

NORMAS INTERNACIONALES DE DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN: COMPARACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINACIÓN DE ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO

Luis Alberto Laurens Arredondo¹

¹ Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Católica del Maule, 3480112, Talca, Chile

Mail: llaurens@ucm.cl

Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela.

Recibido (30/11/18), aceptado (19/01/19)

Resumen: Los recipientes a presión, en muchos casos, son el núcleo del proceso productivo de incontables industrias a nivel mundial, de allí destaca su importancia y relevancia en el área del diseño mecánico. Para asegurar su buen funcionamiento y prevenir las fallas catastróficas de estos equipos, a nivel internacional se han creado y adoptado normativas para establecer los procedimientos y requisitos mínimos para su diseño, fabricación, inspección, montaje y alteración. El objetivo principal del presente trabajo es dar a conocer, mediante un ejercicio práctico comparativo, los principales códigos utilizados en distintos continentes para el dimensionamiento de recipientes a presión. Para esto se aplica los procedimientos particulares de las normativas seleccionadas en el caso real de análisis de un tanque de gas de purga, en donde se calcula el espesor mínimo requerido para las condiciones de diseño, en donde se determinó que el código que requiere un mayor espesor fue el Estándar Indio IS 2825:69 (72.77 mm), el cual fue un 81% mayor que la norma alemana AD-Merkballer (40.22 mm), la cual requiere el menor espesor para el diseño del mismo recipiente.

Palabras Claves: Códigos, Comparación, Espesor, Recipientes a Presión.

INTERNATIONAL STANDARDS FOR PRESSURE VESSEL DESIGN: COMPARISON OF PROCEDURES FOR DETERMINATION OF MINIMUM REQUIRED THICKNESS

Abstract: Pressure vessels, in many cases, are the nucleus of the productive process of countless industries worldwide, hence its importance and relevance in the area of mechanical design. In order to ensure its proper functioning and to prevent the catastrophic failure of these equipment, regulations have been created and adopted at the international level to establish the minimum procedures and requirements for its design, manufacture, inspection, assembly and alteration. The main objective of the present work is to present, through a practical comparative exercise, the main codes used in different continents for the dimensioning of pressure vessels. For this, the particular procedures of the selected standards are applied in the actual case of analysis of a purge gas tank, where the minimum thickness required for the design conditions is calculated, where it was determined that the code requiring a greater Thickness was the Indian Standard IS 2825: 69 (72.77 mm), which was 81% higher than the German standard AD-Merkballer (40.22 mm), which requires the least thickness for the design of the same vessel.

Keywords: Pressure Vessel, Code, Thickness

I. INTRODUCCIÓN

El diseño de recipientes a presión es un área de cada vez más importancia dentro del diseño mecánico, esto debido a que no solo involucra la seguridad de personas y activos, sino también la estabilidad operativa de importantes empresas a nivel global, por lo que diseñarlos adecuadamente, más que una necesidad, es una obligación moral y en la mayoría de los países es también una obligación legal. Para reducir al mínimo a riesgo de falla catastróficas se establecen códigos, normas y prácticas recomendadas, las cuales son escritas por agrupaciones, asociaciones o institutos especializados en el tema. Para esto cada país asume un código de diseño propio o se adhiere al código regional más relevante.

Mundialmente existen distintos códigos para el diseño de recipientes a presión, en la tabla I podemos ver varios de estos según los países en donde fueron elaborados, la mayoría no armonizados entre ellos. En cada uno de estos se establecen distintos procedimientos para el diseño y fabricación de los equipos. Normalmente la elección del código de diseño recae sobre los hombros del promotor o dueño del recipiente, pero al momento de diseñar los ingenieros deben por lo menos conocer las diferencias básicas entre los códigos principales usados en el mundo, para con esto fundamentar las bases del criterio profesional de ingeniero especializados a esta área de estudio.

Tabla I. Principales normativas que regulan el diseño de Recipientes a Presión según países.

País	Código	Institución
USA	ASME Boiler & Pressure Vessel Code	ASME
Reino Unido	BS 5500 Unfired Fusion Welded Pressure Vessel	BSI
Alemania	AD2000 - Merblatter	AD
Italia	ANCC	ANPCPC
Países Bajos	RTOD / Regeis Voor Toestellen	DS
Suiza	Tryekkarlskommissionen	SPVC
Australia	AS 1210: Unfired Pressure Vessel	SAA
Bélgica	IBN Construction Code for Pressure Vessel	BSI
Japón	JIS B 8265	MITI
Francia	CODAP/ SNCT Construction Code for Unfired Pressure	SNCTI
China	GB 150	SAC
Unión Europea	EN 13445 - Directiva 97/23/CE	PE
India	IS 2825	BIS
Corea	Kepic MG	KEA
Rusia	Gost R 52857	EASC
Nueva Zelanda	NZ 1210	NZS
Canadá	B5.1-R1	CSA

Fuente: Propia

Existen innumerables aspectos en los cuales pudiéramos comparar los distintos códigos, tales como los procedimientos de diseño, la calificación de soldadores, certificados de calidad de los materiales, procedimientos de inspección, etc. Entre todos estos aspectos y quizás el menos documentado, pero de mayor relevancia es el aspecto "económico", el cual siempre será un factor fundamental a la hora de adoptar un código de diseño.

En este orden de ideas se pudiera establecer entonces una relación entre el cálculo de espesor de un recipiente a presión y el costo final del mismo, dado que a mayor espesor de un equipo implica mayores costos de materiales, conformado, fabricación, transportes, insta-

lación y pruebas. Por lo tanto, al comparar los cálculos de espesores para las mismas condiciones de diseño en distintos códigos se estaría a su vez comparando los costos asociados a cada código, razón por la cual, en este trabajo, no se pretende realizar una comparación detallada de cada uno de los códigos. Sino resumir estas diferencias mediante la aplicación del cálculo de espesor en un caso de estudio particular, los resultados de los cuales se pueden traducir en códigos más costosos o códigos más seguros que otros.

II. ANTECEDENTES

Otegui y Rubertis, exponen en su libro Cañerías y

Recipientes a Presión, que quizás la primera referencia acerca de recipientes a presión la da Leonardo Da Vinci en su Codex Madrix I, la cual fue realizada alrededor de 1495, en donde este último expresó: "Describiremos como el aire puede ser forzado bajo el agua para elevar grandes pesos, es decir, como llenar cueros con aire una vez que ellos estén asegurados con pesos en el fondo del agua. Y habrá descripciones de como levantar pesos atándolos a barcos sumergidos llenos de arena y de cómo remover la arena de estos barcos". En una definición más actualizada, de lo que es un recipiente a presión, sería la que es todo recipiente capaz de contener un fluido, que posea un diferencial de presión significativo entre su interior y el exterior, independiente de su uso, forma, dimensión, material de fabricación y temperatura de operación.

Los recipientes a presión son de amplia utilización a lo largo de todo el mundo, en especial en la industria pesada, en donde se pueden encontrar en aplicaciones como reactores, torres o simples recipientes, de distintos tamaños y formas, pero tiene en común características como:

- a) Están formados por una envolvente.
- b) Poseen dispositivos de sujeción o apoyo
- c) Posean bocas de entrada y/o visitas.
- d) Poseen elementos internos y accesorios externos

El diseño de estos recipientes, consiste básicamente en determinar el espesor de pared de las distintas zonas del recipiente, esto según su geometría particular y teniendo siempre en cuenta las condiciones de internas o externas a las cuales estará sometido el equipo (fluido, presión, temperatura, cargas, corrosión, erosión, cargas, etc.), con la finalidad de garantizar la seguridad del equipo a lo largo de toda su vida útil prevista y evitar las fallas catastróficas que tanto riesgo representan por ser estos recipientes acumuladores de energía. Cuando se produce una falla catastrófica en un recipiente a presión, este libera toda la energía acumulada en un periodo de tiempo muy corto, lo que generalmente ocasiona afectaciones de importancia y pérdidas que lamentar.

Muchas de estas fallas ocurrieron a principios del siglo XIX (Pascuali y Sbuttoni, 2008), por lo que muchos países se vieron en la necesidad de reglamentar el diseño, fabricación e inspección de estos equipos, razón por la cual existen distintos códigos a nivel mundial

III. DESARROLLO

Dentro de la metodología a utilizar en la presente investigación, primero se detallará las condiciones generales del recipiente a presión a diseñar, el cual se toma

la previsión de revisar que este dentro del alcance de la cobertura de todos los códigos a analizar, para luego seguir con una descripción breve de cada código seleccionado, en donde se detallará la fórmula usada para la determinación del espesor de pared bajo presión interna en recipientes cilíndricos, para finalmente calcular espesores en las condiciones de diseño particular y según la metodología propuesta en cada código.

Tabla II. Condiciones de Diseño del Tanque de Gas de Purga

DATA TECNICA - TANQUE GAS DE PURGA	
ITEM	DESCRIPCION
Fecha de Instalación	4/22/1999
Material	P355NH A662Gr.C A516 Gr.70
Fabricante	IAG
Sistema al que pertenece	Servicios
Medio	Gas de Purga
Capacidad (m3)	142
Factor Sísmico	0100 asd 100 2
Carga Cíclica	Ninguna
Eficiencia Joint	1
Permisividad a la corrosión (mm)	0
Temperatura de Trabajo (C)	45
Temperatura de Diseño (C)	60
Presión de Prueba (bar)	78
Presión de trabajo (bar)	50
Presión de Diseño (bar)	60
Carga Muerta (Kg)	84.825
Insulación, Tipo y Espesor	Ninguna
Protección Interna	Ninguna
Desgaste por oxidación	Externa/DIN55928
Protección Interna	Ninguna
Tratamiento Térmico	Si

Fuente: Orinoco Iron, 2012.

Para efectos de este informe unificaremos la simbología utilizada en las fórmulas de los distintos códigos a comparar, pero sin que esto implique alguna modificación en el procedimiento interno de cada código en particular, esto de la siguiente manera:

Tabla III. Simbología unificada de fórmulas de diseño

Abreviatura	Significado
d	Diámetro Interior del Recipiente a Presión
D	Diámetro Exterior del Recipiente a Presión
P	Presión Interna
S	Esfuerzo Admisible / Diseño @temp.
S_y	Esfuerzo de Fluencia
t_{min}	Espesor de Pared Mínimo Requerido
r	Radio Interior del Recipiente a Presión
E	Eficiencia de la Junta
c	Tolerancias
F.S	Factor Seguridad

Fuente: Propia

*Nota: Las unidades serán particulares según cada reglamento

Códigos Internacionales

ASME Sección VIII – Div.1

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) creó un comité en 1911 con el propósito de formular normas para la construcción de recipientes a presión, la función de este comité es establecer normas de seguridad, relativas a la integridad de la presión, que rigen la construcción de este tipo de recipientes. Este comité ha aprobado un conjunto de reglas contenidas en distintos códigos, los cuales se encuentra compiladas en el ASME Boiler & Pressure Vessel Code, en donde la Sección VIII – Div.1, es una de los códigos más aceptados y utilizados mundialmente para el diseño de recipientes a presión. En su apartado UG-27 expresa la fórmula para cálculo de espesores de carcasas bajo presiones internas como se muestra a continuación:

$$t_{\min} = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c2$$

Este código establece en su sección II - Apartado D las tablas de propiedades mecánicas de los materiales a distintas temperaturas de trabajos.

AD-Merkblätter

Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (AD) - Merkblätter. es un código alemán basado en la normativa del Deutsches Institut Für Normung (DIN), el cual es otro de los códigos internacionales más ampliamente usados para diseño de recipientes a presión el cual en

su sección B1/W-1, expresa la fórmula para cálculo de espesores de carcasas bajo presiones internas como se muestra a continuación:

$$t_{\min} = \frac{D \cdot P}{20 \cdot \frac{S}{F.S} \cdot E + P} + c1 + c2$$

BS 5500

También llamada PD (Published Document) 5500, elaborado por the British Standards Institution, evolución de la norma BS 1500 de los años 50' y fue publicado por primera vez en 1976, bajo el nombre de especificaciones de recipientes a presión no sometidos a acción de llama y soldados por fusión, el cual es un código británico que provee reglas para el diseño, fabricación e inspección de estos equipos. Este fue retirado de la lista de normativas británicas por no estar armonizado con las directivas europeas de recipientes a presión, y fue reemplazado por EN 13445.

En su sección 3, en el inciso 3.5.1.2 establece la fórmula para espesores mínimos de cuerpos cilíndricos sometidos a presión interna

$$t_{\min} = \frac{d \cdot P}{2 \cdot S - P} + c1 + c2$$

Este código en su sección 2 establece que el esfuerzo admisible del material es el valor menor entre el 67% del esfuerzo de fluencia del material o el 42% del esfuerzo último, valores propuestos por la ISO/DIS 2694.

EN 13445

Fue introducido en 2002 como sustituto de las normas y códigos nacionales de diseño y construcción de recipientes a presión de la Unión Europea, la cual esta armonizada con la directiva de la unión europea de equipos a presión (97/23/CE y 2014/68/EU).

La norma europea EN 13445 es producto de 10 años de discusión entre expertos, en donde se logró un consenso europeo en el campo de los equipos a presión. La adopción del primer número de la EN 13445 en mayo de 2002 fue el primer paso de un proceso continuo de desarrollo y mejora. Esta nueva norma se beneficia de la contribución de toda la experiencia europea; Como tal, incluye capacidades innovadoras y suministra soluciones para temas modernos.

Este código en su apartado 7.4.2 establece la fórmula para el cálculo de espesor mínimo para envolventes que presentan una simetría de revolución sometidas a presión interna, tal como las cilíndricas:

$$t_{\min} = \frac{d \cdot P}{2 \cdot S \cdot E - P} + c1 + c2$$

En su apartado 6.3.2 establece el procedimiento para calcular la tensión normal de diseño. Se toma el valor más pequeño entre esfuerzo de fluencia a la temperatura de cálculo y la resistencia a la tracción.

IS 2825:69

Indian Standard (IS), es elaborado por el comité seccional de recipientes a presión no sometidos a llama del buro de normalización de la India. Fue aprobado por el consejo de la división de ingeniería mecánica de dicho país y adoptado por este a partir de 1969. En él se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, construcción, inspección, pruebas, y certificación de estos equipos

En su apartado 3.3.2.2 expresa la fórmula para espesores mínimos de recipientes a presión para cuerpos cilíndricos sometidos a presión interna

$$t_{\min} = \frac{d \cdot P}{200 \cdot S \cdot E - P} + c1 + c2$$

En su apéndice A expresa el esfuerzo admisible para distintos tipos de acero

GB 150

Guojia Biaozhun (GB), lo cual significa Estándar Nacional en mandarín, es un código que establece las reglas para el diseño, fabricación, inspección y acep-

tación de todos los recipientes a presión construidos o utilizados en la república popular de china, formulada por el comité de estandarización de calderas y recipientes a presión del mencionado país, la cual es una organización de trabajo técnico especializada en esta materia, y es responsable de la jurisdicción técnica. El Comité está bajo la dirección directa de la administración de la república popular de china.

En su sección GB 150.3, en su apartado 3.3 se expresa la fórmula del cálculo de espesor mínimo a temperatura de diseño para cuerpos cilíndricos sometidos a presión interna.

$$t_{\min} = \frac{d \cdot P}{2 \cdot S \cdot E - P} + c1 + c2$$

En su sección GB 150.2 se expresa el esfuerzo admisible para aceros al carbono a la temperatura de diseño.

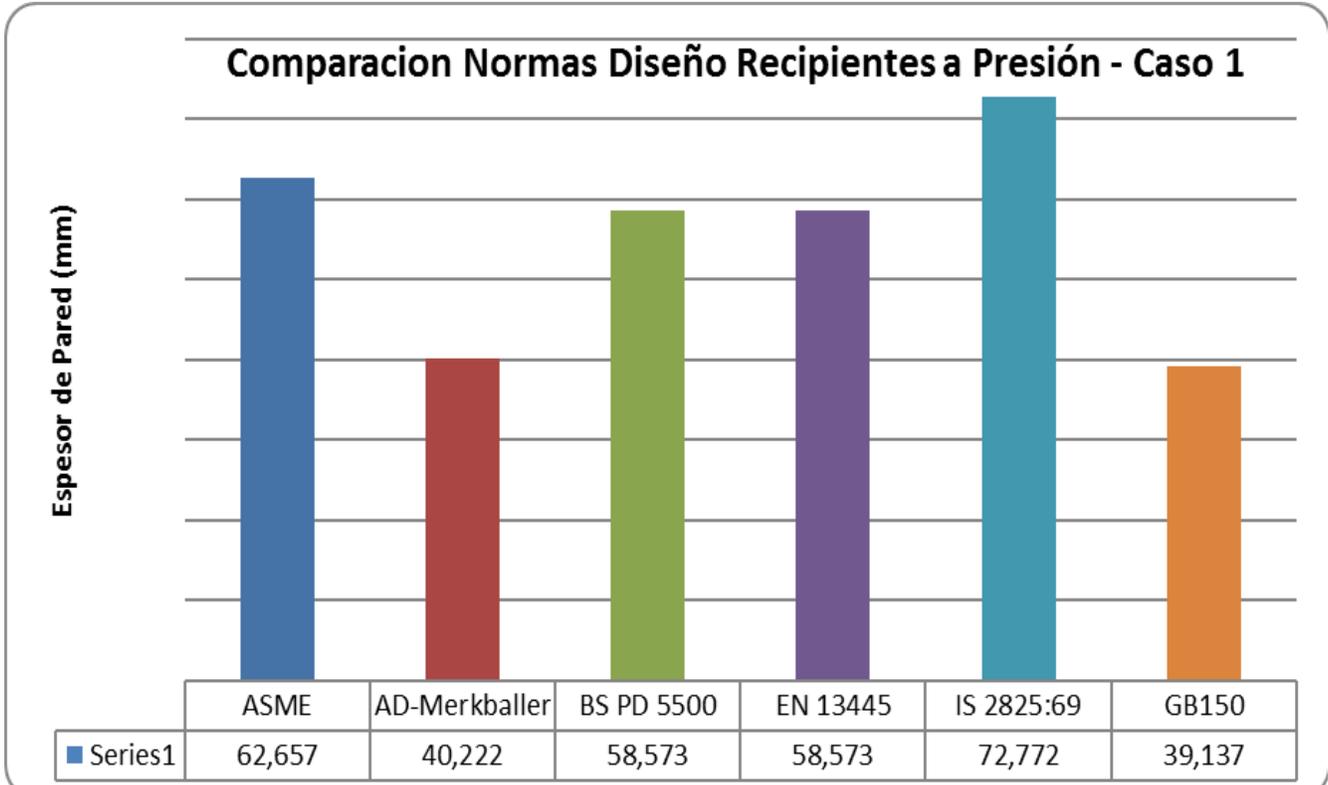
RESULTADOS

Para el análisis de los distintos procedimientos establecidos en los códigos a estudiar se realizó tres casos de estudios

Caso 1: Procedimientos Regulares

Para el primer caso de estudio se utiliza los datos de diseño del recipiente a presión seleccionado, y aplicando las distintas fórmulas de los códigos analizados, con sus respectivas unidades de cálculo particulares y siguiendo con los procedimientos descritos en cada una para determinar el esfuerzo admisible para el tipo de acero seleccionado a la temperatura de operación, se puede realizar la siguiente gráfica, en donde se aprecia las diferencias entre cada uno de los resultados

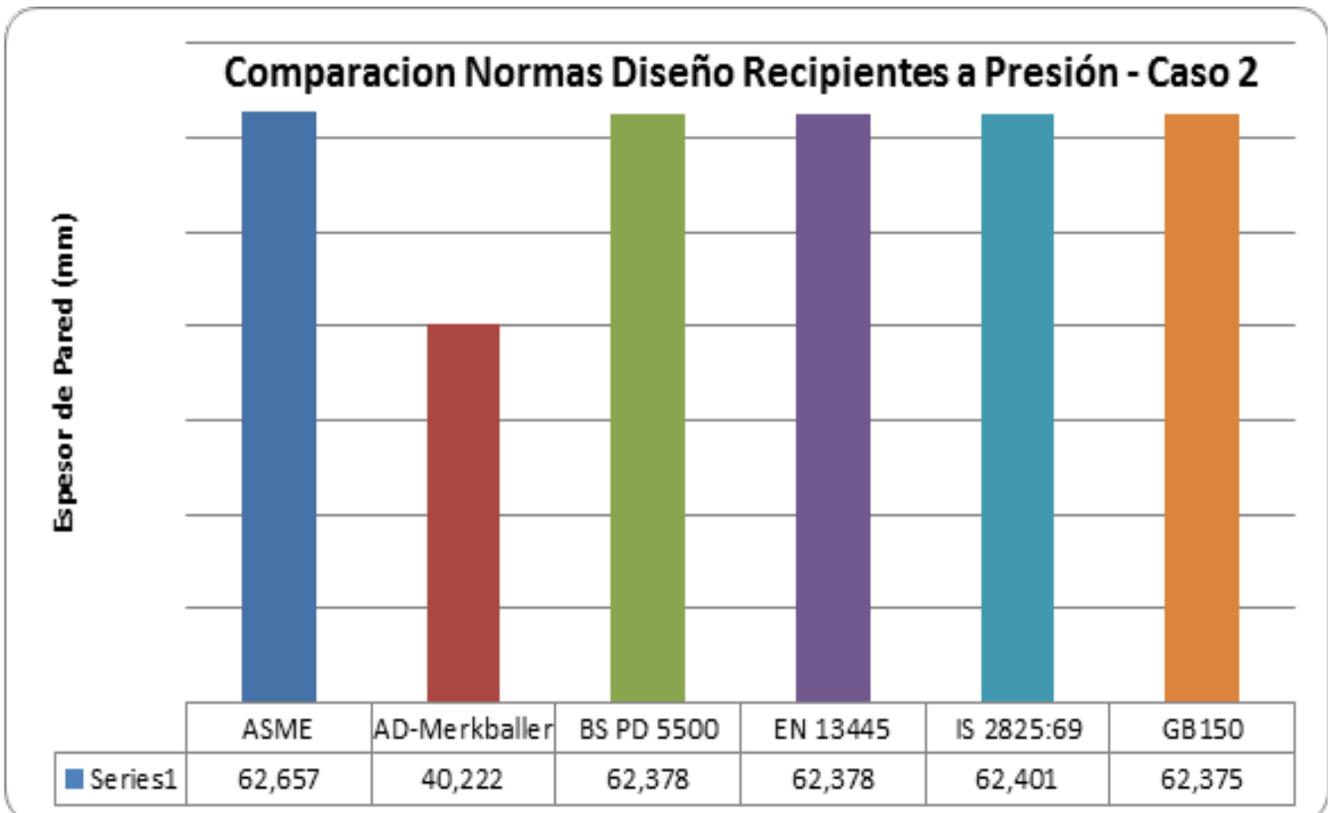
Grafica 1. Comparación de Valores Espesores Mínimos de Cuerpos Cilíndricos para Distintos Códigos- Caso 1.



Caso 2: Esfuerzos Admisibles Homologados

Para el segundo caso de estudio se utiliza los datos de diseño del recipiente a presión seleccionado, y se

igual a todos los esfuerzos admisibles por el propuestos por la norma ASME, esto con solo fines representativos.

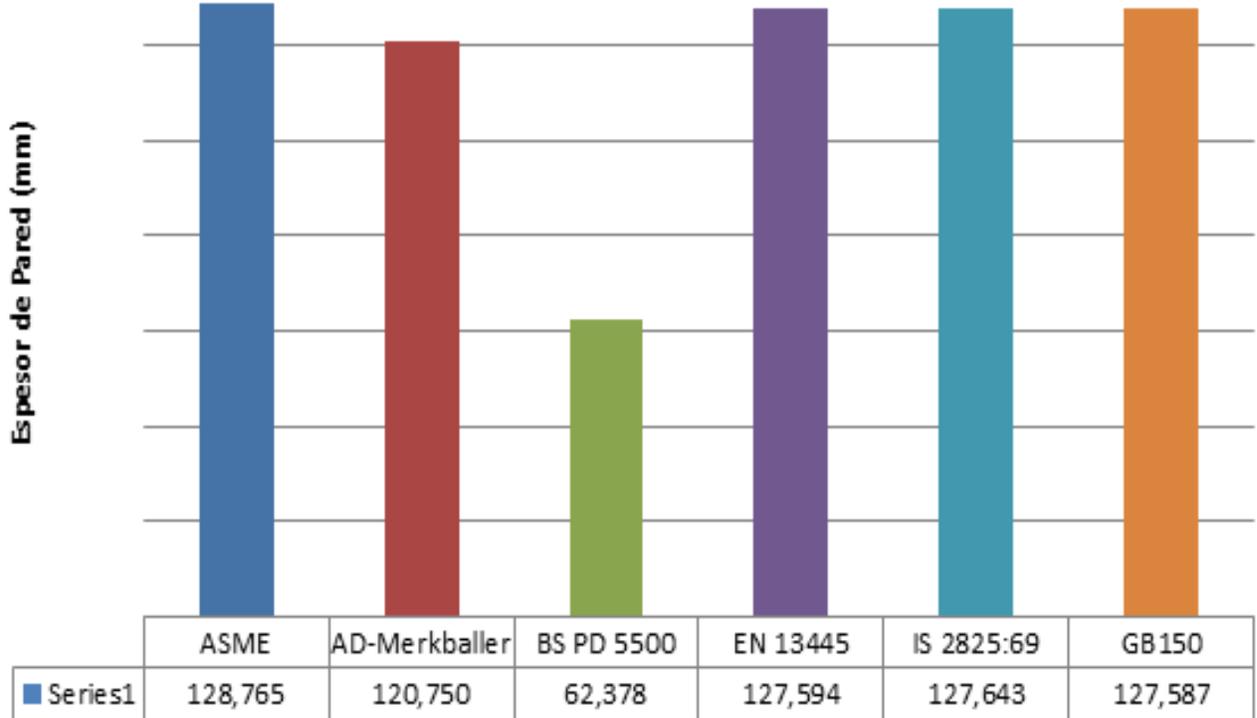


Caso 3: Esfuerzos Admisibles Homologados y Variación en Eficiencia de la Junta

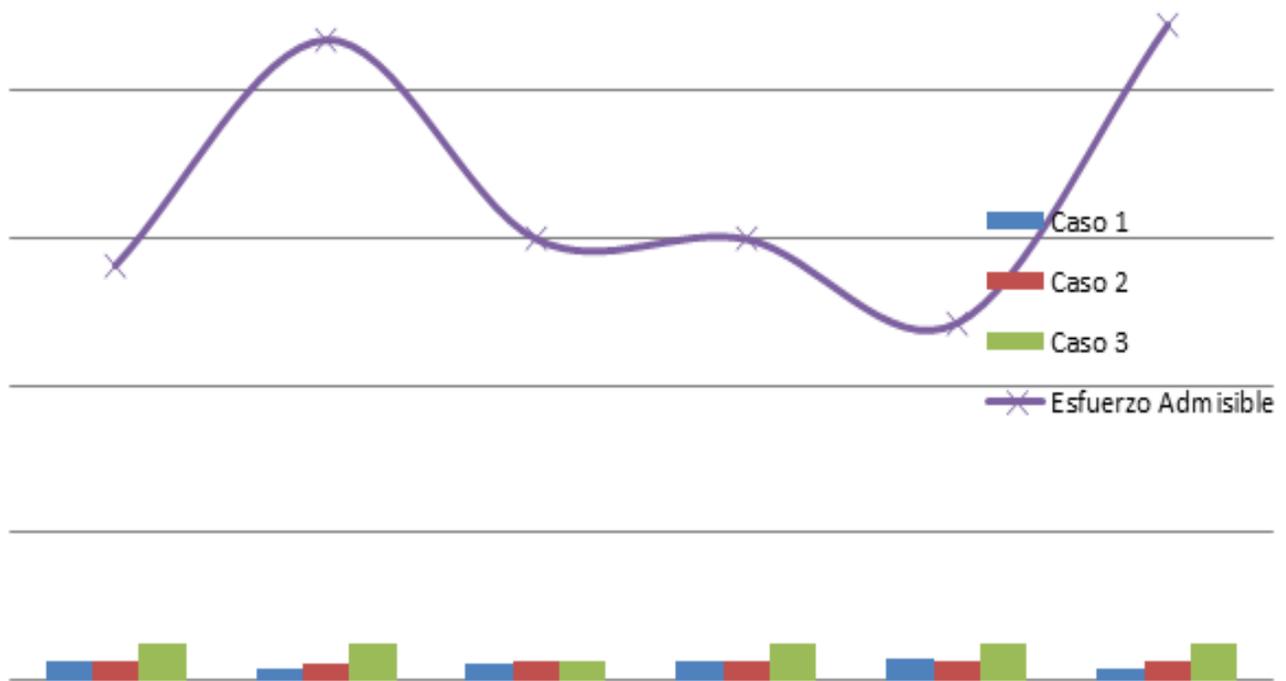
Para el tercer y último caso de estudio se utiliza los datos de diseño del recipiente a presión seleccionado,

se iguala nuevamente los esfuerzos admisibles por el propuesto por la norma ASME, pero adicionalmente se cambia el valor de la eficiencia de la junta original y se sustituye por 0.85

Comparacion Normas Diseño Recipientes a Presión - Caso 3



Resumen Casos de Estudio



IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La grafica 1 representa la comparación de resultados de la operación de cálculo de espesores mínimos requeridos para las condiciones de diseño previstas en el tanque de gas de purga. Allí se puede apreciar como la norma India IS 2825:69 exige un espesor mínimo de 72.77 mm mientras la norma alemana AD-Merkballer exige solo 40.22 mm de espesor para el mismo recipiente a presión. Esto nos indica que existe Δ (delta espesor) de 32.55 mm entre ambas normativas.

En la gráfica resumen de resultados se puede observar el comportamiento del resultado para todos los casos estudiados, así como el valor de esfuerzo admisible utilizado para el mismo material seleccionado pero determinado según cada normativa en particular, con las mismas unidades métricas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede asumir que el código que implicaría más costos para la fabricación de tanque de gas de purga seleccionado es el código Indio IS 2825:69 y el más económico el código Alemán AD-Merkballer. No se puede aun relacionar directamente a la normativa India como más segura que el resto, porque faltaría comparar muchos otros ítems que abarca no solo el diseño, sino fabricación, montaje, inspección, etc.

Lo que sí se puede asegurar, es que debido a la antigüedad del código IS 2825 (1969), de seguro no cuenta con las experimentaciones y avances en los procedimientos de cálculos realizados hasta la fecha, como sí es el caso del resto de los códigos en sus versiones más recientes.

Por otro lado, el hecho de que el código alemán haya obtenido el menor espesor no significa que sea el inferior a los demás códigos, en términos de calidad o seguridad, dado que en el diseño mecánico siempre se persigue como objetivo el desarrollo de ventajas sustanciales tales como reducción de espesores y control de daños en servicio con aumento de seguridad, asegurando una drástica reducción de costos. De aquí nace la importancia del diseño como ventaja estratégica de las empresas para el futuro.

A pesar de que la mayoría de las fórmulas de cálculo de espesores de los códigos analizados provienen de las ecuaciones de Lame, existe una diferencia sustancial entre varios de estos códigos, especialmente de los no armonizados, esta diferencia se origina en la forma de determinar el esfuerzo admisible para el acero seleccionado.

Otro factor que determina la diferencia entre los valores de espesores requeridos entre los códigos estudiados es la eficiencia de la junta soldada, cada normativa asume un procedimiento de cálculo propio para los mis-

mos casos de aplicación, reflejándose esto directamente en los cálculos realizados.

V. CONCLUSIONES

1.El código que requirió un mayor espesor fue el IS 2825:69 (72.77 mm), el cual fue un 81% mayor que la norma alemana AD (40.22 mm), la cual arrojó el menor espesor para el diseño del mismo recipiente.

2.El espesor promedio entre todas las normativas es 55.32 mm, el cual divide a los códigos analizados en dos partes, lo que los que requieren espesores mayores al promedio general y los que requieren espesores menores al promedio general.

3.Las normas que requieren espesores mayores al promedio son ASME, PD5500, EN 13445, IS 2826.

4.Las normas que requieren espesores menores al promedio son AD-Merkballer y la GB150.

5.Se puede vincular al Código Indio IS 2825:69 como la normativa que implicaría más costos asociados a la fabricación del recipiente a presión, y la norma alemana AD-Merkballer como el código más económico en cuando a la fabricación del mismo recipiente.

VI. REFERENCIAS

- [1]Diario Oficial de las Comunidades Europeas. "Directiva 97/23/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre equipos a presión". 1ra Edición. pp. 14-33. 1997.
- [2]Diario Oficial de las Comunidades Europeas. "Directiva 2014/68/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, relativa a la armonización de las legislaciones de los estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión.". 1ra Edición. pp. 10-16. 2014.
- [3]Standards Association of Australia. "AS 4037-1999: Australian Standard - Pressure Equipment". Homebush. Standards Australia. 2da Edición. pp.7-9. 1999.
- [4]Canadian Standards Association. "The Boiler and Pressure Vessel Regulations: Chapter B-5.1 Reg.1". Regina. Saskatchewan Regulations and Statutes of Saskatchewan. 1ra Edición. pp.10-21. 2007.
- [5]A. Thakkar. (2012). " Design of Pressure Vessel Using ASME Code, Section VIII, Division 1. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies. January-March, 2012/228-234. E-ISSN 2249-8974
- [6]Union de Normalisation de la Mecanique. "EN 13445: Unfired Pressure Vessels – Background to the rules in part 3 Design". Paris. 2da Edición. pp. 5-20 .2004.
- [7]Standard Administration of China. "GB150: Pressure

- Vessels - Part 3". Beijing. 1ra Edición. pp. 3-17. 2011.
- [8]Standard Administration of China. "GB150: Pressure Vessels - Part 2". Beijing. 1ra Edición. pp. 4-11. 2011.
- [9]Standard Administration of China. "GB150: Pressure Vessels - Part 1". Beijing. 1ra Edición. pp. 3-49 .1998.
- [10]Bureau of Indian Standards. "IS:2825: 1969. Code for Unfired Pressure Vessels". New Dheli.. 8va Edición. pp. 5-47 .1998.
- [11]Instituto de Salud Pública de Chile. "Recipientes Sometidos a Presión". Santiago.. 1ra Edición. pp. 2-5 .2015.
- [12]Occupational Safety and health Service. "Approved Code of Practice for Pressure Equipment". Wellington. 1ra Edición. pp.7-12. 2001.
- [13]American Society of Mechanical Engineers. "ASME Section VIII – Div.1: Rules for Construction of Pressure Vessels". New York. 1ra Edición. pp. 1-18. 2004.
- [14]D. Nash. "UK Rules for Unfired Pressure Vessels. In: The Companion Guide to ASME Boiler and Pressure Vessel Code. ASME, Chapter 51". 1ra Edición. pp. 4-31. 2008. ISBN 9780971902717.
- [15]Asociación Española de Normalización y Certificación. "Recipientes a presión no sometidos a llama – Parte 3: Diseño". Madrid. 1ra Edición. pp. 9-27. 2015
- [16]G. Antonsson. "Springer Handbook of Mechanical Engineering". Pasadena. 1ra Edición. pp. 35-71. 2009. ISBN 978-3-540-49131-6
- [17]S. Calvo. "Diseño de Recipientes a Presión Según Normativa Europea, Mediante el Código de Diseño AD-MERKBLATT". Tesis de Grado. Escuela Técnica Superior Universidad de Burgos. pp.22-36. 2012.
- [18]L.Soler. "Diseño e inspección de un depósito a presión conforme a la directiva 97/23/CE". Proyecto Final de Carrera. Universitat Politecnica de Catalunya. pp.11-33 .2013.
- [19]Otegui, Jose L & Rubertis, Esteban. "Cañerías y Recipientes a Presión". Mar del Plata. 1ra Edición. pp. 2008
- [20]E. Pasquali, y H. Sbuttoni. "Análisis de Falla de un Recipiente Sometido a Presión". 4ta Conferencia de Usos del Acero. Rosario. 2008.
- [21]L.Laurens. "Evaluación de la Integridad Mecánica del Tanque de Gas de Purga de 50 Bar de Orinoco Iron". Venezuela. pp. 1-14. 2011
- [22]Orinoco Iron. "Manual de Equipos Estáticos – Data Sheet". Puerto Ordaz. 1ra Edición. pp 32-45. 2002
- [23]Estrucplan Online. "Aparatos Sometidos a Presión.". Fecha de Consulta 07-04-2017. URL: www.estrucplan.com.ar