

# Apéndice A

Experimento de medición de ITD y ILD

Fecha: 12-Feb-2005.

## **Objetivos del experimento**

Determinar de manera experimental la diferencia de nivel ILD y la diferencia de fase ITD utilizando dos pequeños micrófonos montados en los oídos del espectador.

El objetivo de colocar los micrófonos dentro de los oídos del espectador es para obtener de una manera aproximada la percepción acústica real provocada por la forma de las orejas, absorciones, reflejos y rebotes ocasionados por la cabeza y el torso.

## **Justificación del experimento**

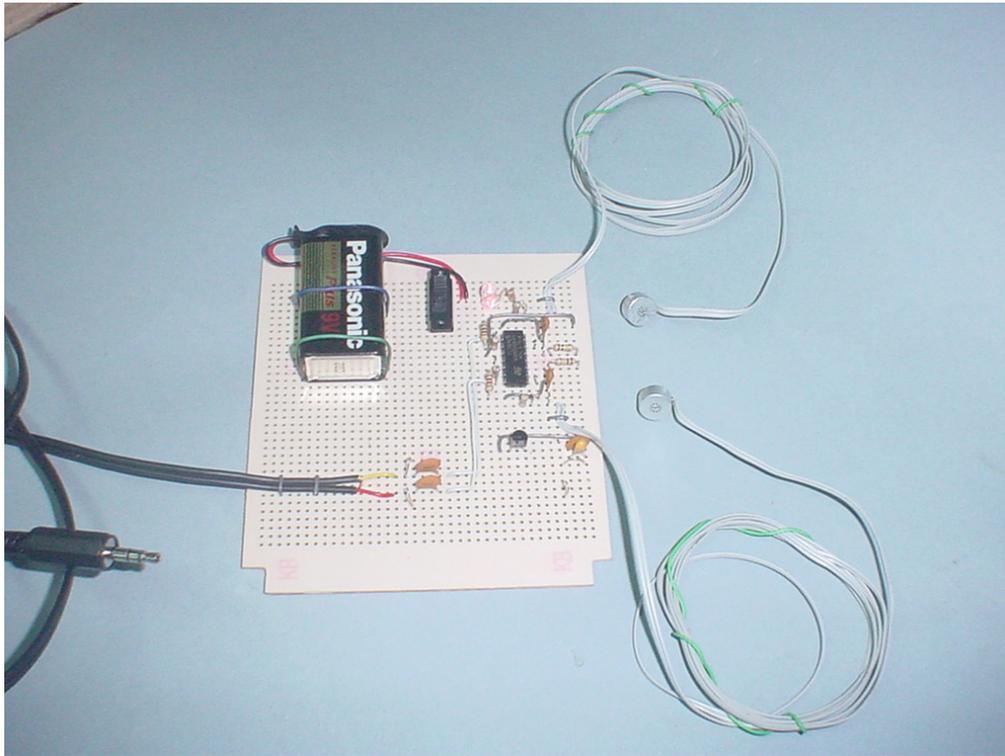
El tener un mayor conocimiento en el proceso de audición real, y determinar de manera experimental los coeficientes de ITD, ILD e incluso ATF, permiten diseñar sistemas de audio tridimensionales con características más acercadas a la realidad.

## Material utilizado

- 1.- Generador de funciones
- 1.- Osciloscopio
- 1.- Sistema de Audición artificial

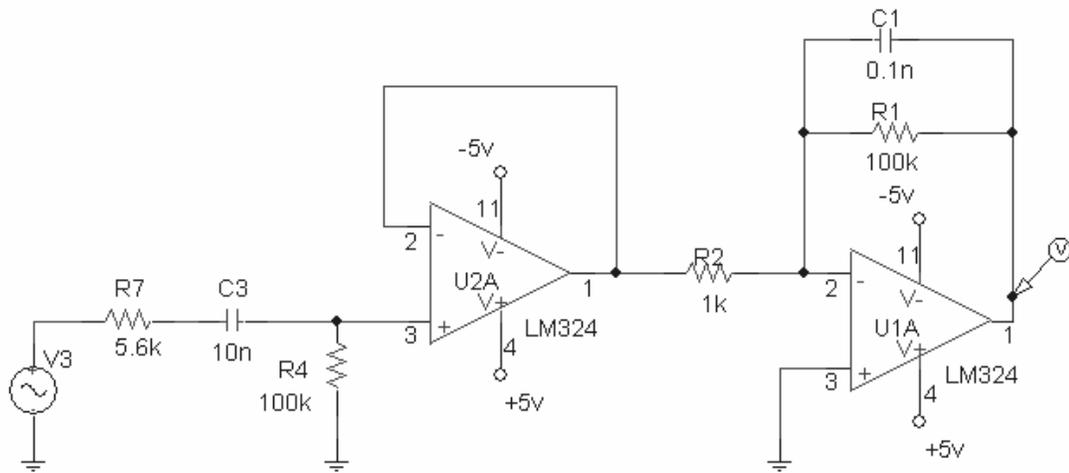
## Diseño del sistema de Audición artificial

Se construyó un sistema de audición artificial que consta de dos pequeños micrófonos, dos preamplificadores, una batería de 9v y un conector *stereo* mostrado en la Figura 1A.



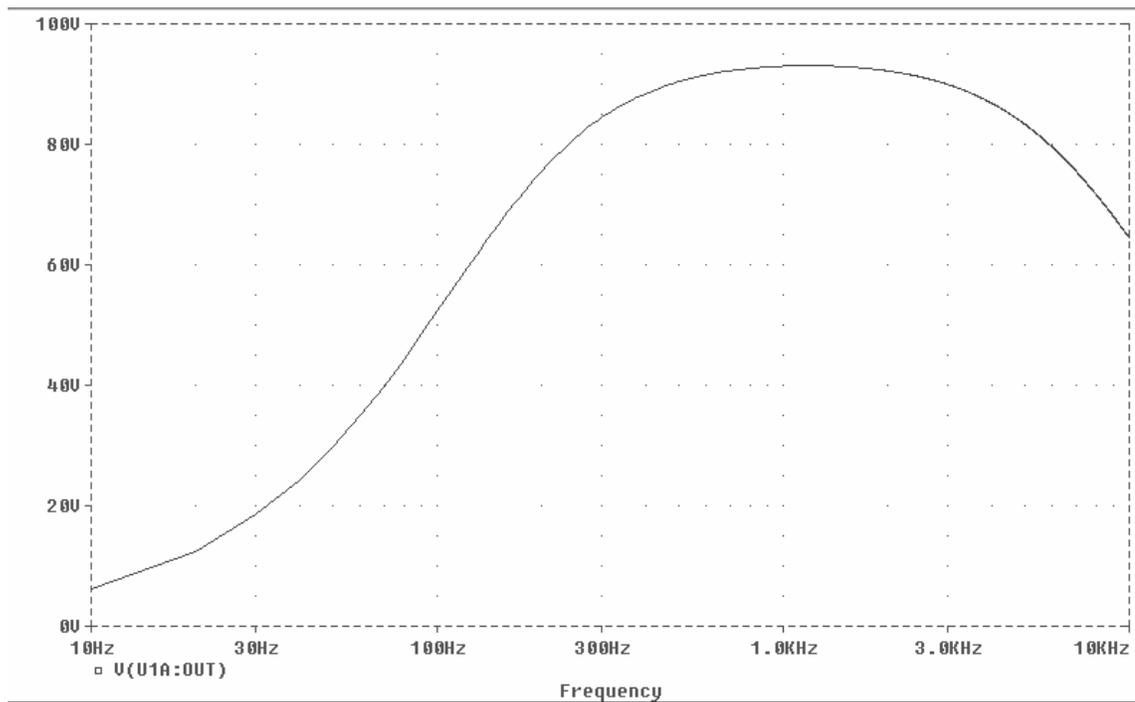
**Figura 1A.-** Fotografía del sistema de Audición artificial.

El diseño de los preamplificadores se muestra en la Figura 2A. Se armaron dos idénticos, uno para cada micrófono. Esto es con el fin de sensor de igual manera cada micrófono.



**Figura 2A.-** Diagrama de los preamplificadores.

La respuesta en frecuencia de los preamplificadores se muestra en la Figura 3A. El ancho de banda va desde los 200Hz a los 10KHz. La máxima ganancia se encuentra en 1KHz por lo que esta frecuencia será usada posteriormente.



**Figura 3A.-** Respuesta en frecuencia de los preamplificadores.

Los micrófonos son del tamaño adecuado para ser sujetados dentro de los oídos del espectador con el fin de obtener señales correspondientes a las percibidas naturalmente por el tímpano.

### **Procedimiento**

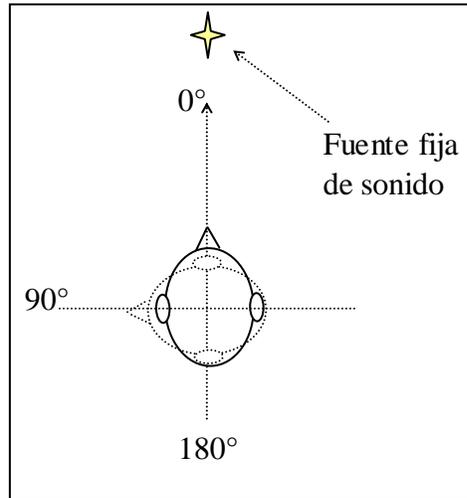
Se sujetó la fuente de sonido (*tweeter*) de manera que quedara a  $0^\circ$  de elevación y a 1 m de distancia con respecto al espectador como indica la Figura 4A. Se utilizó la separación a 1m de distancia con el fin de normalizar las mediciones.



**Figura 4A.-** Fotografía de la fuente de sonido y del espectador.

Se fijó firmemente una silla giratoria al suelo y se marcaron los ángulos de giro con ayuda de un transportador cada  $10^\circ$  de manera que se cubrieran los primeros  $180^\circ$  (la información sería copiada a espejo para cubrir los  $360^\circ$ , debido a simetrías de la cabeza).

Los grados de medición fueron medidos de la forma como se muestra en la Figura 5A.



**Figura 5A.-** Esquema de medición de ángulos de audición.

**Pruebas realizadas**

La primera prueba consistió en generar un tono puro de 1KHz, y tomar mediciones de diferencia de amplitud en cada oído para cada 10°.

Los resultados medidos se observan en la Tabla 1A.

**Tabla 1A.-** Tabla de resultados de la prueba 1.

Grados	Left	Right
0	550	312
10	560	320
20	560	280
30	530	260
40	520	200
50	480	208
60	320	190
70	248	240
80	190	280
90	200	320
100	176	400
110	320	420
120	312	360
130	360	420
140	440	340
150	450	350
160	528	370
170	488	320
180	440	400

Debido a la inestabilidad en las mediciones y a la presencia de ondas estacionarias de la primera prueba, se decidió realizar las mismas mediciones pero para señales pulsadas en lugar de tonos puros.

La segunda prueba consistió en generar pulsos de 1ms de duración y una frecuencia de repetición de 1Hz. Se hicieron mediciones de intensidad y de fase en cada oído.

Los resultados medidos en esta segunda prueba son los siguientes:

**Tabla 2A.-** Tabla de resultados de la prueba 2.

<b>Grados</b>	<b>Left</b>	<b>Right</b>	<b>ITD en <math>\mu</math>s</b>
0	0.44871795	0.58974359	0
10	0.38461538	0.65384615	60
20	0.24038462	0.82051282	190
30	0.20512821	0.84615385	240
40	0.17628205	0.88461538	290
50	0.11538462	0.97435897	410
60	0.10897436	1	450
70	0.08974359	0.98717949	530
80	0.06730769	0.92307692	610
90	0.11538462	0.8974359	660
100	0.09294872	0.76923077	570
110	0.14423077	0.64102564	520
120	0.11858974	0.56089744	480
130	0.125	0.5	450
140	0.2275641	0.32692308	305
150	0.21794872	0.32051282	270
160	0.28205128	0.34615385	180
170	0.32692308	0.33974359	90
180	0.38461538	0.31410256	0

Graficando la ITD o retrasos de la tabla anterior obtenemos la Figura 6A.

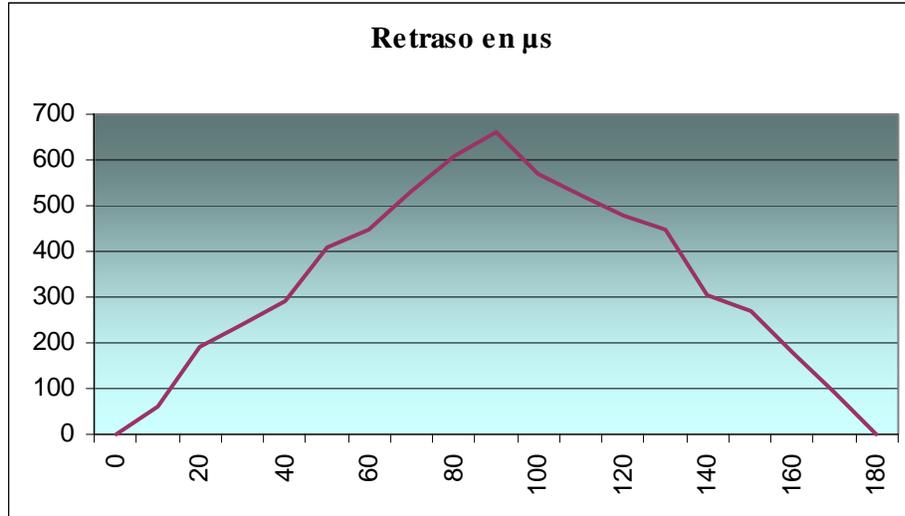


Figura 6A.- Grafica de los retrasos en  $\mu$ s.

Una manera útil de ver los resultados medidos de la ILD presentados en la Figura 6A, es usar un sistema de coordenadas polares. Realizando esta transformación, copiando a espejo los valores obtenidos para tener los  $360^\circ$  y normalizando al máximo valor, tenemos el siguiente resultado ilustrado en la Figura 7A.

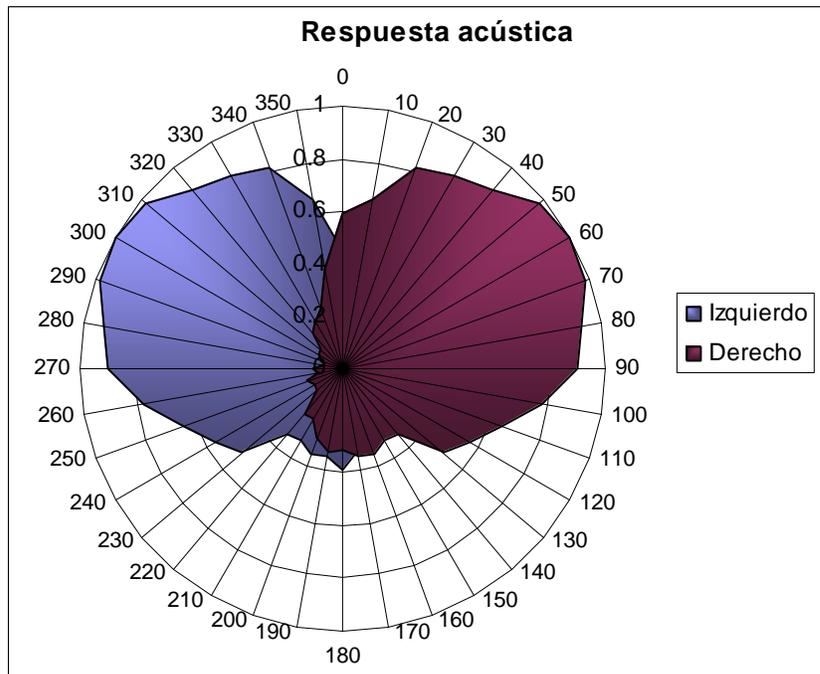
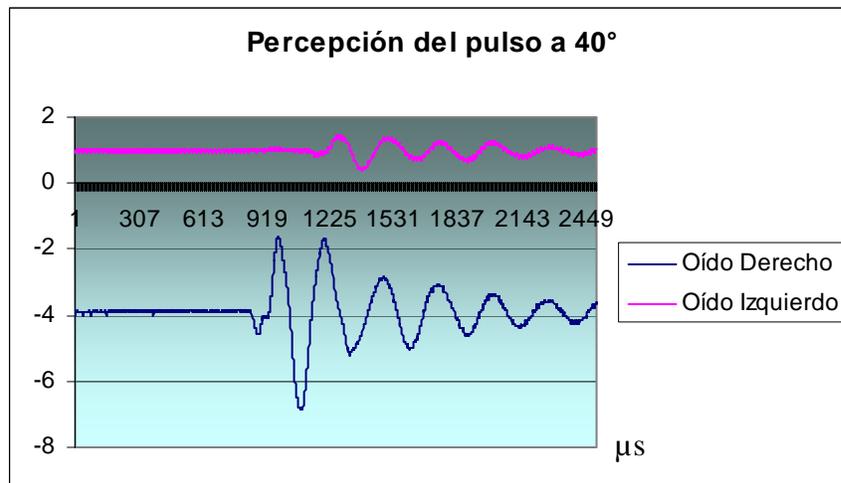


Figura 7A.- Gráfica polar de la ILD en  $360^\circ$

En esta gráfica polar, el oído derecho se encuentra en los  $90^\circ$ , mientras que la nariz a los  $0^\circ$ . Si analizamos la gráfica de la Figura 9A, podemos ver que la forma del oído externo hace que tengamos una recepción máxima a los  $60^\circ$  para el oído derecho y  $300^\circ$  para el izquierdo. También se puede observar que los sonidos que provienen de la parte trasera del espectador son considerablemente atenuados y que sonidos situados a  $90^\circ$  ó  $270^\circ$  son percibidos aunque con una muy baja amplitud, por el oído que se encuentra del lado opuesto.

En la Figura 8A se muestra el pulso recibido por cada micrófono a  $40^\circ$  de ángulo de audición capturado por el osciloscopio.



**Figura 8A.-** Captura del osciloscopio del sistema de audición artificial a  $40^\circ$ .

En esta figura se puede observar el momento en donde cada pulso es recibido en cada oído. También se observa la diferencia de amplitud que presentan.

## Conclusiones

Una vez finalizadas y analizadas las pruebas se puede concluir lo siguiente:

- Con la emisión de tonos puros se generan ondas estacionarias que dependen de la frecuencia del tono, las dimensiones del cuarto y los objetos del interior del mismo. Esto ocasiona que existan máximos y mínimos dentro del cuarto, haciendo que los datos de la prueba uno no sean útiles para la determinación de diferencia de magnitudes. Esta conclusión es muy importante porque se comprueba que es más difícil la localización de tonos puros.
- Se pudieron medir con exactitud los nodos de las ondas estacionarias que se generaban con la reproducción de tonos puros al acercarse o alejarse el micrófono de la fuente sonora. En ciertos lugares en el cuarto, el micrófono no presentaba señal alguna mientras que en otros lugares se tenían señales de amplitudes de hasta 5 *volts* pico a pico.
- Con la generación de sonidos pulsantes como el caso de la prueba dos, se puede medir de manera más fácil la diferencia de tiempo de arribo y la magnitud de la señal.
- Usando los datos de la Figura 10A, se puede crear una especie de ATF sintetizada. Esto es debido a que los datos obtenidos de la ILD medidos incluyen los parámetros físicos involucrados en la forma de la oreja, la cabeza, el cuerpo y el cuarto de

mediciones. Usando esta información en el programa de audio puede ser de gran utilidad para descentralizar la imagen acústica y enviarla afuera de la cabeza del espectador.

- Las pequeñas fluctuaciones en las gráficas 8A y 9A, posiblemente se deben a los errores de medición de los ángulos de audición o posiblemente se deban a la generación de ondas estacionarias.
- La medición de los parámetros de ITD y de ILD usando pequeños micrófonos en voluntarios presenta varios problemas. Uno de ellos es la dificultad en la simetría de la sujeción de los micrófonos en los canales auditivos. Otra tiene que ver con las posibles diferencias en la sensibilidad y amplificación de cada canal. Y la última tiene que ver con la dificultad de medición de ángulos de audición debido a movimientos del voluntario durante las mediciones.