

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CABEZALES CON DISTINTAS GEOMETRÍAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

María Laura Godoy*, Patricia M. Ciancio*, y Luis M. Arrien†

* Área Estructuras, Departamento Ingeniería Civil

† Área Mecánica, Departamento Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Avenida del Valle 5737 (B7400JWI), Olavarría, Argentina

e-mail: mgodoy@fio.unicen.edu.ar, web page: <http://www.fio.unicen.edu.ar>

Palabras clave: recipientes a presión, geometría, cabezales, estado tensional, soluciones constructivas.

Resúmen. *Los recipientes a presión utilizados en la industria son usualmente estructuras con geometría compleja que contienen discontinuidades geométricas y están sujetas a condiciones de carga diversas (presión interna, fuerzas externas, cargas térmicas). El diseño y fabricación de estos productos están gobernados por códigos o normas que aseguran una alta confiabilidad en su desempeño.*

La simulación, mediante la utilización de softwares que emplean el método de los elementos finitos en la resolución, constituye una herramienta útil y esencial que permite al ingeniero estudiar el comportamiento de estos elementos y conocer, si bajo los posibles escenarios de operación, el diseño provisto garantiza un desempeño óptimo.

Las herramientas computacionales representan una alternativa de validación al código ASME en aquellas zonas contempladas por el mismo, y esencial en las regiones que no son tradicionalmente cubiertas por él como ser bridas, cabezales, uniones soldadas y todas aquellas áreas donde los efectos 3D son relevantes. A través de la modelización estructural es posible conocer el comportamiento de tanques en condiciones de servicio, lo cual permite obtener un mapeo de su estado tensional y deformacional en un determinado momento de su vida útil.

En este trabajo se implementan modelos computacionales, y se analiza el estado tensional en recipientes sometidos a presión interna utilizados en la industria con diferentes cabezales y la inclusión de rigidizadores, que introducen mejoras en su estado tensional. Los resultados obtenidos en el casco cilíndrico se encuentran en una muy buena aproximación con los que surgen de la aplicación del código ASME, permitiendo obtener de esta forma el estado tensional en zonas más complejas.

1 INTRODUCCION

Los recipientes sometidos a presión interna¹, pueden estar contruidos por diferentes tipos de cabezales. Entre ellos figuran las tapas planas, toriesféricas, semielípticas, semiesféricas, cónicas, toricónicas, abombadas, etc. Cada una de ellas es recomendable según las condiciones de operación, siendo diferentes sus costos de fabricación.

Los recipientes de tapas planas se utilizan generalmente en recipientes sujetos a presión atmosférica, aunque en algunos casos se pueden utilizar como recipientes a presión, su costo de fabricación es el más bajo.

Los cabezales semielípticos soportan mayores presiones que los toriesféricos y se utilizan cuando el espesor calculado para estos últimos es relativamente alto.

Los semiesféricos son utilizados exclusivamente para soportar presiones críticas, su costo es elevado.

En la industria es común encontrarnos con situaciones donde los técnicos y profesionales tienen que resolver situaciones en forma rápida y económica. Dentro de los recipientes sometidos a presión interior, se ha estandarizado el uso de los equipos de cabezales semielípticos o toriesféricos, creando este tipo de cabezales una dependencia constructiva que subvalora a otro tipo de alternativas. La pregunta es, ¿puede el profesional adoptar otras alternativas a bajo costo en su fabricación, con materiales y formas constructivas sencillas que estén a su alcance?.

A tal fin, se analizan recipientes verticales sometidos a presión interna con cabezales semielípticos, semiesféricos y planos, determinando su comportamiento estructural. Para el caso de tapas planas se presentan alternativas constructivas y de operación que permiten obtener un estado tensional acotado.

2 CASOS ANALIZADOS

En este ítem se especifican las características geométricas y mecánicas de los distintos recipientes analizados.

Se trata de recipientes de acero tipo F24 utilizados en la industria para suministro de aire a presión, con una presión de trabajo de 7 bares. En todos los casos la envolvente es cilíndrica adoptando diferentes formas de cabezales: semielípticos, semiesféricos y planos. Los espesores de los cabezales superior, inferior y envolvente cilíndrica son respectivamente 9.08 mm, 9.05 mm y 9.40 mm, datos tomados de un relevamiento experimental². Las diferentes geometrías se muestran en la Figura 1.

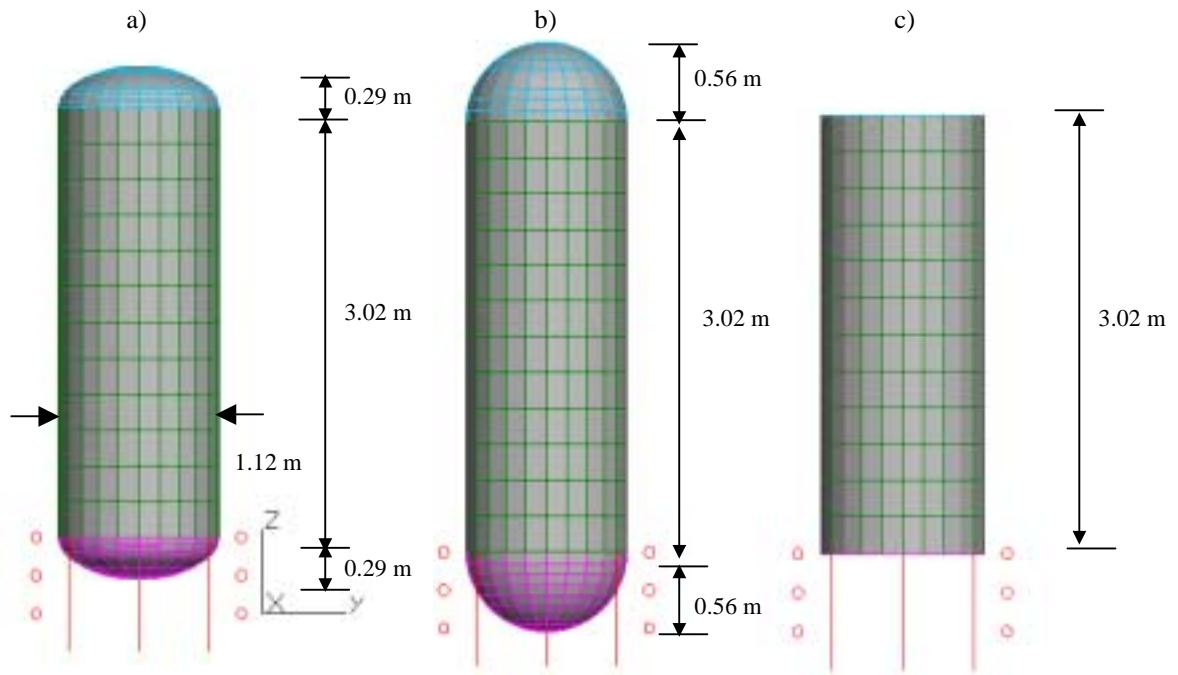


Figura 1. Distintas formas de cabezales: a) semielíptico, b) semiesférico, c) plano

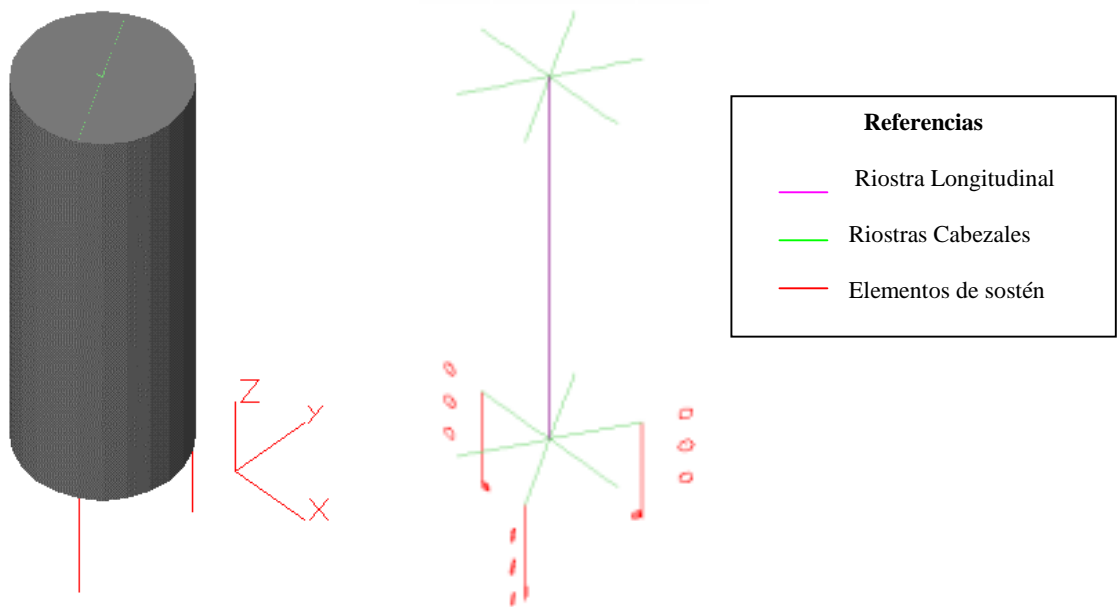


Figura 2. Vista recipiente cabezal plano y detalle del arriostamiento y elementos de sostén

Para el caso de cabezal plano, y a los fines de lograr una disminución de tensiones y desplazamientos generados, se contemplaron diferentes alternativas: a) arriostramiento interno longitudinal a través de cuatro hierros redondos vinculando ambos extremos del recipiente, b) arriostramiento radial de las tapas por medio de: b-1) hierros redondos, b-2) de perfiles normales U, b-3) tubos estructurales, c) combinación de arriostramientos longitudinales y refuerzos dispuestos radialmente en cabezales, d) arriostramiento radial de las tapas por medio de perfiles normales U vinculados al casco cilíndrico por medio de planchuelas adosadas, e) refuerzo en los cabezales materializado con perfiles normales U 80 dispuestos a 60° y un tensor central interno que los vincula, f) idem e) con una presión de trabajo de 5 bares.

La razón de colocar los perfiles a 60° fue la de hacer coincidir los arriostramientos con los elementos de sostén del recipiente, constituidos por perfiles normales U100 dispuestos a 120° entre sí, como se observa en Figura 2.

3 MODELO COMPUTACIONAL

El uso del software ALGOR^{®3} utilizado en la modelización estructural implica abordar los siguientes aspectos: modelo físico o geométrico, modelo constitutivo o material y modelo de acciones.

Dentro de estos aspectos de modelización, se encuentra la definición del mallado, tipos de elementos a utilizar y el tipo de análisis a efectuar. Esto último conlleva la adopción de hipótesis simplificativas acordes al problema que se está resolviendo. Todas estas variables están consideradas en el software empleado a través de distintos módulos.

3.1 Modelo Físico

En la instrumentación del modelo, la primera consigna a resolver es adoptar el tipo de elemento, distribución de mallado y su densidad de manera que reproduzca el real comportamiento estructural⁴. En los casos abordados en el presente trabajo, se adoptó un elemento del tipo *plate* rectangular de cuatro nodos para el recipiente. Los elementos de sustentación del tanque y los arriostramientos se modelizaron con elementos tipo *beam*; disponibles en la biblioteca de elementos del software ALGOR.

En las Figuras 2 y 3, los colores identifican diferentes grupos para el elemento *plate*, que permiten diferenciar los distintos espesores en los componentes del recipiente. En tanto, los colores asignados a los elementos *beam* permiten diferenciar las distintas secciones para los soportes y arriostramientos de los cabezales del tanque. Los soportes se vincularon a tierra por medio de empotramientos.

El empleo del elemento tipo *plate* se adoptó en base al hecho de que el recipiente estudiado es de paredes delgadas, por lo que el estado de esfuerzos se corresponde con un estado biaxial de tensiones, siendo válido desprestigiar la tensión en el espesor.



Figura 3. Modelo con diferentes grupos de elementos

3.2 Modelo Material

El material corresponde a un acero IRAM 503 F24, cuya tensión admisible es $\sigma_{adm} = 964 \text{ kg/cm}^2$, módulo de elasticidad $E = 2020000 \text{ kg/cm}^2$, densidad $\gamma = 7730 \text{ kg/cm}^3$, módulo de Poisson $\mu = 0,3$. El modelo adoptado corresponde al de un material isotrópico.

3.3 Modelo de Acciones

El estado de carga considerado corresponde a una presión interna de $7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, equivalente a 7 bares, aplicada uniformemente en los elementos plate de los distintos grupos considerados; definiendo una orientación para los elementos de modo que la presión se ejerza perpendicularmente a ellos.

4 RESULTADOS OBTENIDOS Y COMENTARIOS

En Tabla 1 se muestran los valores de las tensiones expresadas en N/m^2 para los recipientes estudiados, en los cascos cilíndricos y en los cabezales, en las zonas que allí se detallan, resultados obtenidos de la instrumentación de los modelos en el software ALGOR.

Las tensiones en el cuerpo cilíndrico en los casos de cabezales semiesféricos y semielípticos se encuentran en una total concordancia con los valores teóricos para una presión de 7 bares (tensión circunferencial: $4.17 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, longitudinal: $2.08 \times 10^7 \text{ N/m}^2$), calculados a partir de las conocidas expresiones de Lamé^{5,6} para recipientes de paredes delgadas.

En cuanto a los cabezales semiesféricos, el estado tensional obtenido utilizando el software, coincide con los de la aplicación de las expresiones teóricas^{5,6}.

Tabla 1: Estado tensional del recipiente según Algor

		TIPO DE CABEZAL					
		Semiesférico	Semi-elíptico	Plano	Plano Arriostrado		
TENSIONES [N/m ²]	Casco Cilíndrico	Circunferencial		4.13 x 10 ⁷	4.13 x 10 ⁷	4.14 x 10 ⁷	3.02 x 10 ⁷
		Longitudinal		2.07 x 10 ⁷	2.07 x 10 ⁷	2.10 x 10 ⁷	1.01 x 10 ⁷
	Cabezales	Coronamiento Superior	Von Mises	2.52 x 10 ⁷	6.37 x 10 ⁷	1.53 x 10 ⁹	5.15 x 10 ⁶
			Tresca	2.52 x 10 ⁷	7 x 10 ⁷	1.53 x 10 ⁹	5.79 x 10 ⁶
		Coronamiento Inferior	Von Mises	2.52 x 10 ⁷	6.4 x 10 ⁷	1.48 x 10 ⁹	4.38 x 10 ⁶
			Tresca	2.52 x 10 ⁷	7.03 x 10 ⁷	1.48 x 10 ⁹	4.62 x 10 ⁶
		Encuentro Cilindro Cabezal	Von Mises	2.52 x 10 ⁷	2.58 x 10 ⁷	1.38 x 10 ⁹	1.25 x 10 ⁸
			Tresca	2.52 x 10 ⁷	2.97 x 10 ⁷	1.51 x 10 ⁹	1.48 x 10 ⁸

En las uniones de las tapas de extremo con el cuerpo cilíndrico existe una diferencia de desplazamientos, ya que tienden a expandirse en diferentes cantidades, debido a diferencias en los esfuerzos provocados por las presiones internas. Esta incompatibilidad de deformaciones produce esfuerzos locales por flexión y cortantes en la vecindad de esa unión, puesto que debe haber continuidad física entre los extremos y el cuerpo cilíndrico. Por esta razón los extremos deben tener la curvatura apropiada. Esta cuestión muestra la conveniencia en la utilización de cabezales semiesféricos, ubicándose los semi-elípticos en segundo lugar.

En el caso de cabezales planos, la fuerza de presión que actúa sobre ellos se trasmite al cuerpo del tanque, originando un estado en el cual las tensiones circunferencial y longitudinal no se mantienen constantes a lo largo del perímetro del cilindro ni en la altura, como en los casos anteriores. Se genera así un estado tensional en los cabezales con valores por encima de los admisibles y en el cuerpo cilíndrico se presenta una dispersión con respecto a los valores teóricos.

En la Figuras 4 y 5 se muestran: el estado tensional y el mapa de desplazamientos para cada modelo analizado con sus correspondientes cabezales semiesféricos, semi-elípticos y planos.

En la última columna de Tabla 1 figuran las magnitudes correspondientes al modelo de la alternativa f), para una presión interna de 5 bares, en dicho modelo, las tensiones en el casco cilíndrico coinciden con los valores teóricos.

Es de destacar que esa presión se disminuyó con respecto a los 7 bares, con la cual se obtuvieron los resultados de los restantes modelos. Las tensiones obtenidas superan las admisibles, aunque no alcanzan la de fluencia en los arriostramientos y en ambos cabezales planos.

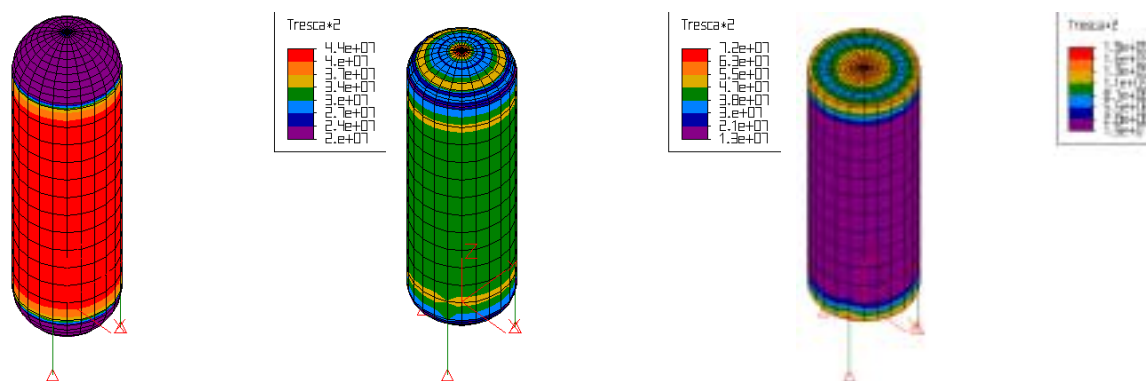


Figura 4. Mapas de tensiones para cabezales semiesféricos, semielípticos y planos respectivamente.

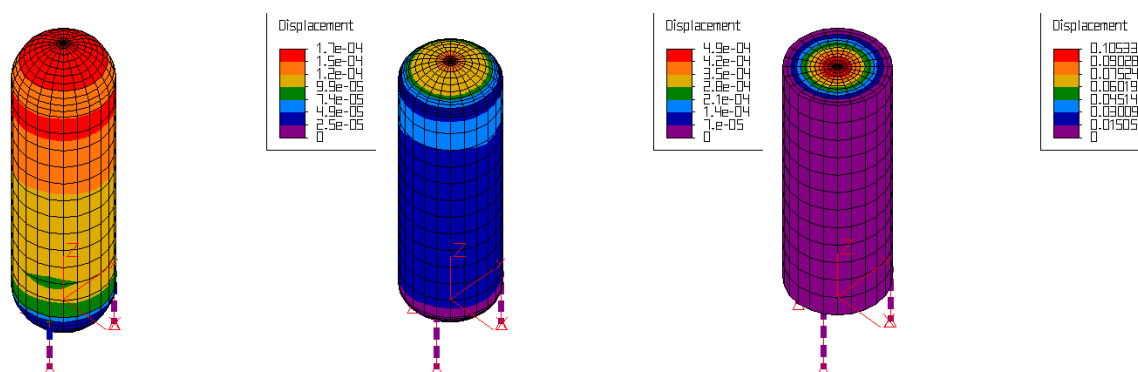


Figura 5. Mapas de desplazamientos para cabezales semiesféricos, semielípticos y planos respectivamente.

Como se mencionó, en la industria es común encontrarse con situaciones donde los técnicos y profesionales tienen que resolver situaciones en forma rápida y económica, otorgando la utilización de cabezales planos una alternativa de bajo costo en su fabricación, con materiales y formas constructivas sencillas. Esto es factible siempre y cuando se adopten soluciones constructivas que permitan su utilización.

El análisis de tensiones realizado para los modelos a) al e) mencionados en el ítem 2, indica que los valores alcanzados en los cabezales y encuentros de los mismos con el cuerpo cilíndrico superan a tensión de fluencia del material.

En la prueba con el modelo f), y comparando los resultados obtenidos con los del recipiente con tapa plana sin arriostramiento, se originó una disminución significativa en su estado tensional en la zona central de la tapa, elevándose las tensiones en el encuentro del cabezal con el casco (zona de concentración de tensiones), las que no superan la tensión de fluencia del material. Se observa también que en correspondencia con el arriostramiento de la tapa, se desarrollan en algunas zonas las mayores tensiones que alcanzan los valores de 1.6×10^8 y $1.75 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, según los criterios de Von Mises y Tresca respectivamente.

En Figura 6 se representan: la distribución tensional y los desplazamientos correspondientes a la alternativa f). Se observa, como se ha destacado, que el estado tensional supera al admisible, pero con valores que en ninguna zona alcanzan la tensión de fluencia del material. Los desplazamientos se reducen considerablemente con respecto al modelo sin

riostros.

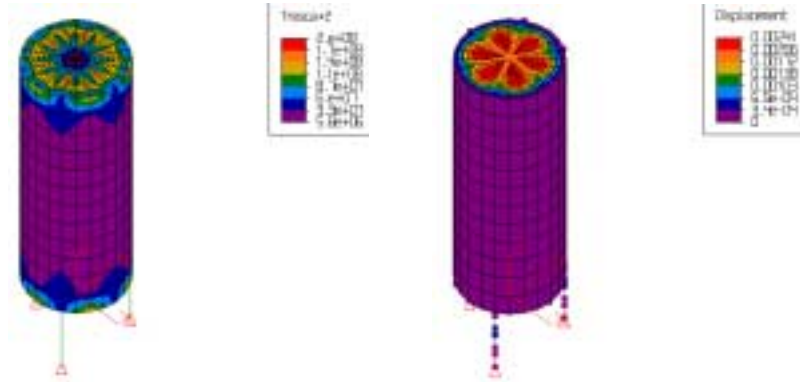


Figura 6. Mapa de tensiones y desplazamientos para recipiente de cabezal plano arriostrado

4 CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de recipientes mediante una herramienta computacional que utiliza el Método de los elementos finitos, resulta de gran utilidad para el diseño y verificación de los mismos, tanto nuevos como los ya existentes. A través del mapa de tensiones, se pueden detectar zonas donde se producen las máximas solicitaciones, y consecuentemente los posibles lugares de falla.

La utilización de esta herramienta, representa al momento de la fabricación del equipo, una alternativa útil para su diseño, dado que soluciones intuitivas de un problema, pueden provocar estados tensionales no esperados y desfavorables en la operatoria de un proceso industrial.

En este trabajo se efectuó un análisis comparativo del comportamiento de los diferentes tipos de cabezales, y en especial se atendió a las limitaciones propias de los cabezales planos y posibles soluciones constructivas mediante arriostramientos, que muestran una tendencia a mejorar el estado tensional generado.

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación, cuyo objetivo apunta a profundizar el conocimiento sobre aquellos aspectos del tema de recipientes a presión no contemplados en la literatura.

5 REFERENCIAS

- [1] E. F. Megyesy, “*Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo*”, Limusa-Noriega Editores, (1998).
- [2] P. M. Ciancio, M. L. Godoy y L. M. Arrien, “Recipientes a presión: Evaluación del estado tensional a partir de datos experimentales”, *Mecánica Computacional*, Vol. XXIII, pp. 229-239 (2004).
- [3] Algor Profesional V12.04 (1999). Division Pittsburg, Pennsylvania, USA, Algor Inc.
- [4] K. J. Bathe, “Finite element procedures in engineering analysis”, Prentice-Hall, New Jersey, (1982).
- [5] Popov. E., *Mecánica de Materiales*, Limusa-Noriega, (1992)
- [6] ASME, “Boiler and Pressure Vessel Code”, Sección VIII, División 1 y 2 (1998).