



FIA 2018



XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

SISTEMA ULTRASÓNICO EN AIRE PARA IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS POR MEDIO DEL ANÁLISIS ESPECTRAL

PACS: 43.60.+d

Mario I. Gutiérrez, Josefina Gutiérrez, Arturo Vera, Lorenzo Leija
CONACYT-INR, Instituto Nacional de Rehabilitación, Cinvestav-IPN
Calz. México-Xochimilco 289, Col. Arenal Tepepan, CP: 14389
Ciudad de México, CDMX
México
Tel: (+52) 55 59991000
E-Mail: m.ibrahin.gutierrez@gmail.com

Av. IPN 2508, Col. Zacatenco, CP: 07360
Ciudad de México, CDMX
México

Palabras Clave: ecolocación; ultrasonido en aire; espectrograma; amplificador de radio frecuencia.

ABSTRACT

The detection of obstacles for helping blind and visually impaired people has been an area with a minimum development nowadays. Ultrasound allows some bats to echolocate by determining the time-of-flying of the signals and their spectral information. In this work, an air-coupled ultrasound system is proposed that allows the identification of obstacles through the spectral analysis of the received signal. Reflected ultrasound signals produced by planar objects of same size but made of different materials were measured. The spectral features of the signals can be related with the characteristics of the object that reflected them.

RESUMEN

La detección de obstáculos para uso de invidentes y débiles visuales ha sido un área con poco desarrollo en la actualidad. El ultrasonido permite a algunos murciélagos la ecolocalización mediante la determinación de tiempos de vuelo de las señales y de su información espectral. En este trabajo, se propone un sistema de ultrasonidos en aire que permita la identificación de obstáculos mediante el análisis espectral de la señal recibida. Se midieron las señales ultrasónicas reflejadas por objetos planos con la misma forma pero hechos con diferentes materiales. Las características espectrales de las señales pueden estar relacionadas con las características del objeto que las reflejó.

INTRODUCCIÓN

En 2014 según los resultados de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en México (INEGI), vivían en México cerca de 120 millones de personas, de los cuales, alrededor de 23.1 millones reportan desde una ligera dificultad hasta la imposibilidad de realizar alguna de las actividades básicas (caminar, hablar, oír, ver). Generalizando, 1 de cada 4 personas presentan algún tipo de discapacidad



FIA 2018



XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

visual, pero en total, en México, 1.5 millones de personas padecen de ceguera irreversible [1]. Es por esta razón que está presente la necesidad de desarrollar herramientas que puedan ser de utilidad para personas con este tipo de discapacidad. Una de las herramientas que se han propuesto se basan en el uso del ultrasonido para la ecolocalización y detección de obstáculos [2], tratando de emular el sistema de posicionamiento con ultrasonido que algunos murciélagos usan [3].

Algunas especies de murciélago utilizan ondas de ultrasonido emitidas por su garganta para detectar a su presa en pleno vuelo [4]. Se sabe que muchas de estas especies son ciegas, y aún sin serlo, utilizan el ultrasonido como principal medio para la detección de su presa. Los estudios con diversas especies tratan de determinar los mecanismos utilizados para la detección de la posición de la presa e incluso para su identificación y clasificación [4], [5]; sin embargo, es una tarea que sigue pendiente. Hasta ahora se sabe que los murciélagos son muy eficientes en la detección de obstáculos, por ejemplo, son capaces de detectar objetos que son mucho más pequeños que ellos, pueden identificar el tamaño y la especie del insecto, y pueden distinguir sus propios ecos de los ecos provenientes de otros murciélagos [4]. Gracias a este sistema avanzado de procesamiento (interno), tienen la capacidad de cazar y volar sin chocar con otro objeto u otro murciélago.

Cuando el eco ultrasónico es captado por el murciélago, éste extrae diferentes tipos de información, que según diversas hipótesis sigue varias posibles vertientes [3]. Se sabe que utilizan el tiempo de vuelo para saber la distancia a su presa; la posición de sus orejas movibles la usan para conocer la dirección. Sin embargo, la identificación del tipo de presa, tamaño, y la capacidad para discernir éstas de otros objetos no comestibles únicamente puede ser explicada mediante algún tipo de análisis espectral interno y automático de las señales recibidas [4]. Además del tiempo de vuelo, los ecos recibidos están afectados por el medio donde viajan y por los objetos que los reflejaron. Esa información se registra en diferentes puntos en el espectro de las señales, que de ser extraída y clasificada cuidadosamente, podría ser de gran utilidad.

En este trabajo, se presenta un sistema emisor/receptor de pulsos ultrasónicos para aire, que será usado para la detección de obstáculos utilizando la técnica de pulso-eco. A diferencia de los sistemas tradicionales de detección de obstáculos con ultrasonido, además de medir el tiempo de vuelo del eco, se pretende determinar las características acústicas de los reflectores por medio del procesamiento de las señales recibidas. Para esto, se desarrolló un sistema emisor capaz de enviar una señal sinusoidal pura de 40 kHz que además posee un receptor amplificador de banda ancha para el registro y adquisición de los ecos producidos.

METODOLOGÍA

El sistema que estamos proponiendo permitirá extraer la información espectral de los ecos que podría estar relacionada con las características físicas del objeto que los reflejó. El análisis requiere del cálculo de FFT y espectrograma. El circuito se compone de los bloques de la Figura 1: el bloque emisor y el bloque receptor; las señales son capturadas por el osciloscopio para su post-procesamiento. El transductor utilizado para fines de este proyecto fue uno acoplado para su uso en aire (B01JHOX3H6, Cyanalab, China). Los transductores utilizados se caracterizaron mediante un analizador de impedancias de precisión (Agilent 4294A EUA) desde 10 kHz hasta 120 kHz. Se determinó la frecuencia de resonancia y el ancho de banda.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

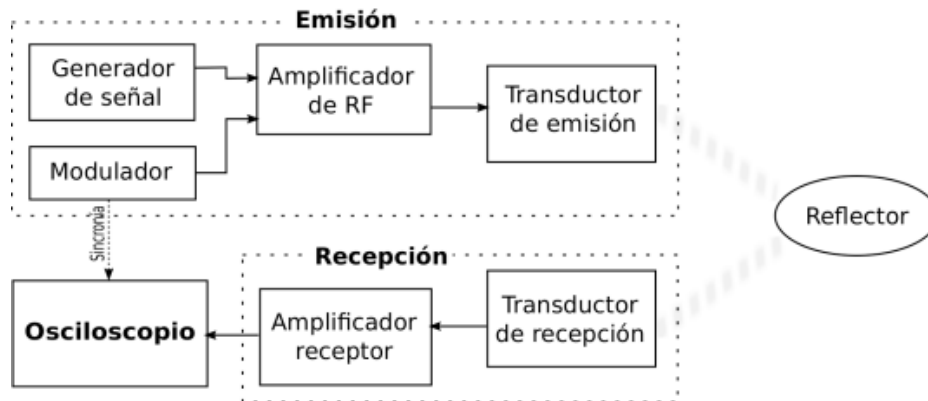


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema transceptor para la detección/identificación de obstáculos.

Sistema de emisión y recepción

El bloque de emisión está conformado por un amplificador lineal de radio frecuencia (RF) clase A y por un transductor ultrasónico emisor acoplado en aire. La etapa de modulación es la que activa el sistema de emisión por medio de un generador de pulsos cuadrados que servirá como envolvente de la señal sinusoidal de salida del amplificador; el tiempo de activación corresponde a 1.25 ms, lo equivalente a un paquete de 50 ciclos senoidales. La señal ultrasónica es emitida por el bloque de emisión y viaja por el aire hasta llegar al objeto de prueba, el cual producirá un eco que es captado por el transductor de recepción. La señal eléctrica del transductor es amplificada antes de ser visualizada y almacenada en el osciloscopio para su procesamiento fuera de línea.

El amplificador de RF se diseñó con base en un amplificador lineal clase A compuesto por un transistor TIP41 y por un arreglo de polarización emisor común. De las configuraciones para la polarización del transistor, se eligió la configuración de divisor de voltaje compuesta por 4 resistencias, debido a su alta estabilidad a las variaciones de ganancia del transistor (h_{FE}). Se seleccionó el transistor BJT TIP41, dado que sus características de I_{CQ} y V_{EQ} son adecuadas y suficientes para las especificaciones del sistema. Así mismo, este transistor es capaz de manejar la potencia requerida en el sistema sin sobrecalentarse. Dado que se busca una generación de una señal sinusoidal de bajo voltaje (20 V_{pp}) a media frecuencia (40 kHz), el sistema no requiere de transistores especializados. La señal de entrada de 1 V_{pp} del amplificador proviene de un generador de señales (Agilent 4294A EUA). Esta señal será reemplazada por un circuito oscilador dedicado, en las siguientes etapas del proyecto.

El bloque de recepción se compone de un transductor ultrasónico acoplado en aire y de un filtro pasa bajas con frecuencia de corte de 60 kHz. Esta etapa se diseñó con el propósito de limpiar la señal recibida de ruidos e interferencias. La señal del transductor pasa a través de un circuito amplificador-restador y un filtro activo pasa bajas realizados usando amplificadores operacionales LM741. El circuito amplificador-restador convierte la señal flotada proveniente del transductor a una señal referenciada a tierra adaptada para su posterior procesamiento; así mismo, este circuito provee una amplificación con una ganancia de voltaje 5 V/V. Posteriormente la señal se filtra con un filtro pasa bajas el cual se sintonizó a una frecuencia de corte de 60 kHz lo cual resulta conveniente por el rango de frecuencias que se está utilizando. El almacenamiento de la señal se realiza con un osciloscopio (Wave Runner 6000A, LeCroy, EUA), sincronizado por medio de la señal cuadrada proveniente del bloque de modulación.



FIA 2018



XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Esta señal de sincronía permite referenciar temporalmente las señales de emisión y recepción para determinar el tiempo de vuelo de la señal ultrasónica.

Montaje y Objetos de Muestra

Las pruebas de emisión/recepción se realizaron en una habitación vacía de 10 m X 8 m donde únicamente se encontraba el equipo de medición y dos soportes, uno para el circuito transceptor y otro para los objetos reflectores. El circuito se colocó en una base fija a 1 m del suelo, tratando de mantenerlo en el borde para tener lo mínimo de baffle que pudiera interferir con el haz ultrasónico. Se seleccionaron 3 objetos reflectores planos con las mismas dimensiones, 40 cm X 25 cm, elaborados con diferentes materiales: aluminio, acrílico y PVC, con espesores de 3 mm, 0.64 cm y 2 mm. Estos objetos se montaron en un marco tubular de 1.0 m de ancho por 1.5 m de altura, colgados con hilo de plástico (cáñamo). El marco se utilizó para no adicionar ningún otro soporte que interfiera a su vez en las mediciones. Con esto garantizamos que las señales medidas provenían únicamente de la reflexión del ultrasonido en los objetos de prueba y no de los soportes utilizados para el experimento. Se midieron y registraron señales a 9 diferentes distancias de los transductores: 20, 30, 40, ... , 90, 100 cm. Se realizaron tres mediciones independientes de cada objeto a cada distancia. La adquisición y almacenamiento se realizó con el osciloscopio (Wave Runner 6000A, LeCroy, EUA) a una frecuencia de muestreo de 10 MS.

Procesamiento de las Señales

Las señales fueron procesadas en MATLAB (Mathworks, EUA). Para esto, se diseñó un algoritmo para la obtención del espectrograma de cada señal que nos permitiera separar sus componentes frecuenciales para cada instante de tiempo. El espectro de cada ventana se calculó para un intervalo de frecuencia de 10 Hz a 100 kHz, con una ventana Hamming de 8.5 ms (tiempo de muestreo de 100 ns). El espectrograma se calculó con la transformada de Fourier de tiempo corto (STFT, Short Time Fourier Transform) con 95% de traslape. Se identificaron las frecuencias correspondientes al ruido eléctrico y a la señal de modulación (<100 Hz) y las frecuencias de interferencia electromagnética (>80 kHz) y fueron descartadas de la comparación, centrándonos en un intervalo de 30 kHz a 50 kHz. Sin embargo, para este trabajo, estamos comparando los resultados de la amplitud del espectro a únicamente 40 kHz, que es la frecuencia central del transductor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del Transductor

En la Figura 2 se muestra la impedancia eléctrica de los transductores usados para la emisión/recepción de señales ultrasónicas en aire. Se tiene una resonancia principal en modo espesor cerca de 40 kHz y una segunda resonancia a 67 kHz. La impedancia en el punto de resonancia fue de 430 Ohms para una frecuencia de 39.22 kHz. El ancho de banda es muy reducido (34 kHz – 43 kHz), lo que representa una importante desventaja para nuestros propósitos que requieren un transductor de banda ancha para tener un intervalo de frecuencias mayor para el estudio. Sin embargo, como una primera aproximación a la solución del problema, nos permitió plantear los siguientes objetivos y los requerimientos de diseño para la segunda propuesta.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

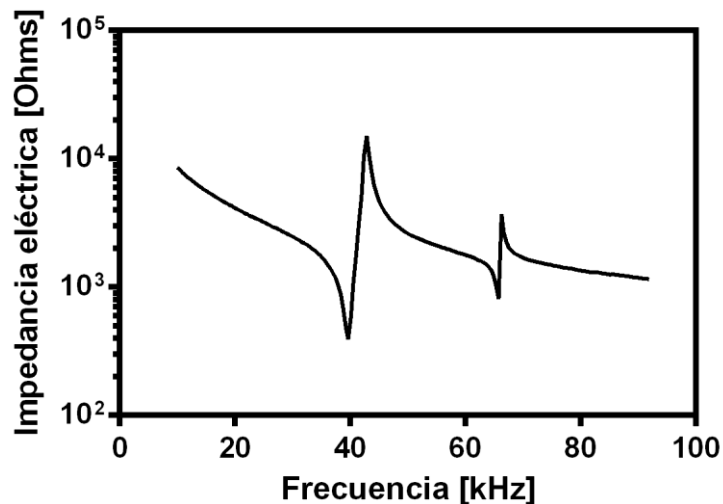


Figura 2. Impedancia eléctrica medida de los transductores utilizados.

Diseño del Sistema Transceptor

El circuito electrónico del amplificador se diseñó con base en los requerimientos de la excitación para este trabajo y para las etapas posteriores. Es decir, se requería una respuesta plana a media frecuencia (de 20 kHz a 1 MHz, para futuros diseños), voltaje de 20 Vcc de alimentación, una corriente en la carga (el transductor) de aproximadamente 10 mA; también se buscaba poca distorsión armónica en la salida. Por esta razón, se utilizó el diseño de un amplificador lineal clase A, que si bien no es el más eficiente ($\eta \approx 25\%$) la distorsión es pequeña mientras se trabaje en parte lineal de operación; además, dado el consumo tan bajo de potencia proyectado, no se esperaba sobrecalentamiento del dispositivo activo. El circuito de recepción se compone de un restador/amplificador de ganancia 5 y un filtro pasa bajas con frecuencia de corte a 60 kHz. Mas detalles del diseño electrónico y la caracterización de cada bloque se pueden encontrar en [3], [6].

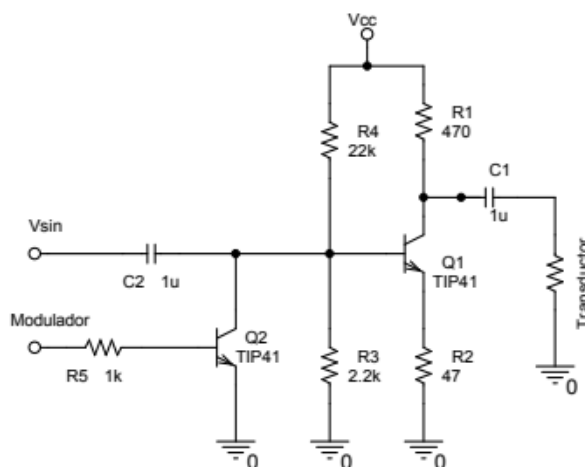


Figura 3. Diagrama esquemático del amplificador de RF para emisión.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Análisis del espectro de la señal

Las señales fueron procesadas fuera de línea para obtener los espectrogramas. En la Figura 4 se muestra una señal característica medida con una placa de acrílico como reflector a 40 cm de los transductores. La señal se ve muy limpia y la frecuencia medida muy estable. Se puede observar un segundo eco producido por las múltiples reflexiones entre el sistema y el objeto. Los datos de frecuencias bajas (<20 kHz) no son útiles para el análisis ya que se deben principalmente a ruido eléctrico proveniente de la fuente de alimentación.

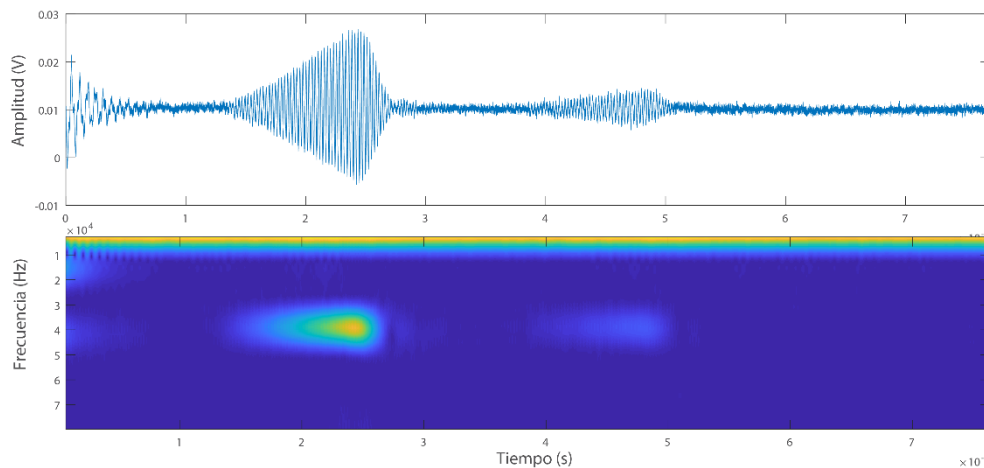


Figura 4. Señal característica medida (arriba) y su espectrograma (abajo) producida por el eco de la placa de acrílico a 40 cm del transductor. Se puede ver un segundo eco que debió recorrer la distancia entre los transductores y el objeto cuatro veces.

Una vez que se obtuvieron los espectrogramas, se analizaron los resultados. Como un primer paso, el cual se presenta en este trabajo, se compararon las amplitudes a 40 kHz buscando diferencias significativas entre objetos a las mismas distancias. En las Figuras 5 a 7 se muestran los mismos datos, las amplitudes de los espectros a 40 kHz, con diferente acomodo para apreciar algunos detalles. En la Figura 5 se puede ver que la tendencia de los espectros para los tres materiales sigue la esperada tendencia exponencial decreciente al aumentar la distancia. Sin embargo, en esta representación no se aprecia ninguna diferencia importante entre los datos.

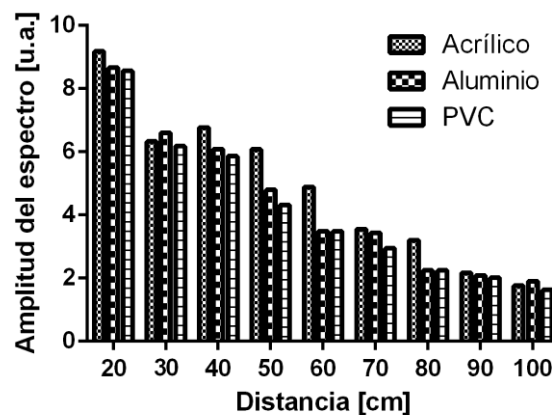


Figura 5. Amplitud máxima del espectro a 40 kHz para los tres materiales de prueba y para las distancias medidas. La tendencia es clara y aparentemente no hay diferencias.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

En la Figura 6 se muestran los datos arreglados para ser comparados por cada material. Aunque aparentemente no se aprecian diferencias, la comparación por grupos usando el análisis de varianza (ANOVA) de una vía y haciendo un post-test con múltiples comparaciones, nos indica que las mediciones del acrílico son significativamente diferentes a los datos con aluminio y PVC. Esto se puede apreciar más claramente en la Figura 7, que muestra los promedios de las tres mediciones de cada material a cada distancia, junto con las desviaciones estándar. La curva de los datos del acrílico se separa de los otros dos materiales a distancias mayores que 30 cm.

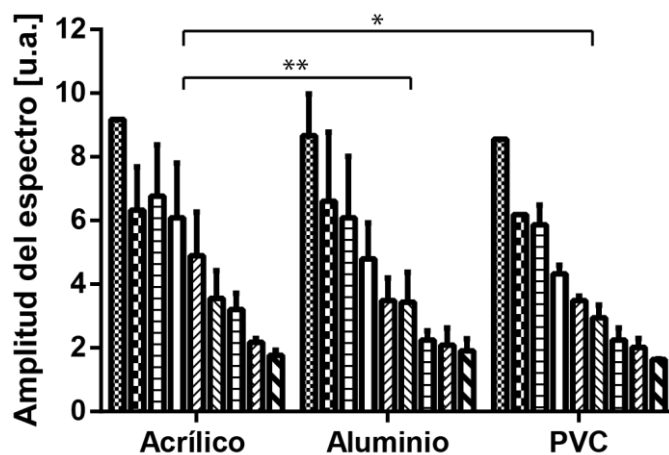


Figura 6. Amplitud del espectro para los tres materiales y todas las distancias, agrupadas por material. Los datos del aluminio y PVC son significativamente diferentes de los del acrílico (ANOVA de una vía con múltiples comparaciones entre grupos, donde (*) indica $p < 0.05$, y (**) indica $p < 0.01$).

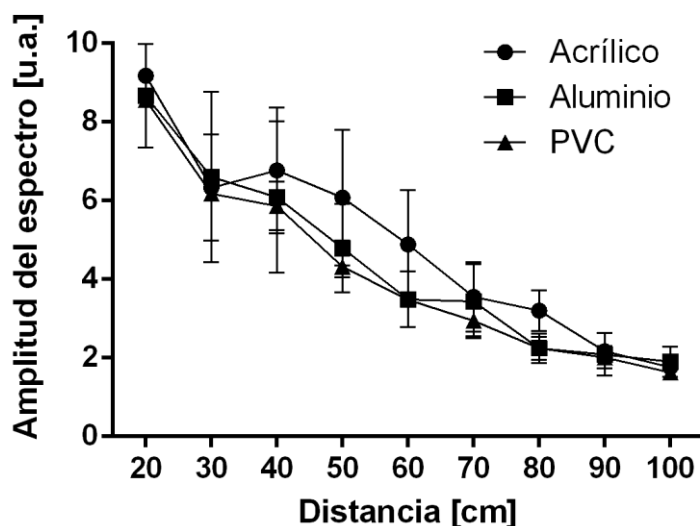


Figura 7. Tendencia de la amplitud del espectro para los diferentes materiales a las diferentes distancias. El acrílico se separa del aluminio y PVC para esta frecuencia (40 kHz) después de los 30 cm. Las barras de cada serie de datos indican la desviación estándar.



FIA 2018



XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Las diferencias encontradas en las gráficas de la Figura 7 pueden deberse tanto a la composición del material, como al espesor. La placa de acrílico tenía un espesor de 0.64 cm (1/4 de pulgada), mientras que las placas de acrílico y PVC tenían unos espesores de 3 mm y 2 mm, respectivamente. Esto podría afectar a la cantidad de energía ultrasónica reflejada y transmitida, lo que podría modificar las amplitudes del espectro medidas. Sin embargo, se necesitan más pruebas a diferentes frecuencias y con más materiales para verificar adecuadamente esta teoría.

CONCLUSIONES

El sistema electrónico de emisión y recepción provee una señal de salida suficientemente grande para la medición de señales ultrasónicas en aire con los transductores comerciales elegidos. Sin embargo, para el propósito del trabajo, que es hacer una comparación del espectro a diferentes frecuencias, el ancho de banda del transductor resultó reducido. En este trabajo se vieron diferencias significativas a 40 kHz entre un material (acrílico) y los otros dos, pero es necesaria una comparación más completa a otras frecuencias que se lograría con un sistema de banda ancha. Para esto, es necesario cambiar el diseño de los transductores para aumentar su ancho de banda y ajustar de forma correspondiente el circuito electrónico para proporcionar un amplio intervalo de frecuencias de excitación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las aportaciones técnicas útiles en el desarrollo de las pruebas y en el diseño de los circuitos electrónicos a José Hugo Zepeda Peralta y Rubén Pérez Valladares. M.I. Gutiérrez agradece al CONACYT por el apoyo de los proyectos CB2015-257966, ERAnet-EMHE 200022, CYTED-DITECROD-218RT0545, y por el apoyo económico para el becario de licenciatura Luis F. Mondragón Briseño que participó en el diseño electrónico del sistema.

REFERENCIAS

- [1] INEGI, "Las personas con discapacidad en México: una visión al 2010." 2010.
- [2] G. M. Elchinger, "Mobility cane for the blind incorporating ultrasonic obstacle sensing apparatus," 1981.
- [3] L. F. Mondragon, A. Vera, L. Leija, J. Gutierrez, J. E. Chong-Quero, and M. I. Gutierrez, "Transceiver system for obstacle detection based on bat echolocation with air-coupled pulse-echo ultrasound," in *2017 14th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2017, pp. 1–5.
- [4] D. A. Waters, J. Rydell, and G. Jones, "Echolocation call design and limits on prey size: a case study using the aerial-hawking bat *Nyctalus leisleri*," *Behav. Ecol. Sociobiol.*, vol. 37, no. 5, pp. 321–328, Nov. 1995.
- [5] S. Mantani, S. Hiryu, E. Fujioka, N. Matsuta, H. Riquimaroux, and Y. Watanabe, "Echolocation behavior of the Japanese horseshoe bat in pursuit of fluttering prey," *J. Comp. Physiol. A*, vol. 198, no. 10, pp. 741–751, Oct. 2012.
- [6] L. F. Mondragón, M. I. Gutierrez, J. Gutierrez, L. Leija, A. Vera, and J. E. Chong-Quero, "Sistema transceptor ultrasónico con transductores acoplados en aire para detección de obstáculos empleando la técnica pulso-eco," *J. CIM*, vol. 5, no. 1, pp. 51–59, 2017.