

Por Ing. Oscar Patiño
Ingeniero Civil

Criterio hidrodinámico para el diseño de tanques de almacenamiento de líquidos

Los tanques para almacenamiento de líquidos, son de gran interés a nivel local e internacional, por su importancia para el abastecimiento de agua potable. En general, estos pueden clasificarse en tanques soportados sobre el suelo natural y tanques elevados. Para el diseño estructural de estas instalaciones deberán seguirse las siguientes normativas: a) ACI350.3-01 Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures, y b) ACI 371R-98 Guide for the Analysis, Design, and Construction of Concrete-Pedestal Water Towers. También deben observarse las recomendaciones ACI 318-08 y del ACI 350-01, donde sean aplicables.

Los tanques de agua son estructuras que requieren especial atención, debido a las fuerzas inerciales generadas por el fenómeno hidrodinámico, cuando están sometidos a aceleraciones, como las inducidas por los sismos. El interés de este artículo consiste en presentar un resumen de los criterios para determinar las fuerzas de diseño debido al fenómeno hidrodinámico sobre tanques cilíndricos de concreto reforzado.

Reseña de los estudios

Cuando un tanque de almacenamiento de líquido experimenta aceleraciones, la parte del fluido más cercana al fondo se mueve en conjunto con la estructura aportando masa a las propiedades inerciales de ésta, acción conocida como comportamiento impulsivo. Pero en zonas cercanas a la superficie, el líquido tiende a moverse en sentido opuesto al movimiento del tanque, con una componente de desplazamiento vertical, fenómeno que genera un oleaje, provocando un comportamiento convectivo.

De una revisión histórica, la primera solución de tal problema fue propuesta por Westergaard (1933) quien determinó la presión en una represa vertical rectangular sometida a una aceleración horizontal. Jacobsen (1949) resolvió el correspondiente problema para un estanque de forma cilíndrica, ya sea conteniendo líquido o rodeado de líquido. Werner y Sundquist (1949) extendieron el trabajo de Jacobsen para incluir estanques de forma rectangular, semicircular, triangular y hemisférica. Graham y Rodríguez (1952) desarrollaron un análisis muy completo para determinar las presiones impulsivas y convectivas en un estanque rectangular.

Para el caso de tanques circulares, siendo H , la altura y $D=2R$, el diámetro del tanque, se ha demostrado que a mayor relación H/D (tanques altos y delgados) mayor parte de la masa trabaja en condiciones impulsivas, mientras que a menores valores H/D (tanques bajos y anchos) mayor parte de la masa se comporta en forma convectiva.

Modelo Mecánico equivalente de Housner

En 1954 Housner propuso un modelo mecánico equivalente para representar el movimiento del agua, donde una parte (M_0) de la masa total del agua (M) permanece fija a las paredes del estanque, mientras que el movimiento oscilatorio es representado por una serie de masas móviles (M_1, \dots, M_n) unidas a las paredes por medio de resortes de rigidez K . Posteriormente, en 1963, el mismo Housner propone considerar una sola masa convectiva y una sola masa impulsiva, planteando ecuaciones para evaluar tales masas, sus respectivas alturas desde la base del tanque, y la rigidez del resorte que actúa junto a la masa convectiva (Ver Figura 1). Mayor información puede encontrarse en Housner, G.W., Earthquake

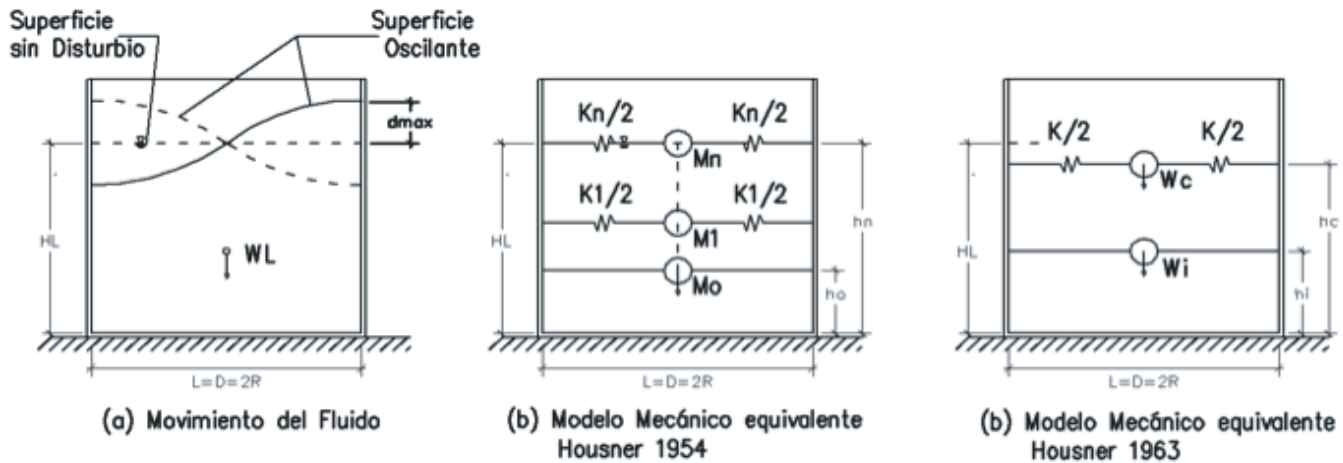


Figura 1. Modelos dinámicos de un tanque de pared rígida

pressures on Fluid Containers, Eight Technical Report under Office Naval Research-California Institute of Technology, USA, 1954.

Cálculo de fuerzas según el ACI

Las disposiciones sobre fuerzas impulsivas y convectivas han sido consideradas no sólo en el ACI sino también en otros códigos del mundo, como los son el EURODE-8, TEC-06 de Turquía, o NZS 3106 en Nueva Zelanda, entre otros.

Para el caso de tanques apoyados sobre el suelo, el ACI 350.3-01 ha dispuesto ecuaciones y un procedimiento que permite analizar la estructura de una manera simplificada, usando un modelo mecánico similar al propuesto por Housner y otros investigadores; es decir, usando una masa impulsiva y una convectiva. Las expresiones, aunque presentan otro arreglo algebraico, son las mismas derivadas por Housner.

El procedimiento del ACI 350.3-01, permite realizar los cálculos manualmente. Sin embargo, con la disposición de programas de análisis y diseño estructural, es posible preparar un modelo integral que represente las propiedades de tanque y el fluido contenido, usando las masas impulsiva, M_i , y convectiva, M_c , a las alturas h_i y h_c , respectivamente, desde la base del tanque. En este caso, se debe calcular la rigidez del resorte, K , que conecta la masa convectiva con las paredes del tanque y distribuirlo radialmente. El ACI 350.3 también indica que para tanques montados sobre pedestales, se puede usar este procedimiento, siempre que se definan las masas impulsiva y convectiva sobre la base del tanque, integrado al resto de la estructura.

Otros aspectos que deben ser tomados en cuenta en el modelo sea manual o computarizado son: el peso propio del tanque, el peso de la

tapa del tanque, las propiedades del suelo y las características de los materiales del tanque. De manera especial, hay que seleccionar el espectro de aceleraciones para el diseño sísmico.

REFERENCIAS

- [1]Ministerio de Obras Públicas-Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura, Reglamento para el Diseño Estructural en la República de Panamá, 2004.
- [2]American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.ACI 318-08 USA, 2002.
- [3]American Concrete Institute, Code Requirements for Environmental Engineering Concrete and Commentary.ACI 350-01 USA, 2001.
- [4]American Concrete Institute, Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures, ACI 350.3-01, USA, 2001.
- [5]American Concrete Institute, Guide for the Analysis, Design, and Construction of Concrete-Pedestal Water Towers. USA, ACI317R-98, USA, 1998.
- [6]Ballantyne, Donald B., Minimizando el daño sísmico: Guía para los proveedores de agua; American Water Works Association Denver, US; s.f, 1994. (Versión al español por la Organización Panamericana de la Salud).
- [7]Housner, G.W., Earthquake pressures on Fluid Containers, Eight Technical Report under Office Naval Research-California Institute of Technology, USA, 1954.
- [8]Housner, G.W., The Dynamic Behavior or Water Tanks, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 53, No. 2, pp. 381-387, USA, Febrero 1963.
- [9]LİVAOĞLU, Ramazan and DOĞANGÜN, Adem., Dynamic Behavior and Seismic Performance of Elevated Tanks due to Ground Types Defined in EC-8 and TEC-06. 2006. Primera conferencia europea sobre Ingeniería Sísmica y Sismológica, 2006.