

Spheric tanks: a review and proposal

Presentación: 17/10/2023

Luis Iván Utz Goettig

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe
lutzgoettig@frsf.utn.edu.ar

Diego Gabriel Oliva

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe – INGAR CONICET UTN FRSF
lutzgoettig@frsf.utn.edu.ar

Resumen

En vistas a que no se han encontrado revisiones relacionadas con la construcción de tanques esféricos, en el presente trabajo se aborda una primera revisión. Esta abarca temas relacionados con el cálculo constructivo y del costo asumido en la fabricación de tanques esféricos para almacenamiento de gases. Se observa que los avances en la literatura del costeo en el proceso constructivo no ha sido lo suficientemente desarrollado. Finalmente, en las conclusiones, se esboza un futuro trabajo a realizar relacionado con una optimización en el costo y construcción de este tipo de tanques utilizando la norma ASME para recipientes bajo presión. Para poder optimizar el coste del proceso constructivo será necesario aunar conocimientos de ingenieros mecánicos e industriales. La integración de saberes es fundamental para la generación de resultados novedosos en la ingeniería.

Palabras clave: almacenamiento gas, integración de saberes, tanques esféricos de gas, optimizacion

Abstract

Because no reviews found about spheric tanks in literature we made the first one. This first review deal with design alternatives and costs involved in gas tank storage. Building costs calculations advances are not really developed in literature. Finally, in the conclusions, we present a future work related with the building-cost optimization of this kind of structure accounting ASME rules for construction of pressure vessels. To achieve optimization in the construction and cost calculation of this kind of structure it is necessary to merge knowledge of mechanical and industrial engineering. This knowledge merge will give novel results.

Keywords: gas spheric tank, knowledge merge, optimization

Introducción

Los tanques esféricos (también conocidos como esferas Horton) son ampliamente usados en la industria petroquímica para el almacenamiento de gases, gases licuados y líquidos. En general son muy utilizados para almacenar gases a presión ya que poseen menos limitaciones que los tanques cilíndricos. La carcasa puede ser soportada por unas columnas de hierro que se asientan en una fundación de concreto o bien disponerse en una estructura cónica de concreto sumergida en el terreno. Estos tanques son también utilizados en grandes barcos para el transporte interoceánico de gas natural licuado a baja temperatura. En la economía del hidrógeno pueden jugar un papel preponderante en la acumulación de este gas generado por plantas electroquímicas impulsadas por energías renovables como la solar y/o eólica (Al-Sharafi et al., 2017; Caliskan et al., 2013; Ghorbani et al., 2023; Khalilnejad & Riahy, 2014;

Khan et al., 2022; Shin & Ha, 2023). Dada la importancia de este tipo de unidades en el almacenamiento de energía es necesario indagar sobre los métodos constructivos y la relación con su costo. Existen revisiones de literatura relacionadas con tanques, pero ninguna relacionada con los tanques esféricos.

Metodología

Para ordenar los avances en la temática de tanques esféricos subdividiremos los trabajos en dos categorías: diseño/construcción/seguridad y costeo constructivo. La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando las plataformas científicas "scopus" y "scindirect".

Resultados y discusión

Trabajos relacionados con diseño/construcción/seguridad de tanques esféricos

Las primeras publicaciones se encuentran hacia el año 1978 y se ha podido acceder solo al resumen de estos trabajos ya que no se encuentran con soporte electrónico el desarrollo de los mismos (Chaudary & Khan, 1978; Kamath et al., 1978). En el resumen de los primeros trabajos aborda la temática de la fabricación de los tanques esféricos. Seguido de estos trabajos se encuentran, ya a finales de los años ochenta, algunos relacionados con métodos para el cálculo de roturas de estas estructuras por fatigas (Tianjie, 1989; Zegong, 1989). Seguidamente un estudio relacionado con variables térmicas en la carga y descarga de tanques esféricos de doble carcasa para transporte de líquidos refrigerados es estudiado y comparado con otras formas de tanques (Aly & El-Sharkawy, 1990). Las propiedades eléctricas de los tanques esféricos es estudiada para la prevención de explosiones o fuego en una revista de electrostática (Kędzia & ŁLukaniszyn, 1991). Otros estudios de los noventa se focalizan en el análisis estructural de los soportes de este tipo de tanques (Zingoni & Pavlović, 1993b, 1993a). En la misma década se encuentran, un estudio de monitoreo de comportamiento de la estructura asistido por emisiones acústicas (Guang et al., 1993) y otro que aborda la localización de fracturas (Qiang et al., 1996). También, en los noventa, un estudio describe la construcción de tanques esféricos utilizando presión de agua integral y controlada para la deformación esférica (S. H. Zhang et al., 1996). En la primera década del año dos mil se encuentra un trabajo a conferencia relacionado con el estudio de comienzo de roturas en un tanque esférico ubicado en China (Chen et al., 2009). En la misma sintonía un par de años después existe una publicación relacionada con un método de estudio de frecuencias con el objetivo de predecir posibles roturas en este tipo de estructuras (Curadelli & Ambrosini, 2011). En orden cronológico, el próximo artículo encontrado aborda la problemática de fugas en tanques esféricos que transportan hidrocarburos licuados (Xiaodong et al., 2012). Sigue a éste, un estudio relacionado con la respuesta de los tanques esféricos a una carga explosiva que viene del entorno (B. Y. Zhang et al., 2015). El estudio analiza el comportamiento dinámico de los pilares y la estructura esférica ante el fenómeno externo. Seguidamente otro estudio se embarca en la construcción de una matriz estadística que cuenta con información de fallas históricas de fugas en este tipo de estructuras con el objetivo de reducir el riesgo y sus consecuencias (Luo et al., 2018). En el mismo año un artículo analiza un caso puntual de un taque esférico de amoniaco que presenta fallas (Milovanović & Sedmak, 2018).

Trabajos relacionados con el costeo constructivo de tanques esféricos.

En esta área solo se ha encontrado un trabajo ya en la segunda década del dos mil (Cheng et al., 2015). Las referencias que da este artículo son imposibles de rastrear en las plataformas de búsqueda "scopus" y "scindirect". Básicamente el artículo presenta un esquema de decisiones para el diseño y construcción de tanques esféricos teniendo en cuenta la restricción de tamaños de chapa disponible. Para el cálculo de los costos constructivos tiene en cuenta precios de los diferentes componentes en yuanes. Finalmente, el artículo realiza una comparación con cálculos realizados en trabajos previos que no se han podido rastrear (como se ha explicado al comienzo de este párrafo; los artículos de las referencias están en chino y no se pueden rastrear en la web).

Conclusiones

En este artículo, enumeramos los distintos trabajos realizados analizando la temática de los depósitos de gas esféricos desde el punto de vista de diseño, construcción, seguridad y costeo de los equipos. Siendo amplia la bibliografía de los equipos en cuanto a las primeras tres temáticas, la bibliografía es escasa en cuanto al costeo de los equipos, siendo

encontrado el único trabajo que aborda el tópico (Cheng et al., 2015). En cuanto a este último trabajo solo aborda el tema del costeo considerando el costo de la soldadura y la chapa. Es así como surge la idea, luego de esta revisión que no existía en la literatura, de proponer un futuro trabajo en el que se presentaría un procedimiento de cálculo que incluya una optimización. La propuesta sería realizar selección de las chapas por su espesor, siguiendo la norma ASME (2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2019) teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad [1]$$

en donde P es la presión del vapor del gas contenido, R el radio del depósito, S la máxima tensión admisible para el material usado (en general, del acero al carbono con un coeficiente de seguridad igual a 1.5) y E la eficiencia de la soldadura según la Tabla UW-12 de norma ASME (2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2019). Luego de seleccionadas estas chapas, se calcularía el costo de los distintos depósitos de gas según (Cheng et al., 2015), agregando el costo de trabajo de radiografía, si esta es soldadura tipo Spot o Full, y fundación de concreto por m².

Siendo estas calculadas de la siguiente manera:

$$Cost_{radio} = P_{radio} m_{welding} \quad [2]$$

Donde P_{radio} es el precio de la radiografía por metro, $m_{welding}$ es los metros de soldadura necesarios para fabricar el tanque esférico.

$$Cost_{foundation} = P_{concrete} * (D + D * 0.15)^2 \quad [3]$$

Donde $P_{concrete}$ es el precio del concreto por m² de fundación, y D el diámetro del tanque esférico. En este análisis se utilizó una fundación un 15% mas grande que el diámetro del tanque.

Estos costos se agregarían a la ecuación de costos de Cheng et al., 2015, dando así una mejor aproximación a los costos reales de fabricación e instalación de las esferas Horton.

La optimización matemática es un área dominada por los ingenieros industriales mientras que el diseño, construcción y manejo de normas es una capacidad muy desarrollada por los ingenieros mecánicos. Es así que para un futuro trabajo será necesario la integración de estos saberes para desarrollar un procedimiento novedoso.

Referencias bibliográficas

2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code: An International Code. Rules for construction of pressure vessels. Division 1. (2019). American Society of Mechanical Engineers.

Al-Sharafí, A., Sahin, A. Z., Ayar, T., & Yilbas, B. S. (2017). Techno-economic analysis and optimization of solar and wind energy systems for power generation and hydrogen production in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 33-49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.157>

Aly, S. L., & El-Sharkawy, A. I. (1990). Transient thermal analysis of a spherical liquid storage tank during charging. *Heat Recovery Systems and CHP*, 10(5), 519-526. [https://doi.org/10.1016/0890-4332\(90\)90202-U](https://doi.org/10.1016/0890-4332(90)90202-U)

Caliskan, H., Dincer, I., & Hepbasli, A. (2013). Energy, exergy and sustainability analyses of hybrid renewable energy based hydrogen and electricity production and storage systems: Modeling and case study. *Applied Thermal Engineering*, 61(2), 784-798. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.04.026>

Chaudary, U. P., & Khan, A. (1978). FABRICATION OF HORTON SPHERES USING ROLLED SPHERICAL PETALS. *Chem Age India*, 29(2), 127-131. Scopus.

- Chen, X., Yuan, R., Wang, B., Yang, T., Li, P., & Cheng, C. (2009). Analysis of Causes for Cracking of Chinese Large High-Strength Steel Spheric Tank and Suggestion About Its Prevention. 657-664. <https://doi.org/10.1115/PVP2007-26473>
- Cheng, B., Huang, J. X., & Shan, Y. (2015). The Economic Design and Analysis for Mixed Model Spherical Tank Shell Angle Partition. *Procedia Engineering*, 130, 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.173>
- Curadelli, O., & Ambrosini, D. (2011). Damage detection in elevated spherical containers partially filled with liquid. *Engineering Structures*, 33(9), 2708-2715. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.05.023>
- Ghorbani, B., Zendehboudi, S., Saady, N. M. C., & Dusseault, M. B. (2023). Hydrogen storage in North America: Status, prospects, and challenges. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 109957. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109957>
- Guang, D., Ting, X. Y., Li, W. Y., Qi, Z. B., & Xue, H. W. (1993). AE monitoring and data analysis for large spherical tanks. *NDT & E International*, 26(6), 287-290. [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(93\)90002-C](https://doi.org/10.1016/0963-8695(93)90002-C)
- Kamath, M. S., Dhekane, P. K., & Geeverughese, K. K. (1978). SITE FABRICATION AND TESTING OF HORTON SPHERES. *Chem Age India*, 29(2), 105-110. Scopus.
- Kędzia, J., & ŁLukaniszyn, M. (1991). The influence of earthed rods on the electrostatic field in a spherical tank. *Journal of Electrostatics*, 26(3), 227-234. [https://doi.org/10.1016/0304-3886\(91\)90017-A](https://doi.org/10.1016/0304-3886(91)90017-A)
- Khalilnejad, A., & Riahy, G. H. (2014). A hybrid wind-PV system performance investigation for the purpose of maximum hydrogen production and storage using advanced alkaline electrolyzer. *Energy Conversion and Management*, 80, 398-406. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.040>
- Khan, T., Yu, M., & Waseem, M. (2022). Review on recent optimization strategies for hybrid renewable energy system with hydrogen technologies: State of the art, trends and future directions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(60), 25155-25201. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.263>
- Luo, T., Wu, C., & Duan, L. (2018). Fishbone diagram and risk matrix analysis method and its application in safety assessment of natural gas spherical tank. *Journal of Cleaner Production*, 174, 296-304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.334>
- Milovanović, A., & Sedmak, A. (2018). Integrity assessment of ammonia spherical storage tank. *Procedia Structural Integrity*, 13, 994-999. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.185>
- Qiang, L., Chengdong, X., & Zegong, Z. (1996). A search for methods to assess the fuzzy fracture probability of spherical tanks. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 69(3), 225-231. [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(96\)00001-4](https://doi.org/10.1016/0308-0161(96)00001-4)
- Shin, H. K., & Ha, S. K. (2023). A Review on the Cost Analysis of Hydrogen Gas Storage Tanks for Fuel Cell Vehicles. *Energies*, 16(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/en16135233>
- Tianjie, C. (1989). An approximate method to assess the fracture failure probability of a spherical tank. *Reliability Engineering & System Safety*, 24(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/0951-8320\(89\)90050-1](https://doi.org/10.1016/0951-8320(89)90050-1)
- Xiaodong, L., Zhongshu, H., Wenyi, D., Anfeng, Y., & Peng, W. (2012). CFD Simulation of Temperature Field Distribution of the Liquefied Hydrocarbon Spherical Tank Leaking. *Procedia Engineering*, 43, 472-477. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.081>

Zegong, Z. (1989). Study on the methods to assess the failure probability of spherical tanks. *Reliability Engineering & System Safety*, 25(3), 279-282. [https://doi.org/10.1016/0951-8320\(89\)90097-5](https://doi.org/10.1016/0951-8320(89)90097-5)

Zhang, B. Y., Li, H. H., & Wang, W. (2015). Numerical study of dynamic response and failure analysis of spherical storage tanks under external blast loading. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 34, 209-217. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.02.008>

Zhang, S. H., Wang, B. L., Shang, Y. L., Kong, X. R., Hu, J. D., & Wang, Z. R. (1996). Three-dimensional finite element simulation of the integral hydrobulge forming of a spherical LPG tank. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 65(1), 47-52. [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(94\)00158-F](https://doi.org/10.1016/0308-0161(94)00158-F)

Zingoni, A., & Pavlović, M. N. (1993a). Discontinuity phenomena around the supports of stepwise-thickened spherical steel tanks. Part 1: Theoretical considerations and parametric results. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 53(3), 405-435. [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(93\)90071-Z](https://doi.org/10.1016/0308-0161(93)90071-Z)

Zingoni, A., & Pavlović, M. N. (1993b). Discontinuity phenomena around the supports of stepwise-thickened spherical steel tanks. Part 2: Numerical examples and design recommendations. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 53(3), 437-456. [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(93\)90072-2](https://doi.org/10.1016/0308-0161(93)90072-2)