



El examen del audífono digital



George J. Frye

*Frye Electronics.
Tigard, Oregon. EEUU.*

Resumen

Entre los profesionales dedicados a la adaptación protésica existe la idea generalizada de que la respuesta de los audífonos digitales no puede ser examinada. Esta idea es errónea toda vez que disponemos de la tecnología para poder llevar a cabo estos estudios. En este artículo presentamos la metodología necesaria para el examen de audífonos digitales mediante el uso de señales de tonos puros y compuestos. Esta metodología permite el análisis de forma interactiva de la respuesta de los filtros de reducción de ruido característicos de los audífonos digitales. Así mismo se lleva a cabo una revisión del análisis de las respuestas mediante el uso de técnicas de espectrografía.

Palabras Claves: audífonos digitales, audioanalizador, adaptación protésica, ICRA

Introducción

Los audífonos digitales a pesar de su sofisticación y sus indudables ventajas siguen siendo audífonos (1) y por lo tanto pueden no responder como esperamos. Existen al menos tres fuentes de error al adaptar un audífono digital. El examen de la respuesta del audífono por parte del audioprotesista puede minimizar estos errores. Sin embargo, la gran mayoría de audífonos digitales cuentan con programas de reducción de ruido que dificultan estas tareas de examen. A continuación presentamos la metodología que nos permitirá estudiar estos aparatos mediante tonos puros y señales complejas.

Los audífonos en general poseen una serie de elementos en común como el micrófono, el altavoz, la pila o los sistemas de control de los circuitos electrónicos. A diferencia de los audífonos analógicos, compuesto únicamente por estos componentes, los audífonos digitales incorpora un quinto elemento, el software. Para programar este software es necesario un pequeño aparato conectado al audífono o un ordenador personal.

Al adaptar un audífono ya sea digital o analógico nos encontramos con una serie de problemas muy similares, sin embargo, algunos son inherentes a las prótesis digitales. Dada la complejidad de los audífonos digitales pueden surgir problemas por mal funcionamiento del software. Los diseñadores de estos

programas tienen que tener en cuenta todos los factores que intervienen en el correcto funcionamiento del aparato. Los fabricantes someten al software a un examen exhaustivo tratando de descubrir estos errores antes de que el producto salga al mercado. Estos errores no siempre son detectados a tiempo y cuando se descubre uno de ellos se le conoce como un "bug".

Es muy difícil detectar un bug en un audífono digital ya que pueden darse bugs de todas clases. Algunos pueden resultar evidentes y otros no ser tan fáciles de detectar. Por ejemplo, si el bug afecta a la ganancia del audífono, el error es relativamente sencillo de reconocer pero sí afecta a otros parámetros como al Control Automático de la Ganancia (AGC) entonces las cosas no resultan tan sencillas.

Programando. Una predicción del rendimiento

Para ajustar un audífono digital a un paciente en concreto es necesario programarlo. Durante este proceso, el ordenador nos muestra la respuesta esperada mediante una gráfica o varias curvas. Recordemos que estas curvas son una predicción del rendimiento del audífono no una medida real. El programa nos muestra unas curvas que pueden no ser reales por bugs del software u otros problemas.

Es nuestra responsabilidad determinar si el audífono responde de la manera que supuestamente debería hacerlo. Para ello resulta imprescindible que podamos examinar el audífono para asegurarnos que todo está funcionando correctamente y poder verificar tanto el hardware como el software del aparato o en su defecto identificar los errores y determinar las razones por las que la respuesta del audífono no es la esperada.

La reducción del ruido

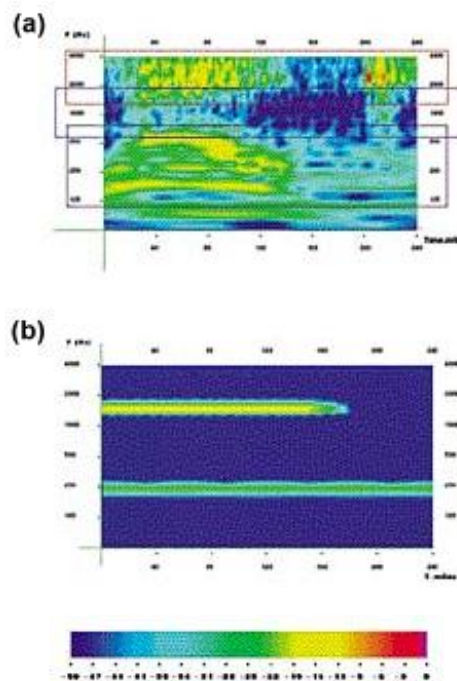
Durante décadas el objetivo de los fabricantes de audífonos ha sido resolver los problemas derivados del ruido. La percepción de ruidos de todas clases ha sido la queja más habitual de los usuarios de audífonos. Uno de estos ruidos son los silbidos de los circuitos del propio aparato. Cuando no hay ruido de fondo, el usuario puede percibir el sonido interno de su audífono. Otro tipo de queja hace referencia al ruido constante de fondo del ambiente. Widex fue una de las primeras compañías en ofertar audífonos con tecnología digital. En el diseño de estos primeros aparatos incluyó programas de reducción de ruido que actuaban sobre el silbido de los circuitos internos y mejoraban la respuesta de los audífonos ante el ruido ambiental de fondo. Un inconveniente de estos programas es que convirtieron a los audífonos en aparatos difíciles de examinar mediante los métodos tradicionales de presentación de barridos de estímulos tonales continuos. La compañía desarrolló una serie de procedimientos de examen especiales. Disponer de un buen método de examen es esencial para el proceso de adaptación protésica y muchos fabricantes han desarrollado audífonos digitales con algoritmos y procedimientos de examen similares.

En la Figura 1 a-b puede observarse un espectrograma obtenido a partir del programa Tempus 3D en un audioanalizador FONIX. Observamos una gráfica en la que están representadas en un sexto por octava la palabra hacer ("make" en inglés). En el eje horizontal observamos el tiempo en milisegundos; en el eje vertical la frecuencia en hertzios y la amplitud en decibelios representada por el color del gráfico. Los audífonos digitales modernos dividen el espectro en varias regiones o canales y operan en ellos de forma independiente. En la gráfica observamos estos canales representados como recuadros horizontales. En orden a preservar una buena calidad de sonido estos recuadros poseen un cierto grado de solapamiento. Podemos observar en la figura 1 a, como la frecuencia de 700 Hz influye tanto los rangos de las bajas frecuencias como en la de las medias.

Los sonidos son tratados como señales de entrada cuando su composición en frecuencia coincide con una de las bandas del audífono y no con las otras. En algunos audífonos de tecnología avanzada, si el sonido es continuo, es tratado como ruido, si el sonido no es continuo es tratado como habla. En la figura 1 b observamos el efecto de reducción de la ganancia al presentar un tono continuo de 250 Hz comparado con un tono pulsátil que no es rechazado de 1500 Hz. En la figura 1 b, las bandas de frecuencia próximas a los

250 Hz son continuas, así que son tratadas como ruido. La banda de 1500 Hz es pulsátil y por lo tanto la señal es tratada como habla.

Figura 1: (a) Espectrograma de la palabra inglesa "make". El tiempo está representado por el eje x, la frecuencia por el eje y, los colores representan la amplitud. Los tres recuadros delimitan las porciones del espectro que un audífono de tres canales utilizaría para separar el sonido. (b) Espectrograma de un tono continuo a 250 Hz y un tono pulsátil a 1500 Hz.



El audífono no reacciona de forma inmediata cuando detecta un tono continuo. Espera un intervalo de tiempo para asegurarse de que la señal de entrada es continua antes de comenzar a rechazarla. El valor al que la señal es atenuada y el periodo de espera está determinados por el programa del audífono.

Examen del audífono con tonos puros

Tradicionalmente las medidas de los audífonos se han llevado a cabo mediante barridos de tonos continuos. Para ello se aplica un tono puro de una frecuencia y amplitud conocida y se mide la salida mediante un acoplador y un micrófono. Un audífono digital puede rechazar el tono continuo ya que después de un periodo de tiempo lo considera como ruido y cualquier medida que llevemos a cabo será por lo tanto errónea. Al intentar medir la respuesta del audífono mediante tonos continuos la medición comenzará en un valor determinado e irá disminuyendo a medida que el programa de reducción de ruido va atenuando la respuesta del audífono. Al presentar un barrido de tonos el primero de ellos es amplificado a la ganancia completa, el siguiente estará en la misma banda de

frecuencias que el anterior por lo que el audífono lo considerará como continuación del anterior. A partir de este segundo tono o probablemente el tercero el audífono comenzará a atenuar esta señal al considerarla como ruido. Cuando el barrido alcanza los límites de la banda siguiente, el proceso de atenuación de la señal de entrada comienza de nuevo.

Modificaciones para superar el rechazo de tonos puros

Podemos estudiar la respuesta del audífono llevando a cabo algunas modificaciones mediante la presentación del tono puro en fracciones cortas de tiempo. Es lógico pensar que actuando de esta forma podemos evitar el efecto de atenuación. Desagradablemente, como indicamos antes, el rango del filtro del audífono no está en cero. Aunque la frecuencia del tono pase a una nueva banda el audífono no reconoce que el tono ha cambiado de frecuencia y el algoritmo de reducción de ruido se activa. Podemos esperar un margen de tiempo entre las presentaciones pero esta solución consumiría mucho tiempo para obtener una curva final completa.

El examen mediante tonos puros presenta el problema de que el ancho de las bandas de los filtros no es conocida en el momento en el que diseñamos el procedimiento de examen. Además es posible que el esquema de frecuencias seleccionado por el programa de examen no funcione como esperamos. Con algunos audífonos podemos resolver el problema del rechazo cambiando las amplitudes del tono de examen. Sin embargo este procedimiento nos daría unas curvas que no podríamos comparar con las obtenidas mediante un barrido convencional de tonos puros. Afortunadamente existen otros procedimientos alternativos.

Las señales compuestas

A mediados de los años 80 apareció el audioanalizador FONIX 6500 capaz de examinar tanto señales compuestas como tonos puros. Las señales compuestas son serie de tonos puros presentados de forma simultánea y continua. El estímulo está compuesto por tonos de 100 Hz el más grave y otras frecuencias múltiples en un rango desde los 100 Hz hasta 8000 Hz. El período de presentación de los estímulos es de 10 milisegundos, por lo que podemos llevar a cabo una medida que contenga la respuesta completa a todas las frecuencias cada 100 partes de un segundo.

El examen con señales compuestas es llevado a cabo de la misma manera que los exámenes con tonos puros, con la señal acústica presentada al audífono con una fuente de sonido calibrada y el sonido del audífono presentado al micrófono medidor a través de un acoplador o en oído real. Cuando la señal es recibida en el audífono es muestreada y convertida en una serie de números mediante un conversor analógico-digital. Estos números son analizados mediante una técnica conocida como Transformación Rápida de Fourier (TRF). Esta es una herramienta matemática

que permite el análisis rápido de la señal de examen en sus componentes frecuenciales individuales. Para obtener una respuesta de análisis completa del audífono para las frecuencias presentadas mediante la señal compuesta basta con un intervalo de presentación de 10 ms. La gráfica de la respuesta puede ser representada en pantalla varias veces por segundo gracias a la rapidez de los cálculos matemáticos.

El sistema por señales compuestas permite la interacción con las medidas obtenidas del audífono. El operador puede ajustar los controles y la potencia, la respuesta en frecuencia y el AGC, tanto en acoplador como en oído real, mientras observa en la pantalla el resultado de los cambios en estos parámetros.

La señal compuesta continua cubre completamente el espectro de audio por lo que cuando es presentada a un audífono con algoritmos de reducción de ruido, la ganancia es ligeramente reducida en todos los rangos de frecuencia. Sin embargo es posible llevar a cabo medidas de la ganancia manipulando el modo de análisis mediante la aplicación de las señales de forma abrupta y luego “congelando” el procedimiento y salvando los resultados antes de que el algoritmo de cancelamiento de ruido del audífono entre en funcionamiento.

El programa digital del habla

Afortunadamente, en los exámenes con señales compuestas, el espectro completo se presenta y mide en solo 10ms. Es posible por lo tanto presentar la señal de examen de forma intermitente imitando el habla empleando un programa del habla digital. El programa digital del habla es un modo o forma de señal de examen disponible para medidas con acoplador y oído real en la mayoría de equipos comerciales. Este programa es presentado a impulsos de 300 ms, un período de tiempo que se aproxima al tiempo en el que una persona procesa un fragmento de una palabra. El habla natural ocurre a ratios que cambian, y por lo tanto la ratio a la que la señal de examen se repite se puede hacer variable. Estas dos consideraciones acerca de la relación del tiempo con la señal de examen aseguran que el audífono considera la señal presentada como habla. Con este tipo de señal el audífono puede ser estudiado cómodamente.

Mediante el procedimiento descrito pueden llevarse a cabo exámenes de la ganancia interactivos. La amplitud del examen puede ser a una intensidad normal del habla, en el rango de los 65 – 70 dB SPL RMS. Esta intensidad puede ser medida mediante un medidor de intensidad aplicado en el audífono. Podemos usar señales compuestas para exámenes de la respuesta del audífono, pero para el examen de saturación de potencia máxima es mejor emplear un tono puro modulado.

El espectro del habla

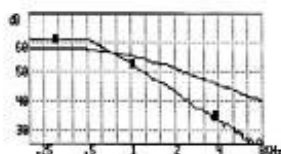
En muchas ocasiones los resultados obtenidos mediante este procedimiento no coinciden con los mostrados por los fabricantes a pesar de que obtengamos

medidas fiables y repetibles. La razón es que el espectro del habla usado en la señal compuesta no coincide con las usadas por los fabricantes.

La mayoría de los equipos de examen usan el espectro del habla propuesto por el National Bureau of Standards empleada en la norma ANSI S3.42-1992/97 para test estandarizado de audífonos. Esta señal esta diseñada para caer en intensidad a un ratio de 6 dB por octava a medida que la frecuencia alcanza los 900 Hz, punto de rodilla a partir del cual disminuye 3 dB. Representa una aproximación del promedio a corto plazo del habla que es el resultado de restar los “espacios muertos” en una muestra de habla.

La señal usada por algunos fabricantes sigue el espectro sugerido por el Intenational Collegium of Rehabilitive Audiologist (ICRA), y representa el promedio de varia lenguas a una intensidad del habla normal. Un hablante masculino tiene un espectro que es plano a 50 Hz, y que cae de repente a un ratio de 0 dB por octava. En la Fig. 2 se compara el espectro digital del habla según ANSI e ICRA.

Figura 2: Espectro digital del habla según ANSI (-) vs. ICRA(■). Las diferencias que se observan han sido fuente de disparidad en las medidas de examen.



Las diferencias entre ANSI e ICRA son los suficientemente grandes como para hacer que algunos fabricantes de audífonos hagan ajustes especiales. Por ejemplo, después de que Widex distribuyera su primer CD de examen, la compañía publicó una nueva versión en 1996 que incluía diferentes combinaciones de voces de varones y mujeres en diferentes grupos de distinto tamaño y en diferentes esfuerzos de habla. El análisis de estas voces muestra la caída universal de 10 dB/octava comenzado a partir de los 1000 Hz. Las altas frecuencias son mayores en el espectro ANSI lo cual implica una mayor facilidad para operar en estas frecuencias basándose en esta referencia.

Selección del espectro de examen

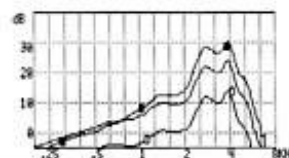
Ante las demandas de internacionalizar sus productos, los fabricantes han optado por utilizar el espectro del habla propuesto por ICRA. Sin embargo, con algunos equipos de examen es posible optar por el espectro del habla propuesto por ANSI.

Por ejemplo, el Widex Senso opera usando el espectro ANSI lo que hace que haya una mayor robustez para las bajas frecuencias y menor energía en las altas frecuencias si lo comparamos con otros audífo-

nos que utilicen otro espectro como referencia. La rápida actuación del AGC del audífono ajusta la salida de acuerdo a la fuerza del espectro y es un programa diferente del empleado para la reducción de ruido continuo.

La Fig. 4 muestra las tres curvas registradas con diferentes señales. La primera, muestra la curva de ganancia más baja (cuadrados transparentes) mostrando una medición de un audífono digital con una señal continua compuesta según el espectro ANSI. La curva siguiente muestra el mismo audífono con la misma fuente de espectro ANSI pero presentada con el programa de habla digital. La ultima curva (cuadrados negros) muestra el mismo audífono examinado con la señal ICRA mediante el programa de habla digital. Como puede observarse, el audífono es muy sensible al perfil del espectro utilizado como referencia.

Figura 3: Respuesta de un audífono digital para una señal compuesta continua (□) y para las señales de habla digital ICRA (■) y ANSI (-).



Examinando las propiedades de los filtros

Una vez presentada la metodología para examinar la amplificación del habla podemos pasar a estudiar distintos aspectos del audífono como los filtros de las bandas del audífono, el algoritmo de rechazo de ruido continuo o en que medida la ganancia del audífono se ha visto afectada a frecuencias que son importantes para la percepción del habla. Parar poder llevar acabo estos exámenes aplicaremos, un ruido continuo junto con la señal del programa digital del habla.

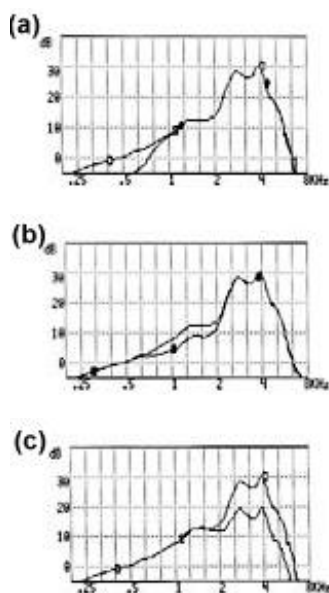
Por ejemplo, podemos usar un tono puro como ruido junto con el programa de habla digital en ruido empleado en el FONIX 6500. La señal de ruido se suma a la señal de examen rellenando el tiempo entre los impulsos tonales. De esta forma no interfiere con las medidas de amplificación del habla pero si va a afectar a largo plazo a la acción del filtro del audífono. Tanto la amplitud como la frecuencia del tono puro pueden ser controladas de forma independiente de la señal digital del habla.

En la Fig. 4 a-c se muestran tres estados de un audífono digital al presentarle un ruido continuo de 65 dB SPL. En las figuras comparamos la respuesta del audífono sin ruido y con la señal digital del habla a una intensidad de 70 dB SPL. La Fig. 4 a muestra la respuesta del audífono presentando un tono de 500 Hz como ruido y en la que podemos observar el efecto del filtro de bajas frecuencias. En la figura 4 b

observamos la respuesta del audífono y la acción del filtro de la banda de frecuencias medias cuando presentamos un tono de 1500 Hz. En la figura 4 c observamos el efecto del filtro de altas frecuencias al presentar un tono de 4000 Hz. En cada caso podemos observar el efecto de los filtros en las diferentes bandas en función del tono continuo equivalente al ruido que hemos presentado para activar estos algoritmos de reducción.

Es importante señalar que este test en ruido no es el mismo que el usado en el test de Percepción del Habla en Ruido (Speech Perception in Noise; SPIN), en el que el ruido es añadido a material verbal para estudiar la inteligibilidad de un paciente. El test de ruido presentado en este estudio es empleado para el examen de la acción del filtro del audífono.

Figura 4: (a) Test del filtro de bajas frecuencias mostrando ausencia de señales de ruido (□) y una señal de ruido de 500 Hz (-). (b) Test del filtro frecuencias medias mostrando ausencia de señal de ruido (■) y una señal de ruido de 1500 Hz. (c) Test del filtro de altas frecuencias mostrando ausencia de señal de ruido (□) y una señal de ruido de 4000 Hz.



Resumen y observaciones

Los audífonos digitales deben poder ser examinados por el audioprotesista en orden a asegurar su correcto funcionamiento. Los métodos tradicionales de análisis no dan respuestas fiables y repetibles toda vez que los fabricantes de audífono digitales incorporan en sus productos algoritmo de reducción de ruido continuo que imposibilitan estos exámenes. En este artículo hemos presentados dos métodos de examen: en el

primero de ellos hemos empleado un tono puro como señal, en el segundo hemos empleado una señal compuesta reproduciendo el espectro del habla. En ambos métodos presentamos la señal de examen de forma continua. El método empleando la señal compleja nos permite llevar a cabo tests interactivos sobre la ganancia del instrumento, y añadiendo un tono puro podemos estudiar la acción del filtro supresor de ruidos.

Podemos llevar a cabo una última observación. El espectro del habla que presentamos mediante este método se basa en el promedio de las frecuencias del habla pero no es habla real en un sentido estricto. Para saber que es lo que ocurre realmente cuando el audífono está en el oído y amplifica el habla tenemos que seguir basándonos en la opinión subjetiva del paciente. Aun no disponemos de un sistema de medidas que nos permita valorar la dinámica del habla. Esto puede ser una empresa a desarrollar en un futuro.

Bibliografía

1. **Frye GJ:** (1990). A Perspective on digital hearing instruments. *Hearing Review*; 6 (10):61.
2. **Heide J:** (1987). Testing electroacoustic performance of ASP and nonlinear hearing aids. *Hearing Journal*; 40 (4).

Traducido con autorización del autor por Franz Zenker. Referencia original del artículo: Frye GJ. Testing Digital Hearing Instruments [en línea]. *Hearing Review*. 13 Enero 2001 <<http://www.hearingreview.com/articles.ASP?ArticleId=H0008F01>>

Publicado (on-line) en *Auditio* 1 de marzo del 2002. <http://www.auditio.com/revista>

Contacto con el autor: George J. Frye, 9826 SW Tigard St., Tigard, OR 97281-3391. E-mail: gfrye@frye.com.

Para citar este artículo:

Frye G. J. El examen del audífono digital. [en línea]. *Auditio: Revista electrónica de audiología*. 1 Marzo 2002, vol. 1(2), pp. 25-29. <<http://www.auditio.com/revista/pdf/vol1/2/010203.pdf>>