

# Metodología de Control Activo de Ruido en Ductos

**Tumialán Borja José Antonio**  
**Murrillo R. Freddy Alexander**  
**Enciso N. Willian Roberto**

Universidad de La Sallé, Colombia-DC, [jtumialan@unisalle.edu.co](mailto:jtumialan@unisalle.edu.co)

## RESUMEN

En este artículo presenta el diseño, implementación y comparación de técnicas de control activo de ruido, estos controladores se basa en técnicas de control adaptativo mediante un filtro FIR y el algoritmo LMS, el principio de funcionamiento de esta metodología de control es, en el fenómeno de interferencia destructiva y superposición lineal de ondas, la idea es generar una señal idéntica a la señal de ruido que se desea cancelar, logrando atenuar el ruido que se propaga al interior del entorno acústico, para la validación de esta aplicación se construyó un prototipo experimental, durante las pruebas realizadas, se lograron atenuar niveles de presión sonora por el orden de los 50 dB, sobre ruidos tipo industriales que se propagaban al interior del ducto.

**Palabras claves:** Ruido industrial, Control activo de ruido, Control pasivo de ruido, Filtro FIR, Algoritmo LMS.

## ABSTRACT

This paper presents the design, implementation and comparison of techniques for active noise control, these controllers is based on adaptive control techniques using a FIR filter and LMS algorithm, the operating principle of this method of control is, in the phenomenon of destructive interference and linear superposition of waves, the idea is to generate an identical signal to noise signal to be cancelled, making attenuate noise propagating inside the acoustic environment for validation of this application was built an experimental prototype During the tests, were achieved attenuate sound pressure levels in the order of 50 dB, on industrial type noises propagated within the duct.

**Keywords:** Industrial noise, active noise control, passive noise control, FIR filter, LMS algorithm

## 1. INTRODUCCIÓN

Acústicamente el ruido se define como: *“la emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído de una persona y que puede provocar una sensación de molestia o incluso dolor”*.

Un largo tiempo de exposición al ruido puede causar sobrecarga en el corazón generando secreciones anormales de hormonas y tensiones musculares, afectando negativamente el organismo humano. En el sistema nervioso central, el ruido afecta a las corrientes cerebrales y origina alteraciones en los electroencefalogramas. En el sistema cardiovascular una exposición prolongada al ruido produce alteraciones del ritmo cardiaco y aumento de la tensión. En el sistema digestivo se detectan alteraciones en la secreción acida del estomago. Y sobre el equilibrio humano exposiciones elevadas de ruido pueden provocar nauseas, vomito, vértigos y pérdidas del equilibrio. En función a los síntomas que origina el ruido en las personas, se clasifican en dos tipos de ruido: Industrial (normalmente ruido a baja frecuencia) que se refiere a la pérdida de audición, trauma sonoro o daño que se produce durante la actividad laboral, y el ruido urbano.

Los controladores pasivos usan el concepto de cambio de impedancia acústica causada por la combinación de deflectores y tubos para eliminar el ruido indeseable (silenciadores reactivos), o el concepto de pérdida de energía causada por la propagación del sonido en un conducto lleno con material absorbente de sonido (silenciadores resistivos).

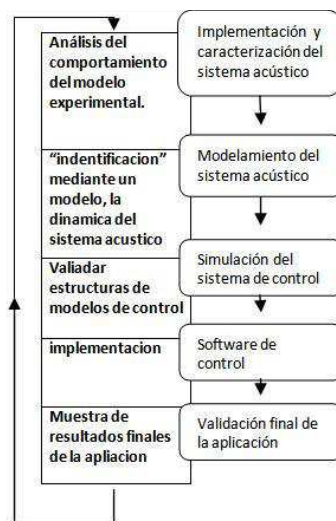
El control pasivo de vibraciones se lleva a cabo desacoplando el sistema con un amortiguador (sistema masa-resorte), lo cual es el equivalente mecánico de un filtro eléctrico pasa bajo.

La frecuencia debajo de la cual el aislamiento vibratorio es ineficiente, es inversamente proporcional a la raíz de la suma coeficiente de amortiguación del resorte y la masa del material absorbente. Así, conforme la frecuencia de la señal o ruido de interés decrece, la masa y el resorte deben de incrementarse, hasta tal punto donde ya no es eficiente la solución mediante técnicas de control de ruido pasivas, y si se logra la solución suele ser muy costosa. A si quedando limitada la efectividad de las técnicas pasivas para ruidos a bajas frecuencias.

Como un esfuerzo para resolver las limitaciones que presentan las técnicas de control pasivo para ruidos a baja frecuencias, las técnicas de control activo de ruido utiliza fuentes adicionales de señales para cancelar el ruido original. El uso de modelos matemáticos y métodos de simulación, en la solución de problemas de control de ruido permite una simplificación importante del procedimiento de cálculos y costo de implementación en lo que compete a control de ruido a baja frecuencia. Estos modelos se conocen como “modelos de transferencia global”. En el presente artículo muestra la implementación y comparación de las técnicas de control adaptativas FXLMS y FBFXLMS, simuladas e implementadas en un prototipo experimental.

## 2. METODOLOGÍA DE CONTROL

Las fases de diseño del controlador activo de ruido al interior de un ducto, esta compuesta de varias etapas: Caracterizar el comportamiento del sistema, Identificar el modelo electro-acústico ducto-parlante, Simular los modelos de control, y por último implementar y validar el modelo de control en el prototipo experimental.



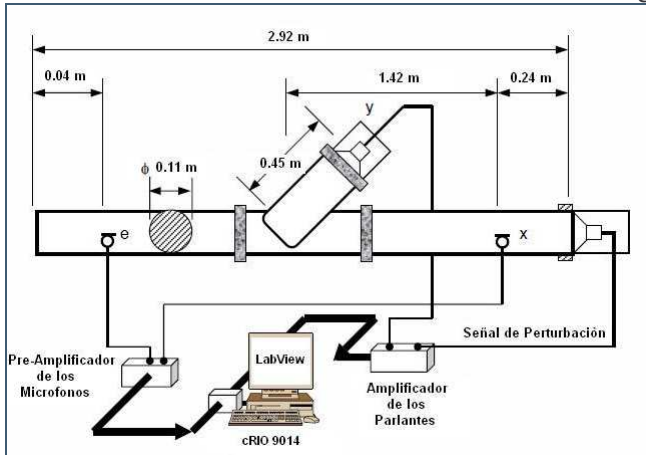
**Figura 1. Diagrama de secuencia de la metodología de control.**

Con la caracterización del entorno acústico, se determina la respuesta característica del sistema, y se ajusta las constantes del modelo matemático, para poder identificar la dinámica del sistema, y mediante la simulación, se establecen los parámetros de funcionamiento del modelo de control a implementar. Como fase final, se diseña la arquitectura del software de la unidad de control, y se realiza la implementación del modelo de control, en la unidad de control, por último se muestran los niveles de presión acústicos atenuados en la aplicación.

### 2.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE CONTROL

#### 2.1.1 ENTORNO ACÚSTICO DE CANCELACIÓN

El entorno acústico, se refiere al espacio bidimensional o tridimensional en el cual se desea realizar control de ruido, para este proyecto se implemento un prototipo experimental (Murillo R, F.and Enciso N, W., 2009), que consiste en un ducto acústico como se observa en la figuras 2a y 2b.



**Figura. 2a Diagrama y dimensionales del prototipo experimental**



**Figura. 2b. Foto del prototipo experimental.**

El prototipo experimental consta de dos parlantes, un parlante que funciona como fuente de ruido, y otro parlante que funciona como fuente de control. Dos micrófonos que funcionan como sensores de presión acústica, el primer micrófono mide la presión acústica de la señal de ruido y el segundo mide el componente residual entre la señal de ruido y la señal de control. Esta última señal se retroalimenta al sistema de control, de forma que el sistema se adapta a los cambios futuros que puede ser la señal de ruido.

El modulo de condicionamiento de señal, es el encargado de filtrar y amplificar las señales de salida de los parlantes y de los micrófonos respectivamente.

### 2.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL

La caracterización del sistema consiste en determinar la respuesta en frecuencia del sistema. Para ello se definen las trayectorias acústicas que sufre la onda al interior del ducto. La trayectoria acústica primaria se refiere al desplazamiento que sufre la señal de ruido, hasta la posición del micrófono de error. La trayectoria acústica secundaria se refiere al desplazamiento que sufre la señal de control hasta la posición del micrófono de error. La trayectoria acústica de retroalimentación se refiere al desplazamiento que sufre la señal de control, hasta la posición del micrófono de referencia. Para hallar la respuesta en magnitud y en fase del sistema, se genera una señal sinusoidal en la fuente de ruido o en la fuente de control, dependiendo de la trayectoria acústica que se desea identificar (Murillo R, F.and Enciso N, W., 2009).

Por ejemplo para la trayectoria acústica primaria se genera una señal sinusoidal a una amplitud fija en el parlante de ruido, y se toma el nivel de presión acústico medido por los micrófonos de referencia y de error como señales de entrada y salida respectivamente, luego se realiza un incremento en frecuencia sobre la señal, y se toma el nivel presión acústica para la señal a esta nueva frecuencia, a si sucesivamente se realiza un incremento en frecuencia sobre la señal y se toman las muestras del nivel de presión acústica para cada incremento en frecuencia.

Para el caso de la trayectoria acústica secundaria y de retroalimentación las señales se generan en la fuente de control.

Para la identificación de la trayectorias acústicas se realizo un incremento en frecuencia de 10 Hz hasta 500 Hz, como muestran las figuras 6a, 6b y 6c, se puede observar la respuesta característica de las trayectorias acústicas para este determinado incremento.

La relación entre el voltajes de salida y de entrada provenientes de los micrófonos, brinda información con respecto al nivel de presión acústica medido por los sensores para la magnitud del sistema.

$$dB = 20 * \log_{10}(V_{sen}/V_e) \quad (1)$$

Donde  $V_{sen}$  y  $V_e$  son los voltajes medidos por los micrófonos de error y de referencia. La respuesta en fase del sistema, se realiza con la diferencia del Angulo de fase entre las señales del micrófono de error y el micrófono de referencia para cada incremento en frecuencia.

### 2.1.3 MODELAMIENTO MATEMÁTICO SISTEMA DUCTO-PARLANTE

Para el modelamiento matemático del sistema ducto-parlante, el modelo matemático consiste, en identificar el sistema en términos de la presión acústica, la aceleración y las fuerzas acústicas ejercidas al interior del ducto.

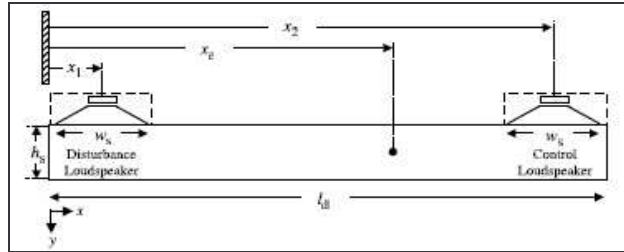


Figura. 3 Esquema del modelo del ducto acústico

Del modelo acústico figura 3 tenemos que:  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x_e$  son las distancias; del parlante de ruido, el parlante de control, y del micrófono de error, con respecto al extremo derecho del ducto,  $l_d$  es la longitud del ducto,  $w_s$  es área de los parlantes, y  $h_s$  es el diámetro del ducto.

$$p_n + l_d w_s p_n + w_s^2 p_n = \frac{2 \rho_0 c^2 A}{l_d} \sum_{j=1}^N \phi_j \phi_j \quad (2)$$

La ecuación 2 es la ecuación final que gobierna el comportamiento del ducto acústico, esta define el comportamiento del sistema, en términos de la presión acústica, la aceleración ejercida por los parlantes, y la frecuencia natural del sistema, esta ecuación relaciona la información sobre las señales de entrada y salida del sistema, además, describe dinámica interna del ducto (Bisnette, J. B, 2002).

$$\phi_j(n) = \frac{2 w_s}{\pi n A} \left[ \sin\left(\frac{\pi n x_1}{l_d}\right) - \sin\left(\frac{\pi n x_2}{l_d}\right) \right], n = 1 \dots N, j = 1, 2 \quad (3)$$

La ecuación 3 representa la ecuación de presión modal, en función de la presiones medidas por los micrófonos, en la posiciones  $x_{j1}$  y  $x_{j2}$ .

El modelo de los parlantes: El parlante es modelado, como una bobina conectada a un diafragma de forma cónica la cual inmersa un campo magnético, al alimentar la bobina con corriente eléctrica, se produce un desplazamiento del diafragma provocando de esta manera un desplazamiento en el área del cono (Cardenas N. I., 2005).

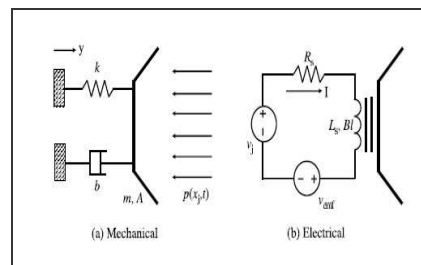


Figura. 4 Diagrama del modelo del parlante

El modelo de la figura 4 (Bisnette, J. B, 2002) integra el modelo mecánico del parlante con el modelo eléctrico, esto permite validar un modelo más aproximado del sistema parlante.

La ecuación del modelo mecánico consiste en: Considerara la masa del parlante, el área de la sección transversal del cono, los coeficientes de amortiguamiento, y la presión acústica de entrada que actúa en el área del cono, para describir la salida del altavoz en términos de la aceleración.

La ecuación 4 define dicho comportamiento (Bisnette, J. B., 2002).

$$\ddot{y}_j + \frac{b}{m}\dot{y}_j + \frac{k}{m}y_j = \frac{Bl}{m}i_j - \frac{A}{m} \sum_{n=1}^N p_n(t)\phi_j, \quad j = 1,2 \quad (4)$$

Para completar la expresión matemática que integra el modelo mecánico con el modelo eléctrico, se suman los voltajes de la malla eléctrica de la figura 4, Ecuación 5:

$$i_j + \frac{R_s}{L_s}i_j = \frac{v_j(t)}{L_s} - \frac{Bl}{L_s}\dot{y}_j, j = 1,2. \quad (5)$$

De la ecuación 5 tenemos que: Que la inductancia y la resistencia de los parlantes producen un voltaje proporcional a la velocidad de salida de la bobina, está a su vez se opone a la tensión aplicada.

Topología del sistema: La entrada al sistema corresponde a la aceleración de las partículas de aire, que generan los parlantes. Las salidas del sistema van a estar dadas por: la fuerza perturbarte al interior del ducto generadas por los parlantes, y Las presiones mediadas por los micrófonos figura 5 (Murillo R, F.and Enciso N, W., 2009).

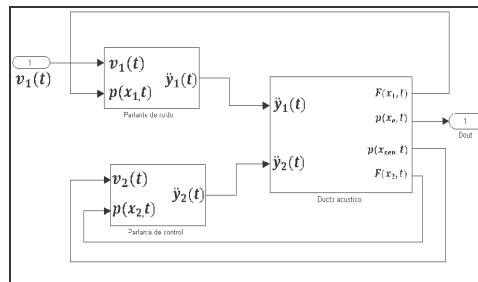


Figura. 5 Topología del sistema ducto-parlante

De la matriz de estados del parlante: La matriz  $A_s$  representa la dinámica del estado del parlante, los voltajes de entrada están representados por la matriz  $B_s$ , La aceleración de las partículas de aire están representadas por la matriz  $C_s$ , por último la matriz de retroalimentación de estados está dada por  $D_s$  (Bisnette, J. B., 2002).

$$A_s = \begin{bmatrix} -R_s/L_s & 0 & -Bl/L_s \\ 0 & 0 & 1 \\ Bl/m & -k/m & -b/m \end{bmatrix}, \quad B_s = \begin{bmatrix} 0 & 1/L_s \\ 0 & 0 \\ 0 & -1/m \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$C_s = [Bl/m \quad -k/m \quad -b/m], \quad D_s = [0 \quad -A_s/m] \quad (7)$$

De La matriz de estados del ducto: La matriz  $A_d$  y  $B_d$  brindan la información con respecto a la entrada del sistema es decir las aceleraciones generadas por los parlantes. La matriz  $C_d$  relaciona las presiones acústicas medidas por los micrófonos, y las fuerzas perturbantes de los parlantes (Bisnette, J. B., 2002).

$$A_d = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -w_1^2 & -2\zeta_1 w_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -w_2^2 & -2\zeta_2 w_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -w_N^2 & -2\zeta_N w_N \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$C_d = \begin{bmatrix} A\phi_1(1) & 0 & A\phi_2(2) & 0 & \dots & A\phi_N(N) & 0 \\ \gamma(1, x_{1m}) & 0 & \gamma(2, x_{2m}) & 0 & \dots & \gamma(N, x_{Nm}) & 0 \\ A\phi_1(1) & 0 & A\phi_2(1) & 0 & \dots & A\phi_N(N) & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$B_d = \begin{bmatrix} 0 & \beta_1(n) & 0 & \beta_2(2) & \dots & 0 & \beta_N(N) \\ 0 & \beta_2(n) & 0 & \beta_2(2) & \dots & 0 & \beta_2(N) \end{bmatrix} \quad (9)$$

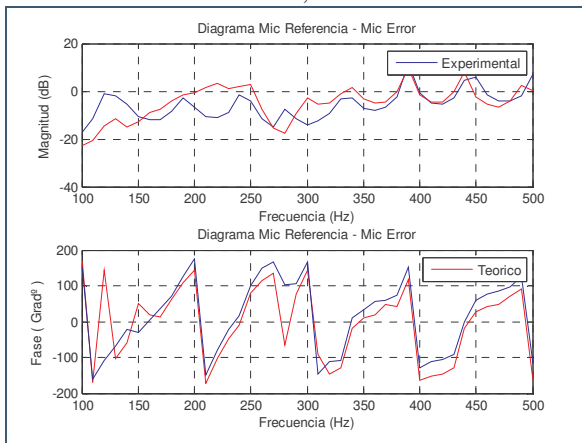
$$D_d = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Los parámetros de validación del modelo para la obtención de las figuras 6a, 6b y 6c, son presentados en la tabla 1.

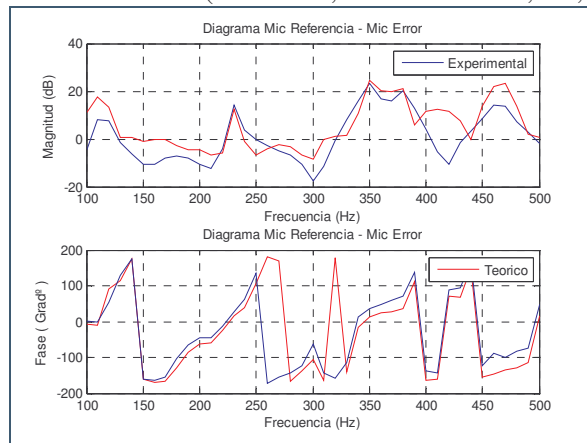
**Tabla 1: Parámetros de validación del modelo teórico**

ducto		Parlantes	
parámetro	valor	parámetros	valor
$l_d$	2.92 m	$A$	0.11m <sup>2</sup>
$w_d$	0.11m	$b$	1.30 Ns/m
$h_d$	0.11m	$K$	12.5kN/m
$w_s$	0.11m	$M$	7.8g
$x_1$	0.24m	$Bl$	5.5 N/A
$x_2$	2.88m	$L_s$	1.1 mH
$p_0$	1.23 kg/m <sup>3</sup>	$R_s$	8 $\Omega$
$c$	340.4m/s	-	-

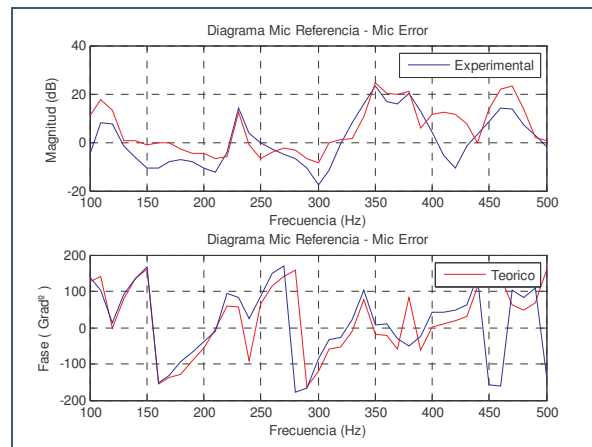
Mediante el modelamiento se identifica el patrón característico de la respuesta del sistema (Murillo R, F. and Enciso N, W., 2009). El margen de correlación entre el modelo teórico y el experimental esta en el orden del 80%, los errores de correlación, se deben a la linearización del modelo no lineal (Murillo R, F. and Enciso N, W., 2009).



**Figura. 6a** Identificación de la trayectoria acústica primaria



**Figura. 6b** Identificación de la trayectoria acústica secundaria

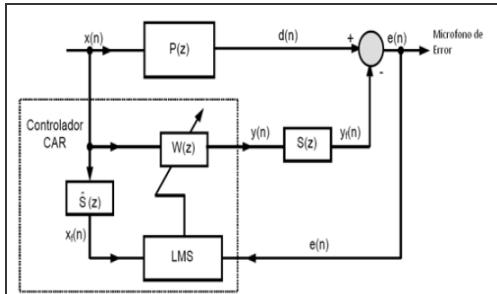


**Figura. 6c** Identificación de la trayectoria acústica de retroalimentación

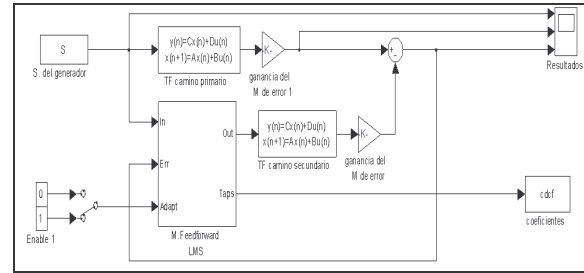
### 2.1.4 SIMULACIÓN DE MODELOS DE CONTROL

Los modelos de control implementados durante la aplicación en el prototipo experimental, fueron los modelos de control adaptativos feedforward FXLMS y FBFXLMS (Murillo R, F. and Enciso N, W., 2009).

La idea básica del modelo feedforward FXLMS se resume en diagrama de bloques de la figura 7a:



**Figura. 7a Diagrama de bloques del modelo FXLMS feedforward**

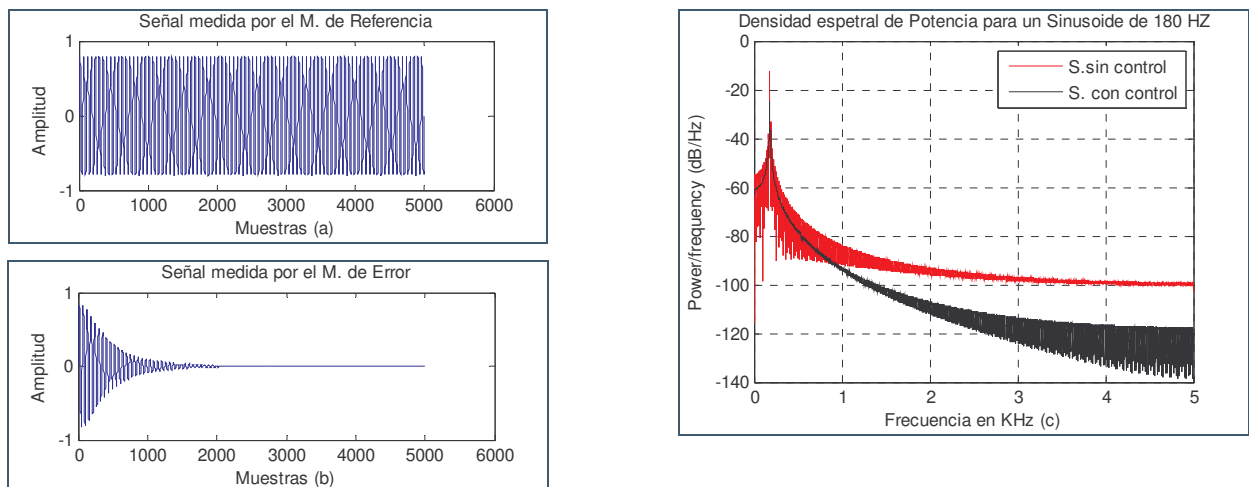


**Figura. 7b Algoritmo de control FXLMS feedforward implementado en Matlab**

La idea del controlador es realizar una estimación previa del camino acústico secundario, esta estimación se realiza mediante el algoritmo LMS y un filtro FIR (FXLMS), la caracterización de la identificación queda codificada en los coeficientes del filtro, estos coeficientes son enviados al algoritmo de control, el cual se encarga, de realizar la estimación de trayectoria acústica primaria, con base a información previa del comportamiento de la señal.

*“La información previa del comportamiento del sistema se realiza mediante la identificación del camino acústico secundario”*

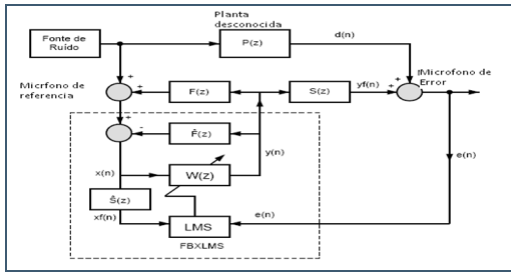
De esta manera el algoritmo de control es capaz de generar una señal “idéntica” a la señal de ruido, con la característica de que esta se encuentra en oposición de fase con la señal de ruido, y mediante el fenómeno de interferencia destructiva y superposición lineal de ondas, el sistema de control atenúa el ruido se propaga al interior del ducto. En la figura 8 se observa la respuesta del sistema modelo para una señal sinusoidal de 180 HZ.



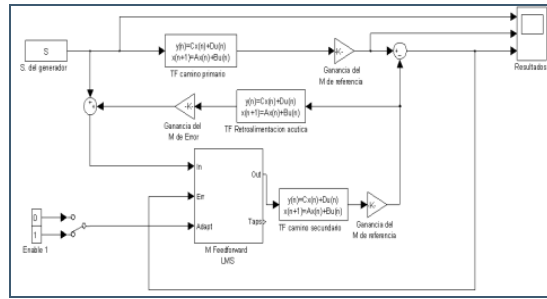
**Figura. 8 Respuesta del modelo FXLMS para un senoide de 180 Hz**



La filosofía de operación del algoritmo FBFXLMS es la misma del modelo FXLMS, con la diferencia de que este último realiza una estimación mas, la estimación del camino de retroalimentación, este algoritmo puede ser observado a través del diagrama de bloques de la figura 9a.



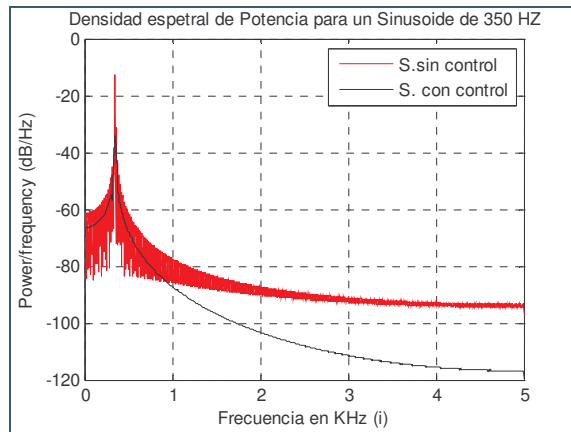
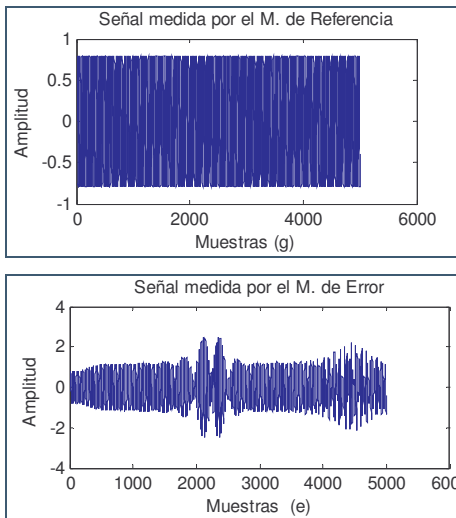
**Figura. 9a Diagrama de bloques del modelo FBFXLMS feedforward**



**Figura. 9b Algoritmo de control FBFXLMS feedforward implementado en Matlab.**

“la información previa del comportamiento del sistema se realiza mediante la identificación del camino acústico secundario y del camino de retroalimentación”,

En la figura 10, se puede observar la respuesta del modelo para un senoide de 350 Hz



**Figura. 10 Respuesta del modelo FBFXLMS para un senoide de 180 Hz**

### 2.1.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN TIEMPO REAL

Para la implementación del sistema de control en tiempo real, se utilizó el dispositivo NI cRIO – 9014 (Controlador Embebido Real-Time), que se encuentra conectado por medio de un bus PCI al chasis NI cRIO – 9103 (Chasis Embebido Reconfigurable) que tiene un FPGA incorporada y este a su vez tiene conectados los módulos NI 9234 (Modulo de Entradas) y NI 9263 (Modulo de Salidas), el primero especial para aplicaciones de sonido y vibración y el segundo para generar la señal de control al parlante de cancelación [1].

Software utilizado: Para esta aplicación se utilizó el software de National Instruments LabVIEW 8.6 junto con los paquetes LabVIEW Real-Time 8.6, LabVIEW FPGA 8.6 y Adaptive Filters Toolkit.



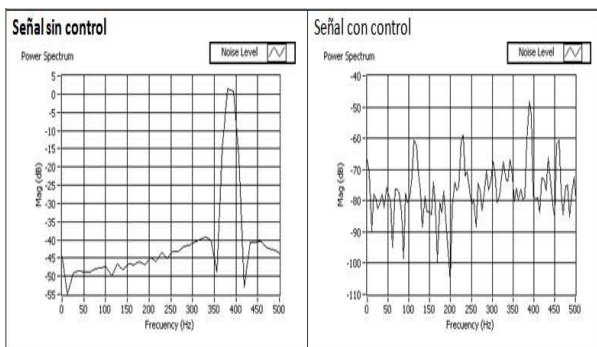
El primero para la programación y configuración del controlador Real-Time, el segundo para la programación y configuración del Chasis Embebido Reconfigurable, y el ultimo utilizado como referencia para el diseño del controlador.

Aplicaciones de control implementadas: Se diseño una aplicación para la generar de señales monotonales y multitoneales las cuales son enviadas a través de la tarjeta de sonido del computador al modulo de pre-procesamiento para luego ser reproducida por el parlante de ruido.

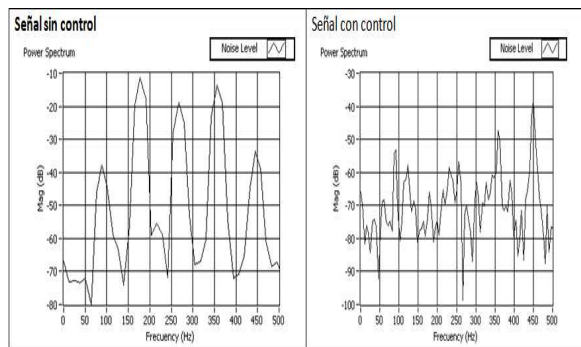
Los controladores implementados FXLMS y el FBFXLMS, se programan en la aplicación de la FPGA las cuales reciben los parámetros de control y envían las señales medidas y calculadas.

La aplicación diseñada para el controlador Real-Time, está conformada por tres fases, la fase de identificación del camino secundario y del camino de realimentación, según sea al caso del algoritmo de control implementado FXLMS o FBFXLMS. La etapa de control, y posteriormente los resultados obtenidos en la aplicación [1].

Validación del modelo: Durante las pruebas realizadas con el prototipo experimental se lograron atenuar señales sinusoidales hasta de tres tonos, la figura 13a se puede observar la repuesta del controlador FBFXLMS en tiempo real para un tono de 390 HZ, en esta se puede apreciar la atenuación lograda sobre esta señal, la cual esta por el orden de los 40 dB. En la figura 13b se observa la respuesta del controlador FBFXLMS para una señal de tres tonos, la atenuación lograda sobre la señal esta por el orden de los 30 dB

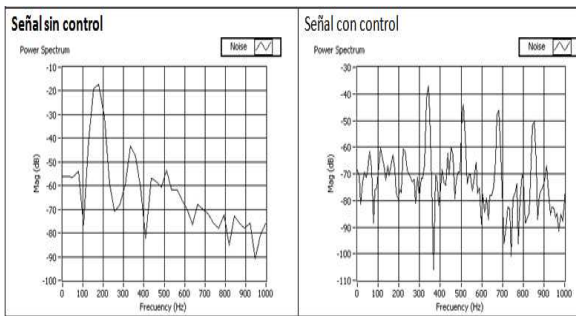


**Figura. 13a** Respuesta del controlador FBFXLMS en tiempo real para una señal de un tono de 390 Hz.

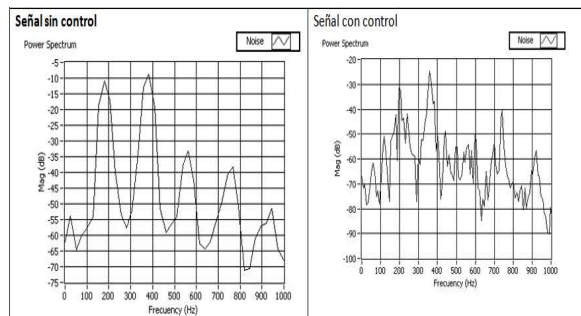


**Figura. 13b** Respuesta del controlador modelo FBFXLMS en tiempo real para una señal de tres tonos de 180, 270 y 360 Hz.

En la figura 14a se observa la respuesta del controlador FXLMS en tiempo real para una señal sinusoidal de 170 Hz, en la figura 14b se observa la respuesta del controlador para una señal de monotonal de 180 y 380 HZ, en estas figuras se aprecian los niveles de presión acústica atenuados los cuales están por el orden de los 20 dB, respectivamente para cada señal.



**Figura. 14a** Respuesta del controlador FXLMS en



**Figura. 14b** Respuesta del controlador FXLMS en

**tiempo real para una señal de un tono de 170 Hz.**

**tiempo real para una señal de dos tonos de 180 y 380 Hz.**

## **CONCLUSIONES**

Mediante la metodología de control diseñada se lograron atenuar ruidos a bajas frecuencias al interior de un ducto, basados en técnicas de control activo. El orden de los niveles de presión acústico atenuados durante la validación y pruebas con el sistema, estuvieron por el orden hasta de los 50 dB sobre señales que se propagaban la interior del ducto, las pruebas se realizaron con señales sinusoidales de uno, dos y tres tonos.

Se logro validar e implementar un sistema de control activo de ruido al interior de un ducto, el costo de esta aplicación depende del tipo de procesador en tiempo real utilizado para la aplicación, para este proyecto se implemento el sistema de control en el controlador NI cRIO – 9014 de National Instruments, para aplicaciones de control activo de ruido monocanal este dispositivo de control establece un costo muy elevado de implementación , las futuras investigaciones de control de ruido estarán guiadas a validar e implementar esta aplicación en un DSP.

## **REFERENCIAS**

- Barrios R., J.,(1992) “Introducción A Los Filtros Digitales”,Universidad Autónoma Metropolitana, 1992, México.
- Bisnette, J. B (2002), “Active Noise Control Using Modally Tuned Phase-Compensated Filters”, Bs, University Of Pittsburgh, 2002, Ee.Uu.
- Bustamante B.M.(2005), “Tesis Doctoral En, Desarrollo, Evaluación E Implementación En Tiempo Real De Sistemas De Cancelación De Ruido”, Instituto Politécnico Nacional, 2005, México.
- Cardenas N. I (2005)., “O Controle Ativo De Ruído Em Dutos: Um Estudo Teórico - Experimental”, Universidade Federal De Uberlândia Faculdade De Engenharia Mecânica Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica, 2005, Brasil.
- Cobo P. P, (1997) “Control Activo De Ruido Principios Y Aplicaciones”, Editorial Concejo Superior De Investigaciones Científicas Madrid, 1997, España.
- Delfino, L. C., (2005), “Tesis De Maestría En, Controle Ativo Deruido Em Dutos Utilizando Processadores Digitais De Sinais”, Universidad Federal De Uberlândia, 2005, Brasil.
- Lueg, P, (1936) “Process Of Silencing Sound Oscillations, “U.S. Patent 2,043,416”, June 19, 1936, Ee.Uu.
- Meler F. L., (2005) “Tesis De Final De Carrera En, Variantes Al Algoritmo Lms, Aplicación A Un Sistema Cancelador De Ecos”, Universidad De Zaragoza, 2005, España.
- Mínguez O. A., (1998) “Tesis Doctoral En, Ingeniería Avanzada Para Sistemas De Control De Ruido Acústico Mediante Técnicas Adaptativas”, Universidad Politécnica De Madrid, 1998, España.
- Murillo R, F.and Enciso N, W., (2009) “Metodología De Control Activo De Ruidos En Ductos”, Universidad De La Salle, 2009 Colombia .
- Oppenheim, A. V,(2000) “Tratamiento De Señales En Tiempo Discreto”, Editorial Pearson-Prentice Hall, 2000,
- Proakis, J.G. (2007) “Tratamiento Digital De Señales”, Editorial Pearson-Prentice Hall 4ed, 2007, Ee.Uu.
- Seto, W.W., (1970) “Teoría Y Problemas De Acústica”, Editorial Mcgraw- Hill, 1970, México.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.*