

## GRABADORA BINAURAL PV-IV UNA SOLUCIÓN EXPERIMENTAL DE LA ECUACIÓN DE ONDA PARA SONIDO 3D

**José Eduardo Flores Ortega**

Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital.  
jefo\_1964@yahoo.com.mx

**Román Bravo Cadena**

Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital  
romanbravoc@hotmail.com

**Patricia Lorena Ramírez Rangel**

Instituto Politécnico Nacional ESIME-Z  
latosalcatraz@yahoo.com.mx

**Gildardo García Acosta**

Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital  
gil09gar@hotmail.mx

### Abstract

*The present work contains the design of a binaural recording system, based on a human skull, linear transducers and a primary amplification system, to obtain an optimal coupling. Once the recording system is built, the signals that will be the object of the model are recorded. Experimentally, signals that produce in the person sensation of three-dimensionality were recorded, the recorded signals will be used to determine the constants of the particular solutions for the wave differential equation in nearby works.*

**Palabras clave:** Grabación binaural, sonido 3D, amplificador, ecuación de onda,

Obtener una grabación que se asemeje lo más posible a la a la escucha humana es un problema que ha enfrentado la ingeniería desde hace mucho tiempo.

Desde el origen de la humanidad, el oído ha sido y sigue siendo uno de los sentidos claves en la supervivencia, no solo para los humanos, sino también para la mayoría de los animales en el mundo, que al igual que nosotros, reaccionan a los estímulos sonoros, que proporcionan al individuo información útil o necesaria tanto para cazar o evitar ser cazados; apareciendo así, desde los inicios de la evolución, la

necesidad de ubicar la fuente de los sonidos de forma tridimensional.

El oído es el sistema transductor que asocia las señales sonoras con nuestro cerebro; de tal forma, que puede decirse que el oído es un sentido mecanorreceptivo. La escucha es un proceso complejo en el que intervienen tanto factores físicos relacionados con la propagación de las ondas sonoras, como factores psicoacústicos (sonoridad, tonalidad y audición espacial) según Munar, Rosselló, Mas, Morente y Quetgle (2002) derivados de la forma en que nuestro cerebro procesa los estímulos recibidos en

cada oído para crear la percepción sonora final. Zwicker y Fastl, (1999)

Así, el oído permite gracias a un complejo desarrollo, obtener una localización espacial de las fuentes de sonido, según Head Acousitcs (2016) tanto en los planos verticales como horizontal. En el plano horizontal, la localización se realiza gracias a los retardos y a las diferencias de nivel de la señal sonora en un oído respecto al otro. En el plano vertical, la localización espacial se realiza gracias al filtrado realizado por la cabeza, el torso y el pabellón auditivo. El cerebro humano es capaz de interpretar el efecto de estos filtros para inferir la dirección de localización de las fuentes.

El objetivo general del trabajo es obtener una solución experimental de la ecuación de onda para sonido tridimensional y el objetivo particular de este trabajo, es el desarrollo e implementación de un sistema capaz de grabar sonidos en tercera dimensión, a partir del uso de un cráneo humano (preparado para simular las condiciones en la cabeza y la electrónica necesaria para emular el oído).

A partir de los registros de los “oídos electrónicos”, se buscará para la siguiente fase, el análisis de estas señales y su caracterización.

## I. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de registrar los sonidos de la forma más fiel posible, se realizó un sistema para obtener la información que adquiere el oído, construido con un cráneo humano, recubierto con polisiloxano para simular la piel, se recreó el oído externo y en la parte del oído medio se instaló un transductor para registrar las señales sonoras.

Se agregó cabello sintético y un torso con ropa con el objeto de reproducir las condiciones de escucha normales en función de la dirección de incidencia y considerar los efectos del cuerpo en el sistema auditivo.

El cráneo fue cortado en la parte superior (como se puede ver en la figura 3) y acondicionado en forma de cubierta para introducir la electrónica necesaria y utilizar el transductor. El cráneo presenta un ángulo mandibular cercano a los 120°, la forma de la base en forma de “U”, dientes jóvenes y pequeños no sinostosados en su cara exocraneal y recién sinostosados en su cara endocraneal, con un paladar corto y poco robusto, la protuberancia occipital no está desarrollada, estas características son propias de una mujer de entre 20 y 25 años.

El transductor cuidadosamente colocado en la parte del oído medio del cráneo a una distancia aproximada de 0.02m del inicio del canal auditivo, es un

transductor construido con tecnología planar de silicio, con una sensibilidad capaz de registrar presiones de hasta  $0.5 \times 10^{-3}$ Pa. según Samuel y Kensall (1979).

A la salida del transductor, debido a sus características físicas, se diseñó, construyó e implementó un amplificador lineal de baja señal. Este amplificador entrega una señal con impedancia de salida de línea.

Ya con el sistema de amplificación, la salida se conecta a un equipo XENYX 1204USB con el objeto de obtener de la manera más pura posible las señales obtenidas en cada oído. Del equipo XENYX se enlaza la información directo a una MacBook Pro Retina con un procesador 2.5 GHz Intel Core i7 y memoria 16 GB 1600 MHz DDR3 y gráficos NVIDIA GeForce GT 750M 2048 MB.

Se utilizó el software Traction 6, para el registro de la información.

Para las señales acústicas se consideraron condiciones estándares de medición y se utilizó el NTi Spectrum Analyzer y el NTi Minirator MR-PRO como generador.

A partir de la ecuación

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0 \quad (1)$$

se busca una solución a (1) y el punto de partida es la propiedad de la función exponencial  $e^{mx}$ , de que sus derivadas son múltiplos de la propia función, ahora, considerando  $y=e^{mx}$  y  $m$  como raíces complejas entonces

$$e^{m(x)} = e^{(a \pm ib)} = e^{ax}(\cos bx \pm i \sin bx) \quad (2)$$

de (2), se tiene para el caso de estudio:

$$y = e^{ax}(c_1 \cos bx + c_2 \sin bx) \quad (3)$$

$$= P e^{ax} \sin(bx + Q) \quad (4)$$

$$= P e^{ax} \cos(bx + R) \quad (5)$$

donde (3) es la solución general para (1), y (5) se tomará como solución particular, en donde  $P$ ,  $a$ ,  $b$  y  $R$  serán las condiciones de frontera definidas por las funciones resultantes de las grabaciones realizadas en 6 planos básicos, las cuales se muestran en el apartado de resultados y son el objeto de análisis posteriores.

## II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primero se diseñó e implementó el amplificador lineal primario (Véase figura 1).

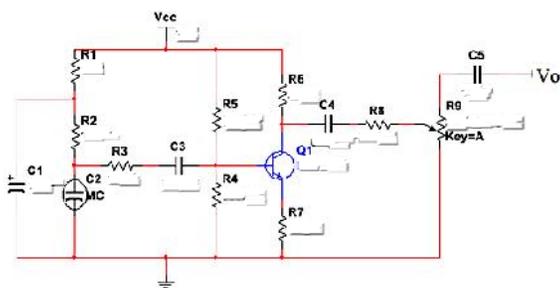


Figura 1. Amplificador de baja señal.

Una vez realizado el amplificador se prepara el cráneo (véase figura 2) y se instala en la cavidad craneal (Véase figura 3) junto con el transductor y el sistema de amplificación. (Véase figura 4)



Figura 2. Detalle del oído externo.



Figura 3. Cavidad craneal donde se instalará el amplificador.

Una vez instalado el amplificador se ajustan los parámetros en el sistema de grabación (Véase figura 4).



Figura 4. Ajustes iniciales de parámetros.

Ya instalado el amplificador en el cráneo se toman las muestras de señales desde diferentes ubicaciones (frontal, posterior, derecha, izquierda, arriba y abajo, Véase Figura 5) y bajo condiciones estándares de medición (Véase figura 6).

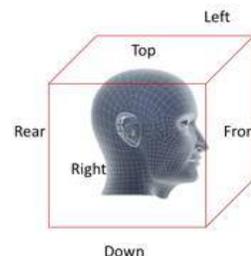


Figura 5. Ubicaciones para la toma de muestras de señales



Figura 6. Ajustes iniciales de parámetros  
Las mediciones se realizan

Como soluciones experimentales a la ecuación (1), se tienen los registros de los seis planos, el primer registro (ver figura 7), proveniente de la grabación frontal:



Figura 7. Señal obtenida con excitación frontal.

El segundo registro (véase figura 8) corresponde a la excitación posterior:



Figura 8. Señal obtenida con excitación posterior.



Figura 11. Señal obtenida con excitación por la derecha.

El tercer registro (véase figura 9) corresponde a la excitación en la parte superior:



Figura 9. Señal obtenida con excitación en la parte superior.

Y por último el sexto registro (véase figura 12) de considerar una excitación por el lado izquierdo:



Figura 12. Señal obtenida con excitación por la izquierda.

El cuarto registro (véase figura 10) corresponde a la excitación en la parte inferior:



Figura 10. Señal obtenida con excitación en la parte inferior.

El quinto registro (véase figura 11) proviene de considerar una excitación por la derecha:

### III. CONCLUSIONES

La ubicación tridimensional utilizando el oído es un tema que hoy en día genera fascinación, pese a que en el mercado se encuentran grabadoras binaurales, en la región del Valle del Mezquital no existen. Por otro lado, la construcción de la grabadora utilizando un cráneo humano exigió tener consideraciones especiales en el diseño e implementación del oído externo, se consideró el pabellón del oído humano, el conducto auditivo de 0.02m de longitud aproximadamente, incluso la simulación de la piel, el pelo y el torso. La instalación del sistema de amplificación y los transductores en el lugar del oído medio son clave en el desarrollo de la grabadora, la cual graba sonidos que al escucharlos generan la sensación de tridimensionalidad, sin embargo, este es el primer paso, el siguiente será obtener a partir de los resultados experimentales, las condiciones de frontera, que permitan definir las constantes de las soluciones teóricas particulares de la ecuación de onda.

## Referencias

Head Acousitcs. (2016). Binaural Measurement, Analysis and Playback. Head. Application Note. GmbH. Herzogenrath, Germany.

Munar Enric, Rosselló Jaume, Mas Carmen, Morente Pilar, Quetgle Miquel. (2002). El Desarrollo de la Audición Humana Psicothema, Vol. 14, Núm. 2, pp. 247-254, Universidad de Oviedo. Oviedo, España.

Samuel K. Clark, Kensall D. Wise. (1979). Pressure Sensitivity in Anisotropically Etched Thin Diaphragm Pressure Sensors. IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 26(12), 1887-1896. DOI:10.1109/T-ED.1979.19792.

Zwicker E., Fastl H. (1999). Psychoacoustics. Facts and Models, Springer-Verlag. Berlin, Germany.

