

Simulación de Cancelación de Interferencia Acústica por Conformación de Haz

G. Miramontes de L., I. de la Rosa V., M. Araiza E.

J. J. Villa H., C. Sifuentes G., y E. García D.

Laboratorio de Procesamiento Digital de Señales,
Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac.-98000.

Tel: +(492)9239407, ext 1518,

correo-e: gmiram@cantera.reduaz.mx

Resumen – Se describe la simulación de un sistema para cancelar interferencias acústicas a base de un arreglo lineal de micrófonos y un método de conformación de haz que emplea el algoritmo LMS (del inglés least-mean-square). Para la simulación se empleó el ambiente `MATLAB` y señales de voz que fueron previamente almacenadas en archivos de audio en formato `WAV`. Las señales de voz se mezclaron en un arreglo de vectores complejos simulando el retardo de tiempo provocado por un cierto ángulo de llegada al arreglo. La salida del arreglo se reprodujo nuevamente y se grabó en otro archivo `WAV` con fines de comprobación de manera auditiva. Los resultados parecen ser prometedores de modo que se puede, posteriormente, emprender la tarea de implantar el arreglo en un sistema con procesamiento en tiempo real.

Abstract— This document describes the simulation of an acoustic interference canceler system. The simulation is based on a linear array of microphones and a beamforming method that uses the LMS algorithm. For the simulation, the `MATLAB` platform was used, together with previously recorded speech samples, which were saved as `WAV` files. The speech samples were mixed in complex vector arrays to simulate the time delay caused by the direction of arrival of the signals to the microphones. The array output was played within Matlab and recorder as new `WAV` files as a way to verify, in auditive form, the cancelation of the interfering signals. The results are promising in such a way that a further real time implementation of the system can be proposed.

Palabras Clave – Arreglo de micrófonos, cancelación adaptable, conformación de haz, cancelación de interferencia.

I. INTRODUCCIÓN

ACTUALMENTE hay un gran interés en el estudio y desarrollo de algoritmos para mejorar la calidad de señales acústicas. Una de las técnicas más empleadas es el uso de arreglos de micrófonos y métodos de procesamiento adaptable de señales. Se sabe que con un arreglo de micrófonos es posible remover los efectos de fuentes de interferencia o señales indeseables, dirigiendo la respuesta del arreglo en cierta dirección. A esto se le conoce como conformación de haz o beamforming en inglés. Las aplicaciones de estos algoritmos son muy diversas, por ejemplo en salas para video-conferencia, en telefonía a manos libres, y en dispositivos para ayuda auditiva, los cuales pueden capturar las señales acústicas en presencia de ruido de fondo o interferencias. De acuerdo con Chazan [1] et al., los dispositivos auditivos auxiliares tienen serias limitaciones cuando se trata de captar una conversación en un cuarto en donde se encuentran muchas personas hablando al mismo tiempo. A este fenómeno se le llama el “efecto de la fiesta de cocktail”, y se refiere a la habilidad de una persona con capacidades normales, de enfocar su atención y escuchar una conversación que toma lugar a cierta distancia dentro de un cuarto lleno de gente. Una persona con un dispositivo auditivo auxiliar recibe señales amplificadas pero no de una manera selectiva. Con algoritmos de conformación de haz se puede ayudar a mejorar el efecto de la fiesta de cocktail.

En los algoritmos de conformación de haz, se requiere conocer la posición de la fuente principal, así como la posición de las fuentes de interferencia. A esto se le conoce como estimación de dirección de llegada o DoA, de sus siglas en inglés. El algoritmo para conformación de haz adaptable más empleado está basado en el algoritmo LMS. En este trabajo, se emplea el algoritmo LMS para la simulación de un sistema de cancelación de interferencia acústica sobre un arreglo lineal de micrófonos. Como señales acústicas se emplearon archivos de audio en formato WAV los cuales se mezclaron simulando los retardos de tiempo respectivos de cada señal sobre cada uno de los micrófonos. El retardo sobre cada micrófono se debe al ángulo de llegada de la fuente acústica. Se supone que cada fuente tiene un ángulo diferente. La señal resultante es una señal libre de interferencias.

El trabajo se presenta de la siguiente manera: en la sección II se introducen las ideas básicas del algoritmo para cancelación adaptable. En la sección III, se presenta la estructura de la simulación en ambiente MATLAB y en la sección IV se muestran algunos resultados. Finalmente, en la sección V se dan algunas conclusiones e ideas para el trabajo a futuro.

II. PRINCIPIO BÁSICO DE FUNCIONAMIENTO

En la Figura 1, se muestra esquemáticamente el principio de básico del cancelador de interferencia [2]. Se puede observar que en la construcción del sistema se requiere de un sensor principal y un sensor de referencia. En este caso, se tiene la cancelación de una sola fuente de interferencia. Cuando se tienen más fuentes de interferencia se requieren más sensores de referencia, es decir, el arreglo deberá contener $M + 1$ sensores para cancelar M señales de interferencia. El algoritmo adaptable calcula el valor del vector W , el cual constituye un filtro, generalmente un filtro digital, con respuesta al impulso finita, RIF.

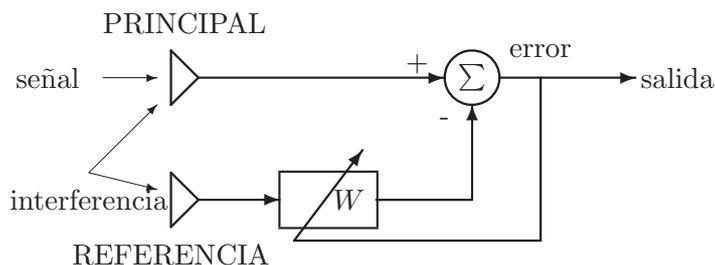


Figura 1. Principio de operación del cancelador de interferencia.

La extensión del principio básico a la cancelación de varias fuentes de interferencia se muestra en la Figura 2. La suma ponderada de las salidas de los micrófonos de referencia se resta de la salida del micrófono que tiene la señal deseada, y con el algoritmo de filtro adaptable, el algoritmo LMS, se ajustan los coeficientes del filtro (pesos) de modo que se minimice la potencia promedio de salida.

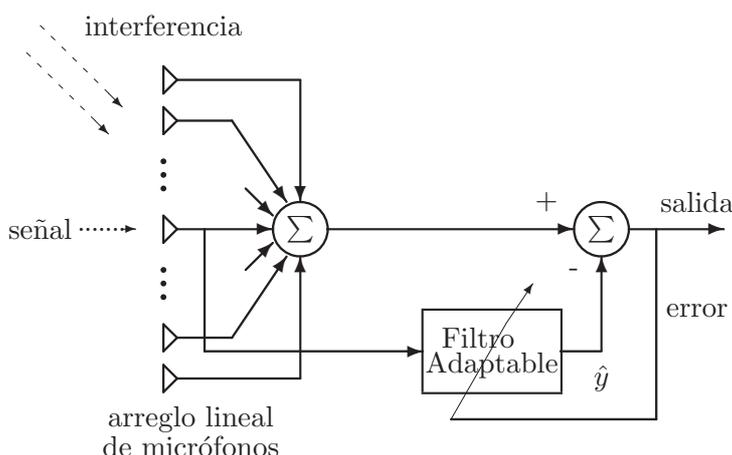


Figura 2. Cancelador de varias interferencias.

A. El Conformador de haz

Los primeros trabajos sobre el conformador de haz adaptable se pueden rastrear hasta los últimos años de la década de los 50, con Howells, quien a mediados de 1957 desarrolló un cancelador de lóbulos laterales que automáticamente anulaba los efectos de una interferencia [3]. Entre 1957 y 1958 Widrow aplicó el filtro adaptable RIF para resolver el problema de predicción de Wiener, y para 1959 junto con Marcian E. Hoff Jr. desarrolló el algoritmo LMS. De acuerdo a Widrow [4], comenzaron a aplicar el algoritmo LMS al procesamiento adaptable de señales, con antenas adaptables (arreglos adaptables) y cancelación adaptable de ruido, las cuales fueron aplicaciones muy exitosas.

Así pues, una aplicación común del conformador de haz adaptable se encuentra en los arreglos de antenas y entonces se describe su capacidad de dirigir su patrón de radiación o haz en

cierta dirección, al mismo tiempo que puede anular el haz en ciertas direcciones. Si suponemos un arreglo como el de la Figura 3, en donde E_a representa la suma de las tensiones de cada antena, y cada señal llega con un ángulo θ , entre elementos adyacentes, se tiene que E_a está dada por [5]

$$E_a = \text{sen}(\omega t) + \text{sen}(\omega t + \theta) + \text{sen}(\omega t + 2\theta) + \cdots + \text{sen}(\omega t + [N - 1]\theta). \quad (1)$$

La suma puede escribirse como

$$E_a = \text{sen}(\omega t + (N - 1)\theta/2) \frac{\text{sen}(N\theta/2)}{\text{sen}(\theta/2)} \quad (2)$$

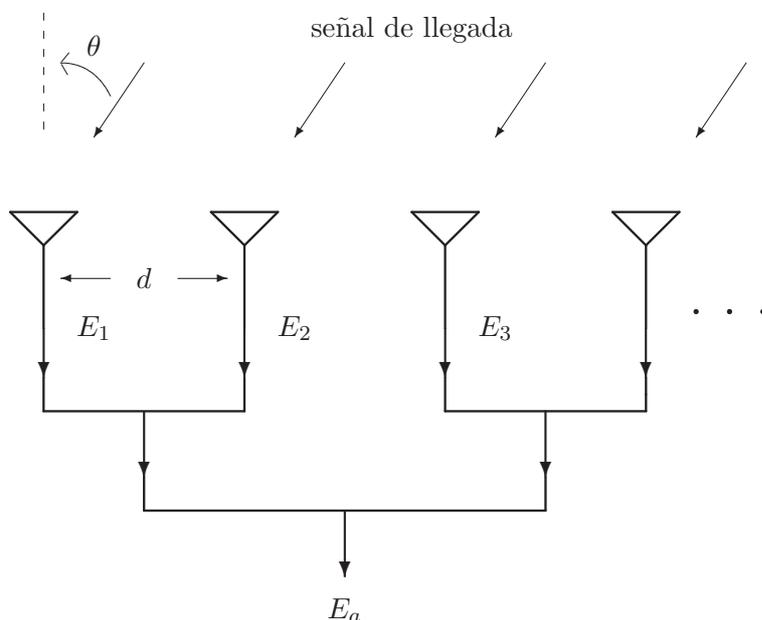


Figura 3. Arreglo lineal de N elementos.

Tomando la referencia al centro del arreglo, en ese punto el desplazamiento de fase es cero y el patrón de intensidad en magnitud está dado por

$$|E_a(\theta)| = \left| \frac{\text{sen}(N\pi(d/\lambda)\text{sen}\theta)}{\text{sen}(\pi(d/\lambda)\text{sen}\theta)} \right|. \quad (3)$$

El patrón presentará nulos cuando $N\pi(d/\lambda)\text{sen}\theta = 0, \pm\pi, \pm2\pi, \pm n\pi$. Cuando $\theta = 0$, se tiene el valor máximo (por la regla de L'Hospital), definiendo el lóbulo principal. En la Figura 4 se muestra el patrón de radiación para un arreglo de cuatro elementos, mientras que en la Figura 5 se muestra el patrón en forma polar para un arreglo de cinco elementos.

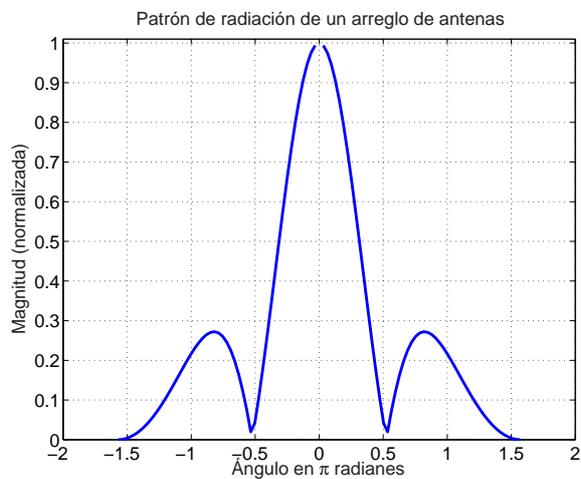


Figura 4. Patrón del haz para un arreglo de cuatro elementos.

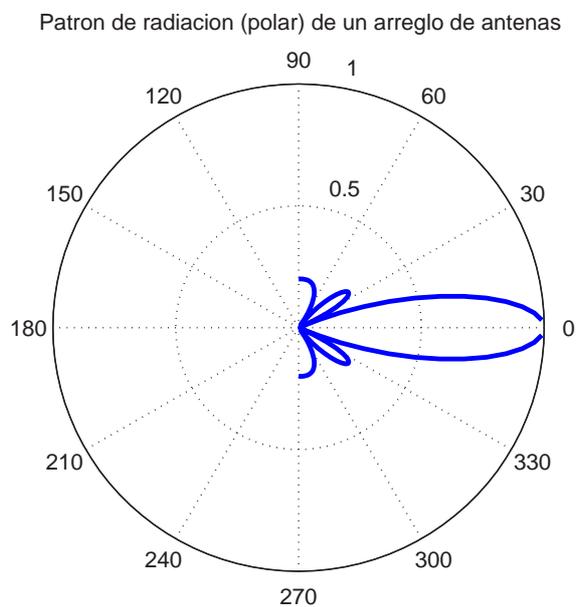


Figura 5. Patrón del haz en forma polar para un arreglo de cinco elementos.

B. El algoritmo LMS en el Conformador de Haz

El patrón de radiación de un arreglo de antenas, puede ser orientado o dirigido sin mover ningún elemento, procesando adecuadamente las señales que llegan a éste. El conformador de suma y desplazamiento es el más sencillo, aunque existen muchos otros algoritmos que ofrecen mejores resultados como el conformador de haz con respuesta sin distorsión a varianza mínima [3]. Una forma de adaptar los pesos W puede ser utilizando el algoritmo LMS. La simplicidad del algoritmo lo hace muy atractivo para muchas aplicaciones, además de que su desempeño da buenos resultado en muchas aplicaciones prácticas [4]. El algoritmo LMS se encuentra ampliamente discutido en muchas publicaciones. Una buena referencia, por supuesto, es [2].

La señal recibida por el arreglo se puede expresar por

$$x(t) = \sum_{n=1}^N s_n(t - \tau_n) a(\theta_n) + B(t), \quad (4)$$

en donde N es el número de elementos (antenas o sensores) del arreglo, $s_n(t)$ es la señal recibida con un retardo τ_n , $a(\theta)$ es el vector de respuesta del arreglo para las señales que llegan con un ángulo θ_n , y $B(t)$ es ruido aditivo. A la salida del arreglo, las señales complejas son multi-canalizados por vectores de pesos

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T, \quad (5)$$

en donde T indica transpuesta.

Los valores de W son determinados por un algoritmo de optimización (de conformación de haz) para obtener una relación señal a ruido (S/R) óptima, o cumplir con alguna función de costo.

Si consideramos que la salida del arreglo es $\hat{y}_i = W^T x_i$, en donde x_i es la señal de entrada, y W son los coeficientes de la respuesta al impulso del filtro RIF, entonces el error entre la salida estimada \hat{y} y la salida deseada será $e_i = d - \hat{y}_i$. Lo que hace el algoritmo es emplear el error como una estimación del gradiente, y emplear esta estimación en la actualización de los pesos W como

$$W_{i+1} = W_i + \mu x_i e_i \quad (6)$$

en donde μ es el parámetro que controla la rapidez de convergencia.

III. SIMULACIÓN EN MATLAB

Para la simulación del cancelador de interferencia acústica, se empleó el ambiente de programación MATLAB. Se grabaron segmentos de voz de varios locutores en archivos WAV y éstos fueron leídos como una señal principal y dos señales de interferencia. Se propuso un arreglo de cuatro micrófonos y a cada fuente se le asignó un ángulo de llegada. Para la señal principal se le dio un ángulo de 30 grados, a las señales de interferencia se les asignaron ángulos de cero y 60 grados, respectivamente.

Se preparó un vector de fases $\text{vec_f}(i) = \exp(j * i * Kd * \sin(\text{theta}_i))$; en donde $Kd = \pi$, y posteriormente se generó un arreglo de señales que representa la llegada de cada fuente a

cada micrófono con su respectivo retardo de tiempo $x(i,:) = \text{señal}_i \cdot \text{vec}_f(i)$; x es una matriz con cuatro vectores, uno para cada micrófono. Igualmente, para cada señal de interferencia se simuló la llegada de cada señal a cada micrófono. Finalmente, se sumaron las tres señales como $\text{señal_ns} = n1 + n2 + x$; donde $n1$ y $n2$ son las señales de interferencia. Esta suma es empleada como entrada al arreglo.

El número de iteraciones está dado por la longitud de los archivos de voz, es decir leemos muestra por muestra, para simular el proceso de adquisición de la señal en tiempo real. Finalmente, se calcula el patrón de radiación del arreglo para un cierto número de valores de θ y se traza su patrón ya sea en forma rectangular o en forma polar.

IV. RESULTADOS

Para probar el algoritmo de cancelación, se aplicó primero una portadora, es decir una señal sinusoidal y se agregaron dos fuentes de ruido como señales de interferencia. Se mantuvieron los ángulos de 30 grados para la señal deseada, y 0 y 60 para las señales de interferencia.

En la Figura 6 se muestra el patrón de recepción para el arreglo cuando se aplicó una señal sinusoidal, a 30 grados y dos interferencias. Puede verse la cancelación de las dos fuentes de interferencias y el lóbulo principal a 30 grados correspondiente a la señal deseada. En la Figura 7 se puede ver la recuperación de la señal, en sus primeras 500 muestras, la cual mejora gradualmente.

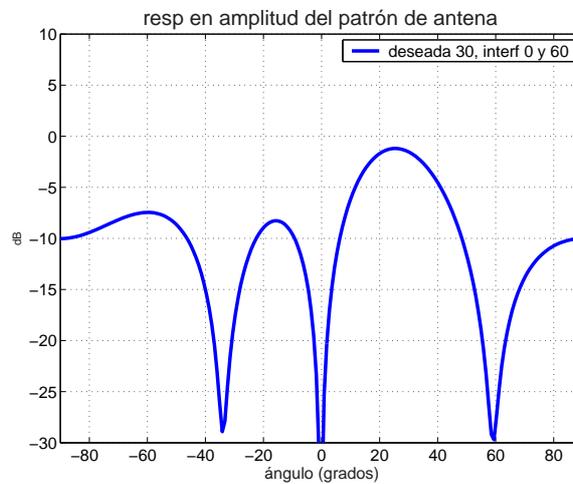


Figura 6. Patrón de recepción para el caso sinusoidal.

Aumentando el número de elementos se puede aumentar la directividad del arreglo, como se muestra en la Figura 8.

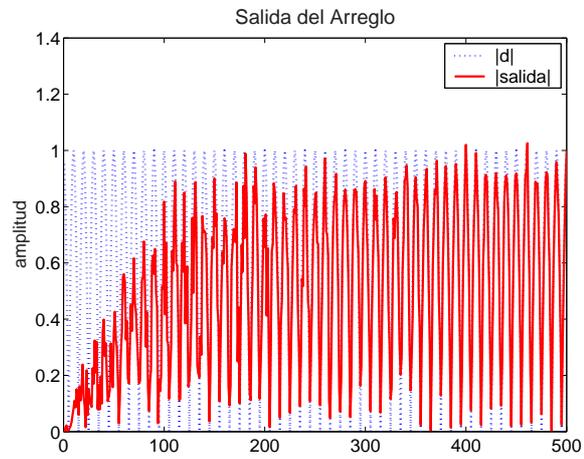


Figura 7. Recuperación de la señal deseada para un tono sinusoidal.

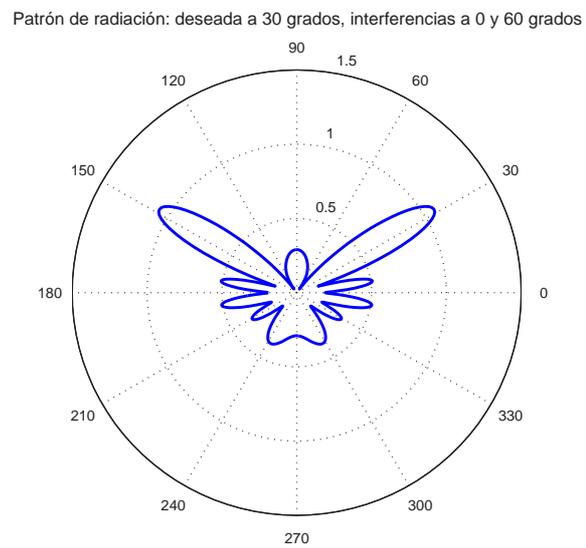


Figura 8. Directividad después de aumentar el número de elemento de del arreglo.

Aplicando como señales de entrada señales de audio de tres locutores se obtuvieron resultados satisfactorios, especialmente en forma auditiva. En el programa de simulación, se reproduce la señal compuesta de la fuente principal más las dos fuentes de interferencia. Posteriormente, se escucha la señal recuperada y prácticamente se han eliminado las dos fuentes de interferencia. El efecto sobre la señal de interés es apreciable en el sentido de que se produce un ligera distorsión, sobre todo al comienzo de la secuencia de voz, ya que el algoritmo debe tomar un cierto número de iteraciones para comenzar a reducir el error.

En la Figura 9 se muestra el patrón de recepción para uno de los casos con señales de voz.

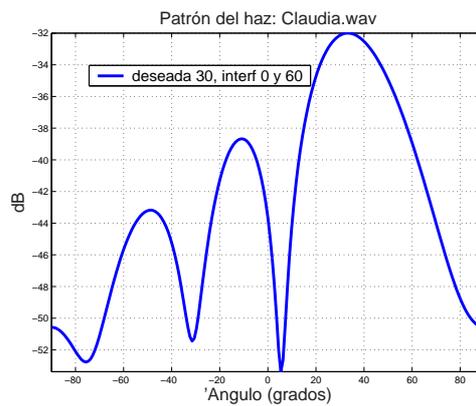


Figura 9. Patrón de recepción usando señales de voz.

En la Figura 10 se muestra el patrón en forma polar para el caso anterior.

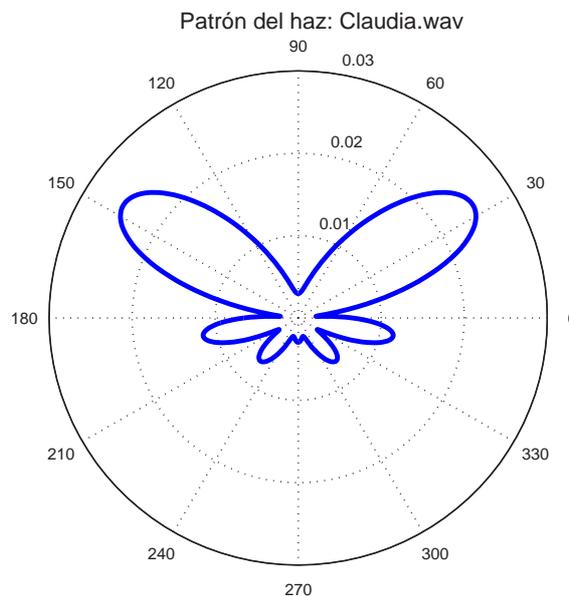


Figura 10. Patrón de recepción (polar) usando señales de voz.

En la Figura 11 se muestra una comparación entre la señal de audio de entrada y la señal recuperada a la salida del cancelador. Se hicieron pruebas con varios archivos de voz, mez-

clando en cada ocasión tres veces diferentes, se grabaron los arreglos resultantes tanto en la suma del arreglo como el de salida. En todos los casos se percibe una cancelación significativa de las fuentes de interferencia. Los archivos WAV generados, están disponibles en la versión electrónica de este trabajo.

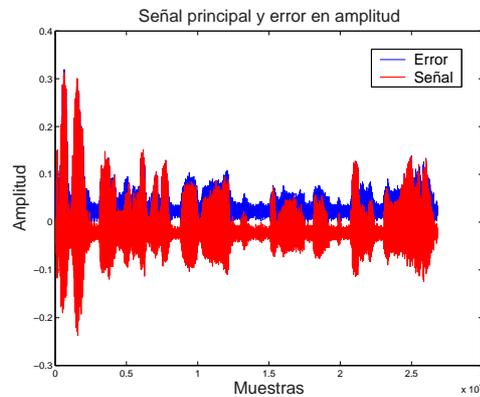


Figura 11. Comparación entre la salida del arreglo y la señal deseada.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

Se realizó la simulación de cancelación de fuentes interferencia acústica sobre un arreglo de micrófonos, lográndose la cancelación de dos señales de voz que fueron mezcladas con una señal principal. La simulación nos permite comprobar el desempeño del cancelador, empleando el algoritmo LMS, cuando se conocen los ángulos de llegada de las fuentes acústicas. Cabe señalar que la comprobación se hizo de forma auditiva, y se espera efectuar una medición cuantitativa de la mejora en la S/R, y la distorsión introducida por el filtro W .

Se trabaja actualmente en la implantación del algoritmo en un sistema para procesamiento en tiempo real, empleando una tarjeta de adquisición de cuatro canales y un procesador de señales de Texas Instruments.

RECONOCIMIENTOS

Deseamos agradecer a la Compañía Texas Instruments, especialmente al Ing. Alex Porter y a la Ing. Verónica Vázquez por su constante apoyo al Cuerpo Académico de Procesamiento Digital de Señales.

REFERENCIAS

- [1] D. Chazan, Y. Medan, y U. Shvadron, "Noise Cancellation for hearing aids," *IEEE, Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, Vol. ASSP-36, November 1988, pp. 1697-1705.
- [2] B. Widrow and, S. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall Inc. 1985
- [3] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Third Edition, Prentice Hall, Inc., 1996.
- [4] B. Widrow, "Thinkin About Thinkin: The Discovery of the LMS Algorithm," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, No. 1, January 2005, pp. 100-102, 106.
- [5] M.I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill Book Co. 1980.