Instituto de Salud Pública
Ministerio de Salud

Gobierno de Chile

DEPARTAMENTO SALUD OCUPACIONAL

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICO DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICO DE
RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN

AUTORES:

Jean Barrera Gilaber
Miguel Camus Bustos

Departamento Salud Ocupacional

Diciembre 2017

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICO DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La prueba de presión hidrostática, es el ensayo que se realiza, con fluido líquido (generalmente agua), a aquellos recipientes, tanques, líneas y ductos sometidos a presiones de trabajo superiores a la presión atmosférica. La validación o renovación de su capacidad hermética y de su resistencia estructural es de vital importancia para la integridad del recipiente, componentes, instalaciones y la seguridad laboral de los operadores.

En el presente documento se abordará los principales aspectos técnicos en la realización de pruebas de presión hidrostáticas a distintos tipos de recipientes, tanques, líneas, ductos y componentes de sistemas sometidos a presiones, desde la ejecución del ensayo mismo, ventajas y desventajas de la prueba de presión hidrostática versus la prueba de presión neumática, determinación de valor de la presión del ensayo, normas aplicables, etc.

2. OBJETIVO

Explicar los criterios técnicos básicos para contextualizar la importancia de la realización de las pruebas de presión hidrostáticas a recipientes, tanques, líneas y ductos sometidos a presiones de trabajo mayores que la presión atmosférica para lo cual fueron diseñados y que deben ser capaces de soportar con seguridad.

3. DESARROLLO

Los ensayos de presión hidrostático que se ejecutan a los recipientes sometidos a presión, es quizás, la prueba más importante para verificar y revalidar la integridad estructural, resistencia y hermeticidad de aquellos recipientes (cilindros, líneas o ductos que almacenan o transportan gases comprimidos, licuados, disueltos, líquidos a presiones superiores a la atmosférica) utilizados para generar energía mediante temperaturas extremas. Por lo tanto, la magnitud de los eventuales daños, en caso de que estos equipos fallen, es de consideración y altamente peligroso.

Un ensayo de presión hidrostático, permite además, verificar el adecuado dimensionamiento de diseño y detectar posibles fallas en el proceso de fabricación del recipiente sometido a presión. Finalmente, se debe garantizar la seguridad durante la operación normal y toda la vida útil del recipiente.

Todo recipiente sometido a presión (tanques, cilindros, líneas o ductos) debería ser diseñado, construido y fabricado de acuerdo a alguna especificación técnica de validez nacional o internacional. Toda norma o código de diseño y fabricación de un recipiente sometido a presión, considera la ejecución de un ensayo de presión hidrostático donde la magnitud del ensayo dependerá de la norma específica aplicada.

3.1. En que consiste una prueba hidrostática:

Un ensayo de presión hidrostático consiste, básicamente, en aislar completamente el recipiente de presión (cilindro, tanques, líneas o ductos), llenar con agua (u otro fluido en estado líquido, incompresible), retirando todo el aire desde su interior y aumentar paulatina y progresivamente la presión interna a un valor que dependerá de la norma o código de fabricación del recipiente.

Es importante que, antes de comenzar el ensayo, la temperatura del recipiente y del fluido de prueba sea homogénea, superior a 17 °C e inferior a 50 °C, así como también, es de relevancia extraer todo el aire desde su interior. El aire es un gas que es compresible y en caso de que queden “bolsas” de aire al interior del recipiente, estas no permitirán obtener resultados satisfactorios durante un ensayo de presión hidrostático. Durante este ensayo, y una vez aplicada la presión de prueba, se realiza la búsqueda de filtraciones y deformaciones, revisándose los cordones de soldadura en búsqueda de poros y/o fisuras.

La presión de prueba deberá mantenerse constante durante un periodo de tiempo.

Los cilindros que contengan gases comprimidos, disueltos o licuados tienen que ser sometidos a ensayos de presión hidrostática donde se medirá la expansión volumétrica del cilindro durante el ensayo, es decir, se determinará la deformación elástica y permanente (plástica) que eventualmente sufrió el recipiente durante el ensayo.

En general, se recomienda que el ensayo de presión hidrostático se ejecute al término de fabricación del equipo, al término de la instalación del equipo y/o cada vez que el recipiente de presión sea sometido a una reparación de importancia que involucre una intervención de la estructura del recipiente y, cada cierta periodicidad establecida según la norma de fabricación o reglamentación especifica.

El equipamiento mínimo que se requiere para realizar un ensayo de presión hidrostático es el siguiente:

- Una bomba de agua, de bajo flujo (manual o eléctrica) que tenga una capacidad de generar la presión que requiere el ensayo.
- Mangueras de alta presión (con sus respectivos conectores), que sea capaz de soportar la presión de ensayo.
- Un manómetro que tenga una capacidad de 1,5 veces la presión de ensayo y cuente con certificado de calibración emitido por algún laboratorio acreditado para la magnitud presión.

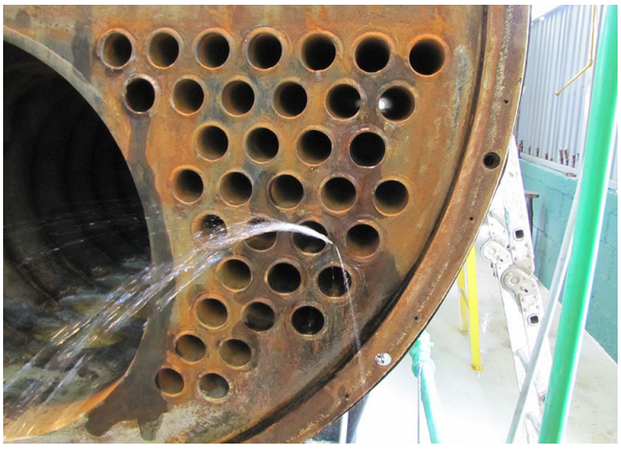
3.2 Determinación del valor de la presión de prueba

En la actualidad existen diferentes normas, códigos y reglamentaciones específicas, tanto para el diseño como de fabricación, las cuales consideran la ejecución del ensayo de presión hidrostático para los distintos recipientes y cuerpos sometidos a presión. De esta forma, podemos mencionar algunas de ellas de validez nacional e internacional, las cuales se presentan a continuación:

- Código American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- Normas de la American Petroleum Institute (API)
- Normas de la National Fire Protection Association (NFPA)
- Normas de la American National Standards Institute (ANSI)
- Normas de la Directiva 97/23/CE sobre equipos de presión de la Comunidad Europea
- Etc.

A nivel nacional, también se cuenta con algunos criterios reglamentarios y normativos técnicos, los cuales son:

- Decreto Supremo N° 10/12 del Ministerio de Salud que aprueba el Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que utilizan Vapor de Agua
- Norma Chilena Oficial NCh 2244.Of95 del Instituto Nacional de Normalización: Gases Comprimidos – Inspección Periódica de Cilindros de Acero.
- Norma Chilena Oficial NCh 2247.Of95 del Instituto Nacional de Normalización: Cilindros para Gases Comprimidos – Ensayo de presión hidrostática.
- Norma Chilena Oficial NCh 328.Of2006 del Instituto Nacional de Normalización: Gases licuados de petróleo – Cilindros y tanques de aceros soldados – Métodos de Ensayo.



A continuación, se detallan los principales criterios para la determinación de la magnitud del ensayo de presión hidrostática:

1.- Código ASME Sección VIII División 1 (UG-99: Prueba Hidrostática): establece que el valor de la prueba de presión hidrostática está dada por la siguiente ecuación:

$$Pph = 1{,}3xMAWPx\frac{St}{Sd}$$

Dónde:

a) Pph= Presión hidrostática de prueba
b) MAWP= Máxima presión admisible (considerando el espesor calculado en condición corroída)
c) St= Esfuerzo a la temperatura de prueba
d) Sd= Esfuerzo a la temperatura de diseño

2.- Según Directiva 97/23/CE de la Comunidad Europea:

$$Pph = 1{,}25xPx\frac{K^*}{K}$$

a) Pph= Presión mínima de la prueba hidrostática

b) P= Presión máxima admisible

c) K*= Límite elástico a T° ambiente (N/mm^2)

d) K= Límite elástico a la T° máxima admisible (N/mm^2)

3.- El D.S. N° 10/12 del Ministerio de Salud que aprueba el "Reglamento de Calderas, Autoclaves y equipos que utilizan Vapor de Agua" establece que la magnitud del ensayo de presión hidrostático corresponde 1,5 veces la presión máxima de trabajo. Se define como presión máxima de trabajo a la presión límite a la que puede trabajar con seguridad una caldera, autoclave o equipo que utiliza vapor de agua.

4.- Según la norma chilena oficial NCh 2247 Of.95 (Prueba hidrostática para determinación de expansión volumétrica):

$$Ee = Et - Ep$$

$$Ep\% = (Ep/Et) \times 100$$

Dónde:

Ee= Expansión elástica, cm^3

Ep%= Expansión permanente, %

Et= Expansión total, cm^3

Ep=Expansión permanente, cm^3

En general este procedimiento se utiliza para verificar la resistencia estructural de cilindros de gases comprimidos, disueltos y licuados.

3.3 Pruebas hidrostáticas y desplazamiento volumétrico

En general en el ensayo de presión hidrostático se pueden clasificar dependiendo de su aplicación:

1. Prueba Hidrostática a recipientes o equipos sometidos a presión (calderas, tanques, reactores, digestores, autoclaves de uso médico o industrial, etc.)
2. Prueba Hidrostática a líneas o ductos, o secciones de estos, que transporten fluidos o hidrocarburos (gaseoductos, oleoductos, transporte de minerales por tuberías, etc.)
3. Prueba Hidrostática a cilindros de acero que contienen gases comprimidos, disueltos o licuados (aire, oxigeno, acetileno, gas licuado de petróleo, dióxido de carbono, etc.)

En general, todo ensayo de presión genera una expansión en el volumen del recipiente, línea, ducto o cilindro dependiendo del espesor de la pared. Este ensayo (de Expansión Volumétrica), se aplica a cilindros de gases comprimidos, disueltos o licuados debido a la envergadura de sus dimensiones. El método utilizado es camisa de agua y bureta de nivel de acuerdo a especificaciones que entrega la NCh 2247 Of.95 del Instituto Nacional de Normalización. Básicamente este procedimiento de ensayo consiste en:

a) Encerrar el cilindro, que se somete a ensayo, suspendido, en un recipiente lleno de agua (camisa de agua), recipiente que está provisto de las conexiones y accesorios necesarios;

b) Aplicar la presión hidrostática de ensayo correspondiente en el interior del cilindro;

c) Medir el volumen total de agua desplazada desde el recipiente por la expansión del cilindro bajo el efecto de la presión;

d) Medir el volumen de agua desplazada desde el recipiente por la expansión residual del cilindro, al cesar la presión en el interior del cilindro.

Los volúmenes medidos representaran el volumen total (Et) y la expansión volumétrica permanente (Ep) del cilindro puesto a prueba.

La bureta de nivel debe ser ajustable, de modo que se pueda obtener el cero absoluto antes de la expansión total y expansión permanente debido a la expansión volumétrica del cilindro, producida por la presión hidrostática generada en el interior del recipiente ensayado.

3.4 Efectos de la temperatura del fluido de prueba sobre el recipiente a ensayar (fractura frágil).

La fractura frágil es una particularidad de los aceros de bajo porcentaje de carbono y estructura atómica cristalina cubica de cuerpo centrado y hexagonal. Bajo condiciones de temperatura ambiente el recipiente o ducto tiene suficiente ductilidad (capacidad de deformarse y volver a su estado normal) para soportar una prueba hidrostática, al contrario, si este, antes del ensayo está expuesto a bajas temperaturas por el fluido o por condiciones ambientales o geográficas, se vuelve frágil como un vidrio o un cerámico, por lo cual, el recipiente o ducto corren el riego de una fractura frágil.

Es importante que el fluido con el cual se realizará el ensayo presión de hidrostático, se encuentre a la misma (o similar), temperatura respecto de la estructura que se someterá al ensayo, esta temperatura deberá ser mayor que 17°C y menor a 50°C para disminuir el riesgo de ruptura debido a una fractura frágil.

3.5 Pruebas hidrostáticas/pruebas neumáticas: ventajas y desventajas de cada una de ellas.

En ciertas ocasiones y dependiendo del tipo de recipiente de presión, es factible realizar un ensayo de presión utilizando algún tipo de gas (pruebas neumáticas). Las pruebas de presión hidrostática y pruebas de presión neumática poseen características físicas distintas y ambas presentan ventajas y desventajas, las cuales se presentan a continuación:

Ventajas del ensayo de presión hidrostático:

- Fluido de trabajo económico (normalmente se utiliza agua).
- Fluido de prueba incompresible que no representa riesgos de importancia en caso de falla.
- Se detecta fácilmente una filtración y/o deformación del recipiente de presión
- Comprueba las condiciones de seguridad tanto de las personas como de las instalaciones.

Desventajas del ensayo de presión hidrostático:

- Requiere limpieza en el interior del recipiente de presión antes y después de la prueba.
- Riesgo de liberar agua con gran cantidad de energía capaz de ocasionar daños.
- Riesgo de producir daños a instalaciones.

Ventajas del ensayo de presión neumática:

- Fluido económico (si es aire).
- No requiere limpieza posterior a la prueba.
- No requiere retirar instrumentación del recipiente siempre y cuando estos se encuentren dentro del rango de la presión de la prueba,
- Comprueba las condiciones de seguridad tanto de las personas como de las instalaciones.

Desventajas de prueba neumática:

- Riesgo de explosión (aire es un gas compresible).
- Fluido no económico (si son gases inertes)
- Se deben instalar barreras de protección durante la prueba.
- Se debe tomar distancia mientras se realiza la prueba.
- Riesgo de ocasionar daños e incluso muertes.
- Riesgo de producir daños a las instalaciones.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la evolución del trabajo en el ámbito tecnológico e industrial se ha tenido la necesidad de utilizar recipientes sometidos a presión con el objeto de: proveer energía calórica a través de plantas térmicas o centrales de energía (calderas), almacenamiento de líquidos y gases (tanques y cilindros), transporte de fluidos (líneas y ductos) , realizar tratamientos de esterilización de insumos médicos (autoclaves de vapor), tratamientos médicos de ciertas patologías (cámaras hiperbáricas), así como también, el consumo de gases comprimidos para procesos industriales y de uso doméstico (preparación de alimentos y de calefacción), etc.

En todos los procesos, tratamientos y aplicaciones indicados en el párrafo anterior, entre otros no mencionados, son realizados o suministrados mediante la utilización de recipientes, tanques, líneas y ductos sometidos a presión, y teniendo siempre presente la necesidad de resguardar la seguridad de los operadores, usuarios e instalaciones, es de vital relevancia realizar pruebas o ensayos de presión hidrostáticas para comprobar la hermeticidad y la resistencia estructural necesaria para soportar las presiones a las cuales están sometidos constantemente, verificar los parámetros de diseño, además de verificar que las condiciones de diseño originales no han variado durante la vida útil del equipo.

5. BIBLIOGRAFIA

- Código American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- Normas de la National Fire Protection Association (NFPA)
- Normas de la Directiva 97/23/CE sobre equipos de presión de la Comunidad Europea
- Decreto Supremo N° 10/12 del Ministerio de Salud que aprueba el Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que utilizan Vapor de Agua
- Norma Chilena Oficial NCh 2244.Of95 del Instituto Nacional de Normalización: Gases Comprimidos – Inspección Periódica de Cilindros de Acero.
- Norma Chilena Oficial NCh 2247.Of95 del Instituto Nacional de Normalización: Cilindros para Gases Comprimidos – Ensayo de presión hidrostática.
- Norma Chilena Oficial NCh 328.Of2006 del Instituto Nacional de Normalización: Gases licuados de petróleo – Cilindros y tanques de aceros soldados – Métodos de Ensayo.