

Criterios sobre el uso de softwares especializados para diseño y simulación en la implementación de bibliotecas de recipientes a presión

Criteria about the use of specialized softwares for design and simulation in the implementation of pressure vessels libraries

Ramos-Martínez, Ariasny; Gómez-Pérez, Carlos René; Pérez-Pérez, Daniel
Centro de Investigaciones de Soldadura. Universidad central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní,
km 5 ½. Santa Clara Villa Clara, Cuba.

aramosm@aei-ucmbybat.co.cu; crene@uclv.edu.cu; daniel@abacenvc.alinet.cu

Resumen

Los software profesionales actuales de diseño y simulación poseen bibliotecas estandarizadas de piezas, que incluyen normas internacionales de múltiples países. Sin embargo, en estas bibliotecas es escasa la inclusión de partes y accesorios de recipientes a presión. En el presente trabajo se valoran diferentes softwares de diseño y simulación en cuanto a las potencialidades actuales de sus bibliotecas respecto al diseño de partes y accesorios de recipientes a presión, se valoran las potencialidades de sus herramientas para el diseño de las mismas y su inclusión en bibliotecas estandarizadas acorde a los códigos internacionales. Respecto a ello, también se incluyen criterios sobre las potencialidades de los códigos fundamentales reconocidos para el diseño de recipientes a presión para el desarrollo de bibliotecas digitales, tal que permitan el rápido diseño y evaluación de recipientes a presión nuevos o en explotación.

Palabras Claves:

Diseño automatizado, simulación, recipientes a presión, calderas, soldadura

INTRODUCCIÓN

La literatura especializada [1] refiere varias normas y códigos para el cálculo, diseño y construcción de tanques para el almacenaje de líquidos (agua, combustibles, etc.). Las normas más difundidas y empleadas en las industrias de procesos son las del Instituto Americano del Petróleo (*American Petroleum Institute, API*, de sus siglas en inglés). Dentro de los estándares aplicables, se encuentran los siguientes:

API Standard 620: aplicable a grandes tanques horizontales o verticales soldados en el campo, aéreos que operan a presiones en el espacio vapor menores a $0,175 \text{ kg/cm}^2$ (2,5 psi) y a temperaturas no superiores a $93 \text{ }^\circ\text{C}$.

API Standard 650: aplicable a grandes tanques horizontales o verticales soldados en el campo, aéreos que operan a presiones en el espacio vapor menores a $0,105 \text{ kg/cm}^2$ (1,5 psi) y a temperaturas no superiores a $121 \text{ }^\circ\text{C}$.

API Specification 12D: aplicable a tanques horizontales o verticales soldados en el campo para almacenaje de líquidos de producción y con capacidades estandarizadas entre 75 y 1500 m^3 .

API Specification 12F: aplicable a tanques horizontales o verticales soldados en taller para almacenaje de líquidos de producción y con capacidades estandarizadas entre $13,5$ y 75 m^3 .

API Standard 653: aplicable a la inspección, reparación, alteración, desmontaje y reconstrucción de tanques horizontales o verticales.

API Standard 650: Recomienda también la aplicación de las técnicas de ensayos no destructivos aplicables.

Estos estándares cubren el diseño, fabricación, inspección, montaje, ensayos y mantenimiento de los mismos y fueron desarrollados para el almacenaje de productos de la industria petrolera y petroquímica, pero su aceptación a sido aplicada al almacenaje de numerosos productos en otras industrias. Si bien estas normas cubren muchos aspectos, no todos están contemplados, razón por la que existen otras normas complementarias a las mismas.

Existen, además de los mencionados estándares, otras normas que también son aplicables, tanto a materiales constructivos metálicos, como a no metálicos (plásticos, fibras de vidrio, etc.) [1], dentro de las cuales pueden citarse a:

El *Boiler and Pressure Vessel Code* (Edición 2001, secciones VIII y X), de la *American Standard Mechanical Engineering ASME*, es aplicable para el diseño de diferentes recipientes y tanques, tanto cilíndricos, como esféricos y de sección rectangular. Se trata de uno de los estándares más reconocidos mundialmente en este campo de aplicación.

El *Underwriters Laboratories (UL)*, con el *Standard UL 142*, es aplicable a tanques de acero de diferentes diseños soldados en taller para almacenaje de líquidos inflamables y combustibles.

El *British Standard (BS) 2594* es aplicable a tanques cilíndricos horizontales de acero al carbono soldado.

El *BS 4994* comprende las especificaciones para el diseño y construcción de recipientes y tanques en plásticos reforzados.

El *BS 6374* comprende las especificaciones para el recubrimiento de recipientes y tanques con materiales poliméricos.

La *ASTM D 3299/4021/4097* comprende las especificaciones para tanques plásticos reforzados con fibra de vidrio.

Independientemente de ello, son tres las Normas y Códigos más difundidos y aceptados internacionalmente para el cálculo, diseño y construcción de recipientes a presión [1]:

1. ASME, Boiler and Pressure Vessel Code (Edith 2001)

Sección I. Calderas de potencia.

Sección II. Especificaciones de materiales (base y de aporte).

Sección III. Componentes de plantas nucleares.

Sección IV. Calderas de calefacción.

Sección V. Exámenes no destructivos.

Sección VI. Reglas recomendadas para el cuidado y operación de calderas de calefacción.

Sección VII. Reglas recomendadas para el cuidado de calderas de potencia.

Sección VIII. Recipientes a presión.

División 1 – Reglas para la construcción de recipientes a presión.

División 2 – Reglas alternativas para la construcción de recipientes a presión.

División 3 – Reglas alternativas para recipientes de altas presiones.

Sección IX. Calificación de la soldadura.

Sección X. Recipientes a presión de plástico reforzado con fibra de vidrio.

Sección XI. Reglas para la inspección en servicio del sistema de enfriamiento de reactores nucleares.

2. British Standards Institution (BSI)

BS 5500 – Specification for unfired fusion welded pressure vessels.

BS 5169 – Specification for fusion welded steel air receivers.

3. European Committee for Standardization (CEN)

EN 286: Part 1 – Specification for simple unfired pressure vessels designed to contain air or nitrogen.

Todas estas normas y códigos han sido, a su vez, reconocidos y aceptados, a partir del 1997, por el *National Board of Boilers and Pressure Vessels Inspectors de USA*.

Los estándares referidos especifican los requerimientos para el diseño, construcción, inspección, ensayos y verificación de cumplimiento de los recipientes a presión; esto es, la consideración de aspectos, tales como:

1. Selección de materiales, propiedades y composición
2. Tamaños y capacidades preferidos
3. Métodos de cálculo, inspección y fabricación
4. Códigos de práctica para la operación y seguridad de planta
5. Análisis y determinación de cargas estáticas y dinámicas sobre los equipos
6. Tensiones residuales, esfuerzo térmico, fatiga de materiales, concentración de tensiones
7. Mecanismos de desgaste, erosión, corrosión, abrasión. tipos de recubrimientos
8. Conexiones a tanques – recipientes, de cañerías y válvulas, etc.

Dentro de otros códigos se encuentran *Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter – Merkblätter* y el *Code Francais de Construction des Appareils de Pression*.

Existen varios *software* profesionales desarrollados para el diseño de piezas y equipos mecánicos, que permiten su interacción con otros que complementan su estudio, como la simulación de esfuerzos, temperaturas y la “predicción” de su comportamiento bajo determinadas cargas.

Dentro de los *softwares* más conocidos y aplicados en Cuba se encuentran el *Mechanical Desktop*, el *SolidWorks* y el *Inventor*, aunque existen otros como el *CATIA*. También existen *software* como el *KiSSsys* y el *KISSsoft*, entre otros, que permiten el diseño de las partes y su exportación para los destinados al diseño. Otros *software* están destinados más específicamente a la simulación del funcionamiento de las partes, los equipos y los procesos, como el *COSMOS Design Start* y el *ANSYS*, aunque los anteriormente mencionados vienen acompañados de funciones para la simulación, aunque no con el alcance de los dos últimos referidos.

Prácticamente todos los *softwares* de diseño poseen bibliotecas estandarizadas de componentes mecánicos, de acuerdo a normas internacionales, dentro de las que se destacan las bibliotecas de tornillos, tuercas, cojinetes, etc. Todos estos *softwares* poseen actualizaciones sistemáticas de sus herramientas y bibliotecas, los cuales los mantienen competitivos en las aplicaciones actuales de la ingeniería mecánica. Sin embargo, se le ha prestado poca atención a las partes y piezas normadas de recipientes a presión, encontrándose solo escasos ejemplos de recipientes o partes, incluso, no normadas. Muchos de estos *softwares*, solo muestra ejemplos, para que los especialistas puedan percatarse del alcance en ese campo de la herramienta en cuestión. En el caso del *SolidWorks 2012* se incluye el ejemplo de una simulación de un recipiente vertical.

Del estudio de los *softwares* referidos se aprecia una carencia de estandarizaciones de partes y accesorios de recipientes a presión acorde a los códigos fundamentales, que permita su diseño y chequeo rápido. Incluso, no se aprecia una posibilidad relativamente sencilla de diseñar y simular un recipiente en uso, considerando que proceso de diseño no estereotipado es muy complejo. Debido a estos elementos sería interesante evaluar la posibilidad de generar una biblioteca de elementos estandarizados de partes y piezas de recipientes a presión en alguno de los *software* de diseño especializado, más empleados en Cuba.

Como se aprecia, existen varios códigos y normativas para el diseño, uso y reparación de recipientes a presión (*AWS, ASME, ASTM, API*) Algunas de sus versiones son digitales, pero no tienen *software* especializado. También son conocidos *software* profesionales para el diseño y la simulación de elementos mecánicos disímiles (*Mechanical Desktop, Solidworks, Inventor*, etc); sin embargo, estos no incluyen dentro de sus bibliotecas elementos estandarizados para recipientes a presión (tapas, apoyos, orejas de izaje, nervaduras, registro, refuerzos, etc.).

El Centro de Investigación de Soldadura (CIS) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), presta servicios en la inspección y el diagnóstico de recipientes a presión, así como realiza estudios sobre la vida remanente y la posibilidad de falla de recipientes a presión. Se han hecho estudios con el *Cosmos* o el *ANSYS* para simulación, pero sobre puntos específicos para el análisis transiente del proceso de soldadura y las tensiones y deformaciones que origina el ciclo térmico a que está sometida la unión. Sin embargo, aún no se han realizado pasos sustanciales al estudio integral de la capacidad de trabajo por métodos computacionales, tal que puedan incluir la pérdida de espesores o la degeneración estructural de los materiales empleados en un recipiente a presión específico. Se reconoce que, a pesar de la experiencia acumulada en Cuba y en el mundo en eventos y evaluaciones de recipientes a presión, el CIS no cuenta con un *software* especializado, que permita diseñar o evaluar, de forma expedita, recipientes a presión (ó partes de ellos) nuevos o usados. Por otra parte, los *softwares* especializados para el diseño mecánico no incluyen, dentro sus bibliotecas de piezas estandarizadas, a las partes y accesorios de recipientes a presión, tal que permitan de forma eficiente su diseño y evaluación bajo conclusiones de simulación.

Debido a todo lo anterior no se conoce la forma de estereotipar las partes y accesorios para recipientes, como parte funcional de las bibliotecas de *software* especializado, ni un procedimiento de simulación que considere los requisitos establecidos por las normas y códigos internacionales para el diseño de recipientes.

Tal como existen elementos mecánicos sencillos estandarizados en las bibliotecas de *software* especializados, puede igualmente incluirse partes y accesorios de recipientes a presión, que permitan el diseño eficiente de estos y su simulación en condiciones de servicio. De aquí que una biblioteca estandarizada de partes para recipientes a presión como parte del *software* especializado para diseño y simulación de equipos mecánicos puede constituir una novedad en el campo del diseño y la evaluación de recipientes a presión.

Como objetivos del presente trabajo se persigue describir las diferencias fundamentales entre las principales normas destacadas al diseño de recipientes a presión, así como partes y accesorios que regulan, de forma tal que permita seleccionar una norma para la regulación del diseño estandarizado de partes y piezas para recipientes a presión, además de describir las ventajas y desventajas entre los *softwares* fundamentales destinadas al diseño mecánico, tal que permita seleccionar el más adecuado para el diseño de una biblioteca de partes y accesorios para recipientes a presión.

DESARROLLO:

1. Principales normas para el diseño de recipientes de presión.

1.1. Normas y códigos fundamentales para el diseño de recipientes a presión. Particularidades.

La Norma de calidad *ISO* es uno de los tres estándares internacionales relacionados con los requerimientos de calidad, los cuales pueden ser utilizados para propósitos de aseguramiento de calidad establecidos por los tres estándares internacionales mencionados [2]: A. Modelo de aseguramiento de calidad en diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio. Para usarse cuando la conformidad de requerimientos especificados debe ser asegurada por el proveedor durante el diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio; B. ISO 9001. Sistema de calidad – para usarse cuando la conformidad de requerimiento especificado debe ser asegurada por el proveedor durante la producción, instalación y servicio; C. ISO 9002. Sistema de calidad – modelo para aseguramiento de calidad en producción, instalación y servicio, y D. ISO 9003. Sistema de calidad – modelo para aseguramiento de calidad en prueba de inspección final.

Dentro de los códigos internacionales para el diseño de recipientes a presión se encuentran [2]: *American Welding Society (A.W.S)*, *American Institute of Steel Construction (A.I.S.C.)*, *American National Standards Institute (A.N.S.I.)*, *American Society of Mechanical Engineers (A.S.M.E.)*, *American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.)*.

El código de la Sociedad Americana de Soldadura (*A.W.S.*) proporciona la información fundamental de soldadura, diseño de soldadura, calificación, pruebas e inspección de soldaduras, así como una Guía de la aplicación y uso de la soldadura. El código del Instituto Americano de la Construcción de Acero *A.I.S.C.*, proporciona una guía y código para maximizar la eficiencia del diseño de acero estructural y seguridad. Además, el código *A.I.S.C.* contiene ecuaciones de diseño, criterios de diseño y ejemplos de diseños prácticos para acero estructural. Su uso es recomendado para el diseño de edificios, puentes o cualquier estructura de acero, incluyendo aquellas que sirvan como soportes rígidos de tubería. Por otra parte, el Instituto Nacional de Normas Americanas (*A.N.S.I.*), clasifica la aplicación del sistema de tuberías, bridas, pernos, roscas, válvulas.

La sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (*A.S.M.E.*) recomienda el código para calderas y recipientes a presión, así como el estándar para su construcción y el código de inspección. La Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (*A.S.T.M.*) establece los estándares de la característica y eficiencia de los materiales, productos, suministros de servicios relacionados con los materiales.

Existen varios países más que trabajan con diferentes códigos tales como Alemania (*Occidental A. D. Merkblatt Code*), Italia (*Italian Pressure Vessel Code*), Japón (*Japanesse Pressure Vessel Code* y el *Japanesse Std. Pressure Vessel Construction*).

El código *ASME* regula los materiales, el diseño, la fabricación y la inspección de recipientes a presión. La soldadura de tuberías presurizadas en estaciones de energía térmica y nuclear, refinerías, plantas químicas, barcos, etc., se realiza de acuerdo con *ASME*. Las tuberías de transmisión y distribución, que por su parte, trasladan gases o derivados del petróleo, se sueldan utilizando técnicas y procedimientos especiales gobernados por *API Standard 1104*, la que generalmente coinciden con los términos de la Sección B31.8 de *ASME*.

Existen dos códigos principales para la soldadura de tanques de almacenaje, *AWS D5.2* y *API Standard 650*. Esta última norma cubre los requerimientos de materiales, diseño, fabricación, erección y ensayo de los tanques cilíndricos verticales de acero soldados, no sometidos a presión interna. Ambos códigos hacen referencia a la Sección IX del Código *ASME* para la calificación de la soldadura [3].

La **Sección VIII** del **Código A.S.M.E.**, contiene dos Divisiones, la **División 1**, que cubre el diseño de los recipientes a presión no sujetos a fuego directo y la **División 2**, que contiene otras alternativas para el cálculo de recipientes a presión.

Las reglas de la **División 1**, de la **Sección VIII** del **Código A.S.M.E.**, cubren los requisitos mínimos para el diseño, fabricación, inspección y certificación de recipientes a presión, además de aquellas que están cubiertas por la **Sección I** [4].

1.2. Selección de la norma para el diseño estandarizado de recipientes.

En el código *ASME (ASME Boiler and Pressure Vessel Code)*, la sección VIII y la sección X (Recipientes a presión de plástico reforzado en fibra de vidrio), están destinadas al diseño de recipientes a presión. Este código establece los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección de recipientes a presión, el cual es empleado en varios países como Estados Unidos, México, etc. y ampliamente utilizado a nivel mundial. Este código surgió desde el año 1913, cuando el comité editó el primer reporte preliminar de 2000 de él a los profesores de Ing. Mecánica a

departamentos de Ingeniería de compañías de seguros y calderas, a jefes de inspectores de los departamentos de inspección de calderas de Estados y Ciudades, a fabricantes de calderas, a editores de revistas de Ingeniería y a todos los interesados en la construcción y operación de calderas, pidiendo sus comentarios [4], pero, en verdad el primer código *A.S.M.E.*, "Reglas para la Construcción de Calderas Estacionarias" y para las Presiones Permisibles de Trabajo fue adoptado en 1925, conocido como la edición 1914 [4]; desde entonces le han adicionando varias aplicaciones, tales como tuberías, reactores nucleares, tanques y recipientes de almacenaje, los cuales son actualizados periódicamente. Existen muchas coincidencias de otras normas y las referencias de las mismas a este código, dando a entender la importancia que tiene este código para el diseño de recipientes a presión. La Norma internacionalmente más reconocida y de uso más común, es la Sección VIII Div.1 "*Pressure Vessels*" del Código *ASME (American Society of Mechanical Engineers)*. Esta Norma, cubre el diseño, la selección de materiales, la fabricación, la inspección, las pruebas, los criterios de aprobación y la documentación resultante de las distintas etapas a cumplir [5]. A la cual se le prestará más atención en el presente trabajo, la misma está dividida en las siguientes subsecciones y partes [2]: Subsección A, Parte UG, que cubre los requerimientos generales; Subsección B, que cubre los Requerimientos de fabricación; Parte UW, que cubre los recipientes que serán fabricados por soldadura; Parte UF, recipientes que serán fabricados por forjado; Parte UB, que cubre los recipientes que serán fabricados utilizando un material de relleno no ferroso a este proceso se le denomina "brazing"; Subsección C, que cubre los requerimientos de materiales; Parte UCS, para recipientes construidos con acero al carbón y de baja aleación; Parte UNF, para los recipientes construidos con materiales no ferrosos; Parte UCI, para los recipientes construidos con fierro fundido; Parte UCL, para los recipientes construidos con una placa "*clad*" integral o con recubrimiento tipo "*lining*"; Parte UCD, para los recipientes construidos con fierro fundido dúctil; Parte UNT, para los recipientes construidos con aceros ferríticos con propiedades de tensión mejoradas por tratamiento térmico; Parte ULW, para los recipientes fabricados por el método de multicapas; Parte ULT, para los recipientes construidos con materiales con esfuerzos permisibles más altos a bajas temperaturas.

2. Partes y accesorios fundamentales de recipientes de presión.

Tanto los recipientes cilíndricos, como esféricos están compuestos por un cuerpo y un conjunto de partes o accesorios: paños y tapas (en cuerpo cilíndricos) u hojuelas y casquetes (en cuerpo esféricos), apoyos, orejas de izaje, tubos y refuerzos, bridas, registros, etc.

2.1. Tipos de tapas de recipientes horizontales bajo presión interna.

Los recipientes sometidos a presión pueden estar construidos por diferentes tipos de tapas o cabezas. Cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación y costo monetario [2].

Las tapas planas se utilizan para recipientes sujetos a presión atmosférica, generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo. Se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones. Las tapas planas con ceja, al igual que las anteriores, se utilizan generalmente para presiones atmosféricas, su costo también es relativamente bajo, y tienen un límite dimensional de 6 metros de diámetro máximo. Las tapas 80:10 poseen un radio de abombado es el 80 % de diámetro y el radio de esquina o de nudillos es igual al 10 % del diámetro. Estas tapas las utilizamos como equivalentes a la semiéptica 2:1. Las tapas semiépticas son utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas y, como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta; su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación. Las tapas semiépticas son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semiépticas soportan mayores presiones que las toriesféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1 y su costo es relativamente alto. Las tapas toriesféricas son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es que el radio del abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0,3 hasta 6 m (11,8" - 236,22"). Las tapas cónicas se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límites en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana. Las tapas toricónicas, a diferencia de las tapas cónicas, este tipo de tapas tienen en su diámetro, mayor radio de transición que no deberá ser menor al 6 % del diámetro mayor ó 3 veces el espesor. Las tapas abombadas con ceja invertida poseen un uso limitado debido a su difícil fabricación, por lo que su costo es alto, siendo empleadas solamente en casos especiales. Las tapas únicamente abombadas son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar

presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada, al efectuar un cambio brusco de dirección.

2.2. Boquillas en recipientes a presión.

Todos los recipientes a presión deberán estar provistos de boquillas y conexiones de entrada y salida del producto, válvula de seguridad, entrada de hombre, venteo, etc. Algunas de las boquillas, que se deben instalar en los recipientes a presión [4], se mencionan a continuación: Entrada (s) de producto; Salida (s) de producto; Drene.

Venteo; Entrada (s) de hombre; Conexión para válvula de seguridad; Conexión para manómetro. Conexión para termómetro (termopozo); Conexiones para indicadores de nivel; Conexiones para control de nivel, etc.

De acuerdo con el tipo de recipiente a presión que se diseñe, éste puede tener una o varias boquillas de las antes mencionadas. Los diagramas de tubería e instrumentación indican cuantas boquillas, de qué diámetro y para qué servicio deben instalarse en dichos recipientes.

Todas las placas de refuerzo de boquillas de 304,8 mm (12") de diámetro y menores, deberán llevar un barreno de prueba de 0,25 mm (1/4") de diámetro con cuerda NPT, las placas de refuerzo de boquillas de 355,6 mm (14") de diámetro y mayores, deberán tener dos barrenos de prueba.

Para instalar una boquilla, en un recipiente a presión, es necesario hacer un agujero en el cuerpo o tapa en que se vaya a instalar. Al efectuar este agujero se está "quitando área" y las líneas de esfuerzos, que pasaban por el área que se retira, pasarán tangentes al agujero practicado.

Por ello, en concordancia con el Código A.S.M.E., Sección VIII División 1, todas las boquillas mayores de 72,6 mm (3") de diámetro, instaladas en recipientes a presión, deberán tener una placa de refuerzo en la unión del cuello de la boquilla con el recipiente. En algunos países, como en México, se ha hecho una costumbre reforzar también las boquillas de 72,6 mm (3"), lo cual es aconsejable.

Los espesores de los cuellos de las boquillas (cédulas) deberán ser determinados [4] en base a los siguientes indicadores:

- a) Presión interna.
- b) Tolerancia por corrosión.
- c) Fuerzas y momentos debidos a dilataciones térmicas en tuberías, fuerzas transmitidas por otros equipos y acciones debidas al peso propio de las tuberías.
- d) Presión interna: Generalmente el espesor del cuello de una boquilla, calculado para soportar presión interna, resulta muy pequeño debido al diámetro tan reducido que ellas tienen en comparación con el diámetro del recipiente.
- e) Tolerancia por corrosión: La corrosión es uno de los factores decisivos para seleccionar las cédulas de los cuellos de las boquillas, ya que los espesores de los cuellos de tubos de diámetro pequeño son muy reducidos y únicamente la corrosión puede acabar con ellos.
- f) Es muy importante, al diseñar recipientes a presión, analizar los arreglos de tuberías para hacer recomendaciones a los responsables de este departamento respecto a que las tuberías no deberán transmitir grandes fuerzas y momentos a nuestros recipientes.

Cuando se trabaja con líneas de tuberías relativamente grandes en diámetro y que éstas manejan fluidos a altas temperaturas, debe recomendarse al departamento de tuberías hacer un estudio de análisis de esfuerzos en las líneas críticas a fin de minimizar las cargas y los momentos en las boquillas de los recipientes. Este análisis de esfuerzos incluye la selección y localización adecuada de soportes para las tuberías.

Resulta importante consultar las cédulas recomendadas en los cuellos de las boquillas, en función del diámetro, corrosión y presiones, las proyecciones más comunes de las boquillas de acuerdo a su diámetro y las dimensiones más comunes o estándar de las bridas más usadas [4].

Al seleccionar las bridas para boquillas, se recomienda que las boquillas de 31,75 mm (1¼") de diámetro y de dimensiones menores sean instaladas por medio de acoplamientos roscados para presiones entre 210,92 y 421,842 kg/cm² (3000-6000 Psi). Las boquillas de 38,1 mm (1½") y de dimensiones mayores deberán ser bridadas [4].

De acuerdo a la forma de unir las bridas a los cuellos de las boquillas, existen los siguientes tipos de bridas: Brida de cuello soldable (*Welding Neck*); Brida deslizable (*Slip-On*);

1. Brida de traslape (*lap-Joint*).
2. Bridas roscadas (*Threaded*).
3. Bridas de enchufe soldable (*Socket Welding*).
4. Bridas de orificio (*Orifice*).
5. Bridas ciegas (*Blind*).

6. Bridas especiales (*Special*).

Las bridas de cuello soldado (*welding neck*) se distinguen de las demás por su cono largo y por su cambio gradual de espesor en la región de la soldadura que las une al tubo. El cono largo suministra un refuerzo importante a la brida desde el punto de vista de resistencia. La ligera transición desde el espesor de la brida hasta el espesor de la pared del tubo, efectuada por el cono de la brida, es extremadamente benéfico bajo los efectos de flexión repetida, causada por la expansión de la línea u otras fuerzas variables y produce una resistencia de duración equivalente a la de una unión soldada entre tubos.

Por lo anterior, este tipo de brida se prefiere para todas las condiciones severas de trabajo, ya sea que resulte de altas presiones o de temperaturas elevadas o menores de cero, ya sea también para condiciones de carga que sean sustancialmente constantes o que fluctúen entre límites amplios. Las bridas de cuello soldado se recomiendan para el manejo de fluidos explosivos, inflamables o costosos, donde una falla puede ser acompañada de desastrosas consecuencias.

Las bridas deslizables (*slip-on*) se prefieren sobre las de cuello soldado, debido a su costo más bajo, a la menor precisión requerida al cortar los tubos a la medida, a la mayor facilidad de alineamiento en el ensamble, ya que su costo de instalación final es menor que las bridas de cuello soldado. Su resistencia calculada bajo presión interna, es del orden de 2/3 de las anteriores y su vida bajo condiciones de fatiga es aproximadamente 1/3 de las últimas.

Por estas razones, las bridas deslizables en presiones de 105,46 kg/cm² (1,500 libras/pulgada²) existen solamente en diámetros de 12,7 mm (½") a 63,5 mm (2½"), y no existen para soportar presiones de 175,76 kg/cm² (2,500 libras/pulgada²). El manual de construcción de calderas A.S.M.E, limita su uso a 101,6 mm (4") de diámetro.

Las bridas de traslape (*lap-joint*) generalmente se instalan en tuberías de acero inoxidable o aleaciones especiales. Siempre que se utilice este tipo de brida, debe acompañarse de un extremo adaptador (*stub-end*). También se emplea este tipo de bridas traslapadas cuando las tuberías no son paralelas a los ejes de los recipientes.

Las bridas roscadas (*threaded*) se usan para unir tuberías difíciles de soldar, como aluminio, PVC, etc.; se recomienda usarlas en diámetros menores de 152,4 mm (6"). Las bridas roscadas son inconvenientes para condiciones que involucren temperaturas o esfuerzos de flexión de cualquier magnitud, particularmente bajo condiciones cíclicas donde puede haber fugas a través de las cuerdas en pocos ciclos de esfuerzos o calentamiento.

Las bridas de enchufe (*socket welding*) soldadas se emplean generalmente cuando se manejan fluidos tóxicos, altamente explosivos, muy corrosivos o aquellos que al existir fugas provocarían gran riesgo; también es recomendable usarlas en tuberías que trabajan a muy altas presiones.

Las bridas ciegas (*blind*) se usan para cerrar los extremos de boquillas, tuberías y válvulas. Desde el punto de vista de presión interna y fuerzas ejercidas sobre los pernos, estas bridas, principalmente en tamaños grandes, son las que están sujetas a esfuerzos mayores. Al instalar las bridas ciegas debe tomarse en consideración la temperatura y el golpe de ariete, si existiera.

3. *Software* para el diseño mecánico. Bibliotecas.

3.1. *Softwares* fundamentales para el diseño. Características.

Existen diversos tipos de software para el diseño mecánico, dentro de los cuales se encuentran el *SolidWorks*, *Inventor*, *CATIA*, *Mechanical DeskTop*, entre otros.

El *software* de automatización de diseño mecánico de *SolidWorks* es muy intuitivo, fácil de aprender y potente. Además existen muchos programas adicionales que son compatibles con él, como el *COSMOS* (Análisis por elementos finitos), *ADAMS* (simulación de mecanismos), *TASYS* (análisis de tolerancias), *GEARTRAX* (diseño de engranajes), etc. [6].

El *SolidWorks* es una herramienta de diseño de modelado sólido paramétrico basada en operaciones, que aprovechan la facilidad de aprendizaje de la interfaz gráfica de usuario de Windows™. Puede crear modelos sólidos en 3D totalmente asociativos con o sin restricciones, mientras utiliza al mismo tiempo las relaciones automáticas o definidas por el usuario para capturar la intención del diseño.

Del mismo modo que un ensamblaje está compuesto por una serie de piezas individuales, un modelo de *SolidWorks* también está compuesto por elementos individuales. Dichos elementos se denominan operaciones.

Cuando se crea un modelo mediante el *software* de *SolidWorks*, se trabaja con operaciones geométricas inteligentes y fáciles de entender, como salientes, cortes, taladros, nervios, redondeos, chaflanes y ángulos de salida. A medida que se crean estas operaciones, las mismas se aplican directamente a la pieza con la que está trabajando.

En el trabajo con el *SolidWorks* las operaciones se pueden clasificar como croquizadas o aplicadas:

Son operaciones croquizadas las que se basan en un croquis en 2D. Generalmente, ese croquis se transforma en un sólido mediante extrusión, rotación, barrido o recubrimiento.

Son operaciones aplicadas las que se crean directamente en el modelo sólido. Los redondeos y los chaflanes son ejemplos de este tipo de operación.

El *software* de *SolidWorks* muestra gráficamente la estructura basada en operaciones del modelo en una ventana especial denominada Gestor de diseño del *Feature Manager*®. El gestor de diseño del *Feature Manager* no sólo muestra la secuencia en la que se han creado las operaciones, sino que también le facilita el acceso a toda la información relacionada subyacente.

La facilidad de uso de *SolidWorks* [7] combinada con la precisión y gran variedad de herramientas de análisis de elemento finito, hacen de *SolidWorks Simulation*, la herramienta más fácil de implementar y generar resultados en muy corto plazo.

SolidWorks Simulation, ayuda a predecir y prevenir posibles fallas en el funcionamiento de algún producto. Gracias a la simulación (análisis CAE), múltiples empresas pueden tomar decisiones antes de fabricar algún prototipo o producto, ya que *SolidWorks Simulation* provee de diversas herramientas para poder experimentar condiciones reales. Permite innovar, incrementar el desempeño o funcionamiento de productos, reduciendo drásticamente tiempos y costos de los procesos de pruebas. El mismo está validado por *NAFEM* (*New National Agency for FEM*). Organismo que certifica la certeza de funcionalidad de herramientas CAE. Incluso *SolidWorks Simulation* realiza *benchmarks* con problemas de *NAFEM*.

Básicamente, *SolidWorks Simulation* ofrece alternativas que se ajustan acorde a las necesidades de su empresa. *SolidWorks Simulation Professional*, contiene las herramientas más importantes para realizar diversos tipos de pruebas para materiales lineales, tales como análisis térmicos, frecuencia, vibración, pandeo, fatiga, caída libre, optimización y análisis dinámico por eventos. Obteniendo diversos resultados a través de gráficos, valores puntuales, pruebas DOE (diseño de experimentos) etc.

SolidWorks Simulation Premium, uno de los más completos y sofisticados paquetes de análisis de elementos finitos (FEA) disponibles en el mercado, ofrece total integración con el software CAD de *SolidWorks*.

Por otra parte [8], el software de CAD en 3D, Autodesk® *Inventor*®, ofrece una gama completa y flexible de programas para diseño mecánico en 3D, simulación de productos, creación de herramientas, ingeniería a la carta y comunicación de diseños. *Inventor* más allá de la tercera dimensión, permite la obtención de prototipos digitales, ya que produce un modelo 3D de gran precisión, que ayuda a diseñar, visualizar y simular los productos antes de ser construidos. La creación de prototipos digitales con *Inventor* contribuye a que las compañías puedan diseñar mejores productos, reducir los costos de desarrollo y llegar al mercado más rápido.

Con el uso del *Inventor* se puede combinar los flujos de trabajo de modelado directo y paramétrico (Diseño mecánico 3D), integrar datos de AutoCAD y 3D en un solo modelo digital de manera segura (Interoperabilidad con DWG), comprobar la viabilidad de fabricación de su diseño (Diseño de ensamblajes grandes, piezas plásticas y chapas), mejorar la colaboración con socios y clientes (Visualización del diseño y documentación de manufactura), mejora la productividad al automatizar flujos de trabajo repetitivos del diseño (Automatización del diseño), simula y optimiza diseños digitalmente de forma sencilla (Simulación integrada y análisis de elementos finitos (FEA)), simplifica el diseño de sistemas eléctricos y conductos complejos de tubos y tuberías (Diseño de sistemas enrutadores) y permite diseñar, analizar, y fabricar piezas de alta calidad moldeadas en plástico (Herramientas y diseño de moldes).

A su vez, el *CATIA* es un *software* asistido por computadora en tres dimensiones para aplicaciones interactivas. Es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial realizado por *Dassault Systèmes*.

Comúnmente conocido como *3D Product Lifecycle Management Software Suite*, soporta múltiples etapas de desarrollo de productos (CAx), desde la conceptualización, el diseño (CAD), manufactura (CAM) e ingeniería (CAE). Este producto fue inicialmente desarrollado para servir en la industria aeronáutica. Se ha hecho un gran hincapié en el manejo de superficies complejas.

El *CATIA* es ampliamente usado en la industria del automóvil para el diseño y desarrollo de componentes de carrocería, concretamente, para empresas como el Grupo VW (*Volkswagen*, *Audi*, *SEAT* y *Škoda*), *BMW*, *Renault*, *Peugeot*, *Daimler AG*, *Chrysler*, *Smart* y *Porsche* hacen un amplio uso del programa.

La industria de la construcción también ha incorporado el uso del *software* para desarrollar edificios de gran complejidad formal; el museo de la fundación *Guggenheim* en Bilbao, España, es un hito arquitectónico que ejemplifica el uso de esta tecnología [8].

3.2. *Softwares* fundamentales para el diseño. Ventajas y desventajas.

El *SolidWorks* es un programa muy sencillo de manejar casi tanto como *solid edge*, tiene muchas herramientas, el entorno es muy agradable, se realiza casi cualquier tipo de simulación, y en comparación con *CATIA* se requiere menos *cpu (Computer Personal Unit)* para poder trabajar, por ejemplo en ensambles. Los requerimientos de sistema de *Inventor* son muy elevados, además no tiene herramientas de diseño avanzado. Por ejemplo, el modulo de superficies es muy limitado así como las configuraciones, tanto para pieza, como para ensamblaje[9].

El *SolidWorks* importa y utiliza con suma facilidad datos existentes o datos procedentes de fuentes externas. Incluye convertidores que son compatibles con los formatos *DWG, DXF™, Pro/ENGINEER®, IPT (Autodesk Inventor®), Mechanical Desktop®, Unigraphics®, PAR (Solid Edge®), CADKEY®, IGES, STEP, Parasolid, SAT (ACIS), VDA-FS, VRML, STL, TIFF, JPG, Adobe® Illustrator®, Rhinoceros®, IDF y HSF (Hoops)* [10]. Como desventaja importante para el tema tratado en el presente trabajo, puede referirse que este software no tiene una biblioteca especializada de partes y accesorios de recipientes a presión con la que se pueda diseñar un nuevo recipiente u otro ya existe, modelar y obtener resultados en breve tiempo y de un modo fiable, aunque sobre la base de sus herramientas puede crearse.

Quizás no exista un *software* como *CATIA* en el que se puedan hacer más cosas; agrupa multitud de aplicaciones, con muy variadas funcionalidades, y ello permite, que bajo una única interfaz, se puedan controlar todas las fases a lo largo de la vida de un producto [11]. Engloba todas las herramientas necesarias desde la concepción del diseño, hasta el análisis, la simulación y presentación, la fabricación o producción y, mantenimiento de este. Es un software escalable, ya que consta de unos módulos básicos y se va ampliando en función de necesidades, y hacia unos módulos que pueden ser altamente específicos, para algún tipo de industrias. Solo tiene como desventaja la gran tiempo que hay dedicarle, ya que las herramientas son muy difíciles de usar y de encontrar (tal vez porque son muchísimas). El *software* posee mucha calidad en todos los aspectos, pero se necesita un computador con muy buenas características [12]. En los últimos años, los flujos de trabajo en el diseño de prototipos digitales han derribado barreras históricas a la innovación y han ayudado a fomentar la creación de equipos en los que diseñadores, ingenieros, vendedores y clientes finales colaboraran continuamente en todo el proceso desde el concepto hasta la producción.

Al igual que el *SolidWorks*, como desventaja importante para el tema tratado en el presente trabajo, puede referirse que el *CATIA* no tiene una biblioteca especializada de partes y accesorios de recipientes a presión con la que se pueda diseñar un nuevo recipiente u otro ya existe, modelar y obtener resultados en breve tiempo y de un modo fiable, aunque sobre la base de sus herramientas puede crearse.

Autodesk Inventor crea los prototipos digitales de nuestras herramientas y maquinaria, mejora el diseño 3D y el proceso de ingeniería en muchos frentes; las nuevas capacidades en tiempo real como su motor de representación gráfica permiten dar un salto y avanzar en el diseño de las estrategias de comunicación y *marketing* de nuestros productos. Como desventajas tiene que los requerimientos de sistema de *Inventor* son muy elevados; además, no tiene herramientas de diseño avanzado, el modulo de superficies es muy limitado, así como las configuraciones, tanto en pieza, como en ensamblaje. Como ventaja importante se puede mencionar la posibilidad de crear dibujos paramétricos de forma fácil y sencilla, y manipular más de 100000 de piezas en ensambles [12]. Al igual que el *SolidWorks* y el *CATIA*, como desventaja importante para el tema tratado en el presente trabajo, puede referirse que el *Inventor* tampoco tiene una biblioteca especializada de partes y accesorios de recipientes a presión con la que se pueda diseñar un nuevo recipiente u otro ya existe, modelar y obtener resultados en breve tiempo y de un modo fiable, aunque sobre la base de sus herramientas puede crearse.

CONCLUSIONES

1. La norma más adecuada para establecer la biblioteca de diseño de partes y piezas para calderas y recipientes a presión es la *ASME*, reconocida y aceptada en 1997 por el *National Board of Boilers and Pressure Vessels Inspectors* de *USA*.
2. Los cuerpos, tapas, apoyos, orejas de izaje y bridas constituyen las partes y accesorios fundamentales a priorizar incluir en la biblioteca, al ser los más usados y sujetos posteriormente a estudios de simulación.
3. Los *software* analizados no tienen bibliotecas especializadas de partes y accesorios de recipientes a presión con la que se pueda diseñar un nuevo recipiente u otro ya existe, modelar y obtener resultados en breve tiempo y de un modo fiable.
4. El *SolidWorks* es un *software* permite el diseño de partes y piezas para recipientes a presión, a través del establecimiento de cadenas de medidas dependientes y la selección de estándares predeterminados, tal que agilicen su procedimiento de ensamble y el tiempo medio de evaluación.

REFERENCIAS

1. Anónimo. *Normas y códigos de diseño*. 2012 [cited 2012 22/10]; Available from: <http://www.textoscientificos.com/quimica/almacenaje/normas-codigos>.
2. Cruz, I. *Normas de Construcción de Recipientes a Presión. Historia del código ASME*. 2012; Available from: <http://www.casadellibro.com/libro-normas-de-construccion-de-recipientes-a-presion-guia-del-codigo-asme-seccion-viii-division-1/9788496486737/1232829>.
3. Pozo Morejón, J. *Diseño de Construcciones Soldadas*. 1998 [cited 2012 11 dic.]; Available from: www.monografias.com/Ingeniería
4. León Estrada, J.M., *Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión*. 2001, D.F. México. 190.
5. Anónimo. *NORMAS DE DISEÑO*. Servicios en Ingeniería y Capacitación 2012; Available from: www.ingecap.com; inge-capltda@hotmail.com.
6. Maffer, *SolidWorks vs Inventor*, <http://respuestas.es.softpicks.net>, Editor. 2012.
7. Anónimo. *Características de SolidWorks Simulation*. 2012 [cited 2012 13/12]; Available from: <http://www.solidworksedu.com/web/SolidWorks/simulacion/>.
8. Anónimo. *Software CAD 3D para el diseño mecánico*. 2012 [cited 2012 13/12]; Available from: <http://latinoamerica.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=14601337&siteID=7411870>.
9. Anónimo. *¿Solidworks o Inventor? ¿o Catia?* . 2012 [cited 13/12; Available from: <http://www.scribd.com/doc/52022637/ventajas-y-desventajas-de-solidwork-inventor-catia>.
10. Anónimo. *Características de SolidWorks Premium*. 2012 [cited 2012 13/12]; Available from: <http://www.solidworksedu.com/web/SolidWorks/SolidWorks/>.
11. Anónimo. *Catia v6*. 2012 [cited 2012 13/12]; Available from: <http://www.ecured.cu/index.php/CATIA#>.
12. Anónimo. *Autodesk Inventor*. 2012 [cited 2012 13/12]; Available from: http://www.ecured.cu/index.php/Autodesk_Inventor.