

Análisis de Tensiones mediante Elementos Finitos de una Válvula Esférica durante la Prueba Hidrostática, y su Verificación Experimental

Néstor J. Gualda, Héctor C. Sanzi, y Luis Ortiz

Grupo Ingeniería Estructural GIIE, Universidad Tecnológica Nacional FRH,
Paris 532 Haedo, Buenos Aires-Argentina (e-mail: tecsaing@tecsaing.com.ar)

Recibido Oct. 02, 2009; Aceptado Ene. 04, 2010; Versión Final recibida Feb. 10, 2010

Resumen

En este trabajo se presenta el análisis de tensiones y deformaciones en el cuerpo de una válvula esférica de diámetro 8" serie 600, durante la prueba hidrostática, utilizando el método de elementos finitos. Se verifica el modelo con datos experimentales de tensiones, utilizando indicadores de deformación SG (Strain Gauges). Para el análisis mediante el método de elementos finitos se utilizó el programa Cosmos/M e información obtenida durante el análisis experimental. Las pruebas experimentales se realizaron en un banco de ensayo tipo prensa, colocando indicadores de deformación en el cuerpo de la válvula en determinados puntos de interés. Los valores de deformación obtenidos permitieron validar la aplicación del método de elementos finitos.

Palabras clave: análisis de tensiones, elementos finitos, válvula esférica, prueba hidrostática, indicadores de deformación

Stress Analysis by means of Finite Elements of a Ball Valve during the Hydrostatic Test, and its Experimental Verification

Abstract

The stress and deformation analysis in the body of a ball valve of diameter 8", class 600, during the hydrostatic test, using the finite elements method is done. The results are verified through experimental stress analysis method, using strain gauges. For the finite elements method the software Cosmos/M and information obtained during the experimental analysis were used. The experimental tests were carried out in a press type test machine, placing strain gauges in the body of the valve at certain points of interest. The values of deformation obtained allowed validating the application of the finite elements method.

Keywords: stress analysis, finite elements, ball valve, hydrostatic test, strain gauges

INTRODUCCIÓN

El diseño de cuerpos de válvulas de formas complejas, no responde a procedimientos simples de cálculo. Si bien los códigos de diseño, (por ejemplo ASME B16.34, 2004) establecen el espesor requerido del cuerpo o carcasa de las válvulas, aquellas de formas complejas, gran tamaño y/o sometidas a elevadas presiones (serie 600 y mayores), requieren de un estudio más riguroso y detallado, para asegurar su integridad. Es importante entonces, realizar un análisis previo a la prueba hidrostática, que permita su optimización, para evitar perjuicios económicos a sus fabricantes por deficiencias en los diseños.

Realizaremos simulación computacional mediante el MEF (Chandrupatla, 1999) para el cuerpo de una válvula esférica, considerando las variables geométricas, físicas del material, y cargas, logrando un diseño adecuado que permita su homologación en el banco de pruebas. En esta presentación se ha seleccionado una válvula de bloqueo del tipo esférica, de diámetro nominal DN 8", Serie 600, pasaje reducido, cuerpo enterizo, esfera guiada, fabricada según normas (ASME B16.34, 2004; API 6D, 2008). La válvula en general, sus principales componentes, y un detalle dimensional del cuerpo se muestran en la Fig. 1.

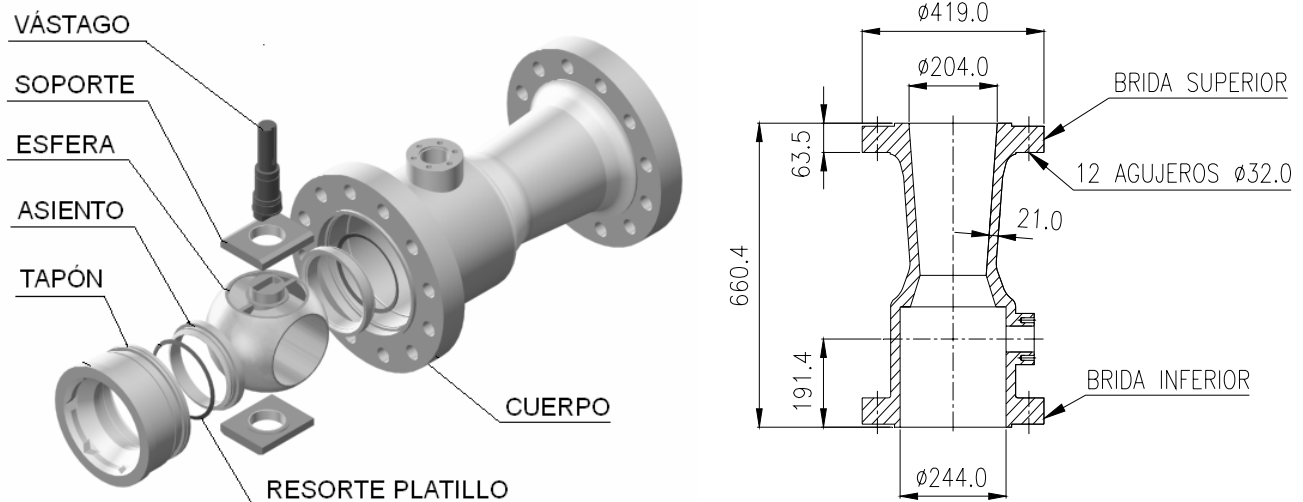


Fig. 1: Válvula del tipo esférica - Principales componentes y dimensiones generales del cuerpo.

El banco de ensayos utilizado para realizar la prueba hidrostática, mostrado en la Fig. 2, es básicamente una prensa hidráulica, de cuatro columnas, y de 100 Tn de capacidad. Dicho banco posee dos platos con juntas tóricas, los cuales mediante un accionamiento hidráulico, comprimen el cuerpo de la válvula, hermetizando así sus extremos. Luego de comprimir el cuerpo, se lo llena con agua mediante una bomba y se eleva la presión hasta alcanzar el valor de prueba requerido de 160 Kg/cm², a temperatura ambiente (API 598, 2004). Esta presión se mantiene durante un período mínimo de 2 minutos, durante el cual no deberán verificarse pérdidas hacia el exterior.

A fin de modelar solamente el cuerpo de la válvula, ahorrando así tiempo de modelado y recursos computacionales, las cargas transmitidas por el banco de ensayos a dicho cuerpo durante la prueba hidrostática, se obtienen mediante el SG5 (Fig. 2) colocado en una de sus columnas. En el caso que se modelara también la prensa, no sería necesario utilizar datos experimentales en el modelo computacional.

Trabajos desarrollados por diferentes investigadores también aplican el MEF con verificación experimental. (Freitas et al., 2004; Roldán y Bastidas, 2002)

En la tabla 1 se indican las propiedades físicas del materia del cuerpo. Para la tensión admisible (S) se adopta un valor igual al 90% de la tensión de fluencia (Sy).

Tabla 1: Propiedades Físicas del material

Material	S, Tensión Admisible (Kg/cm ²)	Sy, Tensión de Fluencia (Kg/cm ²)	Sr, Tensión de Rotura (Kg/cm ²)
ASTM A 216 WCB	2278	2531	4921

MÉTODO EXPERIMENTAL

Carga de compresión del cuerpo y aplicación de la presión de prueba

Para el ensayo se procede a pegar cuatro “Strain Gauges” en el cuerpo de la válvula (SG1, SG2, SG3, y SG4) y uno sobre una de las columnas del banco de ensayos (SG5), como se muestra en la Fig. 2.

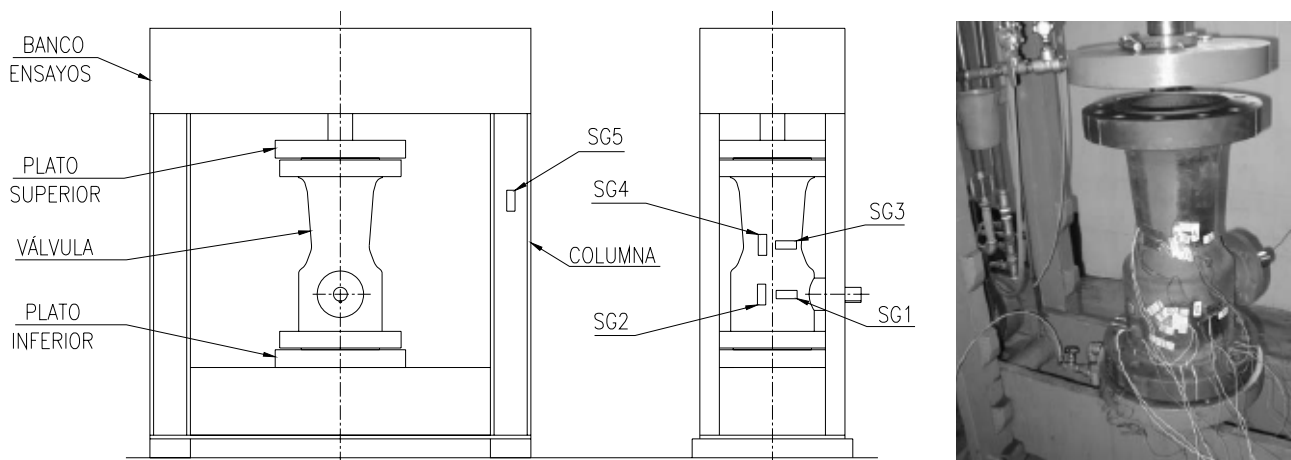


Fig. 2: Pegado de “Strain Gauges” y disposición general del ensayo.

Una vez dispuesta la válvula en el banco de prueba, se aplica primero la carga de compresión del cuerpo y luego la presión hidrostática (160 kg/cm²). Ambas cargas se aplican en forma escalonada, con el objeto de verificar el comportamiento elástico del material, a través de los “Strain Gauges”.

SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

Se modela el cuerpo de la válvula en tres dimensiones mediante una malla de alta densidad, posteriormente se procede a la aplicación de cargas y definición de las condiciones de bordes, considerando el material elástico lineal, isotrópico, y homogéneo. Mediante el programa Cosmos/M, se determina el estado tensional y de las deformaciones del cuerpo de la válvula, utilizando sólidos tetraédricos de segundo orden, identificados como “TETRA 4”. Teniendo en cuenta la simetría geométrica y de cargas del componente, según un plano transversal, solo se ha modelado la mitad del mismo (Fig. 5), colocando las condiciones de borde que restringen los desplazamientos normales a dicho plano. El modelo de cálculo quedó conformado por 23774 elementos y 6730 nodos.

Autores como Perez y Rodríguez (2007), han aplicado el MEF utilizando el programa Cosmos/M, otros (Cingualbres y Gomez, 2004; Herrera y Porras, 2006), han realizado sus estudios utilizando también Cosmos/M, verificando sus resultados con extensómetros.

Las cargas descritas con anterioridad, dan lugar a los siguientes estados de carga:

LC1: presión de contacto de la brida superior del cuerpo con el plato superior del banco de ensayos, obtenida a partir de las deformaciones medidas mediante el SG5, colocado en una de las columnas del banco (Fig. 2), durante la compresión del cuerpo de la válvula.

LC2: presión de contacto de la brida superior del cuerpo con el plato superior del banco de ensayos, obtenida a partir de las deformaciones medidas mediante el SG5, colocado en una de las columnas del banco (Fig. 2), durante la aplicación de la presión de prueba hidrostática.

LC3: presión hidrostática en el interior del cuerpo de la válvula: $P_h=160 \text{ kg/cm}^2$.

RESULTADOS

En la Fig. 3 se comparan las deformaciones alcanzadas, en función de la carga de compresión real del cuerpo, para los “Strain Gauges” SG1, SG2, SG3, y SG4 (Fig 3 a), con las deformaciones durante la compresión simulada del cuerpo para los elementos identificados como EF1, EF2, EF3, y EF4 (Fig 3b), coincidentes con la ubicación de los “Strain Gauges”, para el estado de cargas LC1. Las cargas reales y simuladas, se aplicaron en forma escalonada para visualizar el comportamiento elástico del material.

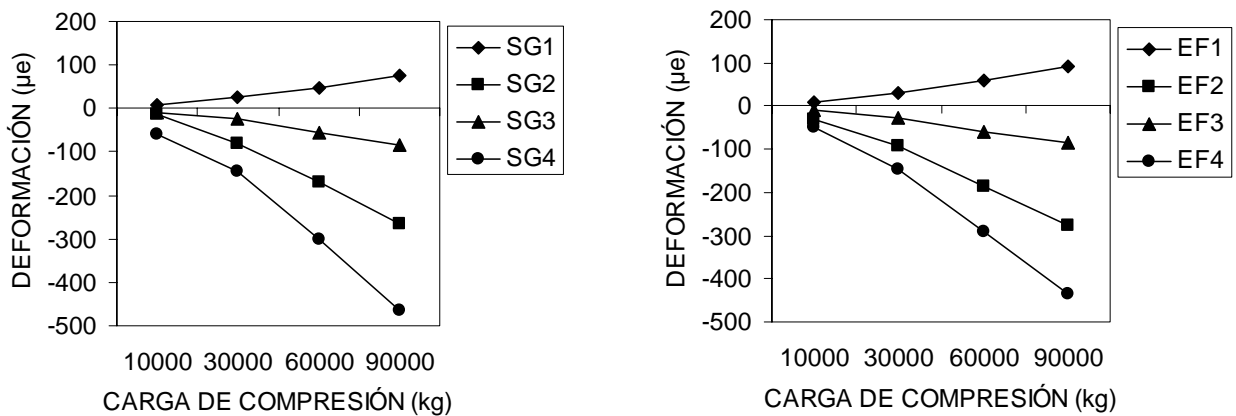


Fig. 3: a) Deformaciones durante la compresión real del cuerpo

b) Deformaciones durante la compresión simulada del cuerpo

En la Fig. 4 se comparan las deformaciones alcanzadas, en función de la presión de prueba hidrostática real del cuerpo, para los “Strain Gauges” SG1, SG2, SG3, y SG4 (Fig 4 a), con las deformaciones durante la prueba hidrostática simulada del cuerpo para los elementos identificados como EF1, EF2, EF3, y EF4 (Fig 4b), coincidentes con la ubicación de los “Strain Gauges”, para el estado de cargas LC2 y LC3 actuando simultáneamente. Las cargas reales y simuladas, se aplicaron en forma escalonada para visualizar el comportamiento elástico del material.

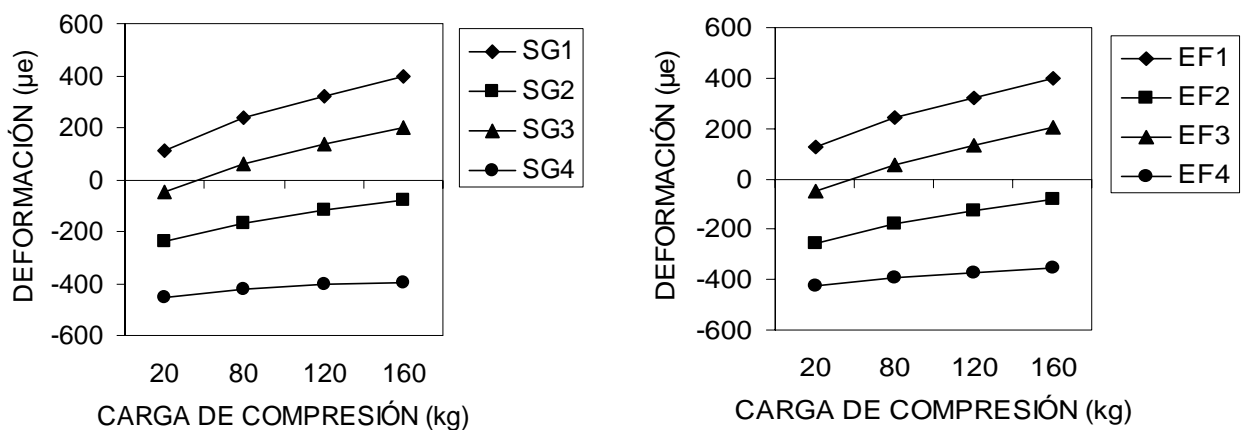


Fig. 4: a) Deformaciones durante la Prueba Hidrostática real del cuerpo

b) Deformaciones durante la Prueba Hidrostática simulada del cuerpo

Los investigadores Lenkey et al., 2003 y Manescu et al., 2003 también han tomado como objeto de sus trabajos válvulas industriales, aplicando el MEF y validando resultados mediante SG

Estado tensional obtenido mediante el modelo computacional

En la Fig. 5 se presentan las tensiones equivalentes de Von Mises sobre el cuerpo de la válvula, para la condición de prueba hidrostática, las cuales son inferiores al valor de tensión admisible (Tabla 1).

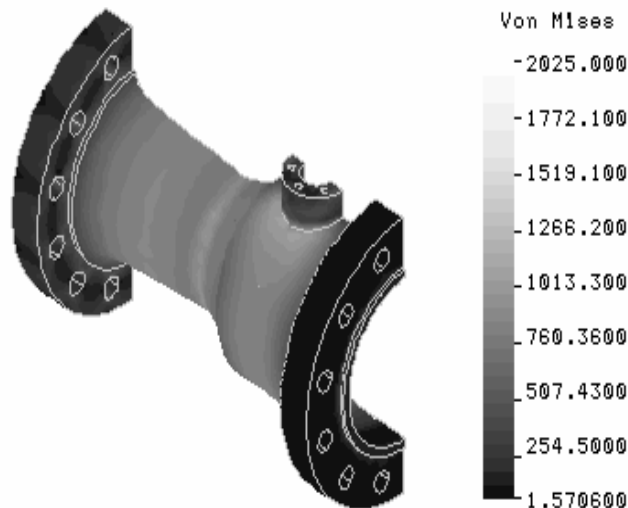


Fig. 5: Tensiones de Von Mises (Kg/cm^2) para la condición de prueba hidrostática

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Comparando las deformaciones medidas con “Strain Gauges”, para las condiciones de compresión real del cuerpo con las deformaciones durante la compresión simulada del cuerpo Fig. 3, y las deformaciones durante la prueba hidrostática real del cuerpo, con las deformaciones durante la prueba hidrostática simulada del cuerpo Fig. 4, se puede apreciar gran coincidencia entre ambas, siendo su diferencia del orden del 5%, por lo cual se valida el modelo planteado.

En la Fig. 5, se presenta el estado tensional, el cual verifica la integridad del cuerpo de la válvula. En el caso de requerimientos adicionales, se pueden considerar por ejemplo, los esfuerzos derivados de la cañería de interconexión, con el objeto de evaluar su incidencia en el nivel de tensiones, a través de la Simulación Computacional.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha aplicado el método de los elementos finitos, para el diseño del cuerpo de una válvula esférica, lo cual ha permitido, en función de los resultados obtenidos, conocer la sensibilidad y la validez del modelo propuesto, considerando la influencia de las variables geométricas y físicas del material, logrando un diseño adecuado, corroborado por mediciones con “Strain Gauges”, mientras se realizaba la prueba hidrostática. Finalmente, este trabajo valida la aplicación de FEM utilizado para el diseño de válvulas de gran tamaño y permite contar con una importante capacidad tecnológica o “Know How”, a uno de los diseñadores y fabricantes de válvulas del país.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Válvulas Worcester de Argentina SA, por facilitarnos la válvula estudiada y la utilización de sus instalaciones, necesarias para la elaboración del presente trabajo.

REFERENCIAS

- API 598, American Petroleum Institute, Valve Inspection and Testing, 2-7, Washington, USA (2004)
- API 6D, American Petroleum Institute, Specification for Pipelines Valves, 9-16, Washington, USA. (2008)
- ASME B16.34, The American Society of Mechanical Engineers, Valves - flanged, threaded, and welding end 91-93, New York, USA (2004)
- Cingualbres R.E y E. GOMEZ, Análisis Numérico-Experimental del Bastidor Principal de la Cosechadora de Caña KTP-2M. Rev. Inf. Tecnol, ISSN: 0718-0764 (en línea), 15(4) 23-30 (2004) http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000400004&lng=es&nrm=iso Acceso: 30 de Enero (2010)
- Cosmos/M, Structural Reserch & Analysis Corporation, Finite Element Program Cosmos, California, USA (2003)
- Chandrupatla T.R., y A.D. Belegundu, Introducción al Estudio del Elemento Finito en Ingeniería, 2ª Edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., Naucalpan de Juárez, México, 1999
- Freitas A.M.S, M.S.D.R. Freitas, y F.T.D. SOUZA, Análise Teórico-Experimental de Elementos Formados a Frio Perforados Submetidos à Compressão. Rev. Esc. Minas, ISSN: 0370-4467 (en línea). 57(1) 2004, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672004000100011&lng=en&nrm=iso. Acceso: 30 de Enero (2010)
- Herrera M.M., y J.A.O. Porras, Determinación del Comportamiento Bajo Cargas Concentradas de Perfiles de Lámina Delgada (MM), Rev. Ingeniería e Investigación ISSN: 0120-5609 (en línea) 26 (003) 12-25 (2006) <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64326303> Acceso: 3 de febrero de 2010
- Lenkey, G., S. Szávai y L. Tóth, Application of up-to-date material testing and numerical methods for design optimisation of large sphere valves. Bay Zoltán. Institute for Logistics and Production Systems Miskolctapolca, Iglói u. 2. HUNGARY, 2003 http://www.umt.fme.vutbr.cz/osem/pdf/danubia2003/111_O4_Hu_Lenkeyne_Szavai_Toht.pdf. Acceso 07 de Febrero de 2010.
- Manescu, T., L.S. Bocîi, I. Copaci, y C.P. Bretotean, Estudio de las Tensiones en Válvulas Biplanas Tipo Mariposa, Rev. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, ISSN: 0120-6230 (versión impresa) N° 030, 109-124 (2003) <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=43003012> Acceso: 30 de Enero (2010)
- Perez, Y.C., y R. F. Rodríguez, Diseño de los Acoplamientos Cuadrados de Hierro Fundido para Molinos de Caña Mediante el Método de los Elementos Finitos. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia ISSN: 0120-6230 (en línea), N° 41, 120-131 (2007). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302007000300009&lng=en&nrm=iso. Acceso: 30 de Enero (2010)
- Roldan, F. y U. Bastidas., Estudio Experimental y por Análisis de Elementos Finitos del Factor de Concentrador de Esfuerzo Producido por un Agujero en una Placa Plana, Rev. Dyna ISSN: 0012-7353 (en línea), 69 (2002), <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49613701> Acceso: 30 de Enero (2010)