



EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS EN RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

MANUEL SÁNCHEZ, FRANCISCO ALBA, CARLOS GUEVARA, HUGO GALDEANO, ESTEBAN ROJOS, RAMÓN FIDALGO, ÓSCAR FLORES, HÉCTOR MOLINA

Universidad Nacional De San Juan
Instituto De Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería
Libertador 1109 -oeste-, 5400 San Juan (Argentina)

(Recibido 10 de julio de 2012, para publicación 15 de diciembre de 2012)

Resumen – Diversas normativas establecen que los recipientes de almacenamiento de combustibles deben ser auditados periódicamente para determinar su seguridad. Entre los diversos tipos de controles se encuentran inspecciones visuales, controles de espesor de las paredes de recipientes y tuberías y pruebas de estanqueidad [1,2,4,5]. La normativa establece el tipo de ensayo a realizar, incorporando lo especificado por normas internacionales tales como las normas sobre petróleo (API) [3] y las normas medioambientales (EPA). En general las pruebas prevén la carga de los recipientes con un gas inerte (nitrógeno) a una presión determinada, la que se evalúa durante un cierto tiempo (por ejemplo 30 minutos). Por otro lado las mismas normas establecen que el método de ensayo debe determinar con cierto grado de certeza la magnitud de las eventuales pérdidas, en litros de combustible por hora, y que la metodología debe tener una sensibilidad tal que pueda detectar desde una cantidad mínima de pérdidas (por ejemplo 0,2 litros por hora). Dado que el ensayo determina un flujo de gas inerte, se deben corregir los valores obtenidos para el mismo, de manera que se refleje adecuadamente la pérdida que se produciría si el tanque hubiese estado lleno de combustible. Este trabajo muestra el desarrollo de una metodología para la determinación del volumen de pérdidas de combustible a partir de los resultados de ensayos realizados con un gas inerte.

Palabras clave – Estanqueidad, almacenamiento de combustibles, pérdidas volumétricas.

1. INTRODUCCIÓN

Las auditorías técnicas, ambientales y de seguridad en áreas de almacenaje de hidrocarburos y derivados, según lo establecido en el marco de la Resolución 266/2008 de la Secretaría de Energía de la Nación, se efectúan en las siguientes especialidades:

- a) Refinerías de Petróleo.
- b) Bocas de Expendio de Combustibles Líquidos.
- c) Plantas de Fraccionamiento de Gas Licuado de Petróleo e Instalaciones Fijas a Granel de Gas Licuado de Petróleo en Envases o Cilindros.
- d) Auditorías en Tanques Cisterna para Transporte por la Vía Pública de Combustibles Líquidos y Gases Licuados de Petróleo.

En el caso **b**, una de las auditorías que se debe realizar se denomina "Prueba de Hermeticidad y en el caso **d** una de las auditorías que se debe realizar se denomina "Prueba de estanqueidad" [6,7,8]

1.1. Tipos de pruebas de Hermeticidad

1. Presión: Se carga el recipiente con presión y se mide la variación de la misma.
2. Vacío: Se realiza un vacío parcial en el recipiente, y se miden las variaciones del mismo.

3. Sonido: Se realiza vacío en el recipiente y se "escucha" por medio de micrófonos el ingreso de aire al recipiente.

A los efectos de determinar la estanqueidad y/o hermeticidad de un recipiente se deben realizar las siguientes acciones.

1. Sellar los accesos.
2. Presurizar el recipiente.
3. Controlar las variaciones de presión en el tiempo.

Estas acciones conllevan el desarrollo de metodologías y equipamientos adecuados a los efectos de:

- Garantizar la calidad de la determinación.
- Reducir los riesgos.
- Reducir los tiempos de ensayo.
- Reducir los costos.

Para cumplir con estos objetivos, es necesario el desarrollo de equipamiento que por un lado presente características de precisión y confiabilidad en las determinaciones, mientras se mantienen acotados los costos de adquisición, operación y reparación a los efectos de extender su uso [9,10]. Es fundamental en este caso, el desarrollo de equipamiento con tecnología apropiada para lograr estos objetivos.

1.2. Sellado

El sellado de los accesos a los recipientes que contienen combustibles (líquidos o gaseosos) representa una tarea compleja toda vez que los mismos presentan varios accesos con diferentes diámetros, distintos tipos de conexiones, se encuentran en lugares de difícil acceso y han sufrido de diversas formas el paso del tiempo presentando corrosión, suciedad e incluso frecuentemente modificaciones que dificultan su sellado.

En este aspecto es necesario desarrollar una serie de accesorios de sellado que permitan cubrir una gama lo más amplia posible de accesos, teniendo en cuenta además una operación rápida y segura.

1.3. Presurizado

El presurizado de los recipientes a controlar se puede hacer con presión positiva (nitrógeno) o negativa (vacío), siendo la magnitud de la misma de algunas décimas de bar, típicamente alrededor de 0,2 bar.

Para realizar la acción de presurizado de manera precisa y segura, es necesario contar con equipamiento confiable que permita una regulación y control del proceso a los efectos de evitar sobrepresiones y golpes de presión.

Los métodos básicos a utilizar son nitrógeno comprimido para presión positiva y bomba de vacío para presión negativa.

A estos elementos se deben agregar accesorios para medición y control del llenado (o vaciado), teniendo en cuenta, como ya se dijo, la seguridad y también los tiempos de operación.

1.4. Control de Presión

Una vez presurizado o evacuado el recipiente, es necesario medir variaciones en la presión de carga a los efectos de poder determinar la estanqueidad. Típicamente se trata de verificar la constancia o no de la presión en un lapso de alrededor de media hora [11,12]. Sin embargo, es necesario medir la presión con gran precisión para poder detectar variaciones muy pequeñas de la misma. Típicamente los recipientes poseen volúmenes de decenas de miles de litros, con lo cual si se cargan presiones de 0.2 bar habrá que poder leer variaciones de 0.0002 para detectar pérdidas del orden de un litro de combustible por hora. Esto es especialmente importante en tanques subterráneos, ya que este nivel de pérdidas, de pasar inadvertidas significaría un vertido de 8760 l/año.

En este trabajo se encuentra por lo tanto un análisis detallado de las variaciones de volumen y su relación con las variaciones de presión.

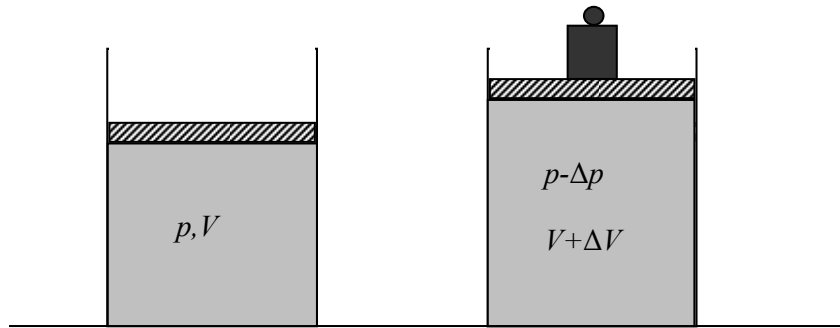


Fig. 1. Aumento del volumen debido a una reducción de la presión a temperatura constante.

A los efectos de detectar pérdidas en los recipientes, se cargan los mismos con nitrógeno a presión (típicamente 0,2 bar) y se miden las variaciones en el tiempo (típicamente 30 minutos), y se realiza una medición indirecta del volumen derramado a través de la medición de la variación de las presiones en el recipiente [13,14].

2. REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN DEBIDO AL AUMENTO DE VOLUMEN

En la Fig. 1 se plantea la problemática del aumento del volumen de un gas contenido en un recipiente debido a la reducción de la presión, y se desea encontrar la relación entre el cambio de presiones Δp y el cambio de volumen ΔV .

Considerando que la transformación se realiza a temperatura constante, se debe aplicar la ley de *Boyle Mariotte* que dice:

$$p V = \text{cte.} \quad (1)$$

Por lo tanto, para el final de la transformación se puede escribir

$$(p - \Delta p) \cdot (V + \Delta V) = \text{cte} \quad (2)$$

Desarrollando resulta

$$p \cdot V + p \cdot \Delta V - V \cdot \Delta p - \Delta p \cdot \Delta V = \text{cte} \quad (3)$$

Combinando (1) y (3) se obtiene

$$p \cdot \Delta V - V \cdot \Delta p - \Delta V \cdot \Delta p = 0 \quad (4)$$

Agrupando los términos en p y en V resulta:

$$\Delta p/p = (\Delta V/V) / (1 + \Delta V/V) \quad (5)$$

Considerando que $(\Delta V/V)$ es en general mucho menor que 1 (en general $(\Delta V/V)$ alrededor de 0.0001) se puede admitir que

$$\Delta p/p = \Delta V/V \quad (6)$$

3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LA PRESIÓN

Como se ve en la ecuación (6) cuanto más precisa sea la determinación de Δp , se podrán detectar pérdidas (ΔV) más pequeñas, aumentando la confiabilidad del ensayo.

Los instrumentos de medición tienen un parámetro que se denomina "Clase" y que relaciona la medida máxima a fondo de escala con la menor medida confiable en por ciento. Así, un aparato que mida 500

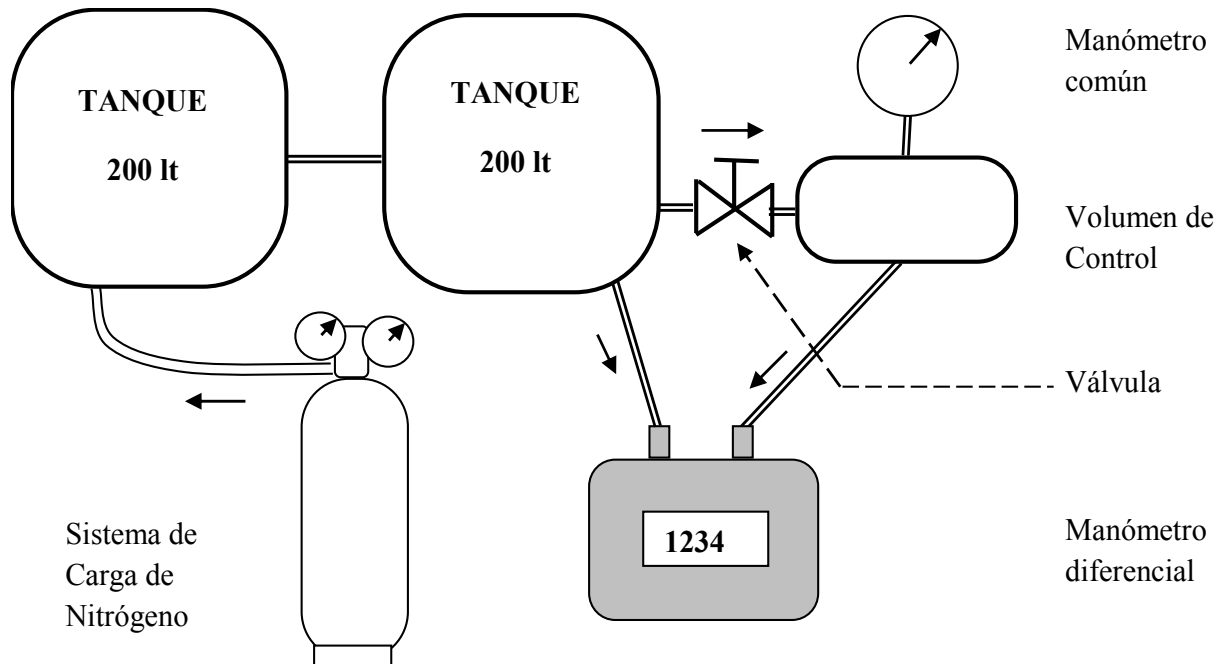


Fig. 2. Esquema propuesto para la carga y determinación de Estanqueidad/Hermeticidad.

unidades a fondo de escala y posea una Clase 0,1 tendrá un error de 0,5 unidades, es decir un milésimo de la máxima. Los instrumentos de muy buena calidad poseen Clase 0,1 y los de calidad media poseen Clase 1,0

En general, los recipientes de combustible de estaciones de servicio y camiones cisternas, poseen volúmenes del orden de las decenas de miles de litros, y se cargan con 0,2 bar (20.000 Pa). Para determinar la presión de carga de los recipientes se debe usar un manómetro de alrededor de 0,5 bar (50000 Pa) para que trabaje al menos en la zona media de la escala.

Si se trata de un tanque de 10.000 l, y se desea detectar pérdidas menores a un litro, en el tiempo de ensayo, según la ecuación (9) deberíamos poder determinar la diezmilésima parte de la presión de carga, es decir 2 Pa.

Por otro lado, si usamos un instrumento clase 0,1, solo podríamos detectar variaciones de un milésimo de la presión de carga.

Para salvar este inconveniente se propone el esquema de medición de la Fig. 2. Allí se puede ver el tanque a ser auditado junto con el sistema de carga de nitrógeno. A los efectos de determinar por un lado la presión de carga y por otro observar las variaciones de presión en el tiempo, se ha conectado al tanque un volumen de control a través de una válvula. El volumen de control está, a su vez conectado a un manómetro común que mide la presión de carga, y por otro lado se ha instalado un manómetro diferencial, que determina las diferencias de presión entre el tanque auditado y el volumen de control.

El ensayo se realiza de la siguiente manera: Con la válvula abierta, se carga nitrógeno al sistema hasta que el manómetro común indique la presión de carga deseada (típicamente 0,2 bar). El manómetro de carga indicará 0,2 bar., pues tanto el tanque como el volumen de control están a la misma presión.

Al finalizar la carga se cierra la válvula, con lo que se independiza el tanque del volumen de control. Si aparecen pérdidas en el tanque, las mismas serán registradas como una diferencia entre la presión de éste y la presión del volumen de control por el manómetro diferencial. La ventaja de este esquema, es que el manómetro diferencial puede ser muy sensible y registrar pérdidas mucho menores que la milésima de la presión de carga.

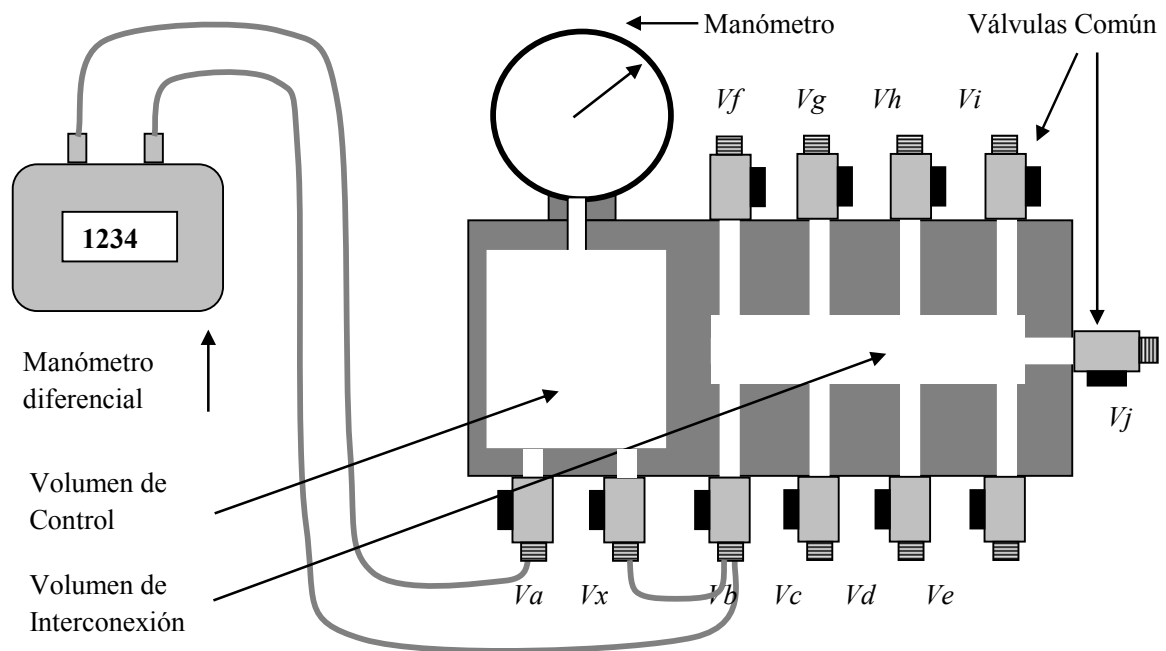


Fig. 3. Manifold de conexiones con válvulas de acceso y manómetros.



Fig. 4. Izquierda: Sistema de ensayo con los dos tanques y el Manifold. Derecha: Detalle del Manifold con las válvulas de maniobra, el manómetro común y al frente, las mangueras de conexión para el manómetro diferencial.

4. EQUIPO DE ENSAYOS

A los efectos de comprobar la utilidad del esquema propuesto, se construyó un equipo de ensayos, utilizando dos tanques de 200 litros conectados entre sí, totalizando 400 litros, como tanque auditado (ver Figuras 2 y 4). Esto es, una escala entre diez y cien veces menor que la real.

Se eligió un manómetro común de 0,5 bar. a fondo de escala, clase 1.

Se construyó un dispositivo de control que incluía el volumen de control de $0,0005 \text{ m}^3$, y un sistema de válvulas de maniobra que hemos denominado "MANIFOLD" (ver Fig. 3).



Fig. 5. Manómetro diferencial marca DPT Clase 1 de 50/100 Pa. a fondo de escala mostrando las conexiones eléctricas, de datos y de presión.

El mismo está realizado por mecanizado de un trozo de grillón y su esquema se puede ver en la Fig. 3. Se interconectó todo con mangueras tipo cristal de 9 mm.

Se utilizó un manómetro diferencial DPT Clase 1 de 50/100 Pa a fondo de escala (ver Fig. 5)

El manómetro diferencial se conectó a una computadora, y por medio del programa LabView se desarrolló un aplicativo para visualizar y guardar las mediciones.

La cantidad de válvulas y conexiones disponibles resulta de la necesidad de auditar tanques cisterna de camiones que poseen típicamente entre 4 y 7 compartimientos. En tal caso se cargan todos los compartimientos simultáneamente y luego, transcurrida la media hora de espera, se compara la presión de cada compartimiento con la presión del volumen de referencia, lo que ahorra tiempo.

Por otro lado, si se desea detectar pérdidas entre compartimientos, se deben cargar alternadamente, evitando cargar simultáneamente dos compartimientos vecinos.

En principio, la carga de nitrógeno se hacía por una de las válvulas del Manifold, por ejemplo la válvula V_j . Sin embargo, se determinó que era preferible incorporar un juego de mangueras de mayor sección, que alimentara a los tanques en forma directa, y otro de menor sección, que transmitiera la señal de presión de los tanques al Manifold, como se ve en la Fig. 2.

Las válvulas V_a y V_b deben estar cerradas durante la carga de nitrógeno, a los efectos de proteger el manómetro diferencial. Esto obedece al hecho que durante este proceso se registran picos de presión que pueden superar la presión máxima tolerada por el manómetro diferencial.

La medición se realiza a través de la ejecución de los siguientes pasos:

1. Cargar Nitrógeno en los recipientes a auditar a una presión de 0,2 bar (20000 Pa).
2. Igualar presiones entre el volumen de control y los recipientes, vinculándolos a través del sistema de válvulas del Manifold.
3. Aislar los recipientes entre sí y respecto del volumen de control, cerrando las válvulas que correspondan
4. Comenzar la medición del tiempo de espera (30 minutos).
5. Transcurrido el tiempo de espera, comparar la presión de cada recipiente con la del volumen de control mediante el uso del manómetro diferencial.

5. ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL NITRÓGENO EN EL ORIFICIO

Para estimar la velocidad y el tipo de régimen en una perforación producida por una falla en la pared de un tanque de almacenamiento de combustible, utilizamos la ecuación que relaciona las pérdidas de presión y la velocidad en tuberías, que se reproduce a continuación.

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = f \left(\frac{l}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

donde

f : Factor de Fricción. Su valor se adoptará como 0,075 dado que la pared se considera muy rugosa pues:

a) la pinchadura proviene de desgarramiento del material

b) D es muy pequeño, por lo tanto γ/D es muy grande

D : Diámetro de la pinchadura. Se considera 0,0001 m

l : Longitud de la pinchadura, es igual al espesor de la chapa que constituye la pared del tanque. Se considerará 0,005 m

l/D : Cociente entre la longitud y el diámetro de la pinchadura. De acuerdo a los valores adoptados resulta un valor de 50.

p : Diferencia de presiones entre el interior y el exterior del tanque.

Se utilizará la presión de carga para los ensayos normalizados, que es igual a 2000 kg/m² para ambos fluidos (nitrógeno y combustible)

γ : Peso específico. Se adoptará 1,26 kg/m³ para el nitrógeno y 680 kg/m³ para el combustible.

ν : Viscosidad cinemática. Se adoptará 1,429 10⁻⁵ m²/s para el nitrógeno y 4,5 10⁻⁷ m²/s para el combustible.

Ahora realizaremos cálculos para estimar la velocidad en el conducto formado por la pinchadura considerando régimen turbulento y régimen laminar.

5.1. Régimen turbulento

Despejando V de (7) y denominando V_T a la velocidad y f_T al factor de fricción resulta:

$$V_T = \sqrt{\frac{\Delta p \cdot 2g}{\gamma f_T (l/D)}} \quad (8)$$

Reemplazando los datos obtenemos la velocidad que se obtendría si el régimen fuese turbulento, cuyo valor es:

$$V_T = 91,13 \text{ [m/s]}$$

A los efectos de verificar si el régimen elegido es correcto, calculamos el Número de Reynolds con la velocidad obtenida, con lo que resulta:

$$\text{Re}_T = \frac{V_T D}{\nu} \quad \text{Re}_T = 637,72$$

5.2. Régimen Laminar

Para el caso de régimen laminar, nuevamente utilizamos la ecuación (7) denominando V_L a la velocidad y f_L al factor de fricción, y serán

$$f_L = 64/\text{Re} \text{ y } \text{Re} = \frac{V_L D}{\nu}$$

Reemplazando en (10) la diferencia de presiones se calculará como:

$$\Delta p = \gamma \frac{\nu \cdot 64}{V_L D} \frac{l}{D} \frac{V_L^2}{2g} \quad (9)$$

Ordenando y simplificando obtenemos

$$\Delta p = 32 \gamma \nu \frac{1}{D^2} \frac{V_L}{g} \quad (10)$$

por lo tanto

$$V_L = \frac{\Delta p D^2 g}{32 l \gamma \nu} \quad (11)$$

Con los datos definidos más arriba resulta:

$$\boxed{V_L = 54,07 \text{ m/s}} \text{ y } \boxed{Re_L = 300,37}$$

5.3. Régimen que se establecerá

Cabe ahora preguntarse cuál será el régimen que se establecerá en este caso.

Aquí se puede emplear el siguiente razonamiento:

Supongamos que se instala el orificio en estudio en un banco de ensayos y se aumenta progresivamente la diferencia de presiones entre ambos extremos. Podemos afirmar que primero se establecerá la velocidad menor, es decir que se llegará a 54,07 m/s antes que a 91,13 m/s por lo tanto el valor que se establecerá será el primero, es decir 54,07 m/s.

5.4. Relación entre velocidad y diámetro

A continuación se realizaron cálculos tratando de determinar la relación que existe entre el diámetro del orificio y la velocidad de fluido que se establece en el mismo. Aquí se determinará también el régimen del escurrimiento.

5.5. Nitrógeno

En la Fig. 6 se muestran cálculos de la velocidad y números de Reynolds en un orificio de longitud 0,005 m y diámetros crecientes entre 0,0001 y 0,001 m, cuando el fluido es Nitrógeno. Se calcula la velocidad para régimen laminar y turbulento, denominándolas V_L y V_T respectivamente.

De acuerdo a la hipótesis anterior, se considera que se establecerá el régimen que posea la menor velocidad, por lo tanto, se ha eliminado parte de la curva de régimen laminar, esto es: allí donde la velocidad para dicho régimen es muy superior a la de régimen turbulento. Se puede observar que el punto de corte aparece para un diámetro de alrededor de 0,00014 m o sea 0,14 mm. Por lo tanto se puede asumir que en casi todo el rango el régimen que se establecerá es el turbulento.

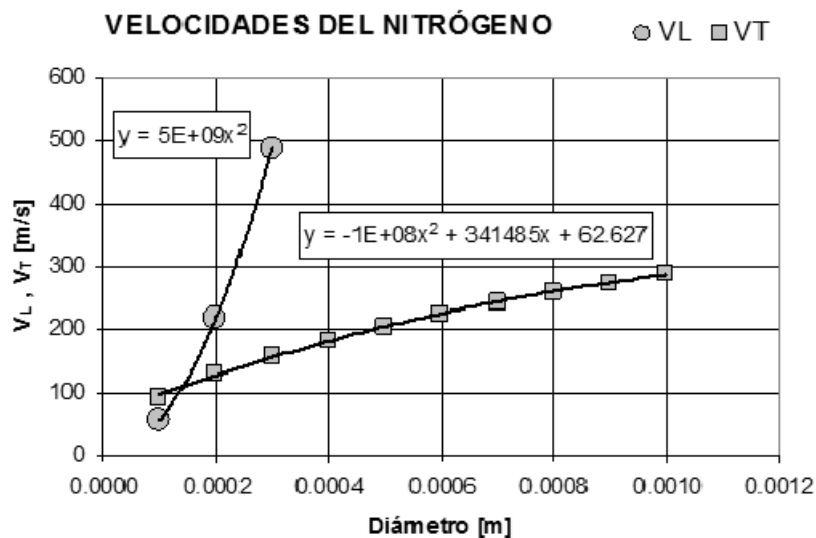


Fig. 6. Velocidades del nitrógeno en función del diámetro para regímenes laminar y turbulento. Punto de corte aprox. 0,00014 m.

5.6. Combustible

En la Fig. 7 se muestran cálculos de la velocidad y números de Reynolds en un orificio de longitud 0,005 m y diámetros crecientes entre 0,0001 y 0,001m, cuando el fluido es Combustible. Se calcula la velocidad para régimen laminar y turbulento, denominándolas V_L y V_T respectivamente.

De acuerdo a la hipótesis anterior, se considera que se establecerá el régimen que posea la menor velocidad, por lo tanto, se ha eliminado parte de la curva de régimen laminar, allí donde la velocidad para dicho régimen es muy superior a la de régimen turbulento. Se puede observar que en todo el rango la velocidad del régimen turbulento es menor que la laminar. Se puede asumir que en todo el rango el régimen que se establecerá, es el turbulento.

5.7. Relación entre la pérdida de nitrógeno medida en el ensayo y la pérdida de combustible.

Se parte de la suposición que la diferencia de presiones entre el interior y el exterior del tanque motivo de análisis (típicamente 0,2 bar) es la misma en ambos casos, ya que la presión de carga del ensayo Δp_N es aproximadamente la misma que tiene lugar en la realidad en el punto de mayor presión del tanque cuando está lleno de combustible Δp_C .

$$\Delta p_N = \Delta p_C \quad (12)$$

Reemplazando la ecuación (7) en ambos miembros obtenemos

$$\gamma_N f_N \frac{l V_N^2}{D 2g} = \gamma_C f_C \frac{l V_C^2}{D 2g} \quad (13)$$

Como se ha demostrado más arriba, asumimos que se establece el régimen turbulento por lo que $f_N=f_C$. Reemplazando queda:

$$\gamma_N V_N^2 = \gamma_C V_C^2 \quad (14)$$

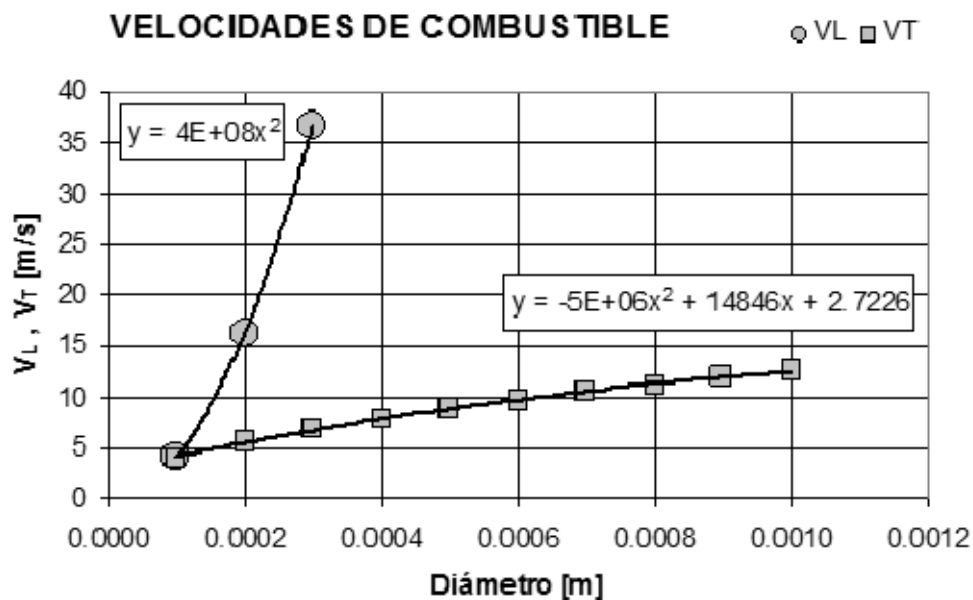


Fig. 7. Velocidades del combustible en función del diámetro para regímenes laminar y turbulento. Punto de corte aprox. 0,0001.

y por lo tanto

$$V_C = V_N \sqrt{\frac{\gamma_N}{\gamma_C}} \quad (15)$$

Considerando $\gamma_N = 1,26 \text{ kg/m}^3$ $\gamma_C = 680 \text{ kg/m}^3$ resulta

$$V_C = 0,043 V_N$$

Es decir que la velocidad del combustible es unas veinte veces menor que la del nitrógeno. Con la ecuación anterior es posible convertir los caudales de nitrógeno determinados en los ensayos, a caudales de combustible que tienen lugar durante la operación del tanque. Aquí hay que considerar que estos son los caudales que tendrían lugar si el tanque se encontrase lleno de combustible y la pérdida se encontrase a una profundidad igual a $\Delta p_C / \gamma_C$. Para el caso del peso específico del combustible (gasolina $\gamma_C = 680 \text{ Kg/m}^3$) y la presión de carga de ensayo mencionada anteriormente (2000 Kg/m^2) la altura considerada sería 2,94 m.

Es decir, se estaría considerando que el orificio de pérdida está ubicado a una profundidad de 3m aproximadamente.

6. RESULTADOS

Se ensayaron dos volúmenes, el primero de 200 l (un tanque) y el segundo de 400 l (dos tanques)

Realizando extracciones de 4, 8, 12, 20, 30, 40, 50 y 60 ml lo que implica un rango de $\Delta V/V$ entre 0,00001 y 0,0003, se obtuvieron las curvas que se muestran en la Fig. 8. En dicha figura, se ve además el resultado de la predicción del modelo teórico representado por la ecuación (6). Como se puede apreciar, los ensayos y el modelo teórico se corresponden adecuadamente, sobre todo hasta valores de $\Delta V/V$ de 0,0001.

Además se han podido detectar pérdidas de hasta 1/100000 del volumen del tanque (lo que en un tanque de 10000 l representaría una pérdida de 100 ml).

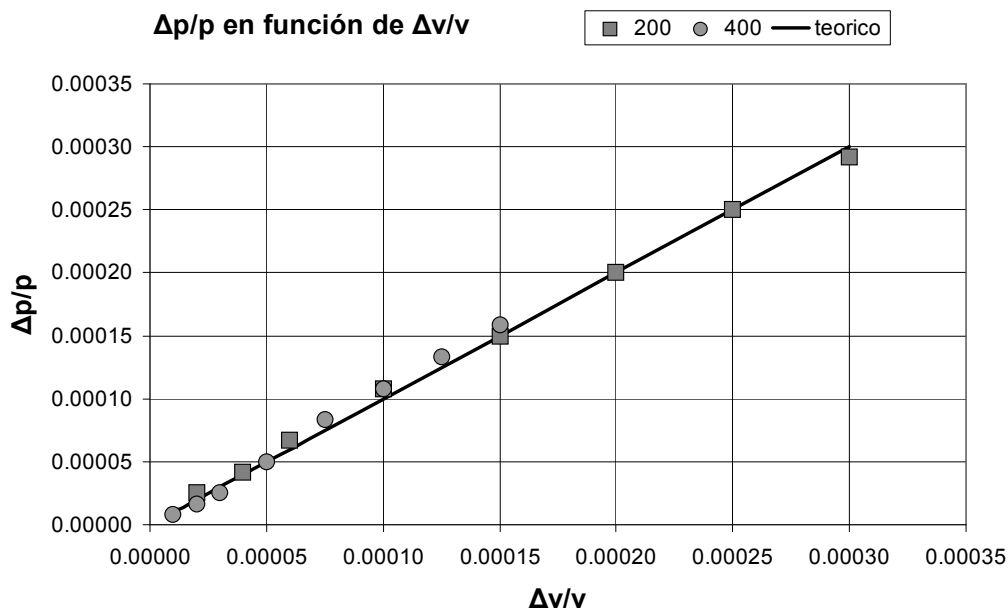


Fig. 8. Comparación entre ensayos para volúmenes de 200 l, 400 l. y el modelo teórico de la ec. (6).

Finalmente se realizó una prueba dinámica, consistente en medir el tiempo en que se detectaba una pérdida pequeña. Para ello, se perforó una de las mangueras cristal con un alfiler de 0,4 mm, lo que deja un agujero de diámetro mucho menor, dado que al extraer el alfiler, el agujero se contrae. A pesar de la ínfima dimensión de esta pérdida simulada, la misma fue detectada en menos de 1 segundo.

Como se puede apreciar, podemos detectar pérdidas de nitrógeno del orden de 0,00001 del volumen del tanque. En el caso de que el combustible fuese gasolina, habría que multiplicar este valor por 0,043, con lo que resulta que se puede detectar pérdidas del orden de una millonésima parte del volumen del tanque, y esto, en un tanque de 50000 l, por ejemplo, representaría un volumen de pérdida de 50 ml.

7. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un equipo para detectar pérdidas en tanques de almacenamiento de combustibles que se basa en la medición de las variaciones de presión. La metodología de medición de presiones utilizada ha permitido detectar pérdidas de 1/100000 del volumen del tanque. Finalmente se ha simulado una pérdida muy pequeña, la cual ha sido detectada de inmediato por el equipo. Por lo expuesto, se considera que el equipo en cuestión cumple holgadamente con los requerimientos de las normas.

REFERENCIAS

- [1] Michlin, Y., Pistiner, A., "Evaluation of a portable device for volumetric UST tightness testing", *Advances in Environmental Research*, 7(4), 871-881 (2003)
- [2] Farahnak, Sh.D., Drewry, M.M., Are Leak Detection Methods Effective In Finding Leaks in Underground Storage Tank Systems? (Leaking Site Survey Report) California Environmental Protection Agency (1998)
- [3] API - Technical Review of Leak Detection Technologies Volume II Aboveground Bulk Fuel Storage Tanks - Alaska Department of Aboveground Bulk Fuel Storage Tanks Environmental Conservation (2007)
- [4] Durgin, P.B., Young, T.M., Leak detection for underground storage tanks, ASTM Publication code number (PCN) 04- 011610-65 (2001)
- [5] Maresca, J.W., et al., Evaluation of volumetric leak detection methods used in underground storage tanks, *J. Hazard. Mater.*, 26, 261-300 (1991)
- [6] Griebenow, G., Mears, M., "Leak Detection Implementations: Modeling and Tuning Methods", *American Society of Mechanical Engineers*, Petroleum Division, 19, 9-18 (1988).
- [7] Leitko, A.D., Pressure point analysis: Evaluation of Ed Farmer and Associates' Leak detection System, Shell Technical progress report WRC 330-88, EP 89 1109 (1989).
- [8] Argyropoulos, C.D., Christolis, M.N., Nivolianitou, Z., Markatos, N.C., A hazards assessment methodology for large liquid hydrocarbon fuel tanks, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (2011)
- [9] Johnsson, L., Larson, M., Leak detection through hydraulic transient analysis, Pipeline Systems. *Kluwer Academic Publishers*, 273-286 (1992)
- [10] Ivetic', M., Savic, D.A., Practical Implications of Using Induced Transients for Leak Detection. 3rd World Water Forum, Kyoto, Session. Integrated River Basin Environment Assessment (2002)
- [11] Liu, F., Guo, X., Hu, D., Guo, W., Ji, N., "Comprehensive inspection and evaluation technique for atmospheric storage tanks", *Nondestructive Testing and Evaluation*, 25(1), 45-59 (2010)
- [12] Michlin, Y., Pistiner, A., "Evaluation of a portable device for volumetric UST tightness testing", *Advances in Environmental Research*, 7, 871-880 (2003)
- [13] Shuai, J., Han, K., Xu, X., "Risk-based inspection for large-scale crude oil tanks", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25, 166e175 (2012)
- [14] Rao, B.P.S., Ansari, F., Ankam, S., Kumar, A., Pandit, V.I., Nema, P., "Estimating Fugitive Emission Budget of Volatile Organic Carbon (VOC) in a Petroleum Refinery", *Environ. Contam. Toxicol.* 75,127-134 (2005)

EVALUATION OF VOLUMETRIC LOSSES IN FUEL STORAGE CONTAINERS

Abstract – Fuel handling safety regulations provide that fuel storage containers must be audited periodically to determine their integrity. Among the various types of controls there are visual inspections, thickness controls of the walls of vessels and piping and tightness testings [1,2,4,5]. The regulations establish the type of test to be performed, incorporating international standards such as oil standards (API) [3] and environmental standards (EPA). Those tests generally perform the filling of the containers with an inert gas at a given pressure, which is evaluated for a certain period of time. On the other hand the same standards provide that the test method must determine with some certainty the magnitude of potential losses in litres of fuel per hour, and that the methodology should be of such sensitivity that can detect a minimum amount of losses (for example 0.2 litres per hour). Since the test determines a flow of inert gas, it must be corrected so that the loss that would occur if the tank had been filled with fuel is properly reflected. This paper shows the development of a methodology for determining the volume of fuel leaks from the results of tests with an inert gas..

Keywords – Tightness, Fuel storage, Volumetric losses.