



TANQUES Y RECIPIENTES APOYADOS Y ELEVADOS

- Análisis de acciones sísmicas

Preparó:

Ing. Daniel A. García Gei

Revisó:

Ing. Daniel A. García Gei

Dirigió:

Ing. Daniel A. García Gei

TANQUES Y RECIPIENTES APOYADOS Y ELEVADOS

Los tanques, depósitos o recipientes para líquidos, gases o materiales granulares, apoyados en el suelo o elevados presentan un comportamiento singular ante las sollicitaciones que les imponen los terremotos.

El proyecto, construcción e instalación de los depósitos debe contemplar:

- ✓ La estabilidad global del tanque.
- ✓ Las presiones hidrodinámicas.
- ✓ La amplitud del chapoteo u oleaje.
- ✓ La estructura vertical que los soporta.
- ✓ Los anclajes.

TANQUES APOYADOS

Existen incertidumbres respecto de los criterios para asumir las formas de falla. Sin embargo, la observación y análisis de estructuras falladas en eventos sísmicos nos sugieren qué previsiones se deben considerar en el proyecto, la construcción y el mantenimiento, entre otras anotamos:

- ✓ El movimiento vibratorio provoca el oleaje o chapaleo del líquido. El líquido disipa una insignificante cantidad de energía durante el movimiento, esto significa que el amortiguamiento es muy pequeño (apenas 1% del crítico). Con el diseño y ejecución de pantallas deflectoras puede mejorarse este comportamiento.
- ✓ El contenido presiona perpendicularmente sobre el fondo y paredes y sólo por el fondo se transmiten las acciones a la cimentación. En tanques de fondo plano, el equilibrio frente a vuelco sobre la base del peso del líquido es imposible ya que la fuerza gravitatoria no se transmite por las paredes sino por el fondo. El levantamiento eventual del fondo del tanque hace que el fondo deba transmitir el 100% de la presión hidráulica, situación para la que normalmente no es diseñado. El fondo se raja o arranca en la junta con la pared, el líquido se derrama en forma brusca e instantánea y el vacío sobreviniente provoca el arrugamiento o abollamiento del tanque. Cabe acotar que, a menos que el tanque esté en una cuba o trinchera de tierra, el escape de un volumen importante de líquido puede conformar una catástrofe en las inmediaciones.
- ✓ Los anclajes deben prever los desplazamientos horizontales y el levantamiento y son los elementos que proporcionan ductilidad. Si se disponen dispositivos que entregan ductilidad por deformaciones permanentes, habrá que evaluar los desplazamientos máximos y considerar la manera de cambiar los dispositivos una vez acaecido el evento sísmico, previniendo para el próximo.

TANQUES ELEVADOS

A lo dicho respecto del comportamiento del contenido de los tanques y los dispositivos de apoyo, debemos agregar:

- ✓ La mayoría de las estructuras que soportan tanques elevados pertenecen al tipo de péndulo invertido.
- ✓ En los casos de soportes triangulados habrá que investigar y prever efectos de fluencia asimétrica de tensores o pandeo de diagonales comprimidas, lo que provocará torsión accidental con probabilidad de falla general.

PREMISAS PARA EL DISEÑO

Conforme con lo dicho, es posible establecer algunas premisas para la evaluación de la acción sísmica y el diseño de las estructuras de tipo tanque apoyadas en el suelo o soportadas en altura.

1. Adoptar espectros de diseño con pequeño amortiguamiento crítico (no más de 2%).
2. El factor de ductilidad para la estructura será también pequeño ($\mu \approx 2$). Cabe anotar en este punto que el patrón de medida de la ductilidad debe considerar la respuesta de la estructura en conjunto y no sólo el tipo de estructura adoptado.
3. Los tanques y depósitos de fondo plano se deben anclar a una placa de cimentación capaz de transmitir por ella misma la presión del contenido y los anclajes deben tener suficiente resistencia y rigidez como para impedir el levantamiento de las paredes respecto de esa placa.

EVALUACIÓN DE LAS CARÁCTERÍSTICAS DINÁMICAS DE TANQUES

Las presiones del líquido sobre las paredes por efectos dinámicos contienen una componente por compresibilidad del líquido y otra debida al oleaje generado por el movimiento.

Para las dimensiones normales de los tanques y recipientes la componente de compresibilidad es despreciable, en tanto adquiere importancia el efecto de oleaje y chapoteo.

En un tanque rígido con tapa rígida, lleno de modo que la superficie del líquido esté en contacto con la tapa, toda la masa líquida se mueve con el tanque como una masa rígida. Si existe una pequeña separación entre la superficie del líquido y la tapa (del orden de 2% de la profundidad) se presentan fenómenos de oleaje y el tanque se puede considerar como si no tuviera tapa, o sea superficie libre del líquido. Para fines prácticos esta será la hipótesis de trabajo: tanque lleno con superficie libre.

Existen soluciones para tanques de formas variadas y situaciones de deformabilidad de las paredes del tanque.

Para oscilaciones pequeñas, las presiones hidrodinámicas se pueden asimilar a una suma de n soluciones modales, en forma similar a la de estructuras lineales con varios grados de libertad. Por ello, la masa del líquido se sustituye por n masas conectadas por resortes a la estructura del tanque, cada masa está asociada a un grado de libertad.

Las soluciones que presentamos se refieren a tanques cilíndricos y rectangulares, rígidos y sometidos a movimiento de traslación.

Para determinar la presión ejercida por el líquido sobre las paredes y el momento de vuelco correspondiente se asumen dos formas de aplicación de la masa del líquido contra las paredes: una masa m_0 conectada rígidamente a distancia z_0 del fondo y una masa m_1 conectada mediante resortes de rigidez k a una distancia z_1 del fondo.

Los parámetros indicados se obtienen de las siguientes expresiones:

	TANQUE CILINDRICO	TANQUE RECTANGULAR
$m_0 =$	$\frac{\tanh(0.85 \frac{d}{H})}{0.85 \frac{d}{H}} m$	$\frac{\tanh(0.85 \frac{a}{H})}{0.85 \frac{a}{H}} m$
$m_1 =$	$\frac{0.71 * \tanh(3.6 \frac{H}{d})}{3.6 \frac{H}{d}} m$	$\frac{0.83 * \tanh(3.2 \frac{H}{a})}{3.2 \frac{H}{a}} m$
$z_0 =$	$0.38H \left[1 + \alpha \left(\frac{m}{m_0} - 1 \right) \right]$	$0.38H \left[1 + \alpha \left(\frac{m}{m_0} - 1 \right) \right]$
$z_1 =$	$H \left[1 - 0.0525 \frac{m}{m_1} \left(\frac{d}{H} \right)^2 + 0.275 \beta \frac{d}{H} \sqrt{0.0375 \left(\frac{d}{H} \frac{m}{m_1} \right)^2 - 1} \right]$	
$z_1 =$		$H \left[1 - 0.0825 \frac{m}{m_1} \left(\frac{a}{H} \right)^2 + 0.315 \beta \frac{a}{H} \sqrt{0.07 \left(\frac{a}{H} \frac{m}{m_1} \right)^2 - 1} \right]$
$K =$	$19g \frac{m_1^2}{m} \frac{H}{d^2}$	$12g \frac{m_1^2}{m} \frac{H}{a^2}$
$\eta =$	$\frac{0.345 \frac{kd}{gm_1}}{1 - .23 \frac{x}{r} \left(\frac{kd}{gm_1} \right)^2}$	$\frac{0.42 \frac{ka}{gm_1}}{1 - 0.46 \frac{x}{a} \left(\frac{ka}{gm_1} \right)^2}$

En las que los símbolos representan:

$m = W / g$ = masa total del líquido contenido

W = peso del líquido contenido

g = aceleración de la gravedad

m_0 = masa conectada rígidamente a la estructura

m_1 = masa dinámica correspondiente al líquido en movimiento

z_0 = distancia del fondo a la conexión de la masa m_0

z_1 = distancia del fondo a la conexión de la masa m_1

k = rigidez de resorte asimilada al líquido

d = diámetro del cilindro

a = lado del tanque rectangular paralelo a la dirección del movimiento

$\alpha=1.33$ - $\beta=2.0$ si se incluye en el cálculo la determinación del momento hidrodinámico en el fondo del tanque.

$\alpha=1.0$ - $\beta=0.0$ si sólo se requieren las presiones hidrodinámicas en las paredes

η = Factor para evaluar la amplitud de onda generadas por la vibración, aplicado al desplazamiento x de la masa m_1

x = amplitud total del desplazamiento de la masa m_1

NOTA: Las fórmulas de η son satisfactorias siempre que la amplitud de las ondas resulte:

$$\eta x \leq 0.2r$$

$$\eta x \leq 0.10 a$$

$$\eta x \leq 0.02H$$

Tanques con fondo semiesférico o cónico se pueden asimilar a tanques cilíndricos de fondo plano de igual diámetro y volumen.

La disipación de energía debida a la viscosidad del líquido, expresada como porcentaje del amortiguamiento crítico, normalmente es pequeña y disminuye al aumentar las dimensiones lineales del recipiente. En la práctica se asume $\xi \cong 1 \div 2\%$.

- ✓ En tanques apoyados en el suelo, la masa vibrante es m_1 , el período natural será

$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}$ con lo que se puede determinar la ordenada espectral, el desplazamiento y el cortante asociado.

- ✓ En tanques apoyados sobre infraestructura, a la masa m_0 se agrega la masa del esqueleto estructural y debemos considerar los modos de vibración, períodos, aceleraciones y desplazamientos de las masas m_0 y m_1 , esto es un sistema con dos o más grados de vibración.

REFERENCIAS

Rosenblueth E. – Newmark N.M. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA SISMICA – Ed. Diana – México – 1976