



## **METODOLOGÍA PARA LA PRIMERA INSPECCIÓN DE UN RECIPIENTE A PRESIÓN CATEGORÍA II, SEGÚN LA NORMA NOM- 020-STPS-2011, EMPLEANDO INTERVALO DE CONFIANZA**

**Juan José Martínez Cosgalla**

*Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco  
Instituto Politécnico Nacional  
jmartinezc@ipn.mx*

**J. Santana Villarreal Reyes**

*Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco  
Instituto Politécnico Nacional  
svillarreal@ipn.mx*

**Fredy Donis Sánchez**

*Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco  
Instituto Politécnico Nacional  
fdonis@ipn.mx*

### **Resumen**

*El adecuado diseño, cálculo y construcción de recipientes a presión es una actividad muy útil para garantizar el buen funcionamiento de los equipos durante su operación. Para el caso de México, dichas funciones se basan en lo establecido en el Código A.S.M.E. Sección VIII 1, y para una duración operativa de 10 años. Sin embargo, la NOM-020-STPS-2011 dicta que para recipientes de la categoría II, los primeros exámenes no destructivos se deberán practicar antes que se cumplan diez años de haber entrado en operación y las siguientes pruebas o exámenes al menos cada cinco años. En este trabajo, se realiza la primera inspección a un equipo de categoría II, aplicando pruebas no destructivas con ultrasonido industrial y obteniendo lecturas en el casco y las tapas de forma aleatoria y para obtener una decisión para la operatividad de forma sustentada matemáticamente, se empleó el método de intervalo de confianza de 95% para la media de una la población. Se encontró que el espesor promedio del cuerpo y de las tapas, se encuentra dentro del intervalo de confianza que sustenta la decisión de que el equipo siga operando por 5 años más.*

*Palabras clave: recipientes a presión, código A.S.M.E., pruebas no destructivas, condiciones de servicio, intervalo de confianza.*

Las inspecciones a realizar en los recipientes a presión en operación, según mandato de la NOM-020-STPS-2011, para detectar, pronosticar y prevenir fallas posteriores, que pongan en peligro a las personas permiten garantizar la calidad funcional de estos equipos, prolongando su vida útil. Una alternativa son los exámenes no destructivos como el ultrasonido industrial, que resulta fácil de realizar y además no es muy costosa.

Sin embargo, una vez obtenidos los resultados de estas pruebas, la norma no establece un criterio que permita tomar una decisión sustentada, para permitir el uso de estos equipos por otro periodo de 5 años. Una alternativa propuesta es la simulación por elementos finitos [P. Ciancio, M. Godoy, L. Arrien, 2004], para visualizar el mapa de esfuerzos y así detectar las zonas donde estos sean mayores

En este trabajo, se efectúa el análisis de los resultados obtenidos por [P. Ciancio, M. Godoy, L. Arrien, 2004], al realizar exámenes no destructivos de ultrasonido y aplicando intervalos de confianza de 95% para una población, a fin de comprobar que los espesores obtenidos a través de los exámenes se encuentran en un intervalo seguro, que permite tomar la decisión de autorizar su siguiente periodo de operación.

### Marco Teórico

El diseño y cálculo de los recipientes a presión, se realiza con base en el Código A.S.M.E. Sección VIII, división 1 y durante su vida útil, se realizan exámenes periódicamente, según mandamiento de la norma NOM-020-STPS-2011. Aplicando estas normas, se verificó el diseño de un recipiente categoría II,

para aire comprimido, que se encuentra operando en una empresa minera, donde se elaboran productos derivados del granito, como se muestra en la figura 1.



**Fig. 1.- Tanque acumulador de aire comprimido.**  
**Fuente:** P. Ciancio, M. Godoy, L. Arrien, 2004

Los datos del recipiente tomados de la placa de identificación son los siguientes:

Volumen: 3.28 m<sup>3</sup>

Presión de operación: 7 kg/cm<sup>2</sup> (100 psi)

Temperatura de operación: 40°C

Tapas: semielípticas 2:1

### Determinación del espesor de placa del cilindro

Considerando el rubro UG-27 para determinar el espesor de placa del cilindro sujeto a presión interna, se aplica la ecuación (1)

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + C \dots \dots (1)$$

donde:

t = espesor mínimo requerido para el cilindro, plg

P = presión interna de diseño, psi

R = radio interno del cilindro, pulg



S = Esfuerzo admisible del material, psi

E = Eficiencia de la soldadura

C = factor por corrosión, pulg

Arroja un valor de  $t = 0.284$  pulg (7.21mm).

El código establece que hay que calcular el espesor de placa cuando el cilindro está expuesto a presión interna, considerando vacío total. Esto se realiza aplicando el rubro UG-28 y utilizando la ecuación (2)

$$P_a = \frac{4B}{3 \left( \frac{D_o}{t} \right)} \dots \dots (2)$$

donde:

Pa = Presión máxima de trabajo, (15 psi)

B = Factor aplicable al material, según gráfica, psi

Do = diámetro externo del cilindro (Di+2t), pulg

Considerando una longitud entre tangencias de 118,9 pulg (3020 mm), temperatura de diseño de 150°F y un módulo de elasticidad del material de 15.7 ksi. Aplicando las ecuaciones (3) y (4)

$$\frac{L_t}{D_o} \dots \dots (3)$$

$$\frac{D_o}{t} \dots \dots (4)$$

$\frac{L_t}{D_o} = 2.7$  y  $\frac{D_o}{t} = 201.54$ , valores con los que a través de la figura UGO 28 (ver anexo 1), se obtiene el valor del factor  $A = 0.00015$ . Con este valor y el módulo de elasticidad del material, se obtiene un valor B, pero como el valor de A cae a la izquierda de la gráfica (ver

anexo 2), entonces deberá tomarse la ecuación (5)

$$P_a = \frac{2AE}{3 \left( \frac{D_o}{t} \right)} \dots \dots (5)$$

La cual nos da un valor de  $P_a = 0.008$  psi. Como  $15$  psi  $>$   $0.008$  psi, se requerirá utilizar un anillo atiesador.

Empleando un anillo atiesador al centro del cilindro, la longitud de una sección del recipiente,  $L = 62.5$  pulg (longitud del casco 59.5 pulg más un tercio de la profundidad de la cabeza 3.8 pulg).

por lo tanto  $\frac{L}{D_o} = 1.4$  y  $\frac{D_o}{t} = 201.52$ , valores que dan un factor A = 0.0003 y un factor B = 4500 psi.

Ahora, sustituyendo en la ecuación (3), se tiene una presión admisible de  $P_a = 29.8$  psi, lo que indica que como  $29.8$  psi  $>$   $15$  psi, entonces el valor calculado para t, es correcto.

### Determinación del espesor de placa de las tapas

La determinación del espesor de la placa, para las tapas semielípticas 2:1, para presión interna se debe llevar a cabo de acuerdo al rubro UG-32, aplicando la ecuación 6

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} + C \dots \dots (6)$$

donde

P = presión interna de diseño, psi

D = Diámetro interno de la tapa, pulg

S = Esfuerzo admisible del material, psi

E = eficiencia de la soldadura

C = factor de corrosión, pulg

Entonces, el valor calculado para  $t = 0.20$  pulg (5.08 mm)

De igual forma que en el cuerpo cilíndrico, se calculó el espesor de placa de las tapas por presión externa, empleando el rubro UG-33 y con las ecuaciones siguientes

$$P' = 1.67 P_E \dots\dots (7)$$

Donde

$P'$  = presión de diseño, psi

$P_E$  = presión externa, psi

Nos da un valor de  $P' = 25.05$  psi

El cálculo del espesor de la placa en las tapas, se obtiene aplicando la ecuación (8)

$$t = \frac{P'D}{2SE - 0.2P'} + C \dots\dots (8)$$

Resultando  $t = 0.320$  pulg

Ahora bien, aplicando la ecuación (9)

$$R_o = 0.9D_o \dots\dots (9)$$

Resulta que  $R_o = 40.162$  pulg

Aplicando la ecuación (10)

$$A = \frac{0.125}{(R_o/t)} \dots\dots (10)$$

Se obtiene  $A = 0.00043$ , valor con el que se entra en la gráfica para valores del factor B, obteniendo  $B = 6500$  psi

Aplicando la ecuación (11)

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)} \dots\dots (11)$$

Se tiene el siguiente resultado

$P_a = 51.8$  psi

Como  $51.7$  psi  $>$   $25.05$  psi

El espesor de las tapas es satisfactorio. Cabe hacer notar que el fabricante escogió un espesor de cuerpo y tapas de  $0.375$  pulg (9.53 mm), que es una dimensión comercial fácil de trabajar.

### Análisis estructural

Para la realización del análisis estructural, se aplicó la prueba no destructiva de ultrasonido, utilizando para ello un equipo marca Mess Modelo DR-3 Serie No. D3339; con lo que se determinaron los espesores del cuerpo y de las tapas, tomando lecturas de forma aleatoria en una distribución uniforme de espacios, como se muestra en la figura 2. Las lecturas fueron obtenidas en pulgadas.

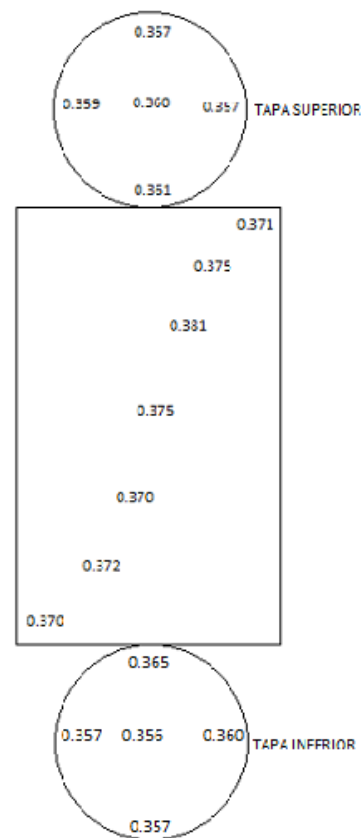


Fig.2. Lecturas del ultrasonido en milésimas de pulgada. Fuente: P. Ciancio, M. Godoy, L. Arrien

**Inferencia estadística**

La inferencia estadística es el procedimiento por medio del cual se llega a conclusiones acerca de una población con base en la información que se obtiene a partir de una muestra seleccionada de esa población-

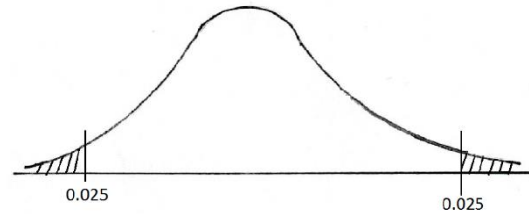


Fig. 3.- Distribución normal con intervalo de confianza.

**Intervalo de confianza**

Cuando se hace un muestreo a partir de poblaciones que siguen una distribución normal y con desviación estándar conocida, existe un  $100(1 - \alpha)$  por ciento de confianza de que el intervalo calculado  $\bar{x} \pm z_{(1-\alpha/2)}\sigma_{\bar{x}}$ , contiene la media de la población, como se muestra en la figura 3.

**Resultados obtenidos**

Tomando de manera individual al cuerpo y a las tapas del recipiente, con un intervalo de confianza de 95%, se obtuvieron los valores siguientes:

Para el cuerpo:

**Tabla 1.- Espesores del cuerpo (pulgadas)**

$x_i$	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$
0.370	0.375	-0.005
0.372		-0.003
0.370		-0.005
0.375		0.000
0.381		0.006
0.375		0.000
0.371		-0.004
		$\sum (x_i - \bar{x}) = -0.011$

Tabla 1.-

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 0.000121$$

$$n = 7$$

$$n - 1 = 6 \text{ Grados de libertad}$$

$$t_{(\frac{1-\alpha}{2})} = 2.447$$

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = 2.017 \times 10^{-5}$$

$$S = 4.49 \times 10^{-3}$$

$$\bar{x} \pm t_{(\frac{1-\alpha}{2})} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$0.365 \pm 4.15 \times 10^{-3}$$

$$0.361, 0.369$$

Para la tapa superior:

**Tabla 2.- Espesores de la tapa superior (pulgadas)**

$x_i$	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$
0.367	0.375	-0.008
0.357		-0.018
0.361		-0.014
0.359		-0.016
0.360		-0.015
		$\sum (x_i - \bar{x}) = -0.071$

$$n = 5$$

$$n - 1 = 4 \text{ Grados de libertad}$$



$$(x_i - \bar{x})^2 = 0.005$$

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} = 1.25 \times 10^{-3}$$

$$S = 0.0353$$

$$t_{\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)} = 2.776$$

$$0.375 \pm 2.776 \frac{0.0353}{\sqrt{5}}$$

$$0.375 \pm 0.0438$$

$$0.331, 0.419$$

Para la tapa inferior:

**Tabla 3.- Espesores de la tapa inferior (pulgadas)**

$x_i$	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$
0.365	0.375	-0.010
0.360		-0.015
0.357		-0.018
0.357		-0.018
0.356		-0.019
		$\sum (x_i - \bar{x})$ = -0.08

$$(x_i - \bar{x})^2 = 0.0064$$

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} = 0.0016$$

$$S = 0.04$$

$$t_{\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)} = 2.776$$

$$0.375 \pm 2.776 \frac{0.04}{\sqrt{5}}$$

$$0.375 \pm 0.050$$

$$0.325, 0.425$$

### Consideraciones finales

El análisis de los recipientes a presión en una primera inspección, después de haber estado en operación 10 años, empleando el método de ultrasonido, como lo indica la norma NOM-020-STPS-2011; para poder determinar si el equipo está en condiciones de continuar operando por un periodo de 5 años más, y utilizando el método estadístico de intervalo de confianza, nos ofrece una alternativa debidamente sustentada, para tomar una decisión correcta entre dejar operar el equipo o retirarlo de forma definitiva.

Esta herramienta matemática ofrece al ingeniero especialista, encargado de tomar la decisión de operatividad del equipo, la confianza de que no se correrán riesgos posteriores, con el peligro de fallas lamentables.

### Referencias

A.S.M.E., (1998)- Boiler and Pressure Vessel Code, Sección VIII, División 1.

Ciancio, Patricia M. Godoy, María L. Arrien, Luis M. (2004). Recipientes a Presión: evaluación del estado tensional a partir de datos experimentales, Mecánica computacional Vol. XXIII, pp 229-239, Argentina.

León, E Juan J.,(1997). Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión, Inglesa, México.

Megyessy, Eugene F. (1998). Manual de Recipientes a Presión. Diseño y Cálculo, Limusa Noriega Editores, México.

Norma Oficial Mexicana, NOM-020-STPS-2011, Diario Oficial de la Federación 27 de diciembre de 2011, México.



Riley, William F. Sturges, Leroy d. Morris, Don H. (1999). *Mechanics of Materials*, John Wiley & Sons Inc, New York.

Walpole, Ronald E. Myers, Raymond H. Myers, Sharon L. (1999). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*, Pearson Educación, México.

Wayne W Daniel. (2002). *Bioestadística*, Limusa Wiley, México.