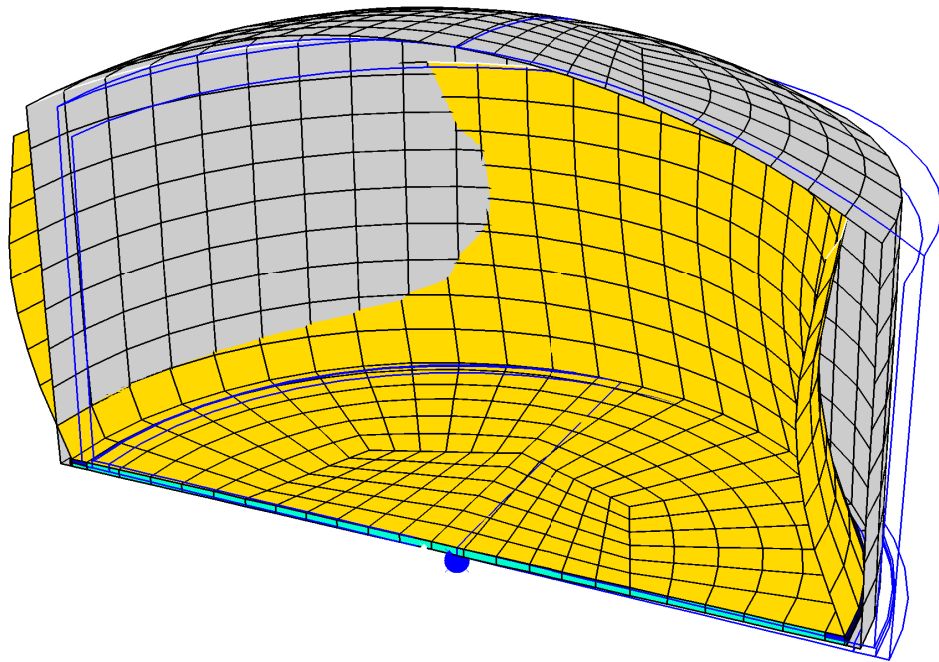


II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS
Realizaciones, Estructuras varias



Cargas anormales en tanques de GNL
Joaquín Martí Pr. Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
Francisco Martínez Pr. Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
María José Crespo. Ingeniero de Caminos, C. y P.
David G. Alcántara. Ingeniero de Caminos, C. y P.

1. INTRODUCCIÓN

El gas natural está teniendo una participación creciente en el panorama energético de España y muchos otros países. En ello influyen consideraciones económicas (coste), medioambientales (se trata de una combustión limpia, con sólo CO₂ y agua como residuos) y técnico-energéticas (alto rendimiento del ciclo combinado gas-vapor).

Su almacenamiento presenta una problemática especial. Para que sea eficiente, debe hacerse en estado líquido, lo que a presión atmosférica requiere temperaturas de 168°C bajo cero. La problemática de estos almacenamientos se deriva esencialmente de dos condicionantes:

- la enorme energía química almacenada, liberable por combustión del gas
- las bajas temperaturas que se requieren para mantener el gas en estado líquido

Los tanques de almacenamiento tienen capacidades típicas de entre 60.000 y 250.000 m³, con una tendencia creciente a concentrarse alrededor de 150.000 m³. Un almacenamiento típico consta de un tanque externo de hormigón pretensado y un tanque interno autoportante, construido en acero criogénico con 9% Ni. El tanque externo consta de una losa de base, una pared cilíndrica y una cúpula esférica; tiene la doble finalidad de contener el gas en el interior y de defenderlo frente a eventos externos. El tanque interno sólo tiene una chapa de base y una pared cilíndrica. Entre los dos tanques se dispone el aislamiento térmico correspondiente.

2. CARGAS ANORMALES

Dadas sus características, los tanques de GNL deben satisfacer un considerable número de requisitos que garanticen su buen funcionamiento y un alto grado de seguridad, incluso

frente a eventos poco probables. La normativa generalmente aplicada es la constituida por la EN 1473 (European Committee for Standardization, 1997), BS 7777 (British Standards Institutions, 1993), API 620 (American Petroleum Institution, 1998) y NFPA 59-A (National Fire Protection Association, 2001), amén de múltiples normas y guías complementarias o menos específicas.

La presente comunicación obvia las cargas normales de construcción, ensayo y operación, para centrarse en las cargas anormales que son características del diseño de estos tanques. La especificación de estas cargas tiende a variar relativamente poco de unos tanques a otros. Esencialmente son las siguientes:

Terremotos

Existe un terremoto de operación (OBE), que el tanque debe sobrevivir sin efectos apreciables, y un terremoto de seguridad (SSE), tras el que el tanque debe mantener como mínimo sus funciones relativas a la seguridad (en particular la capacidad de contención).

Tradicionalmente el período de retorno del OBE se ha tomado como 475 años y el del SSE, 10.000. Estos períodos, que se mantienen en la EN 1473, se han modificado ligeramente en la actualización de la NFPA 59-A del año 2001.

Aunque es función del emplazamiento, las cargas introducidas por el SSE suelen ser muy importantes. Además de las consecuencias estructurales más tradicionales, estos tanques requieren atención al posible pandeo del tanque interno (pandeo en “pata de elefante”) y a la altura de resguardo necesaria para abarcar las oscilaciones del líquido (“sloshing”).

Impactos

La especificación de los impactos de diseño varía más de unos tanques a otros. Ejemplos típicos de los impactos postulados son:

- impacto de un avión ligero (Cessna o similar) a velocidad de crucero
- impacto de misil rígido de 2.000 kg, con sección de 1 m^2 , a 50 m/s
- impactos de válvulas rígidas a velocidades del orden de 50 m/s

Aunque se requiere un análisis cuidadoso de sus efectos, los impactos postulados rara vez son determinantes en el dimensionamiento del tanque.

Explosiones

Producido un escape de hidrocarburos, se postula que la nube generada deflagra en las inmediaciones del tanque.

La deflagración genera sobrepresiones en cada punto de la superficie externa del tanque. Dichas sobrepresiones varían de unos puntos a otros, dependiendo de la orientación de la normal externa respecto de la posición de la nube. Por otro lado, las sobrepresiones varían en el tiempo; generalmente se incluyen fases positivas y negativas de carga, con una duración total del orden de 0,6 s.

Debe estudiarse la respuesta dinámica del tanque a esta solicitación pero, como en el caso de los impactos, las explosiones externas no suelen ser determinantes en el diseño.

Fuegos

Se postulan diversos fuegos: en cubetos, tuberías, estanques de recogida de escapes, etc. Los más importantes son los fuegos en un tanque vecino y en el propio tanque considerado.

Los flujos térmicos a considerar en estos análisis, tanto en intensidad como en duración, son en parte función de las medidas de mitigación provistas. Es normal tener que contar con flujos de 30 kW/m^2 durante períodos de 1 a 3 horas, seguido de períodos más largos con 12 kW/m^2 .

Aunque no es necesariamente intuitivo, si ardiera el contenido de uno de estos tanques, el fuego dura del orden de 24-36 horas, manteniéndose el gas en estado líquido a una profundidad pequeña (1 ó 2 m) por debajo de la zona de combustión. El tanque externo debe preservar su función de contener el líquido durante el proceso.

Fugas

El acero del tanque interno y el control de sus soldaduras garantizan en principio un

comportamiento dúctil adecuado a pesar de las bajas temperaturas. Sin embargo, se postulan diversas fugas:

- fugas menores, que imponen bajas temperaturas en un cubeto de recogida
- fugas mayores, en que el líquido ocupa libremente el espacio anular entre ambos tanques por tiempo indefinido; como consecuencia, ejerce sus presiones hidrostáticas e impone directamente las bajas temperaturas en la cara interna del hormigón
- punto frío (“cold spot”), que consiste en la aplicación de las bajas temperaturas en una cierta zona del tanque externo

Al contrario que las explosiones e impactos, la fuga mayor suele dominar determinados aspectos del dimensionamiento, tales como la cantidad de armadura criogénica dispuesta y, a veces, también las necesidades de pretensado.

En ocasiones, se requiere superponer los efectos de la fuga mayor con los del terremoto OBE. La idea es que la ocurrencia del SSE pudiera originar la fuga mayor; después, una de las réplicas del SSE pudiera tener el tamaño del OBE.

Aunque no es corriente hoy en día, a veces se ha requerido dimensionar el tanque externo bajo la hipótesis de rotura súbita del tanque interno, lo que conlleva un impacto del líquido contra el tanque externo, desarrollando presiones considerablemente superiores a las hidrostáticas. En general, la ductilidad a bajas temperaturas del tanque interno suele obviar la necesidad de incluir estas precauciones.

3. CONTENIDO DE LA PONENCIA

Los autores de la presente ponencia han estado involucrados en más de una docena de tanques de GNL en distintos países, a veces como proyectistas, a veces aportando resultados de cálculos especializados y a veces como revisores para la propiedad de la documentación técnica aportada por el contratista.

La ponencia hace uso de dicha experiencia para presentar las estrategias de cálculo más adecuadas y los resultados típicos que se obtienen en los mismos, así como sus consecuencias para el diseño del tanque.

Desde el punto de vista organizativo, ya no meramente técnico, conviene hacer notar una característica de estos proyectos que muchos otros no comparten. Y es que proyectistas y revisores realizan independientemente todos los cálculos, generalmente no aprobándose los mismos hasta lograr el acuerdo. En problemas como los mencionados, este consenso no es siempre inmediato; este aspecto es esencial en la planificación, tanto de la propiedad como del contratista.