



**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**

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

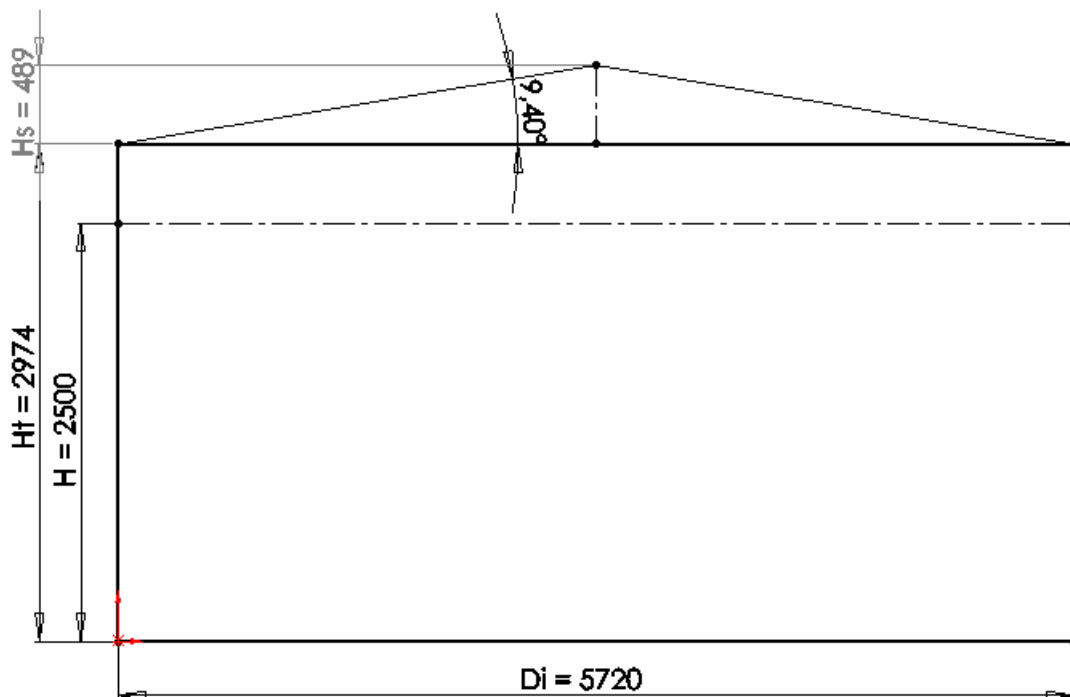
## Memoria de Cálculos

### 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 m<sup>3</sup>

#### 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,  $I = 1.0$

#### **Coeficiente sísmico**

Para el cálculo de los coeficientes sísmicos se requiere conocer el periodo 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  $D/4 = 2.288$ , 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  $D/H = 2.288$

$$\text{Peso impulsivo: } \frac{W_1}{W_2} = 0.5 \quad W_1 = 0.5 \times 259.193 = 129597 \text{ lb}$$

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

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

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

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

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

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**

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

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

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

## 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  $F_a$  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 anclados la máxima fuerza de compresión longitudinal por unidad de circunferencia está 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 el espesor de pared es

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

CUMPLE, OK

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