

XVI Congreso Argentino de Acústica

Buenos Aires, 22 y 23 de Noviembre 2018

Asociación Amigos del Museo Nacional de Bellas Artes



Experiencias en cancelación activa de ruido para ambientes industriales

Experiencias on Active Noise Cancellation for Industrial Environments

AdAA2018-014

Clasificación: SP

Guillermo Friedrich^{†1}, Adrián Azzurro^{†2}, Matías Silva Bustos^{†3}, Santiago Constantini^{†4} y Rodrigo Goyanarte^{†5}

† Proyecto "Procesamiento de señales vibro-acústicas. Análisis de casos de estudio, modelación, prototipado y experimentación" (PID 3972)

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Bahía Blanca

Departamentos de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecánica

11 de Abril 461, Bahía Blanca, Argentina

¹ gfried@frbb.utn.edu.ar

² azzurro@frbb.utn.edu.ar

³ matiasasb@gmail.com

⁴ santiago.constantini@gmail.com

⁵ rofg11@hotmail.com

Abstract— In industrial plants there are rotating equipment that produce high levels of noise, of discrete frequencies related to its rotation speed. These high levels of sound can cause damage to the ear, more or less serious depending on the intensity and time of exposure. Depending on these factors it may be mandatory to wear hearing protection and / or reduce the exposure time. In less severe cases, noise affects the comfort of workers and reduces their productivity. In addition to using hearing protection elements, it may be necessary to apply techniques to attenuate noise. At low frequencies passive methods are inefficient, so that active techniques, such as those discussed in this paper, are of interest. The motivation has arisen from analyzing the noise emitted by a high power blower installed in a petrochemical plant. Two prototypes have been developed and tested in the laboratory, both based on active noise control techniques, one of feedback type and the other of feed-forward type; both implemented on digital signal processors. They were achieved attenuations of about 26 dB on a pipeline and 17 dB in open space, which motivates to continue working on this line, trying to reach its practical implementation in the field.

Keywords: active noise control; industrial noise; blowers noise.

Resumen— En las plantas industriales existen equipos rotantes que emiten elevados niveles de ruido, de frecuencias discretas relacionadas con su velocidad de rotación. Los elevados niveles de sonido causan daños al oído, más o menos graves según la intensidad y el tiempo de exposición. Dependiendo de estos factores puede ser obligatorio usar protección auditiva y/o reducir el tiempo de exposición. En casos menos graves el ruido afecta al confort de los trabajadores y reduce su productividad. Además de utilizarse elementos de protección auditiva, puede ser necesario aplicar técnicas para atenuar el ruido. En bajas frecuencias los métodos pasivos son ineficientes, por lo que resultan de interés las técnicas activas, como las que se tratan en este trabajo. La motivación ha surgido de analizar el ruido emitido por un soplante de alta potencia instalado en una planta petroquímica. Se han desarrollado y ensayado en laboratorio dos prototipos, basados en técnicas de control activo de ruido de tipos feedback y feed-forward, ambas implementadas sobre procesadores digitales de señales. Se midieron atenuaciones del orden de 26 dB sobre un ducto y 17 dB en espacio abierto, que motivan a continuar trabajando en esta línea, tratando de llegar a su implementación práctica en el campo.

Palabras clave: control activo de ruido; ruido industrial; ruido de soplantes.

I. INTRODUCCIÓN

El ruido en los ambientes industriales es uno de los factores de riesgo más comunes para la salud de los trabajadores. En muchos casos es factible controlar el impacto de su nivel excesivo utilizando elementos de protección, pero también es posible aplicar tecnología a las máquinas ruidosas. Los altos niveles de ruido pueden causar daños más o menos graves en el oído, dependiendo de su intensidad y del tiempo de exposición. En algunos casos resulta obligatorio usar protección auditiva y además reducir el tiempo de exposición. Otras veces el ruido afecta al confort de los trabajadores y reduce su productividad. Por lo tanto se hace necesario utilizar elementos de protección auditiva y, de manera complementaria, aplicar técnicas para atenuar el ruido.

Por lo general, los soplantes rotativos de uso industrial emiten elevados niveles de ruido de frecuencias discretas, relacionadas con su velocidad de rotación. La Fig. 1 muestra un soplante rotativo típico montado en su gabinete.



Fig. 1. Un soplante típico montado en su gabinete.

Si las frecuencias de ruido se encuentran en el extremo inferior del espectro no resulta conveniente atenuarlas mediante técnicas pasivas, lo que motiva a la aplicación de técnicas de control activo de ruido (ANC).

El soplante que se ha tomado como caso de estudio para el presente trabajo es uno de tres lóbulos y 110 kW de potencia. Produce una intensidad de ruido de 105 dB (A) frente a la puerta del gabinete. Este ruido tiene un componente tonal principal de 240 Hz y varios armónicos de amplitudes significativas de hasta 960 Hz y también 1200 Hz. La Fig. 2 muestra un diagrama espectral obtenido por medio de un micrófono de medición Presonus PRM1 [1], un

dispositivo AudioBox USB [2] y el software StudioOne [3].

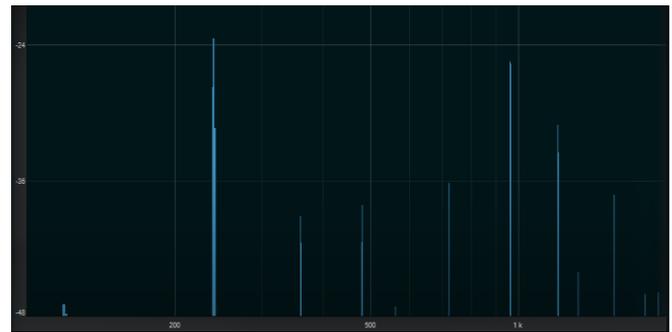


Fig. 2. Diagrama espectral del ruido emitido por el soplante bajo estudio.

Frente al soplante, a unos 30 m de distancia, hay un edificio de oficinas a través de cuyas ventanas ingresa el ruido que proviene de dicho equipo. Debido a que las componentes de frecuencias más altas, 960 y 1200 Hz, podrían ser atenuadas mediante técnicas pasivas, y que también se atenúan más por la distancia, se propuso intentar atenuar la componente de 240 Hz aplicando técnicas de ANC.

Aunque las bases teóricas de ANC ya se encuentran maduras, actualmente hay una producción importante en términos de su aplicación a diferentes entornos y problemas [4]. Cabe mencionar, entre otras, las aplicaciones de ANC para reducir el ruido de los transformadores de potencia en entornos urbanos [5]; atenuación del ruido en ventanas de viviendas [6]; atenuación de ruido en conductos de aire acondicionado [7]; control activo del ruido en cabinas de vehículos [8]; silenciadores activos / pasivos [9]; sistemas de ruido activo para reducir el ruido exterior [10].

Los ensayos preliminares de laboratorio se llevaron a cabo utilizando un ducto típico para este tipo de ensayos [11], con el fin de ajustar detalles y parámetros de los algoritmos, el hardware y el software. Luego se llevaron a cabo otros ensayos en espacio abierto, tratando de emular las condiciones de operación del soplante junto con la solución activa.

En la sección siguiente se describen las configuraciones típicas de sistemas ANC, luego se analizan las dos que se han implementado y ensayado, y los resultados obtenidos con ambas.

II. CONFIGURACIONES DE SISTEMAS ANC

Los sistemas de control activo de ruido se basan en dos métodos: feed-forward y feedback. En el

método feed-forward se sensa el ruido en la fuente y se lo toma como referencia. Estos se clasifican además en dos categorías: control adaptativo feed-forward de banda ancha, que utiliza un sensor de entrada acústico (Fig. 3) y control adaptativo feed-forward de banda estrecha, que utiliza un sensor de entrada no acústico (Fig. 4). En el método feedback el controlador intenta cancelar el ruido sin tener una referencia del ruido de entrada, por lo que debe estimarla (Fig. 5).

En las Figs. 3, 4 y 5 se presentan los tres esquemas operando sobre un ducto, que es la típica estructura utilizada para ensayar los sistemas y técnicas de ANC.

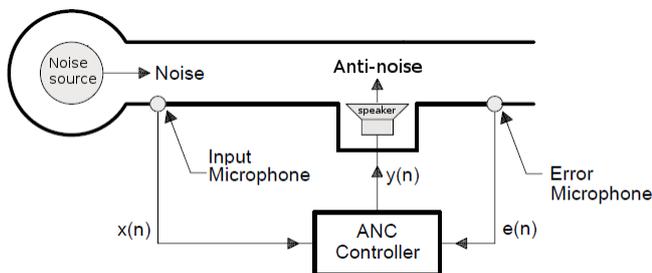


Fig. 3. Sistema ANC feed-forward de banda ancha

Un sistema ANC feed-forward de banda ancha tiene la desventaja de presentar realimentación acústica, que debe ser cancelada. El anti-ruido emitido por el parlante no solo cancela el ruido acústico que va hacia el final de la tubería, sino que también irradia hacia el micrófono de entrada, contaminando la entrada de referencia $x(n)$. Esta realimentación acústica es una fuente potencial de inestabilidad.

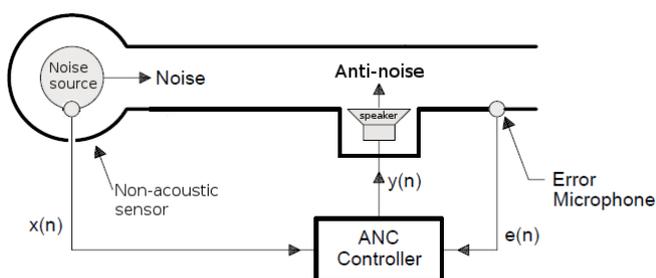


Fig. 4. Sistema ANC feed-forward de banda estrecha.

Cuando el ruido primario es periódico (o cuasi periódico), como es el caso del ruido producido por los soplantes rotativos, el micrófono de entrada puede reemplazarse por algún tipo de transductor no acústico (por ej.: un tacómetro, un acelerómetro o algún sensor óptico), que no se ve

afectado por el fenómeno de la realimentación acústica.

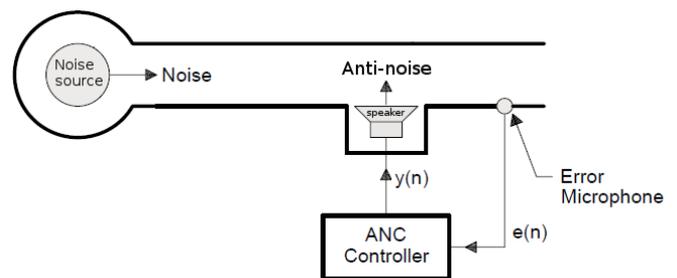


Fig. 5. Sistema ANC feedback.

En el esquema ANC feedback, se usa un micrófono como sensor de error para detectar el ruido no deseado. A partir de esta señal de error se extrae una estimación de la señal de ruido original, que luego es filtrada y amplificada para producir la señal de anti-ruido, con la magnitud y fase necesarias para cancelar el ruido.

Esta configuración proporciona una menor atenuación que la feed-forward, y podría sufrir inestabilidad debido al lazo de realimentación. Sin embargo, en base a este esquema es posible obtener un sistema robusto para cancelar ruido de banda estrecha.

En el caso de la máquina que es objeto de este trabajo, el esquema feedback tiene la ventaja de no ser invasivo, ya que no es necesario montar un sensor en dicha máquina para obtener la señal de ruido.

En caso de obtenerse resultados favorables, será posible justificar la necesidad de trabajar sobre la máquina para mejorar el sistema, convirtiéndolo en feed-forward de banda estrecha. Debe tenerse en cuenta que este tipo de máquina es parte de un proceso continuo de muy alto costo, cuya operación y mantenimiento se controla mediante procedimientos muy rigurosos y estandarizados. Cualquier modificación experimental que uno desee hacer debe estar muy bien justificada para que la empresa autorice a realizarla.

Si bien se trabajó casi en paralelo en el desarrollo de dos soluciones, una de tipo feedback y otra feed-forward, la primera que se llegó a ensayar fue la de tipo feedback [15]. También hay algunos resultados preliminares de la alternativa feed-forward [16], aunque se sigue trabajando sobre la misma para mejorar su desempeño. Cabe señalar que se utilizaron con fines comparativos para ambos casos los resultados presentados en

[7], obtenidos en base a una configuración feed-forward.

A continuación se describen las dos soluciones implementadas, los ensayos realizados y los resultados obtenidos. Posteriormente se efectúa un análisis comparativo de los mismos.

III. SOLUCIÓN DE TIPO ANC FEEDBACK

Un sistema ANC feedback, como el que se presenta en el diagrama en bloques de la Fig. 6, se basa en un predictor adaptativo. Debido a que este sistema requiere sólo un micrófono de error, evita el inconveniente de la realimentación acústica inherente al método feed-forward.

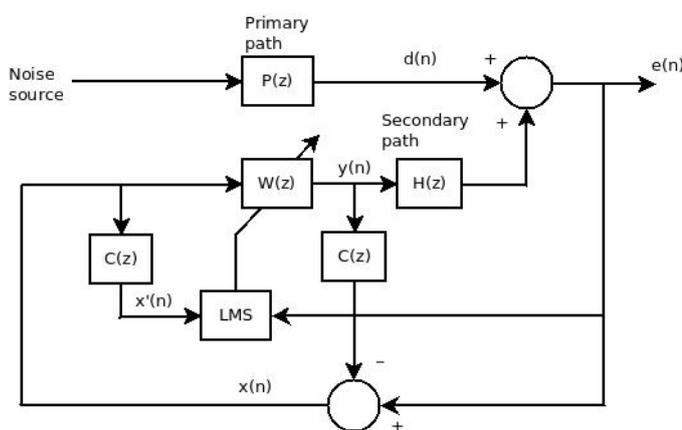


Fig. 6. Diagrama en bloque de un sistema ANC feedback

La idea básica de este algoritmo es estimar el ruido primario $d(n)$ y utilizar este valor como la entrada de referencia para el filtro adaptativo. $H(z)$ representa la función transferencia del camino secundario, mientras que $C(z)$ es una estimación de $H(z)$ obtenida por medio de un proceso de identificación fuera de línea FxLMS.

Para que la señal de error sea cero es necesario que $-W(z)H(z)X(z) = D(z)$, donde $W(z)H(z)$ es igual a un retardo equivalente a un múltiplo del período de la señal, y el signo menos indica el desplazamiento de fase de 180° que es necesario aplicar para cancelar $D(z)$.

A. Configuración utilizada para los ensayos

En la Fig. 7 se presenta un diagrama en bloques de la configuración utilizada tanto para los ensayos en el ducto como en espacio abierto.

La solución fue desarrollada sobre un kit ADSP-21061 EZ-KIT Lite [12] de Analog Devices, que está basado en el procesador ADSP-21061 [13] funcionando a 40 MHz, con un códec AD1847 de 16 bits estéreo [14], configurado para

una frecuencia de muestreo de 8 kHz. El código de programa fue desarrollado en lenguaje C.

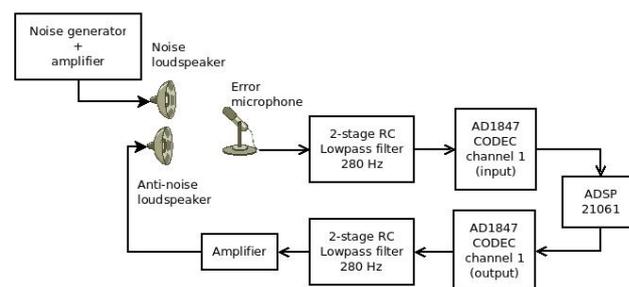


Fig. 7. Configuración feedback utilizada para los ensayos.

El filtro pasa-bajo RC de entrada ha sido insertado para atenuar las frecuencias de orden superior que no son de interés para el sistema ANC. El filtro pasa-bajo RC de salida tiene el objetivo de eliminar el ruido de alta frecuencia (ripple) causado por el procesamiento adaptativo, que altera la señal anti-ruido. La inserción de ambos filtros ha mejorado la estabilidad y el rendimiento del sistema.

La Fig. 8 muestra ambos parlantes, uno utilizado para emitir el ruido y el otro para el antiruido. Además, la misma figura muestra la cápsula del micrófono de error y el micrófono utilizado para hacer las mediciones, ubicados en frente de los parlantes.



Fig. 8. Parlantes y micrófonos utilizados en los ensayos.

B. Ensayos y resultados obtenidos

En las primeras etapas se realizaron varios ensayos sobre un ducto instalado en el laboratorio, a fin de ajustar el código del programa, los algoritmos y el hardware, entre otros detalles. La atenuación obtenida para un ruido monotonal de 240 Hz fue de 18,2 dB en escala lineal y 17 dB en escala global.

Posteriormente, en una sala multiusos que no cuenta con ningún acondicionamiento acústico, se montó la configuración para realizar los ensayos en espacio abierto (Fig. 8).

Se utilizaron dos señales de ruido diferentes para los ensayos: un tono puro de 240 Hz y una grabación del sonido emitido por soplante, cuyo diagrama espectral se muestra en la Fig. 2.

Las mediciones de ruido se realizaron mediante dos dispositivos / métodos: (i) software Studio One alimentado por un micrófono de medición Presonus PRM1 a través de un USB AudioBox; (ii) Sonómetro Cesva. La atenuación del tono de 240 Hz se midió con el primer método, mientras que la atenuación del nivel de sonido global se midió con el sonómetro.

En la Tabla I se muestran los resultados obtenidos para un tono puro de 240 Hz. Se puede observar que cuando el micrófono de error estuvo ubicado más cerca de los parlantes se logró una mayor atenuación. Esto se debe a que la relación señal/ruido es 1,5 dB mejor y permite un control adaptivo más preciso.

También se obtuvo una mayor reducción en la escala global con respecto al tono único de 240 Hz, 23,8 dB frente a 19,4 dB, debido a la curva de compensación de dB (A) utilizada por el sonómetro en dicha escala global. Cabe mencionar que los resultados obtenidos en estos ensayos realizados en espacio abierto fueron mejores que los obtenidos en el ducto, que fueron consignados previamente.

TABLA I
ATENUACIÓN DE UN TONO PURO DE 240 Hz (FEEDBACK)

Atenuación de un tono puro de 240 Hz (Feedback)		
Distancia entre parlantes y micrófono de error	40 cm	30 cm
Intensidad inicial del ruido (medida junto al micrófono de error microphone con un sonómetro Cesva usando la escala global)	82,6 dB(A)	84,3 dB(A)
Atenuación medida con el micrófono Presonus + AudioBox + software Studio One	15,2 dB	19,4 dB
Atenuación medida con sonómetro Cesva en escala global (dB(A))	18,1 dB	23,8 dB

En la Tabla II se presentan los resultados obtenidos usando una grabación del ruido emitido por el soplante, cuyo diagrama espectral se muestra en la Fig. 2. Se puede observar que la atenuación del tono de 240 Hz es

aproximadamente 3 dB menor que para el caso del ruido monotonal (Tabla I). La presencia de otras componentes tonales significa una menor relación señal a ruido con respecto a la componente de interés, lo que degrada la calidad de la estimación de la señal a cancelar. Asimismo se observa que el ruido global casi no tiene reducción, porque el resto de las componentes tonales tiene una gran influencia en el valor de la suma ponderada con la que se calcula el valor expresado en dB (A).

TABLA II
ATENUACIÓN DE LA COMPONENTE DE 240 Hz DEL RUIDO DEL SOPLANTE (FEEDBACK)

Atenuación de la componente de 240 Hz del ruido del soplante (feedback)	
Distancia entre parlantes y micrófono de error	30 cm
Intensidad inicial del ruido (medida junto al micrófono de error microphone con un sonómetro Cesva usando la escala global)	85,7 dB(A)
Atenuación medida con el micrófono Presonus + AudioBox + software Studio One	16,2 dB
Atenuación medida con sonómetro Cesva en escala global (dB(A))	0,2 dB
Atenuación medida con sonómetro Cesva en el modo espectral (división de 250 Hz)	16 dB

Comparando con los resultados reportados en [7], correspondientes a ensayos realizados en espacio abierto con una configuración feed-forward y algoritmo adaptivo con pérdidas (leaky), se puede observar que:

- Para un tono puro (240 Hz en el presente estudio, 200 Hz en [7]), el modelo basado en feed-forward brindó una mayor atenuación: 28,5 dB versus 23,8 dB. Sin embargo, esta diferencia es aceptable y muestra un buen desempeño del esquema feedback.
- Para ruido consistente en una combinación de tonos la comparación no es tan clara, debido a las diferencias en las condiciones de ambos ensayos. El presente ensayo se realizó con un ruido con componentes entre 240 Hz y 1200 Hz, mientras que el de [7] se realizó con un ruido compuesto por tonos de entre 200 Hz y 400 Hz, con 20 Hz de separación entre c/u.

Los resultados de [7] muestran una atenuación de entre 16,7 dB y 4,2 dB, de acuerdo a la intensidad sonora del ruido. Mientras tanto, la solución feedback presentó casi nula atenuación a nivel global, pero 16 dB sobre la componente de 240 Hz.

Los resultados obtenidos y la simplicidad del modelo feedback permiten considerar que es valedero seguir trabajando sobre la misma, con vistas a su aplicación práctica.

IV. SISTEMA ANC FEED-FORWARD

La solución basada en un esquema ANC de tipo feed-forward [16] fue desarrollada sobre la base de un kit de DSP TMS320C6748 de Texas Instruments. En primera instancia se realizaron ensayos sobre el ducto en el laboratorio, que permitieron ajustar detalles de algoritmos, software y hardware. Para ruido monotonal de 225 Hz y 250 Hz se obtuvieron atenuaciones de 25,2 dB y 26,2 dB, respectivamente, en banda de octavas, y 21,4 dB y 23,7 dB, respectivamente, en escala global. Estos resultados fueron mejores en 6 dB o más que los obtenidos en el ducto mediante la solución feedback.

Posteriormente se realizaron ensayos en espacio abierto, en el mismo lugar que para el caso feedback. En los siguientes apartados se describe la configuración utilizada y los resultados obtenidos para estas últimas pruebas.

A. Configuración utilizada para los ensayos

En la Fig. 9 se presenta un diagrama en bloques de la configuración ANC feed-forward y en la Fig. 10 se puede observar la disposición de parlantes y micrófonos para la realización de tales ensayos.

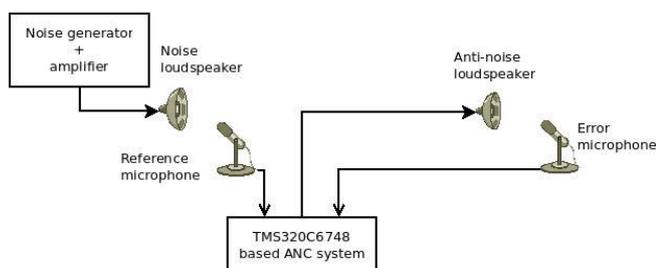


Fig. 9. Configuración para los ensayos de feed-forward.



Fig. 10. Disposición de parlantes y micrófonos para ensayos feed-forward

El parlante de la derecha emite el ruido y el izquierdo el anti-ruido. Se observan también, frente a cada parlante, las cápsulas de ambos micrófonos. La distancia entre parlantes fue de 1 m y cada micrófono estaba ubicado a 30 cm del correspondiente parlante.

B. Ensayos y resultados obtenidos

Al igual que para la solución feedback, se evaluó el desempeño del sistema para cancelar, por una parte, un ruido monotonal de 240 Hz y, por otra parte, el ruido grabado del soplante de interés. Las mediciones fueron efectuadas mediante el sonómetro Cesva.

En la Tabla III se observan los resultados obtenidos para la cancelación de un ruido monotonal de 240 Hz.

TABLA III
ATENUACIÓN DE UN TONO PURO DE 240 Hz (FEED-FORWARD)

Atenuación de un tono puro de 240 Hz (feed-forward)	
Distancia entre parlantes	1 m
Distancia entre parlante y micrófono	30 cm
Atenuación medida con sonómetro Cesva en escala global (dB(A))	16,8 dB
Atenuación medida con sonómetro Cesva en el modo espectral (división de 250 Hz)	17,3 dB

En la Tabla IV se presentan los resultados obtenidos para un ruido generado a partir de una grabación del ruido emitido por el soplante, cuyo diagrama espectral se puede observar en la Fig. 2.

TABLA IV
ATENUACIÓN DE LA COMPONENTE DE 240 Hz DEL RUIDO DEL SOPLANTE (FEED-FORWARD)

Atenuación de la componente de 240 Hz del ruido del soplante (feed-forward)	
Distancia entre parlantes	1 m
Distancia entre parlantes y micrófonos	30 cm
Atenuación medida con sonómetro Cesva en escala global (dB(A))	5,8 dB
Atenuación medida con sonómetro Cesva en el modo espectral (división de 250 Hz)	10 dB
Atenuación medida con sonómetro Cesva en el modo espectral (división de 1 kHz)	5 dB

Contrariamente a lo esperado, los resultados obtenidos para un ruido monotonal mediante la solución feed-forward no fueron mejores que los de la solución feedback. Incluso están bastante por debajo de los obtenidos en el ducto, por lo que se debe seguir trabajando para su mejora.

En el caso de un ruido compuesto, como es el ruido grabado del soplante, se observa un mejor desempeño en modo global que el obtenido con la solución feedback. Sin embargo, en la banda de

octavas que comprende al tono de 240 Hz la atenuación fue inferior que con la solución feedback.

Estos resultados, si bien son aceptables para una primera serie de ensayos, todavía requieren seguir trabajando en la puesta a punto del sistema.

V. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

El ruido producido por los equipos industriales es un grave problema que afecta la salud y el confort de trabajadores y vecinos. Por esta razón es interesante encontrar soluciones innovadoras, como es el caso del uso de ANC, para reducir los ruidos de baja frecuencia generados por este tipo de máquinas.

En este trabajo se presentaron las experiencias realizadas con el desarrollo y ensayo de un sistema ANC de tipo feedback y otro de tipo feed-forward, cuyo objetivo final es su aplicación para la reducción del ruido emitido por un soplante de alta potencia de una planta de procesos. Ambas implementaciones fueron desarrolladas sobre procesadores de señales digitales.

Se realizaron ensayos en laboratorio, primero sobre un típico ducto y luego en espacio abierto, tratando de emular las condiciones en que el sistema debería operar junto al soplante.

Los ensayos dieron resultados parcialmente satisfactorios para la solución feedback, lográndose más de 19 dB de atenuación para un ruido tonal de 240 Hz (y más de 23 dB cuando se efectuaron mediciones en la escala de dB (A)). Sin embargo se debe seguir trabajando para mejorar su desempeño cuando el ruido está compuesto por diferentes tonos.

Por su parte, la alternativa implementada bajo un esquema feed-forward, que en las pruebas en ducto arrojaron mejores resultados que la opción feedback, no tuvo tan buen desempeño en espacio abierto. Sin embargo, estas fueron una primera serie de pruebas y se sigue trabajando sobre el software y la electrónica para mejorar los resultados.

REFERENCIAS

- [1] "PreSonus PRM1: Precision Reference Microphone". <https://www.presonus.com/productos/es/PRM1/especificaciones> [Jul. 04, 2018].
- [2] "AudioBox USB: Sistema de grabación USB 2x2". <https://www.presonus.com/productos/es/AudioBox-USB/especificaciones> [Jul. 04, 2018].
- [3] "StudioOne: software para masterización de sonido". <https://www.presonus.com/productos/es/Studio-One/especificaciones> [Jul. 04, 2018].
- [4] S. M. Kuo and D. R. Morgan, "Active noise control: a tutorial review", *Proc. IEEE*, vol. 87, no. 6, pp. 943-973, Jun. 1999.
- [5] J. Liang, T. Zhao, L. Zou, L. Zang and Z. Li, "Adaptive active noise control system of a power transformer", 2015 Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communications and Control (IMCCC), 18-20 September 2015, Qinhuangdao, China, pp. 1394-1397.
- [6] H. Huang, X. Qiu and J. Kang, "Active noise attenuation in ventilation windows", *J. Acoust. Soc. Am.* 2011, 130(1), pp. 1-13.
- [7] I. Doré Landau, R. Meléndez, L. Dugard and G. Buche "Robust and adaptive feedback noise attenuation in ducts", *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (early access), December 2017, pp 1-8.
- [8] J. Pan, Y. Liu, "Active control of noise in vehicle cabins", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 131, no. 4, pp. 3379-3385, 2012.
- [9] Health and Safety Executive (HSE), "Active/absorptive silencer for a rotary blower", <http://www.hse.gov.uk/Noise/casestudies/soundsolutions/rotaryblower.htm>, last access: may 10, 2018.
- [10] M. Biagini, F. Borchini, M. Carfagni, L. Fibucchi, A. Lapini and F. Argenti, "Active Noise Systems for Reducing Outdoor Noise", 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV24), London, July 2017.
- [11] G. Friedrich et al, "Señales vibro-acústicas y control activo de ruido", *Proceedings of XV Congreso Argentino de Acústica AdAA 2017*, Bahía Blanca, Argentina, 23-24 Nov. 2017. ISBN 978-987-24713-9-2. <http://www.adaa.org.ar/adaa2017/AdAA2017-18.pdf>, last access may 10, 2018.
- [12] "ADSP-21061 EZ-KIT Lite Evaluation System Manual". http://www.analog.com/media/en/dsp-documentation/legacy-evaluation-kit-manuals/39812179506535ADSP_21061_EZ_KIT_Lite_Man_Rev2.pdf [Jul. 04, 2018].
- [13] "ADSP-21061 datasheet". http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADSP-21061_21061L.pdf [Jul. 04, 2018].
- [14] "AD1847 Codec datasheet". <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/obsolete-data-sheets/1215246AD1847.pdf> [Jul. 04, 2018].
- [15] G. R. Friedrich, G. H. Reggiani, P. Girón y A. Azzurro, "Feedback Active Noise Control based on a Digital Signal Processor for Reducing Noise from a Blower Machine". *Proceedings of Congreso Argentino de Sistemas Embebidos (CASE 2018)*, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, August, 15-17, 2018. ISBN 978-987-46297-5-3.
- [16] S. Constantini, R. Goyanarte, M. Silva Bustos y G. Friedrich, "Cancelación activa de ruido con TMS320C6748 para aplicaciones industriales". *Proceedings of IX Congreso de Microelectrónica Aplicada (uEA 2018)*, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina, October, 9-10, 2018. Categoría Trabajos Estudiantiles. <http://latices.tecno.unca.edu.ar/ocs/index.php/uea2018/uea2018/paper/viewFile/157/21>