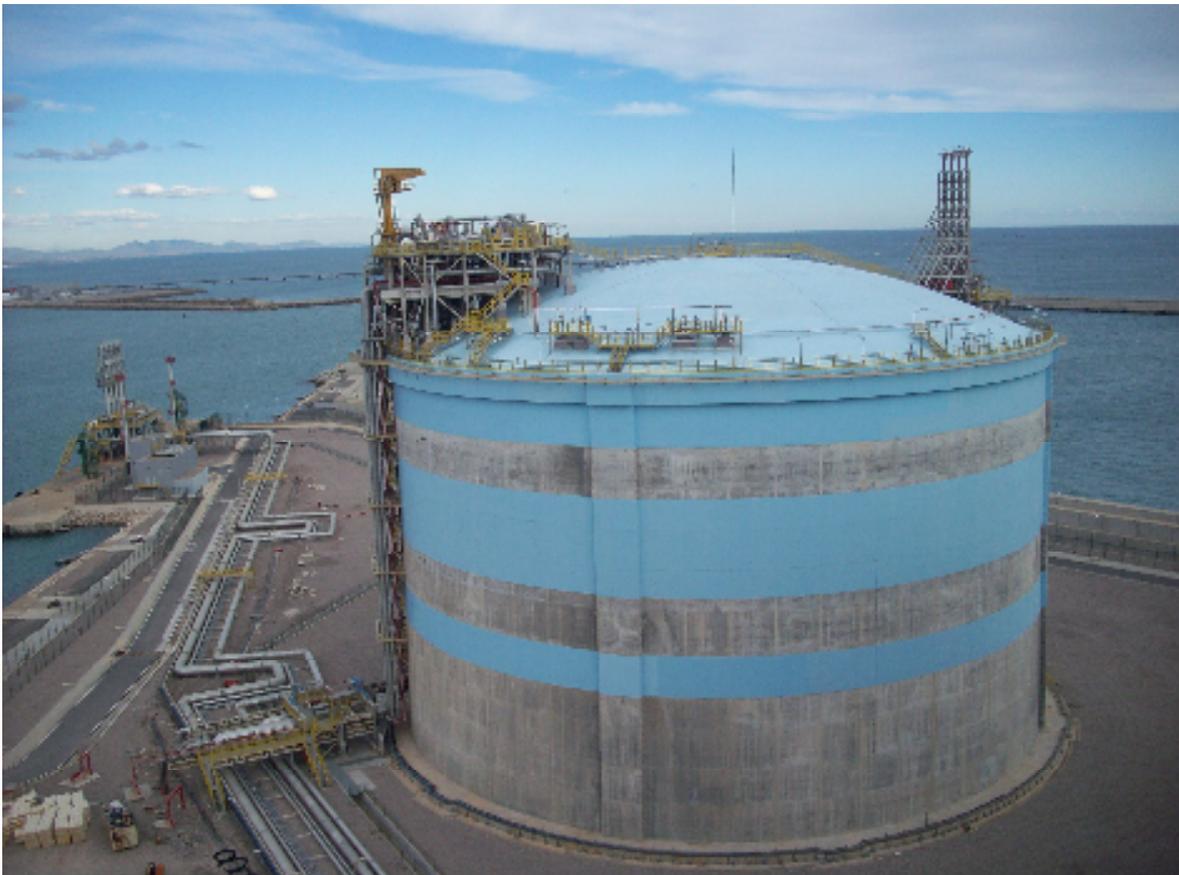


Comportamiento dinámico de tanques de gas licuado, con énfasis en la interacción fluido (gas natural licuado) – estructura (tanque cilíndrico metálico)

Descripción del problema

SENER, Ingeniería y Sistemas S.A. es una empresa de consultoría con más de cincuenta años de experiencia, la cual en los últimos años ha empezado a participar junto a empresas constructoras en proyectos de tanques de almacenamiento de Gas Natural Licuado (de ahora en adelante GNL).

Debido a los problemas de suministro energético actuales, en la última década ha habido en España un enorme incremento en la construcción de tanques de almacenamiento para GNL. Estos tanques pueden almacenar cantidades del orden de 150.000 m³ de GNL y sus dimensiones son del orden de 80 metros de diámetro y 50 metros de altura (ver fotografía adjunta).



Básicamente el gas es importado por medio de buques metaneros en forma líquida y almacenado en dichos tanques para después regasificarlo y suministrarlo a la red nacional de gas hacia los consumidores finales (hogares e industria). La temperatura de licuefacción del Gas Natural es de unos $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual implica que es la temperatura que hay que mantener dentro de los tanques.

El coste total de un tanque se puede estimar en unos 100 millones de euros (incluyendo ingeniería de diseño y construcción), lo cual significa que una mejora en el diseño puede involucrar un ahorro importante (tanto en dinero como en recursos).

Para el diseño de la estructura de los tanques ha de tenerse en cuenta, aparte de las acciones estáticas típicas de ingeniería civil, también aspectos dinámicos, donde el sismo cobra especial importancia.

Pues bien, analizar la acción del sismo sobre estas estructuras es el objeto del problema que se quiere plantear, ya que un análisis más refinado y realista implicará una mejora en el diseño, ganando en seguridad aparte de reducir costes.

El sismo sobre estructuras sólidas es un fenómeno relativamente bien estudiado y hay diversas formas de abordarlo, donde en la mayoría de los cálculos la acción dinámica se traduce en obtener unas fuerzas estáticas equivalentes.

El caso que aquí nos ocupa es más complejo, pues si bien el tanque es un elemento sólido, interiormente está lleno de líquido (GNL) y la interacción del líquido con la estructura metálica no es trivial.

Cuando se produce un sismo, las vibraciones en el terreno son transmitidas a la estructura y ésta a su vez al líquido. Debido a esta acción, en el líquido se forman unas olas que ejercen una acción (sobrepresiones) sobre el tanque metálico que lo contiene. La evaluación de la ley de presiones del líquido sobre el tanque es el objetivo que nos ocupa, para lo que es necesario un modelo matemático que describa el fenómeno correctamente, aunque sin perder de vista que el modelo ha de ser lo suficientemente simplificado para poder abordarlo por métodos ingenieriles.

En principio se podría pensar en el planteamiento directo de las ecuaciones de Navier-Stokes, posiblemente mediante una formulación ALE (Arbitrarian Lagrangian-Eulerian) por ser un problema con superficie libre, y su discretización mediante un método numérico, como Diferencias Finitas, Elementos Finitos o Volúmenes Finitos por ejemplo. Pero los recursos computacionales que demandaría este planteamiento (cálculo en paralelo en supercomputadores) quedan fuera del ámbito ingenieril. Por lo tanto, lo que se está buscando son técnicas matemáticas que permitan abordar el problema mediante un modelo con un número razonablemente pequeño de grados de libertad (como por ejemplo plantear la superficie del líquido como un sumatorio de Fourier y tomar los primeros términos).

Objetivos demandados por la empresa

1. Enumeración y descripción de métodos o técnicas matemáticas que podrían ser adecuadas para un correcto planteamiento del problema.
2. Identificar qué hipótesis de trabajo son necesarias para poder formular un modelo simplificado del fenómeno.
3. Estudiar qué métodos numéricos menos convencionales (entendiendo por convencionales Diferencias Finitas, Métodos Finitos y Volúmenes Finitos) se podrían usar en este problema.

4. Evaluar la cantidad de software que sería preciso desarrollar para crear una aplicación informática que resolviera el problema. Esto sería útil para tener un software específico que se adaptara al problema, y no tener que usar programas de simulación externos que no están orientados a resolver este tipo de problemas.

5. Estudiar la posibilidad de que el problema planteado pueda servir como tema de investigación para un doctorando, concretando los objetivos de dicha investigación.

Todos estos objetivos están orientados a mejorar y afinar los modelos de simulación existentes para obtener diseños más optimizados y no tan sobredimensionados, con el consiguiente ahorro que ello conlleva.

Descripción de los métodos matemáticos, estadísticos y/o computacionales que previsiblemente estarán involucrados

Las ecuaciones de Navier-Stokes para el fluido se pueden discretizar usando:

- Diferencias Finitas
- Métodos Finitos
- Volúmenes Finitos

No obstante, dichos métodos son caros desde el punto de vista computacional, y sería útil e interesante poder explorar otros métodos.

Adicionalmente, al tratarse de un problema cuya causa es un sismo, cierta dosis de cálculo no determinista y estadístico son necesarios. En ingeniería es común emplear el espectro de frecuencias a la hora de tratar las cargas sísmicas.

A continuación se da alguna de la **bibliografía** clásica referente a este tema:

1. Jacobsen, L.S. (1949) Impulsive Hydrodynamics of Fluid inside a Cylindrical Tank and of Fluid Surrounding a Cylindrical Pier, Bull. Seism. Soc. Am., Vol 39, pp. 189-204.
2. Housner, G.W. (1957) Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers, Bull. Seism. Soc. Am., Vol 47, pp. 15-35.
3. Veletsos, A.S. (1974) Seismic Effects in Flexible Liquid-Storage Tanks, Proceedings of Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp. 630-639.
4. Haroun, M.A. and Housner, G.W. (1981) Earthquake Response of Deformable Liquid Storage Tanks, ASME J. Applied Mechanics, Vol 48, pp. 411-418.
5. Haroun, M.A. (1983) Vibration Studies and Tests of Liquid Storage Tanks, Earthquake Engg. Struct. Dyn., Vol 11, pp. 179-206.