)

Diseño de techo

Para techo cónico auto soportante, con $\theta = 9,4^\circ < 37^\circ$ y $\text{sen}\theta \geq 0.165$,

El espesor mínimo del techo esta dado por:

$$tm = \frac{D}{400 \times \text{sen}\theta} \geq \frac{3''}{16}$$

$$tm = \frac{18.766}{400 \times \text{sen}\theta} = 0.27'' = 6.86 \text{ mm}$$

$t_s = 8 \text{ mm} > 6.86 \text{ mm}$

Calculo de pesos:

Peso del liquido $w_t = 117.564 \text{ kg}$

Peso del techo $w = 1639 \text{ kg}$

Peso del manto $w = 2514 \text{ kg}$

3. Análisis sísmico (API 650, Apéndice E)

Se consideraran los siguientes parámetros caracterización sísmica:

- Ubicación: Sector norte de Chile (Mineral El Abra)
UBC Zona 4 $Z = 0.4$
- De acuerdo a las características del suelo, se considera un suelo tipo 2, $S = 1.2$
- Factor de importancia, $I = 1.0$

Coefficiente sísmico

Para el cálculo de los coeficientes sísmicos se requiere conocer el período fundamental del líquido. API 650 entrega la siguiente ecuación para determinarlo.

$$T = k(D)^{0.5}$$

Donde k se obtiene del gráfico de la fig. E-4, que para la relación $D/H = 2.288$, resulta 0.62 luego

$$T = 0.62 (18.766)^{0.5} = 2.686 \text{ seg}$$

Una expresión más exacta es la que entrega el método de Housner, donde las variables están en el sistema métrico.

$$\begin{aligned} T &= \frac{1.046 \sqrt{D}}{\sqrt{\tanh(1.841H/R)}} \\ &= \frac{1.046 \sqrt{D}}{\sqrt{\tanh(1.841 \times 2.5/2.86)}} \\ &= 2.604 \text{ seg} < 4.5 \text{ seg} \end{aligned}$$

Se usará el primer valor

Según API 650 E-3.3 los coeficientes de fuerza lateral resultan:

$$C_1 = 0.60$$

$$C_2 = \frac{0.75 \times S}{T} = \frac{0.75 \times 1.2}{2.686} = 0.335$$

Cálculo de masas y centro de gravedad

Según gráfico de la fig. E-2 y E-3, de masas efectivas y centroides de fuerzas sísmicas, para $D/H = 2.288$

$$\text{Peso impulsivo: } \frac{W_1}{W_2} = 0.5 \quad W_1 = 0.5 \times 259.193 = 129.597 \text{ lb}$$

$$\text{Paso convectivo: } \frac{W2}{WT} = 0.5 \quad W2 = 0.5 \times 259.193 = 129.597 \text{ lb}$$

$$\text{Altura impulsiva: } \frac{X1}{H} = 0.38 \quad X1 = 0.38 \times 8.202 = 3.117 \text{ ft}$$

$$\text{Altura convectiva: } \frac{X2}{H} = 0.56 \quad X2 = 0.56 \times 8.202 = 4.593 \text{ ft}$$

$$\text{Altura c.g. manto estanque: } Xs = \frac{Ht}{2} = \frac{9.741}{2} = 4.8705 \text{ ft}$$

$$\text{Altura c.g. techo: } Xr = Ht + \frac{h}{2} = 9.741 + \frac{1.654}{2} = 10.568 \text{ ft}$$

En forma alternativa X1, X2, X3, W1 Y W2 pueden calcularse empleando las ecuaciones que entrega el método de Housener.

Los coeficientes Ci y Cc de masa impulsiva y convectiva respectivamente, se calculan mediante las expresiones siguientes:

$$Ci = \frac{\tanh(\text{sqr}(3) \times R/H)}{\text{Sqr}(3) \times R/H}$$

$$= \frac{\tanh(\text{sqr}(3) \times 2.86/2.5)}{\text{Sqr}(3) \times 2.86/2.5} = 0.486$$

$$Cc = 0.455 \times \frac{R}{H} \times \tanh(1.841 \times 2.86/2.5) = 0.48$$

Luego, el peso de la masa impulsiva Pi = W1 y el peso de la masa convectiva Pc=W2 sera:

$$W1 = Pi = Ci \times Pt = 0.486 \times 117.564 = 57.136 \text{ kg} = 125.968 \text{ lb}$$

$$W2 = Pc = Cc \times Pt = 0.48 \times 117.564 = 56.431 \text{ kg} = 124.413 \text{ lb}$$

Se observa valores muy similares entre los calculados mediante las graficas de API 650 y las ecuaciones del método de housner. De igual manera los c.g calculados por este método resultan a los obtenidos en los gráficos.

Momento volcante

$$M = 2 \times I \times (C1 \times Ws \times Xs + C1 \times Wr \times Xr + C1 \times W1 \times X1 + C2 \times W2 \times X2)$$

$$M = 0.4 \times 1 \times (0.6 \times 5.543 \times 4.8705 + 0.6 \times 3.613 \times 10.568 + 0.6 \times 129.597 \times 3.117 + 0.335 \times 129.597 \times 4,593)$$

$$M = 192.354 \text{ lb-ft (26.593 kg-m)}$$

Resistencia al volcamiento

Para estanques no anclados, la porción del contenido que puede ser usada para resistir el volcamiento, se determina como sigue:

$$WL = 7.9 \times t_b \times \text{sqr}(F_{by} \times G \times H) < 1.25 \times G \times H \times D$$
$$= 7.9 \times 0.236 \times \text{sqr}(36.000 \times 1.83 \times 8.202) = 1370 \text{ lb/ft}$$

$$1.25 \times G \times H \times D = 1.25 \times 1.83 \times 8.202 \times 18.766 = 352 \text{ lb/ft}$$

WL = 352 lb/ft de circunferencia del estanque

El efecto estabilizante de la estructura del estanque esta dado por :

$$W_t = \frac{W_s + k + W_r}{\pi \times D}$$

$$W_t = \frac{5.543 + 1 \times 3613}{\pi \times 18.766} = 155 \text{ (lb/ft)} \quad \text{de circunferencia del estanque}$$

El factor de volcamiento esta dado por la siguiente expresión:

$$\frac{M}{D^2 \times (W_t + WL)} = \frac{192.354}{18.766^2 \times (155 + 352)} = 1.077 < 1.57$$

Según API 650, el estanque es estructuralmente estable, por lo que no requiere anclar el estanque.

Compresión

La tensión máxima admisible de compresión Fa se determina aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } \frac{G \times H \times D^2}{t^2} = \frac{1.83 \times 8.202 \times 18.766^2}{0.236^2} = 94.905 < 10^6$$

$$F_a = \frac{10^6 \times t}{2.5 \times D} + 600 \times \text{sqr}(G \times H) \leq 0.5 F_{ty}$$

$$0.5 \times F_{ty} = 0.5 \times 36.000 = 18.000 \text{ (lb/pulg}^2\text{)}$$

$$F_a = \frac{10^6 \times t}{2.5 \times D} + 600 \times \text{sqr}(G \times H) = \frac{10^6 \times 0.236}{2.5 \times 18.766} + 600 \times \text{sqr}(1.83 \times 8.202)$$

$$F_a = 7.355 \text{ lb/pulg}^2 \quad \text{CUMPLE OK}$$

Para estanques no anclado la máxima fuerza de compresión longitudinal por unidad de circunferencia esta dado por :

$$b = wt + 1,273 * M/D^2 = 155 + 1,273 * 192354 / 18,766^2$$

$$b = 696 \text{ [lb/ft]}$$

El máximo esfuerzo de compresión en le espesor de pared es

$$b/12*t = 696 / (12 * 0,236) = 246 \text{ lb/pulg}^2 < Fa = 7355 \text{ Lb/pulg}^2$$

CUMPLE, OK

De acuerdo al calculo el estanque no requiere de anclaje, pero por mayor seguridad se anclara con los pernos que se indican en el plano N° 1038-670-ES-508 Rev C