

## **Comportamiento del volumen de material necesario en recipientes cilíndricos con tapas y fondos planos, rellenos con gas utilizados en la industria azucarera**

### **The material volume behavior need in cylindrical vessel with bottoms and heads flat, filling with gas and used in the sugar cane industry**

DrC. Idalberto de la C. Mendoza Díaz\*, Ing. Eusebio V. Ibarra Hernández\*\*,

Ing. Marlén Dupin Fonseca\*\*, Ing. Tomas Alonso Madrazo\*\*

\*Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central de Las Villas. e-mail: [imendoza@uclv.edu.cu](mailto:imendoza@uclv.edu.cu)

\*\*Centro de Estudios de Química Aplicada. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central de Las Villas. e-mail: [eusebioih@uclv.edu.cu](mailto:eusebioih@uclv.edu.cu)

#### **Resumen**

El trabajo aborda un análisis del comportamiento del volumen de material necesario en recipientes cilíndricos con tapas y fondos planos de amplio uso en la industria azucarera, cuando en ellos se almacena o procesan gases. En él se plantean las expresiones matemáticas obtenidas por los autores para relacionar este parámetro con el diámetro interior, la altura y el espesor de las paredes, en tres diseños distintos de recipientes; presentándose posteriormente gráficas comparativas con el comportamiento de dicho volumen al variar la capacidad de almacenamiento y/o presión de trabajo, en un mismo diseño y para distintos diseños.

Palabras Claves: Recipientes a presión, volumen de material necesario.

## Summary

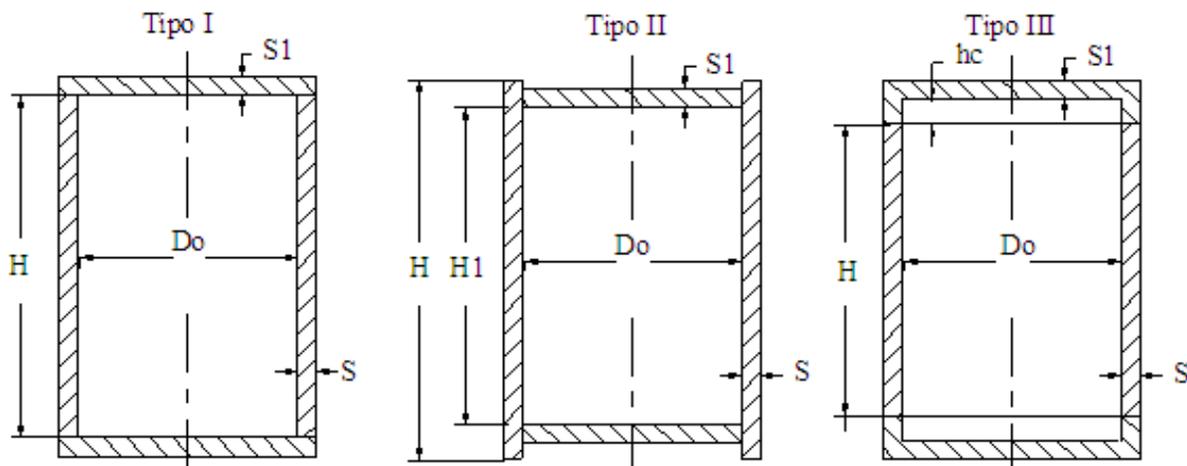
In the present work the behavior of necessary material volume in cylindrical pressure vessel with flat heads and bottoms when in them gases are stored or processed is analyze. The mathematical expressions are obtained by the authors considering relating this parameter to the inner diameter, height and the thickness of the walls, in three different vessels designs; appearing later graphical comparative with the behavior of this volume when varying the capacity of storage and/or pressure of work, in a same and different designs. Key Words: Pressure vessel, material volume need.

## Introducción

A pesar que las paredes de los recipientes esféricos garantizan una mayor resistencia mecánica que en los cilíndricos con igual espesor y material, estos últimos son los más utilizados en el almacenamiento y manipulación de gases debido a su simplicidad en la tecnología de fabricación, principalmente aquellos que poseen tapas y fondos planos. Una revisión de los diseños utilizados en estos recipientes [3], [4] y [5] arroja tres tipos: Con tapa externa no rebordeada (tipo I. Figura 1), con tapa interna (tipo II. Figura 1), con tapa externa rebordeada (tipo III. Figura 1)

La mayoría de los proyectistas seleccionan el tipo de recipiente tomando en consideración, principalmente, su aplicación y disponibilidad de tecnología de elaboración, olvidándose muchas veces de analizar la cantidad de material necesaria para su fabricación, aspecto con importantes aristas económicas y medioambientales.

El objetivo del presente trabajo es, precisamente, poner a su disposición las expresiones matemáticas que facilitan el cálculo de este volumen de material en recipientes cilíndricos soldados, así como un análisis de su comportamiento en un mismo diseño o entre sus distintos tipos, al variar los principales parámetros de cálculo.



**Figura 1.** Tipos de diseños de recipientes cilíndricos con tapas y fondos planos.

## Desarrollo.

*Comportamiento del volumen de material necesario,  $V$ , en un mismo tipo de diseño.*

Entre las principales aplicaciones de estos recipientes se encuentran los aparatos capacitivos y los equipos de transferencia de calor [4] y [5]. En ambos casos la capacidad volumétrica o volumen de trabajo necesario, viene a jugar un papel importante en las definiciones de algunos parámetros como el diámetro interior  $D_o$  y la altura  $H$ ; parámetros que a su vez influyen en la cantidad de material a utilizar. En la tabla 1 se muestra un resumen con las expresiones matemáticas desarrolladas por los autores, mediante análisis geométricos, para relacionar estos parámetros con la capacidad volumétrica ( $V_o$ ) de cada diseño y el

volumen de material a utilizar (V). Como es lógico, los espesores de las planchas a usar son también parámetros relacionados con este volumen V. Para el cálculo del espesor de las paredes del cilindro (S) y de las tapas o fondos (S<sub>1</sub>) existen distintas normas de trabajo. Entre las más utilizadas en Cuba se encuentran el código ASME [2] y la GOST 14249-80.

**Tabla 1.** Expresiones matemáticas para el cálculo de la capacidad volumétrica y el volumen de material necesario en recipientes cilíndricos con tapas planas soldadas.

Diseño tipo I	$V_0 = \frac{\pi \cdot D_o^2 \cdot H}{4} \quad (1)$	$V = \pi \left[ S \cdot H (D_o + S) + \frac{D_o^2}{2} \cdot S_1 \right] \quad (2)$
Diseño tipo II	$V_0 = \frac{\pi \cdot D_o^2 \cdot H_1}{4} \quad (3)$	$V = \pi \left[ S \cdot H (D_o + S) + \frac{D_o^2}{2} \cdot S_1 \right] \quad (4)$
Diseño tipo III	$V_0 = \frac{\pi \cdot D_o^2 \cdot (H + 2 \cdot hc)}{4} \quad (5)$	
		$V = \pi \left[ S \cdot H (D_o + S) + 2 \cdot S_1 \left[ h_c (D_o + S_1) + \left( S_1 + \frac{D_o}{2} \right)^2 \right] \right] \quad (6)$

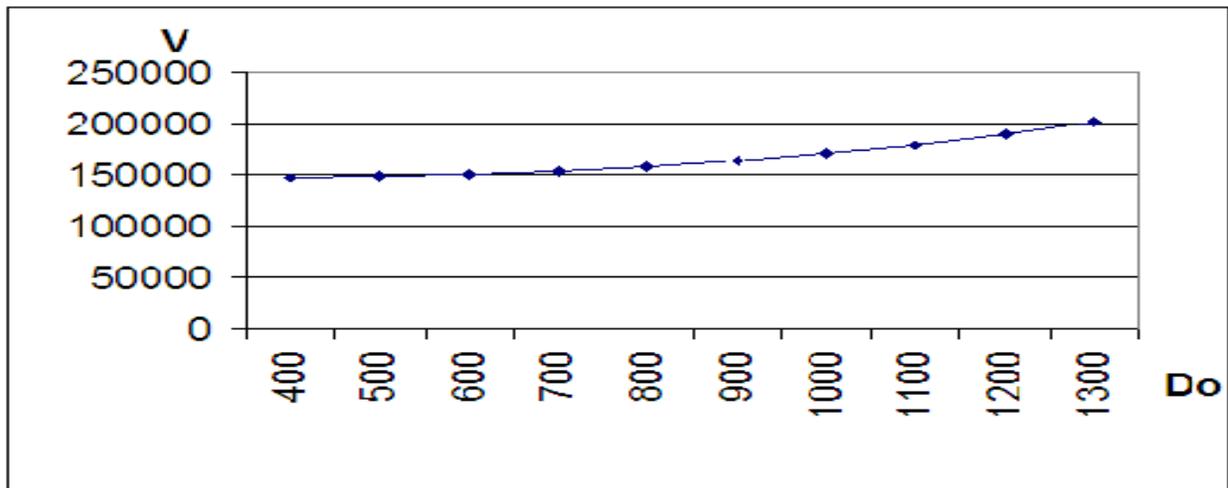
De acuerdo con estas normas [1], [2], [3], [4] y [5]:

$$S = Scal + p \cdot Co \quad (7) \quad S_1 = S_{1cal} + C \sqrt{\frac{p}{[\sigma]_o}} \quad (8)$$

$$Scal = \frac{p \cdot Do}{2 \cdot [\sigma]_o - p} \quad (9) \quad S_{1cal} = kko \cdot Do \sqrt{\frac{p}{[\sigma]_o}} \quad (10)$$

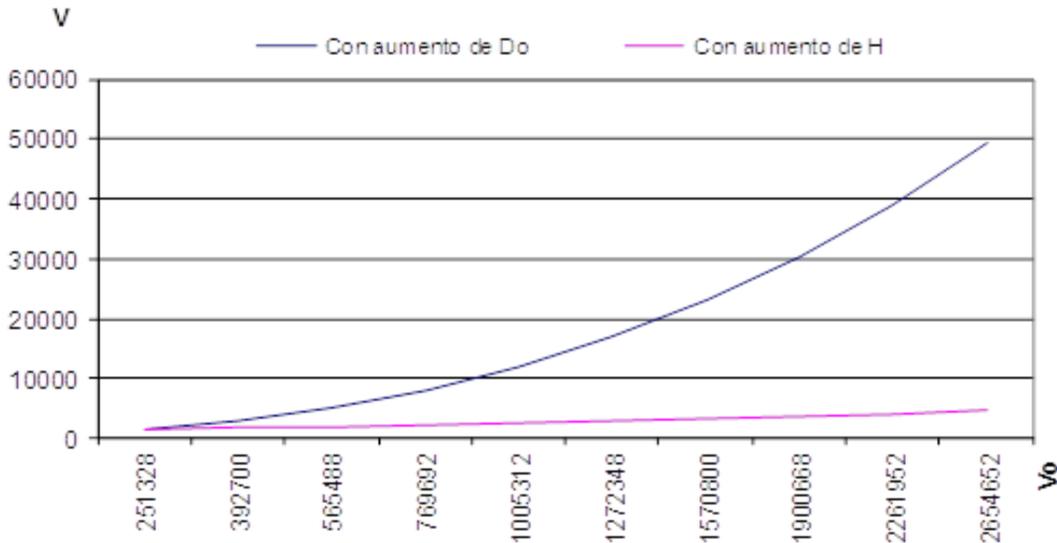
Donde: C- Sobreespesor general, p- presión de cálculo, ö- coeficiente de resistencia de las costuras soldadas, [ó]- Tensión admisible del material, k- coeficiente según unión soldada del fondo o tapa con el cilindro, ko- Coeficiente de debilitamiento por los agujeros [3].

Entre los intereses a desarrollar con estas expresiones matemáticas se encuentra el análisis del comportamiento del volumen de material a utilizar en función del diámetro interior y la altura del recipiente. Para plantearlo se tomó como ejemplo el diseño tipo I. Sobre la base de un primer cálculo con Do=400 mm, H=2m, [ó]=140 MPa y p=0,1 MPa, y con ayuda del Microsoft Excel, se comenzó a aumentar el valor de Do y disminuir H, procurando garantizar igual capacidad Vo. Los resultados representados en forma gráfica de esta experiencia se muestran en la figura 2. Como se puede apreciar en ella, un aumento de Do, para un mismo Vo, trae como consecuencia un aumento de V.



**Figura 2.** Variación de V con el aumento de Do, para un mismo Vo.

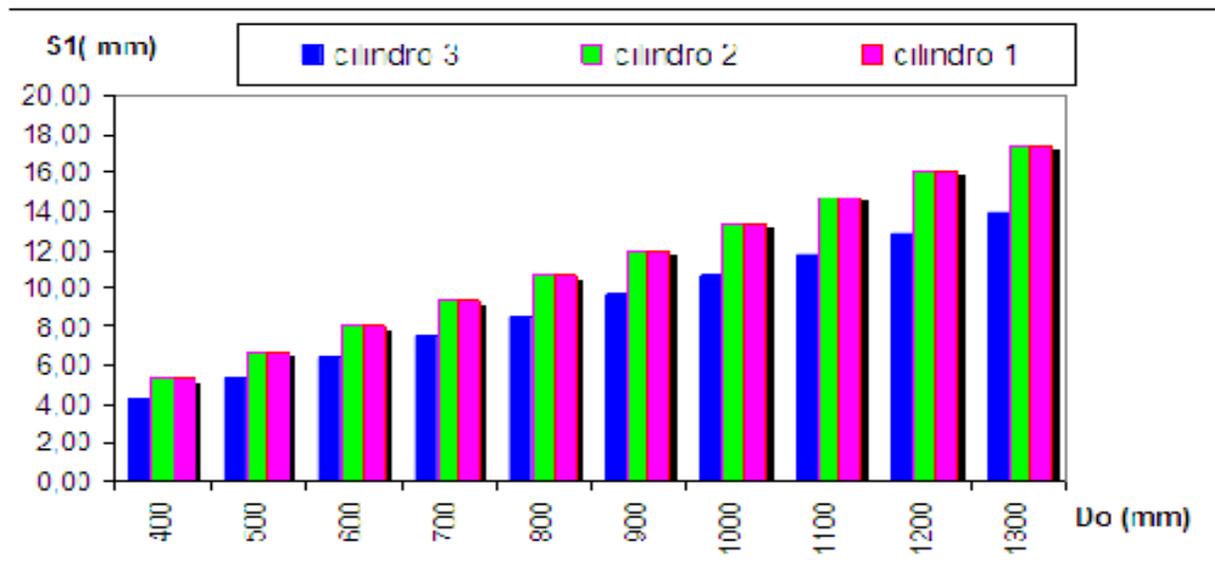
Un segundo análisis se vinculó al comportamiento de V cuando se requiere aumentar Vo. Este aumento de la capacidad volumétrica se procuró aumentando Do y/o H. Sobre la base de los datos iniciales planteados en el párrafo anterior y nuevamente con la ayuda del Microft Excel, se obtuvieron los resultados, que posteriormente se graficaron. Ver figura 3. Como se puede apreciar, para un mismo valor de Vo, el aumento de V es mucho más significativo con el aumento de Do que con el aumento de H, siendo más marcada esa diferencia en la misma medida que se incrementa el valor de Vo.



**Figura 3.** Cantidad de material de acuerdo a la capacidad.

Comportamiento del espesor de las tapas o fondos en los distintos diseños.

Para parámetros de trabajo iguales, (Do, H, p, [ó]) los cilindros, según los tres tipos de diseño, no varían en sus respectivos espesores, pero en el caso de las tapas no sucede igual. La expresión de cálculo a utilizar es la misma para los tres diseños, pero varían los valores recomendados para el coeficiente k. En el diseño del tipo I, k toma valores de 0,38; 0,41; 0,45 ó 0,5. En el tipo II de 0,41; 0,45, 0,5 ó 0,53; mientras que en tipo III es de k=0,4.



**Figura 4.** Espesor de cálculo de la tapa.

En la figura 4 se muestra una gráfica de columnas con el comportamiento de  $S_1$  (espesores de las tapas) para distintos valores de  $D_o$ . Para estos cálculos se tomaron datos comunes:  $p=0.1\text{MPa}$  y  $[\sigma]=140\text{MPa}$ . Los valores utilizados para  $k$  fueron de 0,5; 0,5 y 0,4 según diseños tipo I y II y III respectivamente. Como se puede apreciar en esta figura, los espesores requeridos para las tapas de los diseños tipos I y II son iguales para iguales diámetros y superiores al tipo III. Puede apreciarse también el aumento de la diferencia entre estos espesores con el aumento de  $D_o$

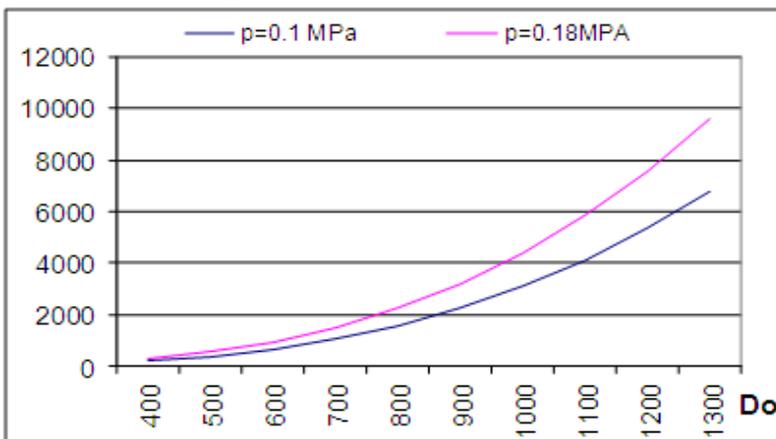
Otro análisis importante a tener en cuentas a la hora de seleccionar estos tipos de recipientes es el comportamiento de  $S_1$  para distintas presiones. En la figura 5 se muestra los valores de la diferencia entre espesores para diseños tipo I y tipo III, calculados con presiones de 0,1 y 0,18 MPa, según distintas magnitudes de  $D_o$ . En ella se aprecia que a mayor presión, mayor será la diferencia de espesores requeridos y que esta diferencia aumenta en la misma medida en que se incrementa el valor de  $D_o$



**Figura 5.** Diferencia de espesores de tapas en diseños tipos 1 y 3.

Comportamiento del volumen de material necesario,  $V$ , según el tipo de diseño.

A pesar de que los espesores para tapas en recipiente tipo I (o Tipo II) son mayores que los requeridos para los tipos III, para iguales condiciones de trabajo, los recipiente completos (cilindro con tapa y fondo) no se comportan de igual forma. Los cálculos arrojan un mayor volumen necesario en los recipientes tipo III. En la figura 6 se muestran dos curvas con el comportamiento de esta diferencia de volúmenes  $V$  ( $V_{III} - V_I$ ) para distintos valores de  $D_o$  y presiones de cálculo de 0,1 y 0,18 MPa. De ellas se puede interpretar dos conclusiones importantes: primero que los valores de  $V_{III}$  son superiores a los de  $V_I$ , esto se reconoce por el signo positivo de la diferencia ( $V_{III} - V_I$ ) y en segundo lugar que la diferencia de la cantidad de material necesario ( $V_{III} - V_I$ ) se incrementa en la misma medida en que se aumenta  $D_o$  y de igual forma, con el un aumento de la presión cálculo.



**Figura 6.** Variación de  $V (V_{III}-V_I)$  según diseños I y III, y presiones de 0,1 y 0, 18MPa.

### **Conclusiones.**

1-Las expresiones matemática presentadas en la tabla 1 pueden ser utilizadas para el cálculo de la capacidad volumétrica ( $V_o$ ) y el volumen de material necesario ( $V$ ) en recipientes cilíndricos con tapas planas soldadas.

2- En un mismo diseño, para un mismo valor de la capacidad volumétrica, el aumento del volumen de material necesario es mucho más significativo con el aumento de  $D_o$  que con el aumento de  $H$ , siendo más marcada esa diferencia con el incremento de  $V_o$ .

3- Para iguales condiciones de trabajo, un recipiente completo (cilindro con tapa y fondo), del diseño tipo III, requiere de un mayor volumen de material para su construcción. La diferencia con los tipos I y II se acentúa con el incremento de  $D_o$  y de la presión cálculo.

### **Bibliografía.**

- 1.Dennis R. Moss, "Pressure Vessel Design Manual", 2004.
- 2.ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section 8, Division 1.New York: American Society of Mechanical Engineers, 1992.
- 3.Azbel, David S; Nicholas P: Chemical and Process Equipment Design. Vessel Design and Selection, Edición Revolucionaria, Cuba, 1986
- 4.Laschinski, A. A: Construcción de aparatos químicos soldados. Manual del Ingeniero. Moscú, 1983
- 5.Mijalev M. F y otros. Cálculo y diseño de máquinas y aparatos de la industria química. Moscú, 1987.
- 6.Timoshenko, S; Mac Cullough G. H.: Elements of Strength of Materials, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1938.