

Método de cuantificación del caudal de fuga para cámaras de acústicas

Toros Senan,
Doctor, Ingeniero de Investigación Acústica

Introducción

Muchas aplicaciones requieren detectar las fugas. Entre las más conocidas se incluyen los sistemas de aire comprimido utilizados en muchas aplicaciones y que se utilizan muy frecuentemente en plantas de fabricación.

Repaso del funcionamiento de la ii900/ii910

La ii900/ii910 utiliza 64 micrófonos organizados en una determinada matriz. Tiene una cámara visible en el centro de la matriz que proporciona una imagen del entorno. El instrumento utiliza algoritmos complejos para generar un mapa de sonido o una imagen de las fuentes de sonido que superpone el mapa de sonido generado sobre la imagen. En función de la posición de la fuente de sonido relativa al campo de visión de la ii900/ii910, cada micrófono recibe el sonido con un tiempo ligeramente diferente. Las diferencias de tiempo entre los micrófonos permiten localizar la posición de la fuente de sonido: Si el sonido procede del lado derecho del dispositivo, los micrófonos del lado derecho de la matriz recibirán el sonido una fracción de segundo antes que los micrófonos del lado izquierdo. La ii900/ii910 mostraría la imagen de ese sonido en el lado derecho de la pantalla.

¿Cómo detecta las fugas la ii900/ii910?

Cuando se produce una fuga en un sistema presurizado, las moléculas de gas (aire) que escapan provocan turbulencias, lo que da lugar a cambios rápidos en la presión y el caudal. Estos cambios pueden transmitirse como ondas sonoras. La ii900/ii910 es capaz de detectar la ubicación y la intensidad de esas ondas sonoras.

Las fugas de aire comprimido a la atmósfera crean un ruido de banda ancha tanto en el rango de frecuencia audible como de ultrasonidos (Eret y Meskell, 2012; Holstein et al., 2016). En los sistemas industriales de aire comprimido se suelen utilizar sensores de ultrasonidos de banda estrecha (centrados en torno a unos 40 kHz) para localizar fugas. Sin embargo, el uso de un sensor de ultrasonidos de banda estrecha conlleva algunas limitaciones.

La distancia entre la fuga y el instrumento de medida, así como el ángulo de medida, son factores esenciales que contribuyen a la eficacia de los sensores de ultrasonidos. En primer lugar, el sonido de alta frecuencia se atenúa rápidamente debido a la

absorción atmosférica (Wolstencroft y Neale, 2008). En segundo lugar, el nivel de presión sonora generada por una fuga de aire comprimido varía con el ángulo de medida (Wolstencroft y Neale, 2008). Además, se sabe que los entornos ruidosos degradan el rendimiento de los sensores de ultrasonidos de banda estrecha (Eret y Meskell, 2012). Los sensores de banda ancha que funcionan en rangos de frecuencia sonora y ultrasonidos permiten compensar las limitaciones mencionadas. La flexibilidad en el rango de frecuencia aumenta la fiabilidad del sistema de detección de fugas. Por ejemplo, en la Figura 1 se puede observar que el aire comprimido que sale de un orificio a una presión del sistema de 6 bares genera un ruido de banda ancha. La Figura 1 muestra que la región de frecuencia en el que se ha medido un mayor nivel de presión sonora se encuentra en el rango audible. Por el contrario, el nivel de presión sonora medido en el rango de frecuencia de 35 a 45 kHz (línea roja discontinua en la Figura 1) es notablemente inferior al resto del espectro de frecuencia.



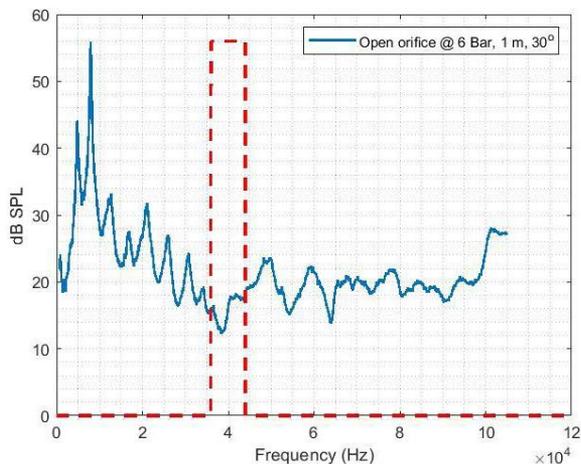


Figura 1: Fuga de aire comprimido a través de un orificio abierto (0,63 cm / 1/4"). La medida se ha tomado a 1 m de distancia de la fuente de la fuga con un ángulo de medida de 30° utilizando la ii910. La línea azul muestra el espectro suavizado y la línea discontinua roja indica la región de frecuencia en torno a los 40 kHz.

Son escasos los estudios que han investigado las características de la frecuencia en los ruidos de las fugas de aire comprimido. En el estudio de Holstein et al. (2016) se mostraron espectros de frecuencia de medidas de fugas de aire comprimido con caudales sistemáticamente elevados (ver Figura 2 en Holstein et al., 2016). La fuente de la fuga era un orificio redondo abierto y las medidas se tomaron a una distancia de 20 cm de dicha fuente. Los espectros de frecuencia muestran que cuanto mayor sea el caudal, más aumenta la energía por encima de 50 kHz. Para el mayor caudal medido en el experimento, el espectro de frecuencia muestra un pico de alrededor de 80 kHz.

Factores que afectan a la detección de fugas

Los factores que afectan a la detección de fugas se tratan por separado en la presente sección. Cabe señalar que los factores explicados en la presente sección interactúan entre sí y deben considerarse como componentes individuales de un fenómeno amplio y complejo.

Factores del origen de fugas:

1. Presión del sistema

Por lo general, cuanto mayor sea la presión del sistema, mayor será la fuga y en consecuencia la intensidad sonora, lo que facilitará su detección.

2. Caudal

Como con la presión, cuanto mayor sea el caudal del sistema, mayor será la fuga y eso provocará una mayor intensidad sonora que podrá medirse en la posición de fuga. Una mayor intensidad sonora facilita la detección acústica.

3. Tamaño y forma del orificio

El tamaño y la forma del orificio deben considerarse juntos. Si tenemos en cuenta la amplia variedad de posibles fugas de aire, supone un desafío proporcionar directrices acerca del efecto que tienen la forma y el tamaño en la detección de dichas fugas. Esta lista muestra algunas de las posibles fuentes de las fugas. Tanto el tamaño como la forma del orificio difieren para cada elemento de la lista. Mangueras de aire y conexiones o acoplamientos de mangueras de aire

- Sistemas de desconexión desgastados o sin juntas tóricas
- Filtros, lubricadores y reguladores instalados incorrectamente
- Apertura para descarga
- Sifones para drenaje de condensación abiertos
- Drenajes con fugas o en mal estado
- Selladores de roscas defectuosos, de mala calidad o aplicados de forma incorrecta
- Válvulas de control y cierre
- Juntas y anillos de sellado desgastados
 - Herramientas neumáticas antiguas o con un mal mantenimiento
 - Máquinas o equipos de producción con entrada de aire inactivos o sin usar

Gas	Fórmula	Po (kg/m³)
Acetileno	C ² H ²	1,173
Aire	-	1,2929
Amoniac	NH ³	0,7710
Argón	A	1,7837
Dióxido de carbono	CO ²	1,977
Monóxido de carbono	CO	1,250
Cloro	Cl ²	3,214
Etano (10 °C)	C ² H ⁶	1,356
Etileno	C ² H ⁴	1,260
Helio	He	0,1785
Hidrógeno	H ²	0,0899
Ácido sulfhídrico	H ² S	1,539
Metano	CH ⁴	0,7168
Neón	Ne	0,9003
Óxido nítrico (10 °C)	NO	1,34
Nitrógeno	N ²	1,2506
Óxido nitroso	N ² O	1,977
Oxígeno	O ²	1,429
Propano	C ³ H ⁸	2,9009
Dióxido de azufre	SO ²	2,927
Vapor (100 °C)	H ² O	0,598
Hexafluoruro de azufre**	SF ⁶	6,17
Refrigerante R134a***	CH ² FCF ³	14,433

Tabla 1: Lista de valores de densidad para gases. La densidad del gas, po, a 0 °C 1 atm*

*Handbook of Chemistry and Physics. 48ª ed.

**https://es.wikipedia.org/wiki/Hexafluoruro_de_azufre

***https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html

Propiedades del fluido

Las propiedades del fluido afectan al sonido generado a medida que se escapa por la fuga.

4. Densidad

La siguiente tabla muestra la densidad de los gases en kg/m³ a 0 °C y una atmósfera de presión. La densidad del gas afecta a la intensidad del sonido de la fuga. Por ejemplo, la baja densidad del helio quiere decir que, en comparación con el aire comprimido y teniendo el mismo caudal y presión, los niveles de presión acústica medidos en la posición de fuga serán inferiores. La experiencia sobre el terreno confirma que la detección de una fuga de helio es un verdadero reto.

5. Viscosidad

La viscosidad del gas afecta al nivel de presión sonora en la posición de la fuga. Sin embargo, su impacto será menor que el producido por la densidad.

6. Temperatura ambiente

Tenemos que tener en cuenta la temperatura ambiente tanto en la fuente de la fuga como en la ruta. En el caso de la fuente de la fuga, la temperatura ambiente afectará a la densidad y la viscosidad. Ambos factores alterarán el nivel de presión sonora en la posición de la fuga. A medida que aumenta la temperatura ambiente aumenta la energía cinética molecular, lo que provoca un aumento de la intensidad del sonido en la fuga.

7. Presión ambiental

La presión ambiental influye directamente en la densidad de un gas. Una reducción de la presión ambiental producirá una menor densidad, lo que reducirá la intensidad del sonido en la fuga.

8. Distancia entre la fuga y la cámara

La distancia de medida afecta al nivel de presión acústica medido. A medida que el sonido se propaga en todas las direcciones desde la fuente, su intensidad disminuye con la distancia.

9. Temperatura ambiente

Los cambios en la temperatura ambiente pueden alterar tanto la densidad de los gases como su viscosidad. Esto, a su vez, afecta a la velocidad del sonido a medida que se desplaza por el medio. A medida que aumenta la temperatura, el sonido se desplaza más rápido. El cambio de la temperatura ambiente es uno de los mecanismos que afecta a la cantidad de energía sonora absorbida por la atmósfera. Para frecuencias bajas y distancias cortas, el impacto de la temperatura en la absorción del aire es insignificante (Harris, 1966). Sin embargo, para frecuencias muy altas y distancias largas, el nivel de presión sonora puede reducirse notablemente (Vladišauskas y Jakevičius, 2004).

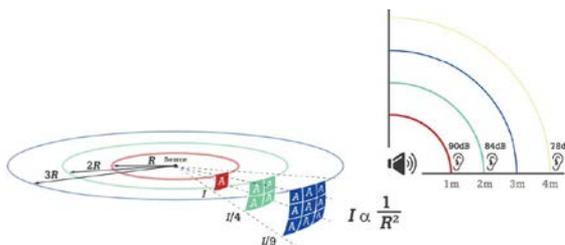
10. Humedad

El segundo mecanismo que afecta al nivel de presión sonora debido a la absorción del aire es la humedad. Como sucede con la temperatura ambiente, en condiciones normales, el efecto de la humedad en el nivel de presión sonora es insignificante (Harris, 1966). El impacto es perceptible para frecuencias muy altas y niveles de humedad altos (Vladišauskas y Jakevičius, 2004).

11. Presión ambiental

La presión ambiental no afecta al nivel de presión sonora en una medida aproximada del gas en condiciones ideales, ya que tanto la densidad del aire como la presión del gas tienen efectos similares pero inversos en la velocidad del sonido. Los efectos de ambas se cancelan mutuamente. Por lo tanto, no cabe esperar ninguna diferencia entre el nivel de presión sonora en la posición de la fuga y la posición de medida debido a la presión ambiental.

Factores relacionados con la ruta y efectos atmosféricos



Al duplicar la distancia entre la fuente de sonido y la posición de medida en campo libre, se reduce la intensidad del sonido en 6 dB.

¿Qué propiedades de las fugas mide la ii900/ii910?

La ii900/ii910 indica el tipo de fuga y estima el caudal de la fuga en base a la entrada sonora. Se diseñaron y realizaron un conjunto de experimentos de laboratorio para desarrollar la clasificación de los tipos de fuga y los algoritmos de predicción del caudal.

Clasificación de los tipos de fuga en la ii900/ii910

Las cámaras ii900 e ii910 clasifican los datos acústicos de la fuga recogidos en función de dónde se producen: manguera, extremo abierto, conexión rápida y acoplamiento roscado. Al final de un sistema de tubos de aire comprimido se instalaron cuatro clasificaciones, los cuatro tipos de fugas, y las medidas acústicas se realizaron en una cámara semianecoica. En las figuras 3 y 4 se muestran dos ejemplos de la configuración experimental. La Figura 5 muestra los acoplamientos utilizados en el experimento para los cuatro tipos de fugas.

1. **Manguera:** la manguera es un tubo flexible que permite la instalación fácil en un sistema de tubos. Sin embargo, a diferencia de las tuberías de metal y latón, están fabricadas con un material más sensible. Por ello, se producen fácilmente cortes y orificios específicos a lo largo de las mangueras que conectan un compresor de aire a dispositivos neumáticos. Se ha utilizado una fuga derivada de un corte en la manguera para capturar los datos acústicos de la fuga de la manguera para la clasificación y predicción del caudal (Fig. 3 y 5a).
2. **Extremo abierto:** un tubo con un extremo abierto o un orificio abierto es el tipo de fuga más común utilizado en estudios científicos (referencias). Se produce cuando una sección de tubos/tuberías del sistema de aire comprimido se deja abierta. A lo largo de la fase de desarrollo de la ii900 se utilizó un tubo abierto en los experimentos de clasificación y predicción del caudal (Fig. 4 y 5b).
3. **Conexión rápida:** los accesorios de conexión rápida, también denominados o acoplamientos de desconexión rápida, permiten realizar conexiones rápidas y sencillas. Los acoplamientos de conexión rápida se basan en hendiduras inclinadas que permiten el deslizamiento en una dirección pero ofrecen resistencia al tirar en la dirección opuesta. Normalmente, una o más de estas hendiduras inclinadas del interior sufren daños y el aire comprimido sale por el acoplamiento de conexión rápida. El aire se dispersa alrededor del acoplamiento y la dirección de la fuga de aire comprimido varía en cada caso según la deformación. Durante el desarrollo de la clasificación y los algoritmos de predicción del caudal de la ii900/ii910 se utilizó un acoplamiento de conexión rápida deformado para realizar las medidas acústicas (Fig. 5c).

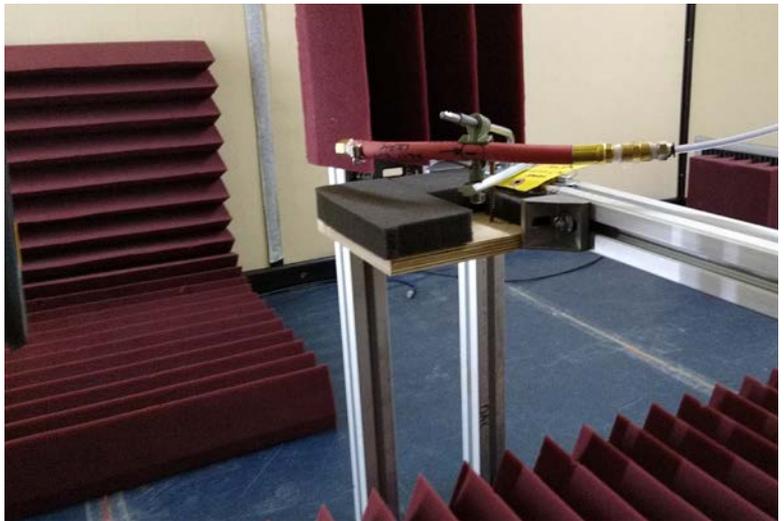


Figura 3: Medida del tipo de fuga de la manguera con un ángulo de 30°.

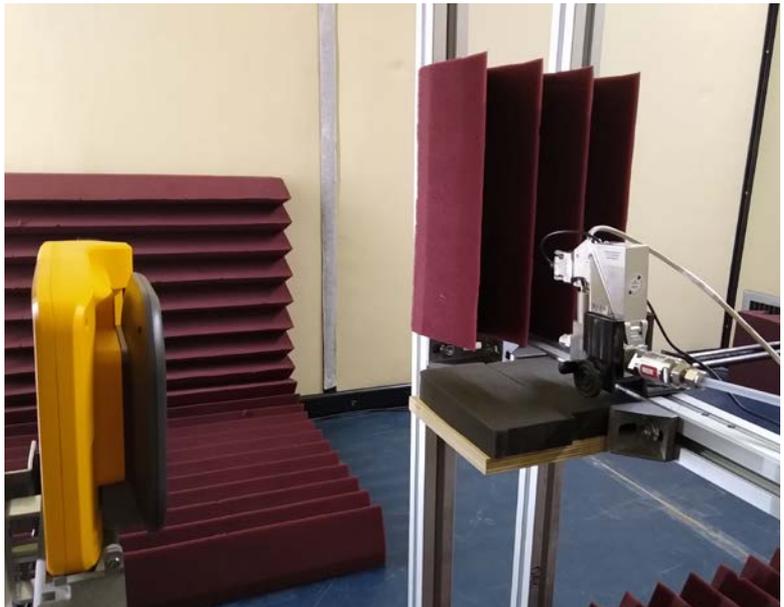


Figura 4: Configuración experimental al medir la fuga de extremo abierto con un ángulo de 90°.



Figura 5: Los cuatro tipos de fugas investigadas durante los experimentos: manguera (a), extremo abierto (b), conexión rápida (c) y acoplamiento roscado (d).

4. **Acoplamiento roscado:** es frecuente utilizar un tapón roscado para los extremos de un sistema de aire comprimido. Los tapones roscados deben colocarse con cuidado y ajustarse correctamente teniendo en cuenta el número de roscas que se deben insertar en el extremo del tubo. A veces, los técnicos pueden dejar flojos los tapones. Además, los tapones roscados pueden deformarse debido al uso continuado. En tales casos, el aire comprimido se sale por el tapón, lo que perjudica la eficiencia del sistema. En los experimentos se utilizó un tapón roscado suelto como fuente de la fuga (Fig. 5d).

Índice de cuantificación del caudal de fuga

La ii900/ii910 proporciona una estimación del caudal en la posición de la fuga en función de los datos acústicos capturados. Los algoritmos del caudal se han diseñado basándose en los resultados de las medidas de laboratorio realizadas en la cámara semianecoica. Debido a las diferentes características acústicas de cada tipo de fuga, existe un algoritmo de predicción del caudal para cada tipo de fuga. Por lo tanto, los algoritmos de estimación del caudal tienen validez después de la fase de clasificación.

Después, el caudal previsto de un tipo de fuga se convierte en el índice de cuantificación del caudal de fuga (LRQ, por sus siglas en inglés). El LRQ tiene un valor de 0 a 10. Un valor LRQ más alto indica un caudal mayor en la posición de fuga y se puede considerar una indicación para realizar una reparación.

Conclusiones

La ii900/ii910 proporciona un rango de frecuencia eficiente y una solución portátil fácil de usar que intenta compensar las dificultades a la hora de detectar y cuantificar las fugas. La función LRQ es fundamental para mantener la eficiencia del sistema de aire comprimido, y las funciones de generación de informes mejoran la velocidad de comunicación entre los técnicos encargados del mantenimiento.

Referencias

- Eret, P. y Meskell, C. (2012). Microphone arrays as a leakage detection tool in industrial compressed air systems. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012.
- Harris, C. M. (1966). Absorption of sound in air versus humidity and temperature. *The Journal of the Acoustic Society of America*, 40(1), 148-159.
- Holstein, P., Barth, M. y Probst, C. (2016). Acoustic methods for leak detection and tightness testing. *Actas del 19th World Conference on Non-Destructive Testing* (págs. 13-17).
- Vladišauskas, A. y Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. *Ultragarsas*, 50(1), 46-49.
- Wolstencroft, H. y Neale, J. (2008). Characterisation of compressed air leaks using airborne ultrasound. *Actas de Acoustics (AAS'08)*.

Fluke. *Manteniendo su mundo en marcha.*

Fluke Ibérica, S.L.
 Avda. de la Industria, 32
 Edificio Payma
 28108 Alcobendas (Madrid)
 Spain
 Tel: +34 91 414 0100
 E-mail: cs.es@fluke.com
 www.fluke.es

©2020-2021 Fluke Corporation.
 Reservados todos los derechos. Información sujeta a modificación sin previo aviso.
 06/2021 210581-es

No se permite la modificación del presente documento sin una autorización escrita de Fluke Corporation.