

NUEVA TECNOLOGÍA DE DETECCIÓN DE PÉRDIDAS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DE HIDROCARBUROS

SERVETTI, GUSTAVO IVÁN.^{1*}; CAGLIERI, SILVANA CLAUDIA.¹; GUERRERO, PABLO ANDRÉS.¹ Y RIOS AMENAVAR, ANA LAURA.¹

1: CIQA (Centro de Investigación y Transferencia en Ingeniería Química y Ambiental)
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba
e-mail: gservetti@ciqa.com.ar , web: <http://www.ciqa.com.ar/>

Resumen. *La legislación vigente en Argentina, establece controles periódicos de hermeticidad de sistemas subterráneos de almacenamiento y conducción de hidrocarburos. Atendiendo a las limitaciones de las tecnologías actuales para identificar pérdidas en los Sistemas de Almacenamientos Subterráneos de Hidrocarburos (SASH), es necesario hallar un sistema de detección temprana de pérdidas que dé respuestas a las mismas y que reduzca el impacto ambiental ocasionado por fugas de estos sistemas. En este trabajo se presenta una tecnología eficiente, y de aplicación sencilla para la detección de pérdidas subterráneas de los SASH, basada en ondas acústicas [1] y [2]. La tecnología propone un dispositivo electrónico, que filtra el espectro de frecuencias característico de una pérdida sumergida en la fase líquida o localizada en la fase gaseosa del SASH. La amplificación de la señal resultante de una pérdida, ajusta la resolución del equipo a la capacidad de detección mínima establecida en la Resolución N° 266/08 del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, para SASH generalmente asociados a las Estaciones de Servicio (EESS). Los ensayos de validación fueron realizados en un banco de pruebas, cuyo montaje y configuración intentan reproducir escenarios de la realidad.*

Palabras clave: Derrames, Pérdidas, Hermeticidad, Sonido, Almacenamiento Subterráneo, Estaciones de Servicio.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación, se presenta una tecnología de relevamiento de pérdidas de los SASH, resolviendo las limitaciones de las tecnologías actualmente disponibles y respondiendo a los requisitos establecidos en la legislación vigente en Argentina. Detectar situaciones con posibilidad de fuga, aprovechando los controles periódicos establecidos en la legislación para las instalaciones subterráneas, podría reducir el potencial impacto ambiental ocasionado por derrames de hidrocarburos en pérdidas subterráneas.

El seguimiento de la performance de esta tecnología fue evaluada, llevando a cabo experiencias en un banco de ensayo montado para tal fin. El hardware y el software utilizados para la lectura, análisis y discriminación de los resultados, constituyen el complemento indispensable para el éxito del desarrollo.

La tecnología lograda, constituye un medio eficiente y rápido de relevamiento de pérdidas en sistemas soterrados.

2. ANTECEDENTES

2.1. Normativas

La periodicidad y requisitos técnicos de los ensayos de hermeticidad en los SASH dentro del territorio argentino, están regulados por la Resolución 266/08 del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, especialmente para las EESS.

La norma de referencia para dichos ensayos es la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (US EPA) para tanques de almacenamiento subterráneos: “Underground Storage Tanks: RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) Subtitle I (40 CFR Part 280: Technical Standards and corrective action requirements for owners and operators of underground storage tanks (UST)), Subpart D - Release Detection:

- 280.40 General requirements for all UST systems.
- 280.43 Methods of release detection for tanks.
- 280.44 Methods of release detection for piping.

2.2. Técnicas de ensayos

Las técnicas para la determinación de la hermeticidad de un sistema soterrado pueden clasificarse en “volumétricas” y “no volumétricas”.

Las prácticas volumétricas para la detección de pérdidas son más antiguas. Estas técnicas son dependientes de la masa existente en el sistema de estudio. De este modo, el ensayo resultante está sujeto al volumen y configuración del sistema, a las propiedades termodinámicas del hidrocarburo contenido y a las condiciones del entorno. También, estas técnicas presentan limitaciones para los ensayos sobre las cañerías y los volúmenes gaseosos, considerándose una metodología de uso poco frecuente para el relevamiento periódico de la hermeticidad de estos sistemas. Generalmente, los test volumétricos demandan grandes tiempos de ensayo, para lograr un grado de confianza aceptable en los resultados y están afectados por las condiciones del entorno como las vibraciones, lo que podría desestimar pérdidas superiores a la capacidad de detección exigida [3, 4, 5, 6].

Las técnicas “no volumétricas” cuentan con la principal ventaja de no depender de la masa, ni de las propiedades del hidrocarburo almacenado. Estas técnicas cuentan con la capacidad de detectar el efecto perturbador de la pérdida de un sistema, sin la necesidad del seguimiento de la masa contenida en el mismo. La tecnología investigada en este trabajo cuenta con estas características, haciendo uso de las ondas de presión (sonido) generadas por la pérdida, para detectar el sitio de fuga en el sistema soterrado [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

3. METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una búsqueda del estado del arte, tendiente al relevamiento de tecnologías conocidas y aplicaciones comparables con la necesidad planteada en este trabajo.

La detección está basada en inducir la filtración a través de la generación de vacío en el sistema soterrado, con la precaución de no superar el nivel de vacío admisible para cada escenario.

El equipo de detección cuenta con un mecanismo de montaje adaptable sobre el acceso al sistema a ensayar (entre 2” y 4.5”). En un extremo del vástago soporta un micrófono de alta sensibilidad que constituye el sensor propiamente dicho, y en el otro extremo cuenta con conexiones de servicio (presurización con nitrógeno, vacío/purga y vinculación con un sensor manovacuómetro). El micrófono permite captar las señales (sonido) producidas por una fuga en el sistema sometido a vacío (burbujeo en la fase líquida y silbido en la fase gaseosa). La señal captada por el sensor es transmitida por un cable apantallado y acondicionada y amplificada por la placa de audio. El acondicionamiento de la señal involucra un filtro de frecuencias que elimina las interferencias del ambiente y amplifica el sonido característico de los dos tipos de fuga descriptos. La señal acondicionada es procesada matemáticamente, a través de un análisis del espectro de frecuencias fundamentales y armónicas correspondiente a las fugas, y dejando registro de lo obtenido como resultado del ensayo. La posibilidad de atenuar la intensidad de la señal, permite adaptar la sensibilidad del dispositivo electrónico a los distintos escenarios.

Adicionalmente, el resultado puede verificarse a través de la conexión de auriculares al dispositivo electrónico, permitiendo al operador corroborar, evaluar y caracterizar la pérdida detectada.

Para evaluar la performance de la tecnología, se montó un banco de prueba que simula diferentes escenarios reales y permite además, el ajuste y calibración del dispositivo electrónico a la prestación demandada.

4. DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO

4.1. Dispositivo de montaje

El dispositivo de montaje comprende las conexiones de servicios y el soporte del sensor (micrófono). Cuenta con un mecanismo adaptable a cañerías cilíndricas entre 2” y 4.5”, de modo que el equipo quede montado sobre el sistema soterrado con un sellado hermético.

Como se observa en la Fig. 1, dispone de tres válvulas esféricas con extremos adaptables a mangueras de servicio:

- Válvula de conexión al nitrógeno comprimido, que permite la maniobra de presurización del sistema, para la verificación de la inexistencia de pérdidas visible en el mismo.
- Válvula de conexión a una bomba de vacío, que permite la extracción de incondensables del sistema soterrado, logrando el nivel de vacío necesario para evidenciar el sonido de la fuga. Esta válvula también prevé acciones de purga y atenuación de la presión.
- Válvula de conexión al vacuómetro, establece el vínculo con un sensor para la verificación del nivel de vacío en el sistema soterrado.

En un extremo del dispositivo de montaje se localiza el sensor (micrófono) omnidireccional. Una vez que el dispositivo de montaje es anclado sobre el acceso al sistema soterrado (cañería de acceso), el micrófono queda en contacto directo con la

atmósfera interna del mismo, y aislado de las señales espurias provocadas por los ruidos en la superficie. En la

Fig. 1 se muestra el dispositivo de montaje, con las tres conexiones descritas y el cable de transmisión de la señal desde el micrófono hasta la placa de audio.



Fig. 1: Dispositivo de montaje

4.2. Sensor

El modelo de sensor utilizado es: ECM 60 A (Electret Microphone Cartridge). Este modelo dispone de una adecuada respuesta en frecuencia en un rango de 0.3 - 18 kHz y una adecuada sensibilidad (-50dB) con un máximo nivel de presión sonora (SPL) de 120dB (1.277 Pa). Además, es económico y permite su reemplazo de modo sencillo, cuando el deterioro comienza a interferir en la performance de la detección.

El nivel de vacío previsto en el sistema, no afecta la performance del sensor.

4.3. Placa de audio

El éxito de este desarrollo está asociado a la capacidad de amplificar señales de baja intensidad, en el rango de frecuencias característico de las fugas en la fase líquida y/o en la fase gaseosa, de sistemas soterrados. Por lo tanto, estos objetivos orientaron la estrategia de diseño de la placa de audio, para dar respuesta a ello. Este componente está constituido por filtros de frecuencias y amplificadores de la señal, como se muestra en el circuito de la Fig. 2 y Fig. 3. La placa resultante cuenta con las prestaciones de las características requeridas por el ensayo.

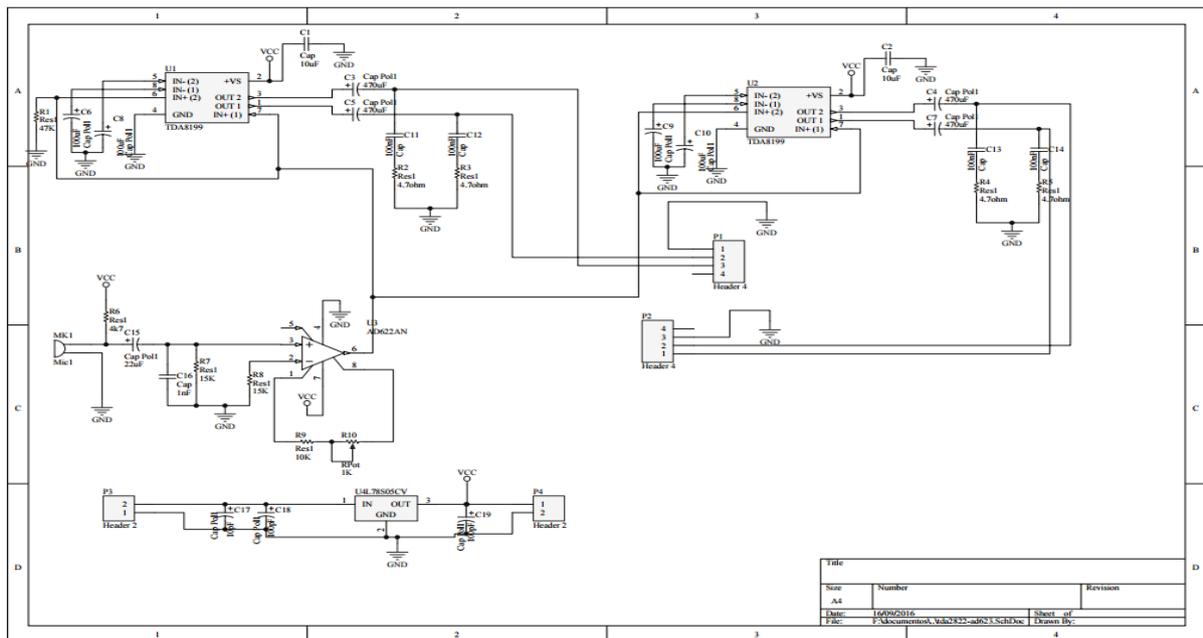


Fig. 2. Esquema de la placa de audio

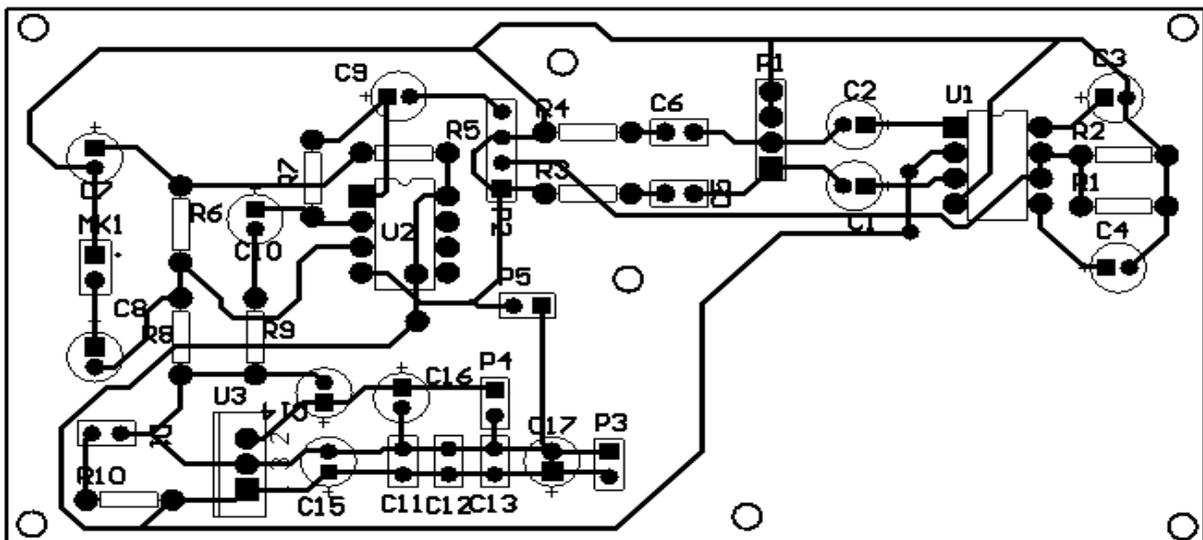


Fig. 3. PCB – Amplificador de audio

Para depurar la señal, debió considerarse la calidad de la transmisión de la señal. Para ello, se seleccionaron las conexiones adecuadas y se investigó sobre el apantallamiento requerido del conductor.

La placa de audio resultante cuenta con la posibilidad de conexión de auriculares y el cable de audio de alta calidad (mallado de 8 mm) con entrada a PC. El resultado de la señal sonora puede grabarse en formato de audio, dejando registro del ensayo, y al mismo tiempo el operador puede verificar el resultado.

Las características de la placa de audio se resumen a continuación:

- Diseño para la detección de señales audibles en el rango de frecuencias audible.
- Incorporación de filtros Pasa Bajos y Notch para rechazo de frecuencias no deseadas.
- Baja tensión DC de trabajo, aislado por barrera zener y reguladores monolíticos.
- Batería recargable de Pb-Ácido, con gran autonomía.

4.4. Software

Se desarrolló un software que codifica los sonidos en función del tiempo y amplitud. Permite grabar y almacenar las señales obtenidas, y el tratamiento de las mismas en el dominio de la frecuencia. De este modo, se pueden reproducir los escenarios de pérdidas, permitiendo la trazabilidad del ensayo. También, el software permite aislar zonas de interés, seleccionando el dominio en el que se desee trabajar, para una mejor observación del comportamiento de dichas señales.

El análisis de los gráficos generados se realiza mediante la Función Transformada de Fourier (FFT) del osciloscopio, a través de un software matemático complementario, que permite realizar las operaciones de búsqueda de un patrón de identificación de pérdidas.

5. EVALUACIÓN DE PERFORMANCE DE LA TECNOLOGÍA

5.1. Variables consideradas

Para desarrollar el módulo de ensayo primero se analizaron las variables que podrían afectar las pruebas de hermeticidad utilizando el método y el equipamiento antes mencionado. Las variables encontradas son las siguientes:

- Distancia desde el punto de fuga hasta el sensor.
- Interferencias físicas entre el punto de fuga y el sensor.
- Punto de fuga sumergido en la fase líquida.
- Punto de fuga en la fase gaseosa.
- Nivel de vacío generado en el sistema.

La magnitud del punto de fuga es una variable importante a tener en cuenta en el análisis de respuesta de la tecnología. La US EPA subparte D-Release Detection, en sus párrafos 280.40 (Requerimientos generales) y 280.43 y 280.44, establece el límite de detección de pérdidas en 0.190 litros/hora, considerando una altura de carga de un (1) metro de columna de agua, con una probabilidad o confiabilidad mínima de detección del noventa y cinco por ciento (95%), y probabilidad mínima de falsa alarma del cinco por ciento (5%).

5.2. Banco de pruebas

Atendiendo a las variables de control que afectan la performance del equipo, se diseñó e instaló un banco de pruebas soterrado Fig. 5, que permitió la creación de distintos escenarios reales para ensayar el equipo de detección desarrollado, y lograr las modificaciones y ajustes correspondientes del mismo.

En primer lugar se trabajó en lograr pérdidas calibradas. Para ello se mecanizó un orificio en distintas piezas de aleación (latón) hasta lograr una fuga de 0.19 L/hr, para una altura de carga de 1 m de columna de agua. Luego, estas piezas se montaron distribuidas en el banco de ensayo y cada una de ella dispone de una válvula de activación o bloqueo de la pérdida.

El banco de prueba consiste en cuatro tubos (diámetro: 3", largo: 6.4 m) interconectados, dispuestos en paralelo y soterrados a 1.2 m de profundidad. En cada extremo (6.4 m) se instaló una montante del equipo de detección (diámetro: 3"), posibilitando el acceso al interior del sistema soterrado. La longitud total de la cañería es de 25.6 m y uno de los extremos se encuentra vinculado a un tubo vertical (diámetro: 4", largo: 3 m) soterrado.

La Fig. 4 muestra el esquema del sistema soterrado. Se puede observar la distribución de las pérdidas calibradas. Se montaron tres pérdidas calibradas y se describen a continuación:

- Pérdida sumergida: instalada en el extremo inferior del tubo vertical y se carga de líquido combustible, con posibilidad de variar el nivel (altura de carga) hasta los 3 m.
- Pérdida gaseosa soterrada: se encuentra ubicada cercana a uno de los extremos del paquete de tubos en paralelo. Montada a 1.2 m de profundidad y vinculada a un tubo de cobre (diámetro: 5 mm) que emerge a superficie, con una válvula en su extremo que permite habilitar o deshabilitar la pérdida.
- Pérdida gaseosa en superficie: se ubica sobre la montante en el extremo del paquete de tubos en paralelo. Dispone de una válvula de activación y bloqueo de la pérdida. Su misión es otorgar un escenario de comparación con la pérdida soterrada.

Además, se ha construido un acceso a la pérdida sumergida, con la finalidad de purgar el sistema y realizar el mantenimiento requerido por el orificio calibrado.

El sistema soterrado cuenta con seis posiciones de montaje del equipo de detección, tal como se muestra en la Fig. 4. Las montantes se distribuyeron cada 6.4 m y proporcionan las alternativas de alejar el sensor del punto de pérdida, permitiendo evaluar su performance. Por lo tanto, estos accesos al sistema soterrado permiten ubicar el sensor sobre la pérdida o distante de ella a 6.4 m, 12.8 m, 19.2 m o 25.6 m. Con las válvulas de activación de las pérdidas se habilita o deshabilita la fuga deseada.

La geometría establecida por la interconexión de los tubos permite evaluar la respuesta del equipo frente a interferencias físicas de la señal, entre la fuga y el sensor.

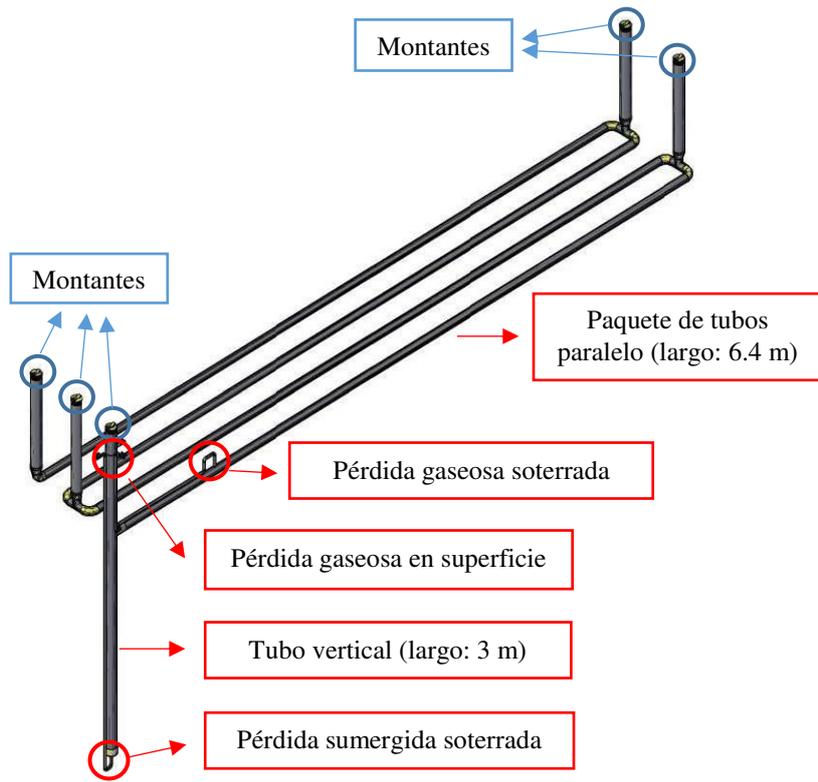


Fig. 4: Esquema del sistema soterrado



Fig. 5: Banco de pruebas

5.3. Procedimiento de ensayo

En una hoja de campo, se registró el conjunto de condiciones en que se llevó a cabo cada corrida, asociando el respectivo resultado otorgado por el equipo y verificado por el operario a través de los auriculares. En la Fig. 6 se muestra el modelo de hoja de campo utilizado.

Registro para el análisis de performance del equipo de detección de pérdidas												
Volumen Total del sistema = 130 L Pérdida calibrada = 0,19 L/hr							Hoja 1/3					
Nivel de llenado	Altura de líquido	Nivel de vacío	Montante Nº 1 Distancia 0 m		Montante Nº 2 Distancia 6,4 m		Montante Nº 3 Distancia 12,8 m		Montante Nº 4 Distancia 19,2 m		Montante Nº 5 Distancia 25,6 m	
			¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación
Pérdida Sumergida	1/4 (2,25 L)	47,1 cm	20 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base
			40 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base
			60 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base
	1/2 (4,5 L)	94,4 cm	20 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base
			40 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base
			60 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base
Observaciones:												
Ubicación de la pérdida	Nivel de vacío	Montante Nº 1 Distancia 0 m		Montante Nº 2 Distancia 6,4 m		Montante Nº 3 Distancia 12,8 m		Montante Nº 4 Distancia 19,2 m		Montante Nº 5 Distancia 25,6 m		
		¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	¿Detecta pérdida?	Nombre Grabación	
Pérdida en fase gaseosa superficial		20 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	
		40 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	
		60 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	
Pérdida en fase gaseosa soterrada		20 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	
		40 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	
		60 inH2O	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	Línea Base	
Observaciones:												

Fig. 6. Hojas de campo.

El procedimiento de ensayo en cada corrida se describe en la siguiente secuencia:

- 1) Luego de montado el equipo sobre alguno de los accesos y con las válvulas bloqueando las pérdidas, se presurizó el sistema con gas nitrógeno para verificar la inexistencia de pérdidas fugitivas visibles del mismo y que pudieran interferir en el ensayo.

- 2) Posteriormente se despresurizó el sistema hasta ecualizar con la atmósfera y se realizó la corrida de línea base de sonido (referencia del sistema sin pérdidas).
- 3) Se realizó el vacío sobre el sistema y se activó alguna de las pérdidas calibradas.
- 4) Finalmente se ejecutó la corrida con la pérdida inducida, se evaluó el resultado en tiempo real y se registró el ensayo.

6. RESULTADOS

La evaluación de los resultados parciales durante el ajuste de la tecnología, permitió introducir mejoras en el diseño de la placa de audio y hallar los patrones de frecuencias característicos de las fugas inducidas, para cada conjunto de condiciones explorado. Para pérdidas sumergidas, se verificaron respuestas en el orden 3-6 kHz, mientras que para fugas gaseosas soterradas estuvieron entre 15-16 kHz.

Con el proceso iterativo de ensayos y modificaciones sobre el equipo, se logró ajustar el diseño a la demanda, hasta lograr la performance adecuada para el escenario crítico. Este último está determinado por el siguiente conjunto de condiciones:

- Distancia entre el sensor y el punto de fuga: 25.6 m.
- Pérdida en la fase gaseosa: que presenta mayor dificultad para su detección, debido a la débil intensidad de la señal.
- Máxima interferencia de la señal por la configuración del banco de pruebas: determinado por el medio a transitar por las ondas.
- Escaso nivel de vacío: 20 inH₂O.

Para estas condiciones, se obtuvo una respuesta satisfactoria del equipo de detección logrado. Se realizaron 42 corridas para el escenario crítico y en el 100% de los casos, el equipo respondió exactamente con el resultado esperado, tanto para las situaciones de fuga inducida (NO HERMÉTICO), como para situaciones de hermeticidad absoluta del sistema (HERMÉTICO).

Dada la intensidad de la señal ocasionada por el burbujeo de la pérdida sumergida, el equipo respondió satisfactoriamente a esta situación, considerando el nivel mínimo de vacío (20 inH₂O) y el punto más alejado desde la pérdida (28.6 m) con la máxima interferencia.

7. CONCLUSIONES

La construcción del banco de prueba permitió evaluar la performance del diseño del equipo de detección de pérdidas subterráneas, hasta lograr la respuesta deseada.

El equipo obtenido permite discriminar pérdidas sumergidas de aquellas fugas en la fase gaseosa, cumpliendo con la capacidad de detección establecida en la norma US EPA subparte D-Relase Detection.

El equipo obtenido ha respondido adecuadamente en las 42 corridas ejecutadas para el escenario crítico, y no ha verificado “falsos positivos”, ni “falsos negativos”.

La tecnología alcanzada responde satisfactoriamente, garantizando una exactitud del

100% en la respuesta para SASH, en prestaciones tan demandantes como el escenario crítico planteado. Cualquier situación más exigente al escenario crítico evaluado, podría exceder el alcance de la regulación establecida por Resolución N° 266/08 del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

8. REFERENCIAS

- [1] Meng, L., L. Yuxing, W. Wuchang, and F. Juntao, “Experimental study on leak detection and location for gas pipeline based on acoustic method”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 25 (1), pp. 90 – 102 (2012).
- [2] Cui-wei, L., L. Yuxing, F. Juntao, and L. Guang-xiao, “Experimental study on acoustic propagation-characteristics- based leak location method for natural gas pipelines”, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 96, pp. 43 –60 (2015),.
- [3] Marta Sigut, Silvia Alayón, Eladio Hernández, “Applying pattern classification techniques to the early detection of fuel leaks in petrol stations”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 80, pp. 262-270 (2014).
- [4] W. Kaewwaewnoi, A. Prateepasen, P. Kaewtrakulpong, “Investigation of the relationship between internal fluid leakage through a valve and the acoustic emission generated from the leakage”, *Measurement*, Vol. 43, pp. 274-282 (2010).
- [5] Joseph W. Maresca, Jr., James W. Starr, Robert D. Roach, Daniel Naar, Robert Smedfjeld, John S. Farlow and Robert W. Hillger, “Evaluation of volumetric leak detection methods used in underground storage tanks”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 26, pp. 261-300 (1991).
- [6] Cui-wei Liu, Yu-xing Li, Yu-kun Yan, Jun-tao Fu, Yu-qian Zhang, “A new leak location method based on leakage acoustic waves for oil and gas pipelines”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 35, pp. 236-246 (2015).
- [7] Farhad Nadim, Peter Zack, George E. Hoag, Shili Lui, Robert J. Carley, “Non-Uniform Regulations of Underground Storage Tanks in the United States”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 6, No. 5/6, pp. 341-348, 2000.
- [8] Xu Qingqing, Zhang Laibin, Liang Wei, “Acoustic detection technology for gas pipeline leakage”, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 91, pp. 253-261 (2013).
- [9] A. Mostafapour, S. Davoudi, “Analysis of leakage in high pressure pipe using acoustic emission method”, *Applied Acoustics*, Vol. 74, pp. 335-342 (2013).
- [10] Shuaiyong Li, Nuowei Cheng, Ping Wang, Dong Yan, Peng Wang, Yuliang Li, Xiaolong Zhao, Pengfei Wang, “Extraction of single non-dispersive mode in leakage acoustic vibrations for improving leak detection in gas pipelines”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 41, pp. 77-86 (2016).

[11] Liang Wei, Zhang Laibin, Xu Qingqing, Yan Chunying, “Gas pipeline leakage detection based on acoustic technology”, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 31, pp. 1-7 (2013).

[12] Hao Jin, Laibin Zhang, Wei Liang, Qikun Ding, “Integrated leakage detection and localization model for gas pipelines based on the acoustic wave method”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 27, pp. 74-88 (2014).

[13] Majid Ahadi, Mehrdad Sharif Bakhtiar, “Leak detection in water-filled plastic pipes through the application of tuned wavelet transforms to Acoustic Emission signals”, *Applied Acoustics*, Vol. 71, pp. 634-639 (2010).

9. CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1. Normativas.....	2
2.2. Técnicas de ensayos	2
3. METODOLOGÍA	2
4. DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO	3
4.1. Dispositivo de montaje	3
4.2. Sensor.....	4
4.3. Placa de audio.....	4
4.4. Software	6
5. EVALUACIÓN DE PERFORMANCE DE LA TECNOLOGÍA	6
5.1. Variables consideradas	6
5.2. Banco de pruebas	6
5.3. Procedimiento de ensayo	9
6. RESULTADOS.....	10
7. CONCLUSIONES	10
8. REFERENCIAS.....	11
9. CONTENIDO	12