



REVISTA DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA

www.ingenieria.uda.cl
17 (2004) 8-14



Mediciones de Respuesta del Auricular TDH-39

Alexander G. Börger¹

1 Departamento de Industria, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama, Chile

Correspondencia autor, Tel: 56-52-206646, E-mail: aborger@industria.uda.cl

Resumen

En este trabajo se pretenden medir dos efectos para el auricular THD-39; los niveles de presión de sonido a fin de obtener la respuesta de voltaje y el nivel de presión espectral en banda estrecha. Las mediciones se realizan con señales de calidad, para ello se generan los tonos puros basándose en un generador de arreglo de Walsh y el ruido proviene de un generador de ruido plano en banda de audio del cual se obtiene el ruido en banda estrecha mediante filtros digitales de séptimo orden. Se toman las precauciones de cumplir los estándares ISO e IEC de acústica y audiometría.

Palabras Clave: Auricular, Respuesta de Voltaje, Nivel de Presión de Sonido, Nivel de Presión Espectral.

Abstract

In this work two effects are tried to measure for the earphone THD-39; the sound pressure levels in order to obtain the voltage response and the narrow band spectral pressure level. The measurements are realized with quality signals, for it, the sinus tones are generated being based on a generator of Walsch's arrangement and the noise comes from a generator of flat noise in audio band from which narrow band noise is obtained by means of seventh order digital filters. Special care is taken of satisfy the ISO and IEC standards of acoustics and audiometric.

Keywords: Earphone, Voltage Response, Sound Pressure Level, Spectral Pressure Level.

1. Introducción

La caracterización de un auricular en función de la respuesta a voltaje y del nivel de presión espectral, es la respuesta en función de la tensión de alimentación son muy lineales y se parametrizan en función de la frecuencia. Aquí se cumplen los requerimientos de las normas IEC e ISO y se implementan generadores de tono puro y de ruido de calidad con el fin de obtener buenas mediciones del auricular.

1.1 Metodología

Teoría: Primero se comienza con un desarrollo teórico que fundamenta las mediciones realizadas.

Práctica: Se construye un generador de tonos puros en base a funciones de Walsh dado su bajo contenido espurio en frecuencia, las frecuencias a generar según la norma IEC 645 se logran controlar digitalmente. Se construye también un generador de ruido que cubre toda la banda de audio y un filtro pasa banda cuyas frecuencias de corte inferior y superior son controladas digitalmente a fin de generar ruido en banda estrecha según IEC 645. En el auricular TDH-39 se midió primero los niveles de presión de sonido SPL en función de la tensión de alimentación, lo que permite calcular la respuesta de voltaje. En segundo lugar se mide el nivel de presión espectral para ruido en banda estrecha según norma IEC 645.

Equipamiento: Para medir el auricular TDH-39 se utiliza un oído artificial B&K 4152 conectado con un medidor de presión B&K 2220. El analizador de espectro es análogo HP modelo 8553B. El frecuencímetro es Newtronics modelo 200 PC, en modo frecuencímetro.

1.2 Respuesta de voltaje.

Se puede relacionar la presión de salida del auricular con las variables eléctricas de alimentación, véase la figura 1.

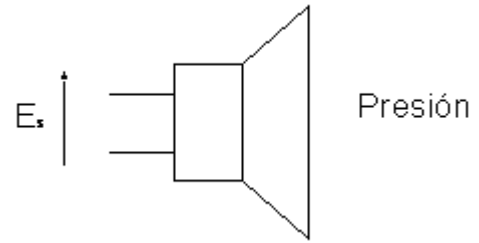


Figura 1. El auricular.

Existe una relación que permite obtener el nivel de presión de sonido SPL producido por una fuente de alimentación de tensión alterna (E_s) a una determinada frecuencia; esta es la llamada Respuesta de Voltaje (VR) del auricular. Así se tiene (1).

$$SPL = 20 * \log(E_s) + K \quad [1]$$

Donde K depende de la frecuencia y se conoce como Respuesta de Voltaje (VR) del auricular midiéndose en decibeles [db] referidos a $0.0002 \text{ [dina/cm}^2\text{]}$ y 1 [V], según (2), con tensión de alimentación E_s .

$$K = VR = SPL - 20 * \log(E_s) \quad [2]$$

1.3 Nivel de presión espectral

Para ruido conviene definir el nivel de presión de sonido en términos del nivel de presión espectral (S_f ó Lps) según (3).

$$S_f = SPL - 10 * \log(f_s - f_i) \quad [3]$$

con $f_s - f_i = Df$ un ancho de banda de ruido entre la frecuencia de corte superior f_s y la frecuencia de corte inferior f_i y nivel de presión de sonido SPL, se tiene (4).

$$SPL = S_f + 10 * \log(D_f) \quad [4]$$

Igualando las ecuaciones (1) y (4) se obtiene (5) para señales de ruido.

$$E_s = \sqrt{Df} \cdot 10^{\frac{(S_f - K)}{20}} \quad [5]$$

para el caso de tonos puros en frecuencia se tiene (6),

$$E_s = 10^{(SPL-K)/20} \quad [6]$$

Con:

E_s : Voltaje de alimentación al auricular, [V]

D_f : Ancho de banda del ruido, [Hz]

S_f : Nivel de presión espectral, [db]

K : Respuesta de voltaje del auricular, [db]

SPL: Nivel de presión de sonido, [db]

De esta forma se debe notar según (5) y (6) que una atenuación de p [db] en la tensión de entrada al auricular causa una atenuación de p [db] en la salida de presión de éste.

1.4 Generadores de señal al auricular.

Para realizar las mediciones son necesarios generadores muy estables, de tonos puros en frecuencia y de ruido en ciertos anchos de banda. Los tonos puros se realizan mediante un generador de funciones sinusoidales de Walsh, Börger, A.(2003) y el generador de ruido se realizó mediante una fuente de ruido digital pseudo aleatoria MM5437 de National Semiconductors y filtros elípticos programables de séptimo orden S3528 y S3529 de AMI Semiconductors, Börger, A. (1990).

2. Generador de tono puro.

Los principios de funcionamiento y características del generador de sinusoidal (tono puro) basado en funciones de Walsh se mencionan en Börger(2003). Para generar un señal sinusoidal de frecuencia f es necesario alimentar el generador con una señal cuadrada de frecuencia $32*f$ según muestra la figura 2.

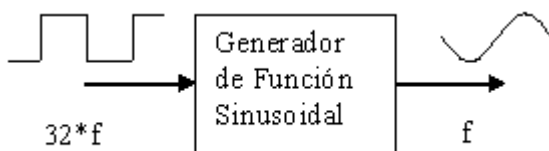


Figura 2: Generador de Sinusoidal

Basándose en la norma de audiometría IEC 645, las frecuencias a generar para medir la respuesta del auricular deben ser de : 125, 250,500,750, 1500, 2000,3000, 4000, 6000, 8000 [Hz]. Debe notarse que el mínimo común múltiplo entre las frecuencias anteriores es 24 [KHz], por lo que se pueden obtener todas las frecuencias dividiendo algún múltiplo de $32*24$ [KHz] ($=768$ [KHz]) por un entero. En el mercado se encuentra un cristal de 6.144 [MHZ] que corresponde a $8*768$ [KHz] y que permite obtener las frecuencias exactas con la precisión del cristal según la fórmula (7).

$$f = \frac{6.144[MHz]}{(32 \cdot N)} \quad [7]$$

Por ejemplo, con $N=24$ se obtienen 8 [KHz] y con $N=1536$ se obtienen 125 [Hz].

En base a lo anterior se implementó un circuito divisor en base a contadores 74193 en cuenta down con el fin de dividir la frecuencia del oscilador a cristal y un flip-flop con el que alimentar el generador de sinusoidal. Con un generador de pulso/función marca "Newtronics" modelo 200 PC, en modo frecuencímetro se midió la frecuencia de la señal sinusoidal versus la palabra digital de entrada al circuito divisor, según la tabla 1.

3. Generador de ruido.

Se procede a generar ruido en banda estrecha a partir del filtrado de ruido en banda ancha.

3.1 Generador de ruido en banda ancha.

El generador de ruido se implementó en base a un circuito integrado National MM5437, el cual es una fuente de ruido pseudo aleatoria especializada, que posee oscilador interno, es TTL compatible, tiene calidad y amplitud de ruido uniformes en la banda de audio que estamos trabajando. Los ruidos se generaron en base a la norma IEC 645. El filtraje para banda estrecha se efectuó mediante los filtros S3528 y S3529 de marca

AMI Semiconductors con característica de séptimo orden (140 [db/dec]).

El ruido generado con las entradas control1 y control2 en "1" lógico fue medido eléctricamente en [db] en un analizador de espectro análogo marca HP, modelo 8553B, y la envolvente del ruido aparece en la figura 2.

N Decimal	Frecuencia [KHz] ideal	Frecuencia [KHz] medida	Error en %
1536	0,125	0,125	0,000
768	0,250	0,250	0,000
384	0,500	0,500	0,000
256	0,750	0,750	0,000
192	1,000	1,000	0,000
128	1,500	1,500	0,000
96	2,000	2,000	0,000
64	3,000	2,999	0,033
48	4,000	3,999	0,025
32	6,000	5,998	0,033
24	8,000	7,997	0,038

Tabla 1: Mediciones de Frecuencia de Salida en el generador de Sinusoidal versus palabra digital de entrada.

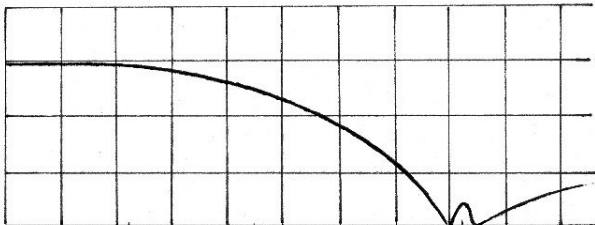


Figura 2.: Envolvente del espectro de ruido a la salida del generador. Ejes horizontal a 20 [KHz/div] y vertical a 30 [db/div].

La frecuencia de corte superior de ruido que interesa es menor a 9 [KHz] y se aprecia de la figura 2 que el ruido es plano hasta los 40 [KHz], siendo esta fuente más que suficiente para los objetivos de audio.

3.2 Filtro pasa banda.

Se trata de los filtros AMI S3528 y S3529, cuyas características son: Filtros elípticos de séptimo orden, frecuencia de corte

seleccionable en 64 pasos vía palabra de control digital, frecuencia de corte ajustable continuamente variando el clock externo, ripple de la banda de paso menor a 0.1 [db], atenuación en banda de supresión mayor a 51 [db] para una frecuencia mayor a 1.3 veces la frecuencia de corte (pasa bajos), atenuación en banda de supresión mayor a 51 [db] para una frecuencia menor a 0.77 veces la frecuencia de corte (pasa altos), puede usarse con polarización +5[V] y -5[V] y los umbrales de las señales de control corresponden a los TTL, amplificadores operacionales de entrada y salida no comprometidos y para funciones de anti-alias y smoothing.

En estos filtros la frecuencia de corte depende de dos parámetros, que son la frecuencia del cristal y la palabra digital de entrada (6 bit), así para los filtros pasa bajos se tiene la ecuación (8) y para los pasa altos la (9).

$$f_c = f_{Clock} / (40 \cdot \text{Razón de División}) \quad [8]$$

$$f_c = f_{Clock} / (44 \cdot \text{Razón de División}) \quad [9]$$

Tanto para el pasa altos como para el pasa bajos se tienen las mismas razones de división dependiendo de la palabra de 6 bit de entrada según el manual.

La norma IEC 645 define bandas de ruido para enmascaramiento en banda estrecha, estas frecuencias corresponden a un tercio de octava como mínimo y a media octava como máximo.

Basándose en la información anterior se obtiene que para el filtro pasa bajos se pueden obtener todas las frecuencias de corte superior con un cristal de 5 [MHz] y variando sólo la palabra digital de 6 bit en el filtro. Lo mismo ocurre para el filtro pasa altos con la frecuencia de corte inferior para un cristal de 4 [MHz], ver tabla 2.

Se obtiene entonces en base a la tabla 2 un filtro pasa banda dentro de la norma IEC645.

Palabra Hexadecimal de 6 bit	Razón de división Decimal	XTAL=5.0 [MHz]	XTAL=4.0 [MHz]
		Frecuencia de corte Superior [Hz]*	Frecuencia de corte Inferior [Hz]**
01H	895	140	102
02H	447	280	203
04H	224	558	406
06H	149	839	610
08H	112	1116	812
12H	74	1689	1229
16H	56	2232	1623
24H	37	3378	2457
32H	28	4464	3247
2EH	18	6944	5051
38H	14	8929	6493

*Filtro pasa bajos

**Filtro pasa altos

Tabla 2: Frecuencias de corte versus palabra digital en los filtros pasa bajos y pasa altos.

4. Mediciones en el auricular.

Las mediciones se realizan en un oído artificial tipo 4152 B&K, conectado con un medidor de nivel de sonido de precisión tipo 2230 B&K en un auricular TDH-39, ver figura 3.

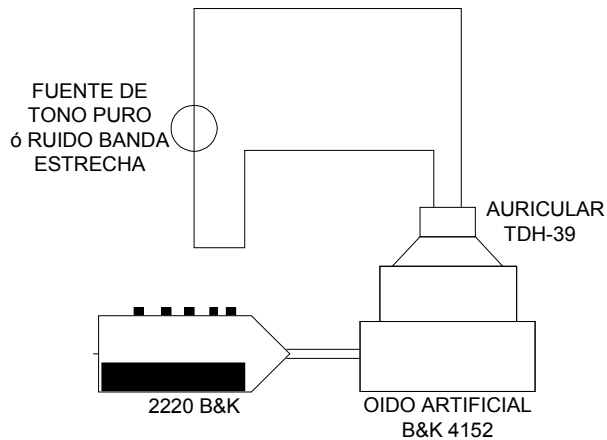


Figura 3: Esquema de la medición en el auricular.

4.1 Medición de la Respuesta de Voltaje.

Se realizaron tres mediciones de la respuesta de voltaje del auricular TDH.39 para cada frecuencia, las que se encuentran en la tabla 3. La respuesta de voltaje resulta del promedio sobre las tres mediciones según (2). De esta tabla se desprenden la figura 4 para frecuencias desde 125 a 1000 [Hz] y la figura 5 para frecuencias desde 1500 a 8000 [Hz].

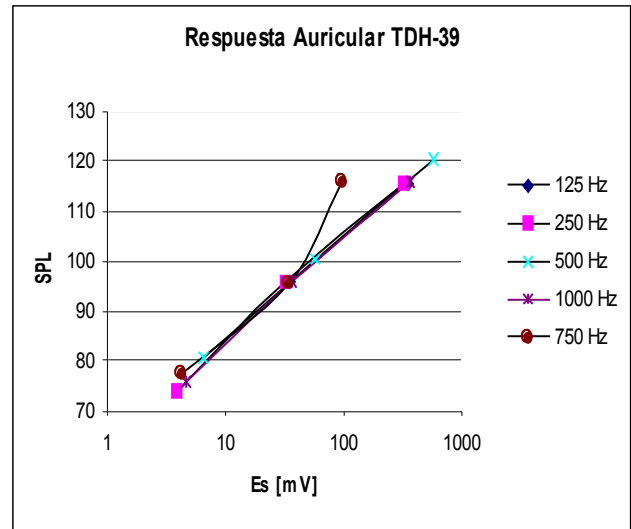


Figura 4: Respuesta SPL del Auricular TDH-39.

freq [Hz]	Es/SPL	1a Med	2a Med	3a Med	V.R. [db]
125	SPL [db]	96,2	115,5	115,8	125,0
	Es [mV]	35,4	339,4	353,6	
250	SPL [db]	74,1	96	115,8	124,5
	Es [mV]	3,9	32,5	325,3	
500	SPL [db]	80,7	100,5	120,6	125,0
	Es [mV]	6,5	58,3	583,4	
750	SPL [db]	77,6	95,8	116,1	128,9
	Es [mV]	4,2	33,9	95,8	

1000	SPL [db]	76,1	96	116,2	124,1
	Es [mV]	4,6	36,8	367,7	
1500	SPL [db]	77	95	115,4	124,1
	Es [mV]	4,4	36,1	360,1	
2000	SPL [db]	78,9	98,8	119,1	124,6
	Es [mV]	5,7	49,5	495	
3000	SPL [db]	78,9	98,7	119	131,0
	Es [mV]	2,8	23,3	233,4	
4000	SPL [db]	78,5	98,7	118,7	126,3
	Es [mV]	4,4	39,6	403,1	
6000	SPL [db]	86,3	106,3	126,6	127,5
	Es [mV]	9,2	84,9	883,9	
8000	SPL [db]	60,4	82,6	102	112,7
	Es [mV]	2,8	29	268,7	

Tabla 3: Tensión versus SPL en el auricular TDH-39 con cálculo de la respuesta de voltaje V.R. por frecuencia.

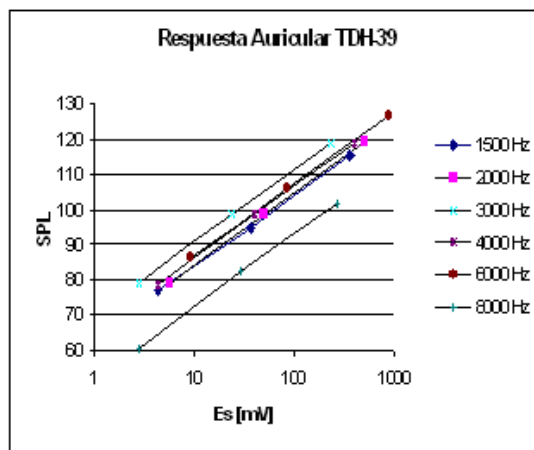


Figura 5: Respuesta SPL del Auricular TDH-39.

La respuesta de voltaje (V.R.) del auricular TDH-39 se aprecia en la figura 6 en función de la frecuencia.

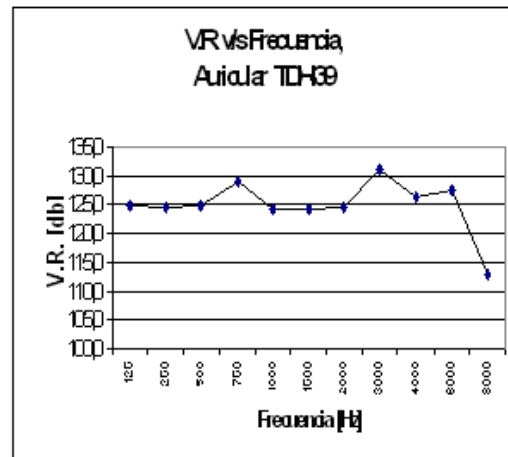


Figura 6: Respuesta de Voltaje del auricular TDH-39.

4.2 Mediciones de Nivel de Presión Espectral.

En función del ruido en banda estrecha generado (tabla 2), se procede a medir el nivel de presión espectral (Sf) según el esquema de la figura 3. Las mediciones se realizan en un oído artificial tipo 4152 B&K, conectado con un medidor tipo 2230 B&K en un auricular TDH-39 obteniéndose los resultados de la tabla 4. La diferencia entre Sf real y medido se debe a una atenuación de 30.1 [db] de la señal en el proceso de medición.

Frec [Hz]	fc-fl [Hz]	Sf [db] med	Sf [db] real
125	38	55,2	85,3
250	77	53,6	83,7
500	152	50,4	80,5
750	229	48,0	78,1
1000	304	47,2	77,3
1500	460	44,9	75,0
2000	609	45,5	75,6
3000	921	49,7	79,8
4000	1217	48,8	78,9
6000	1893	48,0	78,1
8000	2436	38,0	68,1

Tabla 4: Nivel de presión espectral, auricular TDH-39

Debe notarse que usando (4) es posible obtener el nivel SPL debido al ruido.

El nivel de presión espectral real de la tabla 4, se puede apreciar en la figura 7.

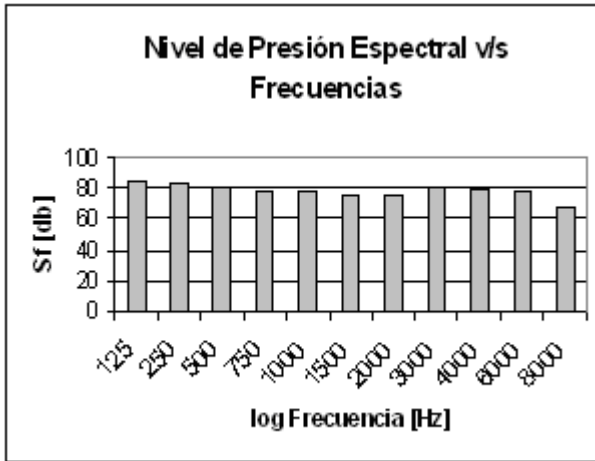


Figura 7: Nivel de Presión Espectral para ruido en banda estrecha en torno a las frecuencias estándar según norma IEC 645.

5. Conclusiones.

Se aprecia linealidad de la presión en función de la tensión de alimentación E_s , dada la frecuencia como parámetro en el auricular. La respuesta de voltaje calculada en base a mediciones hechas sobre tonos puros tiene un comportamiento en frecuencia que se condice con el nivel de presión espectral calculado en base a ruido en banda estrecha según norma IEC 645.

Agradecimientos.

El trabajo se pudo realizar gracias al apoyo de don Leonardo Carbone del IST de Viña del Mar y del Ingeniero Señor Francisco Aros Herrera.

6. Bibliografía

Libros.

Aros, F.(1990). Diseño de Software de un Sistema de Audiometría Controlado por PC. UTFSM, Valparaíso, Chile.

Baranek, L. (1949): Acoustic Measurement, J. Wiley&Sons New York. Capítulos 8,12, 13 15.

Börger, A.(1990). Diseño de Hardware de un Sistema de Audiometría controlado por PC. UTFSM, Valparaíso, Chile.

Brüel&Jaer. (1995): Manual del Oído Artificial tipo 4152.

Brüel&Jaer. (1995): Manual del Medidor de Nivel de Sonido tipo 2230.

Brüel&Jaer. (1995): Manual de Conjunto de Filtros 1/1 – 1/3 octava tipo 1625.

Hilburn, J.L. (1968): Manual of active Filter Design, Mc Graw-Hill, New York. Capítulo 2.

IEC (International Standard Comisión). Publicación nº 645 Audiometer.

ISO (International Standard Organization). Publicación nº 226 Acoustics.