

MÉTODOS Y PRINCIPIOS PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS EMPLEADOS DURANTE EL ENSAMBLAJE E INTEGRACION DE VEHICULOS ESPACIALES.

Kristal N. Varela M.
 e-mail: kvarela@abae.gob.ve

RESUMEN: La detección de fuga constituye una prueba de gran importancia para la validación del buen funcionamiento y tiempo de vida útil en vehículos espaciales. Este trabajo pretende ser una guía rápida de los principios básicos de la detección de fugas, así como también definir los métodos más importantes utilizados para la localización y cuantificación de las fugas presentes. La elección de un método resulta de interés al momento de la realización de las pruebas a fines de optimizar condiciones como sensibilidad, costo de operación, complejidad, etc.

PALABRAS CLAVE: Prueba de fugas, tasa de fuga, sensibilidad, detectores de fuga.

1 INTRODUCCIÓN

La condición básica para la existencia de fuga es la presencia de una diferencia de presión entre el interior y el exterior en un producto sellado. Los vehículos espaciales están sometidos a diferencia de presión desde su lanzamiento, hasta el final de su vida útil, por lo que es necesario la realización de pruebas para la localización y reparación de fugas que no cumplan con los requerimientos necesarios.

La prueba realizada para la detección de fugas, es el procedimiento que se encarga en principio de su exacta localización con la finalidad de obtener el valor de la tasa de fuga para el producto en particular, a fin de establecer la conformidad entre el valor medido y el permitido. La elección y utilización de un método adecuado no destructivo, de alta precisión, fiable y factible es fundamental, porque se debe garantizar la racionalidad del sellado, rendimiento y la fiabilidad y calidad del ensamblaje, a fin de asegurar el funcionamiento confiable en órbita.

En vehículos espaciales el objeto principal de la prueba de fugas es el sistema de propulsión y las unidades que lo conforman, como propulsores, tanque de combustible, etc., ya que de ocurrir una fuga en el sistema de propulsión, impactará de manera directa la puesta en marcha y funcionamiento del vehículo espacial, por esto la prueba de fuga es realizada con gran rigurosidad a todas las conexiones atornilladas, así como a los cordones de soldaduras presentes en las tuberías del sistema de propulsión y demás componentes.

Métodos de gran sensibilidad han sido desarrollados y perfeccionados para avanzar con los requerimientos

cada vez más estrictos de la industria. Todos estos métodos son basados en la variación de una propiedad física medida sobre un lado del objeto de prueba, mientras que la presión o naturaleza del gas es cambiado del otro lado [1].

Muchos factores deben ser tomados en cuenta para la elección del método adecuado o combinación de ellos, en particular costos de los sistemas, complejidad, impacto ambiental, dependencia hacia el operador, influencia de condiciones externas, fiabilidad, etc. [2].

La detección de fugas es llevada a cabo a lo largo de todo el proceso de ensamblaje, integración y pruebas de todo el vehículo espacial. Pruebas de fugas prioritarias deben ser realizadas antes y después de llevar a cabo las siguientes pruebas: simulación de ambiente espacial, choque mecánico y pruebas dinámicas (acústicas y de vibración) [3].

2 TASA DE FUGA

La tasa de fuga se define como: la cantidad de un gas específico que pasa a través de la fuga en un cierto tiempo y bajo condiciones prescritas. De acuerdo con la ecuación de gases ideales:

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (1)$$

Se tiene que:

$$m = pV \frac{M}{RT} \quad (2)$$

Cuando T es invariable, $\frac{M}{RT}$ es una constante, por lo que la masa (m) es determinada por pV donde el valor de la presión (p) y del volumen (V) puede ser medido fácilmente. Así, se define la tasa de fuga como la cantidad (masa) de gas que pasa a través de la fuga por unidad de tiempo y es expresada:

$$Q = \frac{d(pV)}{dt} \quad (3)$$

La unidad para la tasa de fuga del sistema internacional es: $Pa \cdot m^3/s$. las unidades comúnmente usadas y los factores de conversiones para la tasa de fuga se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Sistema de conversión para tasa de fuga en diferentes sistemas de unidades

	mbar.l/s	Torr.l/s	Pa.m ³ /s	atm.cm ³ /s
mbar.l/s	1	0,75	100	0,987
Torr.l/s	1,33	1	133	1,32
Pa.m ³ /s	10 ⁻²	7,5.10 ⁻³	1	9,87.10 ⁻³
atm.cm ³ /s	1,013	0,76	101	1

El valor máximo de la fuga admisible es el valor límite, por debajo del cual el producto cumple con los requerimientos de sellado. Si la tasa de fuga del producto supera el valor de la fuga máximo admisible, el producto no podrá funcionar normalmente.

Dos tipos de tasa de fugas son requeridas, la tasa de fuga local, obtenida de las pruebas de fuga local realizadas a cada de una de las partes más importantes que formaran parte del objeto final (como costuras de soldaduras, conexiones atornilladas, válvulas, etc.) y la tasa de fuga total, determinada para todo el sistema o producto ensamblado mediante una prueba de fuga total.

3 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PRUEBA DE FUGA

Existen muchos métodos y equipos de pruebas para la detección de fugas, con características específicas y condiciones únicas, los cuales se adapta mejor a ciertas condiciones que a otras.

El tamaño de la fuga da lugar a varios efectos, que son utilizados para su localización y medición; las fugas grandes, envuelven gran flujo de gas que puede generar efectos mecánicos, mientras que las fugas pequeñas requieren métodos más precisos.

La producción de efectos mecánicos requiere gran energía, por lo que este tipo de métodos está limitado a fugas grandes, la emisión de sonido o burbujas son algunos de estos efectos. Este tipo de métodos se caracterizan por ser simples, rápidos de llevar a cabo y capaz de localizar las fugas. Su sensibilidad y tiempo depende del objeto de prueba [1].

Para el caso de fugas pequeñas, la energía del flujo de gas es muy pequeña para generar un efecto mecánico medible. En este caso, una alta sensibilidad es obtenida mediante la variación de una propiedad física del gas residual para el cual están disponibles métodos exactos y sensibles. Cuando la composición del gas residual es modificada mediante la inyección de un gas (gas indicador) que cambia localmente la composición del aire, siendo este cambio medible para determinar el tamaño y la posición de la fuga, por medio de la utilización de detectores sensibles a estos gases indicadores y a bajas concentraciones [1].

Cambios de presión medibles entre el objeto de prueba y el ambiente externo también son útiles para la determinación de existencia de fugas.

De acuerdo con esto se mencionan a continuación los métodos más utilizados para la detección de fugas.

3.1 Método de la burbuja

Este método consiste en presurizar el componente (normalmente con aire seco o nitrógeno), sumergirlo dentro de un tanque de agua y observar las burbujas que se escapan. Una fuga en el componente producirá la corriente de burbujas, la cual puede ser de intensidad alta o baja dependiendo del tamaño de la fuga, el tamaño de las burbujas también dependerá de este factor. La sensibilidad teórica de este método es alrededor de 10⁻² Pa.m³/s, sin embargo la sensibilidad real es 10⁻¹Pa.m³/s, y es influenciado por factores como condiciones de iluminación, necesaria para llevar a cabo la observación de pequeñas burbujas, turbidez del agua, la colocación y ubicación de la unidad y del movimiento del agua [4]. Además este método no es confiable por lo siguiente:

- El tamaño de la fuga no puede ser fácilmente cuantificado
- Los componentes requieren secado luego de la prueba
- Rendimientos bajos
- Es requerido gran espacio para la realización de la prueba
- Alta dependencia en la fiabilidad del operador
- Problemas con las burbujas (estas pueden quedar atrapadas en la estructura del componente, o no pueden ser producidas porque la fuga es muy pequeña, burbujas falsas también se pueden producir por aire atrapado en la estructura del componente durante su inmersión en agua)
- Ambiente de trabajado desagradable (pisos y operadores mojados, etc)

Este método es rudimentario y normalmente se utiliza solo para la determinar si en el objeto existen fugas o no. En algunos casos este método puede cuantificar la tasa de fuga. Sin embargo se puede mejorar su sensibilidad, aumentando la presión diferencial sobre el objeto de prueba, además también se pueden implementar de líquidos especiales como los fluorocarbonos que son de rápido secado, son inertes y no dejan residuos; una solución de jabón es comúnmente utilizada, mediante la aplicación directa en la superficie donde se cree que existe una fuga. La solución no debe ser preparada más de 24 horas antes de la prueba y la formación de burbujas debe ser chequeada cada 30 minutos durante la realización de la prueba utilizando una fuga de muestra. Una iluminación adecuada y el uso de magnificadores ópticos también mejoran la sensibilidad. El agua usualmente es tratada con algún ablandador adecuado para disminuir la tensión superficial y promover el crecimiento de las burbujas incrementando así la sensibilidad [5].

3.2 Métodos por cambio de presión

La prueba de fuga mediante cambios de presión se utilizan para detectar la tasa de fuga total, normalmente de contenedores o cámaras de vacío. Estos tipos de métodos determinan solo la tasa de fuga, y no la localización de la misma. Existen dos tipos de métodos de cambio de presión:

3.2.1 Método de disminución de presión: el objeto es llenado con un gas (la mayoría de los casos con aire presurizado o nitrógeno) hasta una presión mayor que la atmosférica, luego se aísla el objeto de la fuente de gas, y luego de un periodo de tiempo de estabilización, su presión interna es monitoreada. Si una fuga está presente, la presión decaerá con el tiempo. La figura 1 indica el comportamiento de la presión si ha de existir una fuga. Considerando el volumen del objeto (V), la tasa de fuga total es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V(P_1 - P_2)}{\Delta t} \quad (4)$$

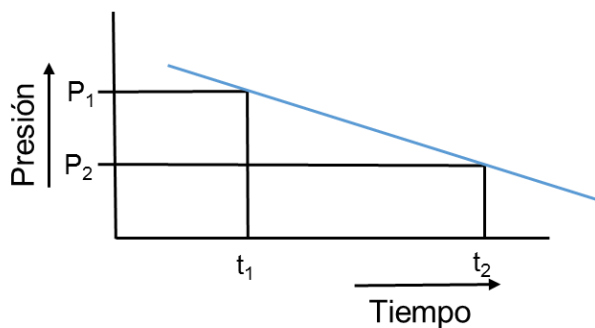


Figura 1. Gráfico de caída de presión

La presión debe ser medida con gran exactitud y la temperatura debe permanecer constante [6].

La sensibilidad de esta prueba depende del volumen de la unidad a ser probada, entre más grande, más tiempo toma estabilizar la presión interna antes de realizar el monitoreo, además entre más grande sea el objeto es más susceptibles a cambios de temperaturas, por lo que este método es recomendado para objetos pequeños. El tiempo de prueba y la resolución del medidor de presión también afectan la sensibilidad [4].

Este método puede representar una muy buena prueba preliminar, para detectar la existencia de fugas grandes, antes de realizar algún otro método para fugas pequeñas usando helio (si un componente tiene una fuga muy grande y no es detectada primero con el método de disminución de presión, grandes cantidades de helio pueden fugarse fuera de la unidad de prueba, contaminando el sistema y haciéndolo inoperable por un largo tiempo) [4].

3.2.2 Método de aumento de presión: este método trabaja manera contraria al método de disminución de

presión. En este método, el objeto de prueba es evacuado hasta una presión dada, luego de estabilizar la presión, se mide el incremento de la presión durante un cierto tiempo. Si el cambio de presión es Δp luego de un tiempo Δt , la tasa de fuga total viene dada por:

$$Q = \frac{V(\Delta p)}{\Delta t} \quad (5)$$

Al principio de la prueba ocurre desgasificación de las paredes internas siendo esto mayormente húmeda (figura 2), cuando la presión ha aumentado por encima de la presión de vapor de agua, el cambio de presión se convierte en una función lineal. Desde la parte lineal de la curva la tasa de fuga puede ser calculada (figura 3)

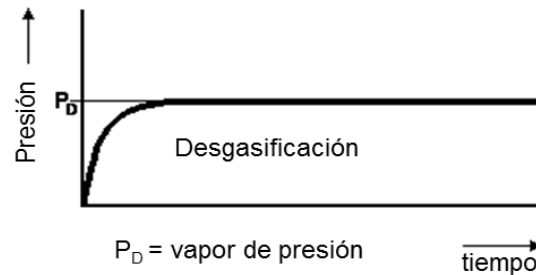


Figura 2. Curva de presión correspondiente a la desgasificación

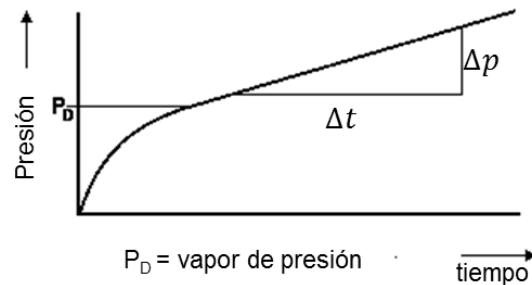


Figura 3. Curva de aumento de presión demostrando la existencia de una fuga.

Con respecto al método de disminución de presión, este método tiene la ventaja de ser menos sensible a los cambios de temperatura, debido a que la presión interna es más baja que la presión atmosférica externa. Sin embargo este método es susceptible a la desgasificación de la superficie y la evaporación líquida, los cuales afecta y limita la sensibilidad real (la evaporación de trazas de humedad incrementa la presión interna creando fugas falsas) [4].

3.3 Métodos con gas indicador

Un gran número de métodos se encargan de detectar y medir el flujo de un gas indicador a través de una fuga.

De acuerdo al estado interno del objeto a ser probado, la prueba de fuga mediante la utilización de un gas indicador puede ser conducida de dos maneras:

a) El objeto de prueba es presurizado con gas indicador. Si en el objeto existe una fuga, el gas indicador fluiría desde el interior del objeto al exterior a través de la fuga, siendo el gas indicador detectado externamente. Este tipo de conducción de prueba es denominada usualmente método interno-externo [2],[5].

b) El objeto de prueba es evacuado, si existe una alguna fuga, el gas indicador entrará al objeto de prueba a través de la fuga. El gas indicador es detectado desde el interior del objeto. A este tipo de prueba se le conoce usualmente como método externo-interno. [2],[5]

Fundamentado en estos dos principios, existen una gran cantidad de métodos utilizados para la realización de la prueba de fugas, y cada uno de ellos posee características únicas y condiciones de uso específicas, además requieren el uso de detectores de gas especializados para la localización y cuantificación del gas indicador utilizado.

La sensibilidad de estos dos principios debe ser la misma para cualquiera de las direcciones de flujo de gas a través de la fuga, obteniendo los mismos niveles de presión absoluta y presión diferencial del gas indicador que es empleado. La elección de cualquiera de dos formas de llevar a cabo la prueba de fugas, depende de la habilidad del objeto de prueba o del contenedor, para resistir la presión en una dirección preferible de otra, o de qué lado del objeto de prueba resulta más fácil aplicar el gas indicador [5].

A continuación se describen los métodos más utilizados que involucran estas técnicas.

3.3.1 Método "Sniffer": este método requiere un sniffer (olfateador) o sonda que es capaz de verificar y localizar fugas mediante la detección de gas indicador. Este método puede realizarse de manera interna-externa, en el cual si existe una fuga, el gas fluiría desde el interior del objeto al exterior, donde será captado por el sniffer y cuantificado por el detector de gas (figura 4a). De manera externa-interna, el sniffer se encarga de rociar gas indicador sobre el objeto de prueba; si ha de existir una fuga, el gas fluiría del exterior hacia el interior del objeto, al cual se encuentra conectado el detector para la cuantificación del gas que pasa a través de la fuga (figura 4b). Para ambos casos, el "sniffer" es desplazado a lo largo de la superficie de la unidad de prueba. Este método es utilizado para la detección de fugas locales. Su sensibilidad depende de la velocidad y la distancia entre la unidad y el "sniffer". Dependiendo del gas indicador, la utilización de este método puede detectar fugas pequeñas hasta 10^{-2} Pa.L/s. puede presentar un bajo

costo en herramientas, representando un método económico para detección de fugas, sin embargo el costo del gas indicador puede ser significativo [2].

Este método presenta las siguientes desventajas:

- Dependencia con el operador
- Es peligroso para el operador si el componente es cargado a altas presiones
- Bajos rendimientos
- Muchos "sniffer" y detectores requieren mantenimiento periódico para su apropiado funcionamiento
- Algunos detectores son sensibles a otros gases aparte del gas indicador usado, por lo que se requiere control de las condiciones de ambiente químico
- Para la técnica externa-interna en particular, existe la desventaja de tener la orientación de la presión incorrecta.

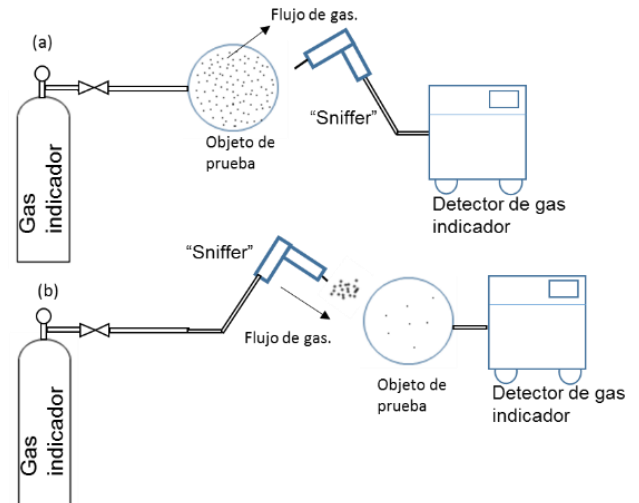


Figura 4. Método sniffer, esquema general: (a) interna-externa. (b) Externa-Interna.

3.3.2 Método de acumulación: es una variación del método Sniffer. La parte a ser probada es cubierta con una alguna envoltura, luego la unidad es presurizada con el gas indicador; el sniffer es conectado a la cubierta donde el gas indicador ha sido acumulado durante el tiempo de prueba, utilizando la técnica interno-externa (figura 5).

Este método es usado especialmente para detectar defectos en soldaduras y conexiones atornilladas. Todas estas unidades pueden ser selladas con cinta o teipe para crear la cubierta con se muestra en la figura 6 realizando así pruebas de fugas locales. Este método posee un buen nivel de sensibilidad (10^{-1} Pa.L/s) pero está sujeto al tamaño de la cubierta. El costo de este tipo de sistema es relativamente bajo. Además este sistema no depende de

la temperatura. La sensibilidad y la tasa de fuga dependen del volumen residual y del tiempo de la prueba [7].

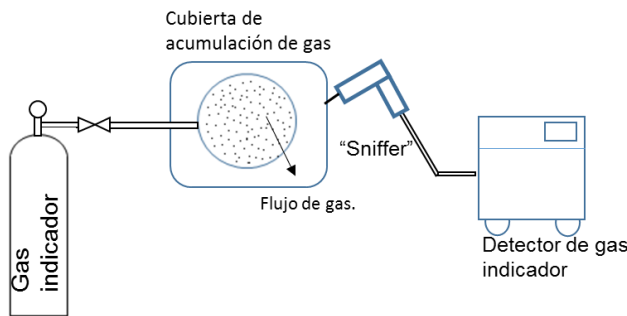


Figura 5. Método de acumulación. Esquema general.



Figura 6. Prueba de fuga local utilizando método de acumulación [7].

3.3.3 Método con cámara de vacío: el sistema típico incluye una cámara de vacío o un contenedor especializado, conectado a una fuente de nitrógeno, una fuente del gas indicador a usar, un grupo de bombas de vacío y un detector sensible al gas indicador elegido. La técnica más utilizada para llevar a cabo este tipo de prueba es la interna-externa (figura7) realizándose una prueba de fuga total. El componente a ser probado es movido dentro de la cámara o contenedor, este es cerrado y evacuado; el componente es evacuado y presurizados con el gas indicador. Una vez que la cámara alcance el nivel de vacío requerido, la válvula de entrada del detector es abierta y este comienza a analizar y medir las moléculas de gas indicador que se desplazan a la cámara a través de las fugas presentes en el objeto de prueba [4].

Este método es caracterizado por un alto nivel de sensibilidad (puede alcanzar hasta 10^{-8} Pa.L/s). La aplicación de vacío aumenta la diferencia de presión entre el objeto de prueba y el ambiente externo, por lo que el gas indicador fluiría más rápido a través de la fuga, produciendo resultados cuantificables y confiables con altos rendimientos. Esta prueba es automática y no depende de un operador. La única desventaja de este método, es que es muy costoso sobre cualquier otro. La

posición de una fuga no puede ser identificada directamente, pero si un Sniffer manual es integrado al sistema, la fuga podría ser localizada [3].

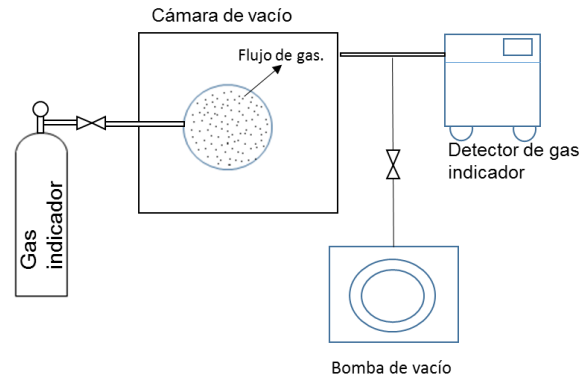


Figura 7. Esquema general del Método con cámara de vacío.

3.4 Otros métodos para la detección de fugas

3.4.1 Métodos radiactivos: isotopos radiactivos son utilizados como indicadores en la detección y medición de fugas. Solo una pequeña cantidad de material radiactivo es necesaria para cargar el sistema u objeto a ser probado. La radiación nuclear proveniente desde la fuga es detectada por instrumentos electrónicos especiales. La sensibilidad de este método puede alcanzar hasta 10^{-10} Pa.m³/s en condiciones de operación ideales. Esta técnica es usada para localización de fugas en sistemas muy grandes, donde un método usual con gases indicadores convencionales sería muy complicado aplicar [5].

3.4.2 Métodos de detección de halógenos: requiere que los sistemas de prueba sean presurizados con compuestos orgánicos halogenados, generalmente clorofluorocarbonos. El principio es basado en el incremento en la emisión iones positivos debido a la presencia repentina de los compuestos de haluros. La corriente de iones es medida y corresponde al tamaño de la fuga [8]

3.4.3 Métodos de detección sónica: las fugas en vacío o en sistemas presurizados pueden ser detectadas mediante energía sónica (efecto mecánico) generados por el flujo turbulento de gas que pasa a través de la fuga. Detectores de fuga ultrasónicos son necesarios. Este método no es factible en sistemas complejos donde sonidos ultrasónicos pueden ser producidos por fugas múltiples o por otras fuentes que no necesariamente implique una fuga. Además la tasa de fuga no puede ser medida, solo puede ser estimada basada en la frecuencia del sonido emitido [5].

3.4.4 Otros: Detección de fuga mediante absorción de energía electromagnética, detección de fuga mediante indicadores químicos, localización de fuga mediante descarga de alto potencial son algunos otros métodos

utilizados en la detección y cuantificación de fugas en productos sellados [5].

4 ELECCIÓN DEL MÉTODO ADECUADO

El método usado para realizar una prueba de fuga debe ser elegido con considerable cuidado. Una correcta elección del método puede optimizar la sensibilidad, costo y fiabilidad de la prueba.

El método ideal debe poseer las siguientes características:

- Alta sensibilidad
- Tiempo de respuesta corto
- Localización y cuantificación de las fugas
- Deben ser no destructivos, es decir, durante la realización de la prueba, la estructura del objeto de prueba no debe ser destruida y tampoco debe ser contaminada
- Buena estabilidad, es decir la estabilidad debe ser estable y duradera en el tiempo
- El gas indicador debe ser no destructivo, inofensivo para las personas y su concentración debe ser baja en la atmósfera
- Tanto fugas grandes como pequeñas deben poder ser detectadas

Las características anteriores tienden a crear conflictos entre sí, y es imposible que un tipo de método de prueba de fugas reúna todas las condiciones anteriores. Por lo que un método de prueba de fugas adecuado es a menudo elegido de acuerdo a los diferentes objetos de prueba a fin de resolver el problema principal. En general, la sensibilidad de la prueba de fugas se considera en primer lugar.

Una manera de resolver el problema de selección de un método adecuado es comparar varios métodos que estén disponibles para la prueba de acuerdo a la sensibilidad. Luego solo se debe decidir qué grado es requerido, y elegir el método de acuerdo a la sensibilidad adecuada.

Es importante distinguir entre la sensibilidad asociada con el instrumento, el cual es empleado para medir la fuga y la sensibilidad del procedimiento de la prueba el cual debe ser continuo durante la utilización del instrumento. La sensibilidad de un instrumento influencia la sensibilidad que se pueda lograr en una prueba específica. El rango de temperatura o presión y los tipos de fluidos involucrados, influye tanto en la elección del instrumento como la elección del procedimiento de prueba [5]

La sensibilidad para el caso de un detector es determinada por la mínima concentración de gas indicador que pueda producir una señal medible en el detector. Un incremento en la presión del gas indicador aplicado en la región de fuga podrá incrementar el flujo de gas indicador a través de la fuga y dentro del detector, originando errores durante la prueba [5].

Todos los métodos de prueba de fuga tienen sus ventajas y desventajas. Para fugas en el rango de 10^1 a 10^{-1} Pa.m³/s, todos los métodos de prueba están disponibles para reconocer una fuga. En la figura 8, se muestra un gráfico comparativo de las máximas sensibilidades de cada método. La sensibilidad de cada método puede ser optimizada de acuerdo a condiciones específicas para cada uno de ellos.

Además de la sensibilidad, la especificación de la tasa de fuga admisible es un parámetro importante que se debe tomar en cuenta para generar un plan de prueba, ya que este valor determinará la tasa de fuga a la cual puede causar daño al producto y que este no pueda cumplir su misión.

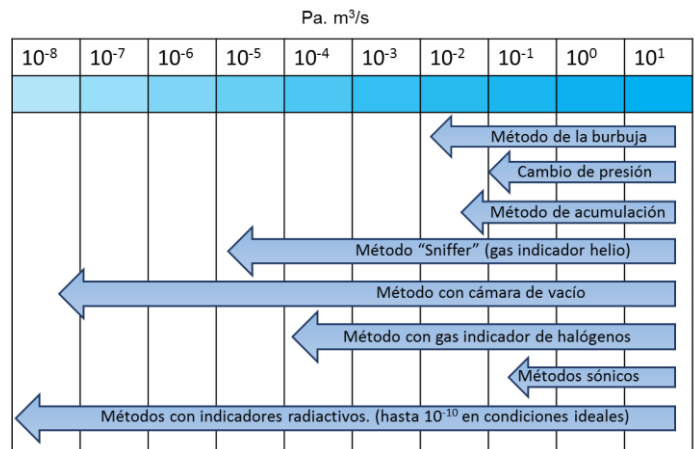


Figura 8. Gráfico de sensibilidades de los métodos más utilizados para la detección de fugas.

La determinación de cuantos puntos (soldaduras, conexiones, etc.) deben ser probados, el tiempo que debe durar el producto en la prueba, y las dimensiones del mismo, son parámetros de gran importancia que deben ser tomados en cuenta a cada momento para la elección de un método, ya que se debe asegurar la repetitividad, exactitud y capacidad de respuesta durante todo el proceso de la prueba.

Por último pero no menos importante, el costo del equipo. Este valor es directamente proporcional a la sensibilidad; es decir, un incremento en la sensibilidad de una prueba con un instrumento dado es un incremento al costo de medición. Además el costo del gas indicador tiene gran importancia, y puede incrementar el costo de la prueba considerablemente [5].

5 ELECCION DEL GAS INDICADOR

La utilización de un líquido para la detección de fuga parece ser una opción natural. Sin embargo, usar un gas común como aire o nitrógeno para detectar fugas, provee mayores ventajas de limpieza, costo y sensibilidad durante la prueba. Para entender por qué un gas es más sensible que un líquido se debe entender la relación entre la tasa de fuga, el tamaño del agujero y las propiedades del fluido [9]. La tasa de fuga es influenciada por tres factores principales:

Primeramente, depende de las dimensiones geométricas de la fuga (diámetro y la longitud del camino a través de la fuga). Si las dimensiones de la fuga cambian el flujo de la sustancia que pasa a través de ella cambiará [9].

Segundo, el flujo a través de la fuga depende de las propiedades del fluido, principalmente de la viscosidad, mientras mayor sea la viscosidad menor es la cantidad de sustancia que se filtrará a través de la fuga. Es importante saber que la viscosidad depende de la temperatura, por lo tanto, usando aire en vez de un líquido se aumenta la sensibilidad de la prueba. Por ejemplo en un cuarto a 68 °F, una prueba de fuga con nitrógeno será 55.7 veces más sensible que con agua y 1.248 veces más sensible que con aceite de transición, debido a la proporción de la viscosidad entre el nitrógeno el agua y al aceite a esa temperatura [9].

Y finalmente el flujo depende de la diferencia de presión entre la presión interna del producto y al externa. Entre mayor sea la diferencia de presión entre ambos lados mayor será el flujo de gas a través de la fuga. Además la habilidad de pasar a través de la fuga es diferente para cada tipo de gas utilizado [9].

En la utilización de los métodos para presurización con gas indicador, el gas más utilizado para llevar a cabo estos procesos es el helio, ya que posee las siguientes propiedades que lo hacen indicado como gas indicador:

- El contenido de helio en la atmósfera o en el aire residual de sistemas de vacío es extremadamente bajo
- La masa de helio es pequeña (peso molecular igual a 4) por lo que es fácil para el helio pasar a través de la fuga.
- El Helio es un gas inerte. El uso de helio asegura que no reaccionará con otros químicos. Y al mismo tiempo no causará daños al producto por contaminación.
- El helio no es fácil de ser absorbido en el objeto de prueba o sistema de vacío. Pero es fácil de bombear helio fuera del objeto de prueba y sistema de vacío.
- Posee baja viscosidad

6 DECTORES DE FUGA DE HELIO

Cualquiera de los métodos que utilicen gas indicador puede estar conectados a un detector de fuga de acuerdo al gas indicador a ser utilizado con el fin de obtener valores más sensibles y precisos.

A razón que el gas indicador más utilizado es el helio, en detección de fugas en general y especialmente en vehículos espaciales, se han desarrollado detectores cada vez más sofisticados y más sensibles a esta sustancia. En la figura 9, se observa un ejemplo del método sniffer de manera interna-externa utilizando un detector, en este caso para gas helio, además este se encuentra acoplado a un espectrómetro de masas lo que le brinda una mayor sensibilidad en la medición de la tasa de fuga.

El principio de funcionamiento de los detectores de fugas de helio, se basa en la utilización en una pieza central dentro del detector, que está constituida por una fuente de iones, un sistema de separación y un sistema colector de iones (figura 10), en donde el gas residual es ionizado mediante bombardeo con electrones y los iones resultantes son acelerados hacia un campo magnético, donde son desviados. Un sistema de rendijas permite que los átomos de helio pasen hasta la unidad colectora localizada a una desviación de 180°. Todos los demás iones son bloqueados. En la mayoría de los detectores se usa, tal como en el diseño original, el sector magnético para separar los iones de helio de otros gases. Magnetos permanentes son habitualmente usadas para generar el campo magnético. Normalmente este tipo de equipo es conocido como detector de fuga de helio con espectrómetro de masas (HMSLD, Helium mass spectrometer leak detector) y es uno de los mayores detectores utilizados en la detección de fugas [10].

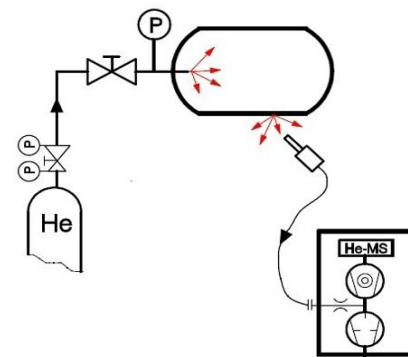


Figura 9. Esquema general de la prueba de fuga con sniffer conectado a un detector de helio [7]

La sensibilidad de estos aparatos, fue en 1946 aproximadamente de 10^{-7} Pa. m^3/s , y un crecimiento hasta aproximadamente 10^{-10} Pa. m^3/s para 1970. Hoy en día la sensibilidad de estos detectores alcanza hasta 10^{-13} Pa. m^3/s . La sensibilidad de los HMSLD es dada por la proporción entre el flujo de helio a través de la fuga y la presión parcial que es incrementada en la celda. Para el aumento de la sensibilidad, la velocidad de bombeo del

gas indicador debe ser reducida. Esto debe realizarse sin disminuir la velocidad de bombeo para los otros gases, para mantener la presión de operación apropiada para el filamento que emite los electrones ionizados. Un bombeo selectivo es entonces necesario para proveer una alta velocidad de bombeo para otros gases (por ejemplo agua) y una velocidad de bombeo baja para el helio [1]

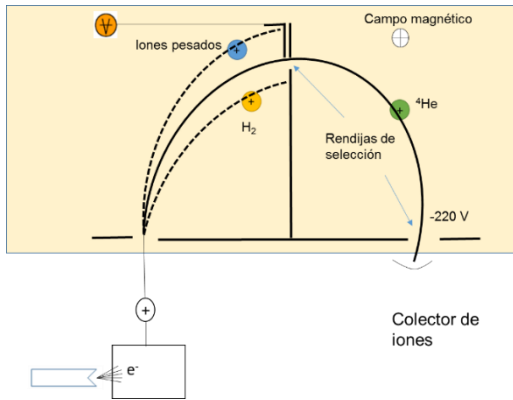


Figura 10. Principio de funcionamiento de los detectores de helio [10]

7 CONCLUSIÓN

La existencia de fugas es inevitable en todo producto sellado; no obstante, en cualquier producto especialmente en vehículos espaciales es indispensable que la fuga existente cumpla con valores de tasa de fuga máximos requeridos de acuerdo con la misión y tiempo de vida útil. Para lograr esto, es necesario la realización de pruebas de fugas utilizando un método adecuado según las condiciones al momento de realizar la prueba y el objeto de prueba tomando en cuenta su tamaño, la capacidad de soportar presión o de qué lado resulta más fácil colocar el gas indicador, además de la utilización de detectores de gas indicador especializados y con alta sensibilidad.

Las pruebas de detección de fuga local deben realizarse sobre las unidades selladas y presurizadas para la valoración y aceptación de la misma. La prueba de fuga total debe llevarse a cabo prioritariamente antes y después de cada prueba que someta al vehículo espacial a cualquier tipo de tensión que pueda generar alguna fractura de tuberías, válvulas, conexiones, etc. Entonces en este orden de ideas, la elección de cada método se fundamenta principalmente en las condiciones presentes al momento de realizar la prueba y en requerimientos específicos de gran importancia como la sensibilidad deseada de acuerdo con la exigencia de la prueba; que permita asegurar la confiabilidad en los resultados de la prueba y el buen funcionamiento del vehículo espacial y la finalización exitosa de la misión

La realización de unas últimas pruebas de detección de fuga son efectuadas en el sitio de lanzamiento, con el tanque de combustible vacío y luego de llenado con el propelente, este último es de suma importancia y de operación muy cuidadosa. El autor plantea dar

continuidad a esta línea de investigación enfocado en el tema de llenado de combustible del tanque de propulsión y el proceso de detección de fugas durante esta etapa.

8 AGRADECIMIENTOS

Al PhD. FRANCISCO VARELA, por la revisión y colaboración en este artículo.

9 REFERENCIAS

- [1] N. Hillelet. "Leak detection". CERN, Geneva, Switzerland.
- [2] "Leak Detection Methods: A comparative Study of technologies and techniques. Short version." VTECH cool innovation.
- [3] "Constellation program environmental qualification and acceptance testing requirements. (CEQATR)". NASA. CxP 70036. October 2009.
- [4] "Leak testing methodologies". Vacuum engineering. [En línea]. Disponible en: <http://www.vac-eng.com>
- [5] "Leak Testing Handbook". S-69-1117. July 1969.
- [6] "Leak Detection Technology". [En línea]. Disponible en: <http://www.Leakdetection-technology.com/science>.
- [7] "Leak Testing". Industrial testing and inspection services. [En línea]. Disponible en: <http://www.itis-nl.com/leak-testing>
- [8] "Leak detection methods and defining the sizes of the leak" [En línea]. Disponible en: http://www.ndt.net/article/v04n02/slov_30
- [9] H. Sagi. "Advanced Leak Test Methods". Advanced tests concepts, Inc (ATC, Inc)
- [10] K. Zapfe. "Leak Detection". Deutsches Elektroen-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany. February 2007