

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO EN LA TRANSICIÓN TRONCOCÓNICA Y CILÍNDRICA DE UN DIGESTOR PARA USO EN INDUSTRIA FRIGORÍFICA

OPTIMIZATION OF DESIGN IN THE TRONCOCONIC AND CYLINDRICAL TRANSITION OF A DIGESTOR FOR USE IN REFRIGERATING INDUSTRY

César A. Lanz, Daniel H. Felix y Bruno H. La Rocca

Departamento de Ingeniería, Instituto de Ingeniería (II-UNS)-CIC, Universidad Nacional del Sur(UNS), Bahía Blanca, Argentina, clanz@uns.edu.ar, dhfelix@uns.edu.ar, bruno.larocca@hotmail.com

Palabras clave: recipientes a presión, elementos finitos, industria frigorífica, soldadura.

Resumen. El presente estudio trata sobre la evaluación y análisis de distintas alternativas o variantes, propuestas para el diseño de la zona de transición entre la parte cilíndrica y la parte troncocónica de un digestor. Este equipo es empleado para inertizar los restos de la faena de cabezas de ganado bovino, porcino y lanar. El objetivo del mismo consiste en estudiar diferentes alternativas de diseño de la geometría del tramo troncocónico que se encuentra vinculado sólidamente al tramo cilíndrico mediante cordón de soldadura. El diseño y verificación de las modificaciones propuestas se realiza mediante el uso de la normativa vigente y de modelos numéricos construidos en elementos finitos. Debido a que se trata de un equipo que está sometido a presión interna cuando se encuentra en servicio, el mismo se halla calificado por la norma ASME VIII, como un recipiente a presión sin fuego. Para su servicio normal, utiliza una inyección de vapor saturado en su interior, a una presión de 0.4 MPa. Se hace especial énfasis en el análisis de los campos de tensiones y deformaciones, en la zona en donde se practica el cordón de soldadura, considerando que ambos campos adquieren en dicha zona, valores característicos en función del ángulo del semicono.

Keywords: Pressure vessels, finite elements, refrigeration industry, welding.

Abstract. The present study deals with the evaluation and analysis of different alternatives or variants proposed in the design of the transition area, between the cylindrical part and the truncated cone shape part of a digester. This equipment is used to inertize the remnants of cow, pig and sheep heads, when the livestock is processing. The goal of the present work is to study different alternatives to design the geometry of the truncated cone shape section, which is solidly attached to the cylindrical part, with a welding bead. The design and verification of the proposed modifications is realized using current regulations and numerical models built in finite elements. Because it is an equipment that is subjected to internal pressure when it is in service, it is qualified by the ASME VIII standard, as a pressure vessel without fire. For the normal service, it is used an injection of saturated steam in the internal part, with a pressure of 0.4 MPa. Special emphasis is taking into account for the analysis of stresses and deformations fields, in the area where the weld bead have been built, considering that, for both fields, characteristic values have been acquired like a function of the half-cone angle.

1 INTRODUCCIÓN

En los procesos de la industria frigorífica, ya sea en plantas preparadas para el consumo interno de carnes o bien para la exportación, uno de los equipos típicos que se encuentran es el digestor. Dichos equipos deben estar instalados obligatoriamente en las plantas que tienen la certificación de SENASA (SENASA, 1968), ya que los mismos se emplean para reducción y esterilización térmica (fluidificado parcial) de los cadáveres de animales, los cuales se sospecha que al arribar fallecidos en el ingreso a la planta, están cursando alguna enfermedad o bien sufren algún tipo de accidente en el trayecto que cumplen desde el establecimiento de crianza y engorde hasta la industria frigorífica, que les induce la muerte.

En este trabajo se plantean diferentes diseños o variantes del equipo digestor, en especial de la transición cónica que se encuentra entre el cuerpo cilíndrico y la boca de descarga del producto fluidificado. Se analizan distintas simulaciones numéricas para un grupo de valores del semiángulo del cono. Finalmente se adopta la variante de semiángulo del cono que se considera más conveniente, haciendo una evaluación de las tensiones y desplazamientos, con especial énfasis en el cordón de soldadura de la transición troncocónica.

2 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

El proceso se cumple enteramente en el interior del equipo denominado “Digestor de necropsia”, que emplea vapor saturado para la acción térmica, a una presión de 0.4 MPa, el cual provoca el efecto buscado de esterilización y fluidificado de los desechos de la faena.



Figura 1: Vista general del modelo.

El equipo consiste principalmente en un recipiente cilíndrico cerrado de disposición vertical, que posee un cabezal superior, el cual representa el lugar por donde ingresa el material a esterilizar. Además, posee una boca lateral de inspección y remoción de parte del material no fluidificado y un cabezal inferior cónico, el cual termina en una boca de descarga del material esterilizado. Posee distintas acometidas para la inyección del vapor, instrumental de medición de presión-temperatura u alojamiento para válvulas de seguridad.

Toda la estructura del equipo está vinculada al suelo por tres patas o soportes (distribuidas a 120 °). El cuerpo cilíndrico, el cabezal superior, los cuellos, el cono y demás elementos estructurales están fabricados con chapa de acero de 10 mm de espesor calidad ASTM A36 cuyas características están especificadas en el código (BPVC ASME II, 2013). Para unir las

partes del equipo se ha utilizado el proceso de soldadura por arco eléctrico protegido (SMAW), que satisface los requerimientos de la norma de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS D1.1, 2010). La Figura 1 muestra una vista general del modelo planteado para el estudio del equipo.

2.1 Características de la sección troncocónica.

Las dimensiones principales de la sección troncocónica son: 1285 mm de diámetro interior, aproximadamente 611 mm de altura y un espesor de 10 mm. La Figura 2 muestra esquemáticamente una vista de la misma.

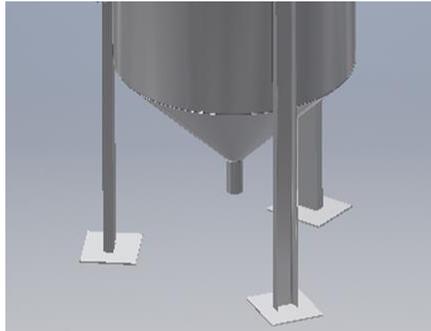


Figura 2: Vista de la transición troncocónica del equipo.

3 ANÁLISIS DE DISTINTAS VARIANTES DE SEMIÁNGULO DEL CONO

En la Figura 3 se observa el modelo utilizado para realizar la simulación numérica, que se construyó mediante una versión educativa de software de elementos finitos (Autodesk® Inventor, 2018), con el objeto de determinar, para distintos valores del semiángulo del cono (de 35 ° a 55 °), cuáles son los valores de las tensiones de Von Mises y los desplazamientos, (Adeyefa and Oluwole, 2013).

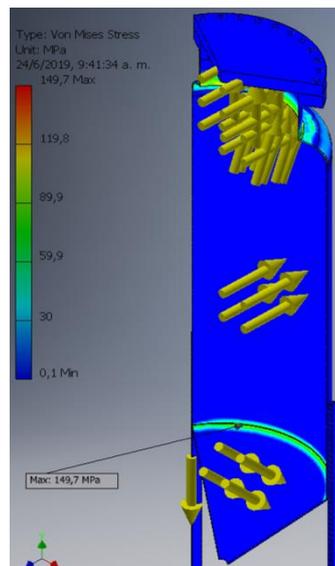


Figura 3: Diagramas de presión interna obtenidos con el modelo numérico.

Por consideraciones de diseño mecánico sugeridas por los autores Faar y Maan, (Faar and Maan, 2001), se adopta un valor del semiángulo del cono de 45 °.

Semiángulo del cono [°]	Tensión máxima [MPa]	Desplazamiento máximo [mm]
35	108,9	0,0921
40	124,9	0,1056
45	149,7	0,1214
50	174,5	0,1398
55	202,5	0,1609

Tabla 1: Tensiones y desplazamientos en el cordón de soldadura para distintos valores del semiángulo del cono.

Como se observa en la [Tabla 1](#), para un semiángulo del cono de 45 ° los valores obtenidos con la simulación en la zona del cordón de soldadura, entre la sección cilíndrica y el cono corresponden a una tensión de 149.7 MPa y el valor obtenido para el desplazamiento es de 0.1214 mm.

En la [Figura 4](#), se observan las tensiones de Von Mises en las zonas de estudio que se analizan en este trabajo, es decir, en el cuerpo cilíndrico, en el cono y en el cordón de soldadura existente entre ambos. En dicha figura se observa que la tensión reinante es del orden de 23.1 MPa, valor que está muy alejado de la tensión admisible para la chapa ASTM A36 la cual es de 160 MPa. De la misma manera, se observa para el cono, que la tensión reinante es del orden de 19 MPa.

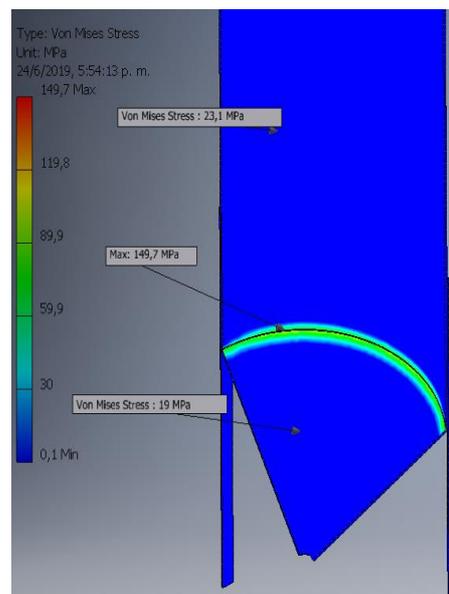


Figura 4: Tensiones en zonas de estudio.

En la [Figura 5](#) se observa, que las tensiones de Von Mises en la zona de la soldadura propiamente dicha, son del orden de los 149.7 MPa, inferior a los 160 MPa que se tienen para la tensión admisible de la chapa ASTM A36.

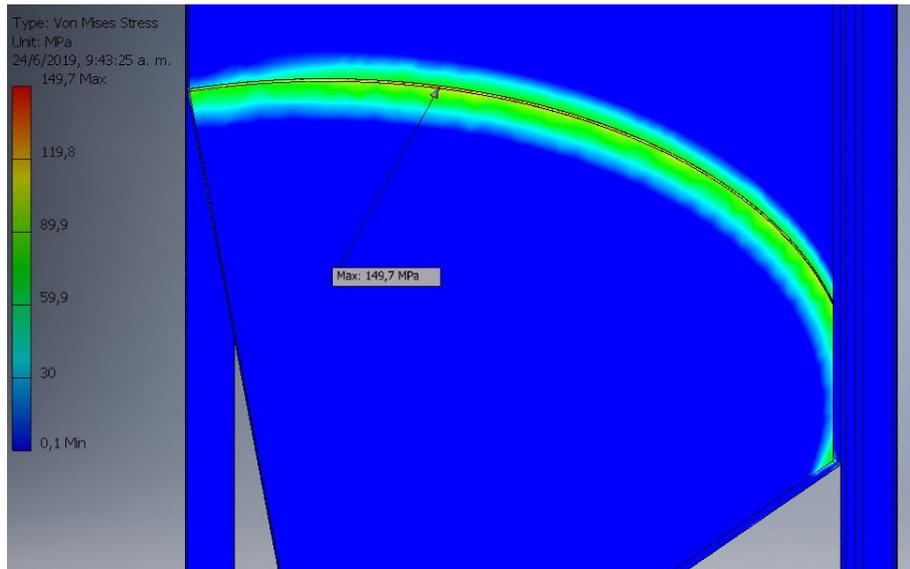


Figura 5: Tensiones en la zona de la soldadura.

4 ANÁLISIS MEDIANTE LAS NORMAS DE APLICACIÓN VIGENTES

Frecuentemente para el diseño mecánico de recipientes a presión, se emplea la División 1 del código [BPVC ASME VIII](#). Del mismo se obtienen los modelos matemáticos para determinar entre otras cosas, los requerimientos de espesores mínimos y la presión máxima admisible de servicio para la sección troncocónica, la cual particularmente es el objeto de este trabajo.

Para el caso de los cordones de soldadura que se realizan para unir las distintas partes de este equipo, se emplea el procedimiento de soldadura por electrodo revestido (SMAW). Por lo tanto, se aplican el código para soldadura estructural de aceros [AWS D1.1](#) y las especificaciones de los aceros para electrodo de soldadura por arco eléctrico que están prescriptas en el código [AWS A5.1](#).

4.1 Verificación del espesor mínimo del cono de la transición troncocónica

Para este punto se considera la presión de diseño P , de 0.4 MPa, el diámetro exterior del cono D , de 1305 mm, la altura del cono de 611 mm, el semiángulo del cono α de 45°, la tensión admisible S , de la chapa de 160 MPa y la eficiencia de la soldadura E , de 0.7. Se adopta un sobre espesor por corrosión C , de 1.65 mm.

En la parte UG-32 (c) de la Div. 1 del [BPVC ASME VIII](#), se da la ecuación (.), utilizada para determinar el espesor mínimo requerido del cono tr :

$$tr = \frac{P \cdot D}{[2 \cos(\alpha) \cdot (S \cdot E - 0.6 \cdot P)]} + C \quad (.)$$

El espesor mínimo requerido tr , es de 5,48 mm aproximadamente. Como el espesor de esta transición es de 10 mm y es mayor que el mínimo requerido, se satisfacen los requerimientos de servicio.

4.2 Verificación del cordón de soldadura

En la [Figura 6](#) se observa el cordón de soldadura que se ha simulado mediante el modelo computacional propuesto.

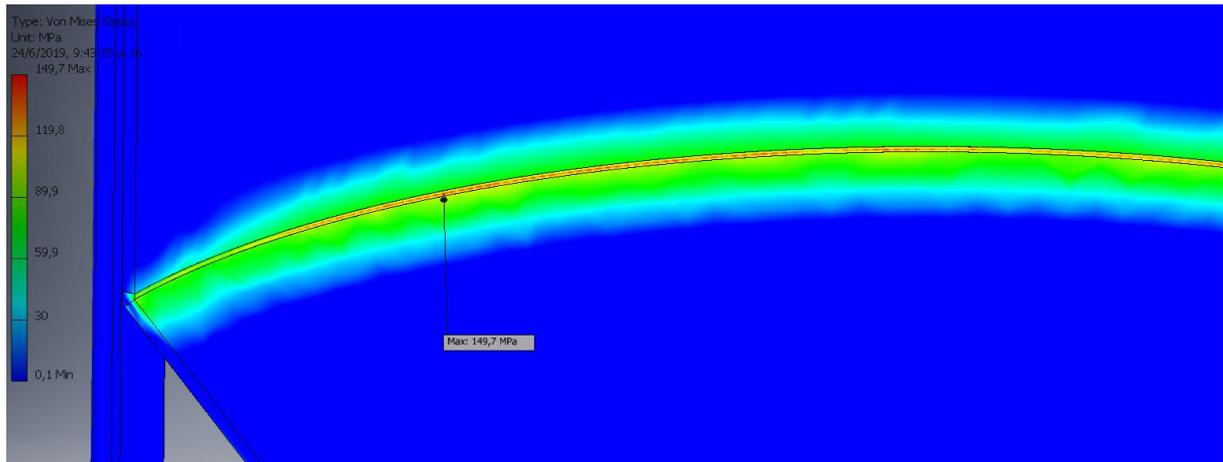


Figura 6: Valor máximo de la tensión en el cordón de soldadura, de 149.7 MPa.

Para el análisis de la integridad mecánica del cordón de soldadura entre el cuerpo cilíndrico y el cono, se siguen los lineamientos indicados por Mott, (Mott, 2006), el cual considera a la soldadura como una línea.

Se considera que el cordón de soldadura se efectúa utilizando como material de aporte la varilla o electrodo, de 4 mm de diámetro, de característica E7018-1, el cual según AWS 5.1 posee una máxima resistencia a la fluencia de 393 MPa.

Como puede observarse en la Figura 6, el cordón de soldadura se encuentra sometido a una tensión máxima de 149.7 MPa, que es un valor sensiblemente inferior al límite de la tensión de fluencia del material, dando un coeficiente de seguridad de 2.62 que es un valor adecuado para este tipo de diseño, como es indicado por los autores Budynas y Nisbett, (Budynas and Nisbett, 2011).

5 CONCLUSIONES

Como puede observarse de la Tabla 1, la cual muestra las tensiones de Von Mises y los desplazamientos que se obtienen en la simulación numérica para las distintas propuestas en el diseño, empleando para ello la variación del ángulo del semicono (entre 30 ° y 55 °), utilizando para ello una versión educativa de Autodesk® Inventor 2018, para el caso de semiángulo del cono de 45 ° y un espesor de chapa de 10 mm calidad ASTM A36, es una buena solución al diseño de la transición troncocónica, como las serían también el semiángulo de cono de 35 ° y 40 °. Sin embargo, se adopta la de 45 ° por ser la recomendada por los autores Faar y Maan (Faar and Maan, 2001).

El hecho de emplear una varilla de 4 mm de calidad E7018-1 para el proceso de soldadura SMAW entre el cuerpo cilíndrico y el cono, nos asegura que la unión entre las partes mencionadas, tiene la fortaleza necesaria para soportar las condiciones del proceso de esterilización y fluidificación de los restos de la faena.

Se aprecia que el proceso de diseño y verificación, basado en las normas vigentes, puede complementarse apropiadamente mediante la utilización de modelos numéricos.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería, a la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur (UNS), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), bajo cuyos auspicios se desarrolló el presente trabajo.

6 REFERENCIAS

- Adeyefa, O. and Oluwole, O., *Finite Element Modeling of Variable Membrane Thickness Field Fabricated Spherical Pressure Vessels*. Engineering, 5:469-474, 2013.
- Autodesk® Inventor, 2018.
- AWS A5.1, *Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding*, 2010.
- AWS D1.1, *Structural Welding Code*, 2010.
- BPVC ASME VIII Div.1, *Rules for Construction of Pressure Vessels*, 2019.
- BPVC ASME II. Part. A., *Ferrous Material Specifications*, 2013.
- Budynas R., and Nisbett J., *Shigley Mechanical Engineering Design*, McGraw Hill, 2011.
- Faar, J.R. and Maan, H.J. Guidebook for design of ASME BPVC Sec. VIII. 2° Ed., 2001.
- Mott, R.L., *Design Machine Elements*, 4° Edición, Editorial Pearson, 2006.
- SENASA, Capítulo III del Decreto Nacional República Argentina, Nro. 4238, 1968.