

Emisiones otoacústicas transientes: Revisión de métodos de detección

Yulenia Torné Cabrera

correo electrónico: yulenia@cneuro.edu.cu

Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO), La Habana, Cuba

Artículo Original

Eduardo Martínez Montes

correo electrónico: eduardo@cneuro.edu.cu

Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO), La Habana, Cuba

Resumen

Debido a la importancia que tiene la audición en el desarrollo del habla, el lenguaje, la comunicación y el aprendizaje, es fundamental la detección temprana de los trastornos asociados a la vía auditiva para reducir su impacto final. Entre los métodos más efectivos y por ende más utilizados se encuentran las Emisiones Otoacústicas (EOA) y los Potenciales Evocados Auditivos de Tallo Cerebral (PEATC). Ambos permiten el estudio de la integridad del canal auditivo de forma rápida, objetiva y no invasiva, fundamental en los casos de neonatología. Diversos son los autores que han dedicado sus trabajos a desarrollar y probar distintos métodos que ayuden a perfeccionar cada vez más estas herramientas de diagnóstico. En este artículo se resumen los métodos de detección de EOA más frecuentemente empleados en la actualidad y se evalúa un método que comprende niveles de correlación, de relación S/R y amplitud de la señal.

Palabras claves: emisiones otoacústicas, distribuciones tiempo-frecuencia, transformada de Fourier de tiempo corto, transformada Wavelet

Recibido: 17 de noviembre del 2016 Aprobado: 26 de enero del 2017

INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que la audición es fundamental para un correcto desarrollo del niño tanto en el medio familiar como en el social [1]. Los niños que padecen alguna dificultad en la escucha producto de una pérdida auditiva o problemas en el procesamiento de la información sonora son propensos a las demoras en el desarrollo de destrezas a la hora de expresarse o de recibir alguna información, por consiguiente se ven afectados en el ámbito escolar debido a problemas en el aprendizaje. Todo ello ocasiona inevitablemente un aislamiento social que recae en una escasa autoestima, afectando de esta manera la toma de decisiones ya en un marco profesional. De ahí la importancia de la detección temprana de deficiencias en el correcto funcionamiento de la audición [2, 3], sobre todo en los 3 primeros años de vida, donde

son devastadoras las consecuencias ya mencionadas. El estudio y diagnóstico de la hipoacusia así como la rehabilitación deben llevarse a cabo antes de los 6 meses de edad [2, 4, 5].

El registro de las EOAs, desarrollado en 1978 por Kemp [6], forma parte precisamente del conjunto de pruebas de evaluación y diagnóstico auditivas [7]. Constituyen un método rápido, no invasivo y relativamente sencillo para obtener información sobre el adecuado funcionamiento o no en el procesamiento del sonido. Dichas emisiones son sonidos de muy baja intensidad que tienen lugar en el canal auditivo, específicamente en la cóclea, como resultado del movimiento de las células ciliadas externas. Diversas investigaciones han demostrado que estos episodios transientes y complejos están presentes en todas las personas con audición normal [4, 8].

La presencia de EOAs en un oído puede proporcionar detalles sobre el funcionamiento del sistema auditivo. Por ejemplo, revela que el mecanismo conductor del sonido se comporta adecuadamente, es decir, que no hay ninguna obstrucción en el conducto auditivo externo, que el movimiento de la membrana timpánica es normal y por consiguiente los mecanismos de transmisión hacia adelante y hacia atrás son apropiados. También puede ser un indicador de que las células ciliadas no presentan daño alguno y por tanto la sensibilidad auditiva puede clasificarse como normal si las pruebas complementarias así lo corroboran. Si bien la presencia de EOAT por sí sola no puede indicar el tipo y el grado de pérdida auditiva se puede afirmar que si no se observa respuesta de 3 a 6 dB por encima del nivel de ruido [9, 10], las células ciliadas para ese rango de frecuencias explorado tienen algún tipo de afectación.

De manera general las EOAs se clasifican en dependencia de si es necesario o no el empleo de un estímulo para su obtención, en EOAs espontáneas y EOAs evocadas.

Las EOAs espontáneas se logran sin estimulación sonora. Son señales de banda estrecha que se observan mayormente en un rango de frecuencias entre 1 y 2 kHz y que tienen una forma sinusoidal similar a la de un tono puro.

Por otro lado, las EOAs provocadas aparecen tras la aplicación de un estímulo y están ausentes cuando la pérdida supera los 20-40 dB [11]. Estas pueden clasificarse en [9]:

1. EOA transientes (EOAT): Se generan por estímulos de corta duración como el clic o los tonos breves. Son las más utilizadas en la práctica clínica.

2. EOAs por productos de distorsión (EOAPD): Son respuestas tonales a dos tonos puros presentados simultáneamente con frecuencias diferentes (f_1 y f_2). Variando los valores de f_1 y f_2 de forma apropiada es posible obtener combinaciones de distintas frecuencias, lo cual permite explorar áreas diferentes de la cóclea. Permiten predecir la sensibilidad auditiva frecuencia específica [12].

3. EOA por estímulos de frecuencia específicas (EOAF): Cuando se usa un simple tono de estimulación.

De estos tres tipos de EOA las EOAT han sido extensamente utilizadas, tanto en niños como en adultos, en estudios clínicos y de investigación [13-17]; siendo la estabilidad morfológica y la reproducibilidad las principales características de este tipo de respuestas [18, 19]. Estas señales están presentes, en sujetos con audición normal, en un 98 % a 100 % de los casos [20].

Diversos son los métodos que han sido utilizados hasta la actualidad en lo que respecta al procesamiento y análisis de las señales de EOAs. Unos más utilizados que otros pero al final todos en busca de un mismo objetivo: detectar la presencia de la información procedente de la cóclea, de manera que permita diagnosticar si existe alguna afectación o no en el canal auditivo. Como las EOAs

evocadas tienen una amplitud muy pequeña, usualmente entre -20 y 20 dB SPL, es bastante complicado detectarlas estando inmersas en el ruido de fondo. Es por ello que en la literatura se pueden encontrar diversos trabajos basados en la reducción del ruido tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia.

Entre los más utilizados pueden citarse aquellos que emplean alteraciones en el tamaño de la ventana de tiempo para el análisis, la cantidad de promediaciones de la señal, el rechazo de artefactos y el filtraje por bandas. Con respecto a las medidas útiles en el estudio de estas señales la mayoría de los autores se centran en el análisis temporal de parámetros como la reproducibilidad media, relación señal-ruido (S/R) y el valor de la intensidad de la respuesta, o sea, su amplitud. La decisión de si una respuesta está presente o no, se basa precisamente en estos parámetros [21-25].

Sin embargo, en la mayoría de estos métodos clásicos se supone que la señal que se presenta es estacionaria para poder simplificar su procesamiento. En el caso de señales biológicas, y las acústicas en particular, esto no es posible debido a las características físicas del proceso. Por esto, se han comenzado a utilizar herramientas matemáticas capaces de brindar una representación en el espacio tiempo-frecuencia para el análisis de señales no estacionarias como las EOA [26-28]. Entre las diversas distribuciones tiempo-frecuencias se pueden citar: *la Transformada de Fourier de Tiempo Corto*, *la Transformada Wavelet*, *la distribución Wigner-Ville*, y *la distribución Choi-Williams*; aunque a la hora de determinar cuál será el más apropiado para una aplicación particular, hay que tener en cuenta las propiedades tiempo-frecuencia de la señal que se va a analizar. En este sentido hay que destacar que no existe un método perfecto que sea capaz de cubrir todas las exigencias propuestas para la detección de las EOA.

El objetivo de este trabajo fue precisamente la exploración y evaluación preliminar de la información obtenida con el uso de métodos tiempo-frecuencia en el análisis de las EOA. La evaluación se basará en la comparación con los resultados que se obtienen con los métodos clásicos implementados en un equipo de la competencia. Este estudio es un paso imprescindible para el desarrollo posterior de nuevas metodologías de detección de EOA que puedan incluirse en los equipos médicos producidos por NEURONIC SA para el pesquizado y evaluación auditiva tanto de niños como de adultos.

MÉTODOS DE DETECCIÓN DE EOAT

Métodos de análisis en el dominio tiempo y la frecuencia separadamente

Para el caso del análisis en el dominio del tiempo/frecuencia de las EOAT se han empleado métodos clásicos que calculan parámetros tales como: nivel de reproducibilidad, relación señal/ruido (S/R) y amplitud de la respuesta [29]. Los equipos de la competencia y diversas

investigaciones se basan en realizar promediaciones en el tiempo de las formas de ondas obtenidas tras estimular la vía auditiva. A partir de la información almacenada de forma alterna en dos *buffers*: A y B se puede hacer una estimación del nivel de ruido y de señal presentes. Esto se traduce en calcular el nivel de ruido como la media cuadrática de la diferencia entre las respuestas en A y B. Para el caso de la señal el nivel de la respuesta se obtiene como la media cuadrática del promedio entre las respuestas de A y B. Si se halla el valor de correlación entre ambos *buffers* se obtiene lo que se conoce como reproducibilidad de la onda (ecuación 1) y si este es mayor que un umbral determinado se considera que hay EOA presente. En la literatura este umbral se reporta entre 50 y 70 % [9, 30]. Otro criterio empleado para tomar la decisión de si la señal de EOA está presente o no es la relación S/R que usualmente se toma $S/R \geq 3$ dB, siempre y cuando esto se cumpla en al menos 2 o 3 de las bandas de frecuencias en análisis que comúnmente se utilizan [31, 32].

$$\gamma = \frac{\sum_{n=1}^{256} A(n)B(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^{256} A^2(n)} \sqrt{\sum_{n=1}^{256} B^2(n)}} \quad (1)$$

Siendo:

γ : Reproducibilidad de la onda.

n : Indica número de muestras.

A y B: Buffers que almacena las respuestas a los trenes de estímulos.

$$S/R(dB) = 10 \log \frac{Pot (Señal)}{Pot (Ruido)} \quad (2)$$

Métodos de estimación de distribuciones tiempo-frecuencia

Transformada de Fourier de tiempo corto (TFTC)

Este método constituye ser una herramienta poderosa de propósito general en el procesamiento de señales de audio.

Cuando se aplica la Transformada de Fourier (TF) y se observa el resultado en ocasiones resulta casi imposible determinar cuándo tuvo lugar un evento específico o cuando está presente una frecuencia de interés. Para el caso de señales que tienen un comportamiento estacionario esto no resulta un inconveniente, la situación cambia cuando hay que enfrentarse a señales transitorias con cambios abruptos que pueden contener información relevante. Es por ello que Denis Garbor en 1946 adaptó la TF para de cierta manera poder seccionar la señal en pequeñas porciones, esto es lo que se conoce como TFTC. La misma está sujeta a una ventana tiempo-frecuencia que permite el análisis espectral de todas las componentes de la señal. La TFTC está basada en la aplicación de la Transformada Discreta de Fourier (TDF) a conjuntos con-

tinuos de datos de la señal lo cual se define o recibe el nombre de ventana. La TFTC se define como:

$$TFTC\{x(t)\} \equiv X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \omega(t-\tau) e^{-j\omega t} dt \quad (3)$$

Donde $\omega(t)$ es la función ventana. Algunos tipos de ventanas son: ventana rectangular, de Hann o Hanning, de Hamming, Kaiser-Bessel, Gaussian, entre otras. Usualmente se emplea la ventana de Hann o ventana campana gaussiana centrada en cero. Por otra parte $x(t)$ es la señal que se va a transformar, $X(t, \omega)$ es esencialmente la Transformada de Fourier de $x(t)x(t-\tau)$, una función compleja que representa la fase y magnitud de la señal sobre tiempo y frecuencia. A partir de la TFTC se puede entonces obtener la distribución de energía de la señal por medio de lo que se conoce como espectrograma, teniendo en cuenta que la potencia se calcula sumando los cuadrados de las amplitudes de la transformada, el espectrograma se define como:

$$SPEC(\tau, f) = |TFTC(\tau, f)|^2 \quad (4)$$

Llevando el procesamiento al dominio de la frecuencia se puede calcular la potencia normalizada de una señal periódica como la suma de los cuadrados de las amplitudes de sus componentes armónicas dividido entre la cantidad de muestras. Esto se conoce como el teorema de Parseval:

$$\sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |X[k]|^2 \quad (5)$$

Donde $X[k]$ es la TDF de $X[n]$ y ambas tienen la misma longitud: N

Aplicando este teorema tanto a la señal como al ruido asociado se pueden calcular los valores correspondientes a la relación S/R. De manera tal que conociendo de antemano el umbral a partir del cual se puede detectar la EOAT es posible corroborar si hay o no emisión otoacústica. Uno de los criterios que se sigue en este sentido es fijar el umbral en $S/N = 3$ dB [33].

A pesar de lo antes explicado, la TFTC tiene sus desventajas que vienen dadas precisamente por el ventaneo ya que la información adquirida tiene una precisión limitada al tamaño de la ventana empleada. Una vez que se selecciona este tamaño deberá ser el mismo para todas las frecuencias imposibilitando un mejor acercamiento en algunas señales que así lo requieran.

Transformada Wavelet

Se han desarrollado otras técnicas para apoyar las investigaciones científicas y procesamiento de información como es el caso de la proveniente del sistema auditivo. Una de ellas es precisamente la transformada Wavelet (TW) la cual ofrece mayor flexibilidad en comparación con

la TFTC ya que permite emplear diferentes tamaños de ventana según se busque mayor o menor precisión.

Los paquetes de ondas conocidos como Wavelets han demostrado ser de gran utilidad como método para el análisis tiempo-frecuencia de las EOAT. La Transformada Wavelet es una técnica que consiste en la descomposición de una señal arbitraria en contribuciones elementales, es decir, una misma señal se divide en varias porciones facilitando la diferenciación entre las altas y las bajas frecuencias o lo que es lo mismo, es la aplicación de varios filtros, pasa altos y pasa bajos. La señal se fracciona hasta un número de niveles establecido. Estas pequeñas porciones se pueden agrupar y graficar en tres dimensiones (tiempo, frecuencia y amplitud) ya que se conoce en qué rango de frecuencias se encuentran. El gráfico brinda la información de cuáles frecuencias ocurren y a qué tiempo [25]. La siguiente ecuación muestra la definición de la TW:

$$TW(\tau, f) = \int_t x(t) \cdot \sqrt{\frac{f}{f_0}} \cdot \psi^* \left(\frac{f}{f_0} \cdot (t - \tau) \right) dt \quad (6)$$

Donde $a = \frac{f}{f_0}$ es lo que se conoce como factor de escala. Las funciones de análisis llamadas Wavelets son versiones desplazadas y a diferente escala de la función prototipo ψ (Wavelet madre)

Por tanto este método ha demostrado ser útil en la detección y estimación de señales ruidosas. El mismo consta de tres pasos esenciales: primero se descompone la señal original a través de una Wavelet madre previamente seleccionada de las existentes (Haar, Daubechies, Biortogonal, Coiflets, Symlets, Morlet, Sombrero mexicano, Meyer, entre otras) y se eligen los niveles de descomposición; luego se determinan aquellos coeficientes de cada nivel que se consideran contribuciones al ruido y se evalúa si están por debajo del umbral fijado para ser posteriormente eliminados; al final se calcula la transformada Wavelet inversa usando los coeficientes modificados para obtener una versión nueva de los datos originales. La segmentación de la señal usando

diferentes escalas y utilizando ventanas ajustables permite encontrar los lugares más probables donde aparecerá la EOAT [31]. Diversos trabajos se han reportado empleando este método [31, 32].

Además, es útil como herramienta efectiva para mejorar la relación S/R de las EOATs ya que es de gran ayuda en la eliminación de artefactos. También con esta distribución es posible representar un patrón en 3D de la señal, el cual resulta útil en la observación y comparación de diferentes rasgos que permiten determinar de dónde provino la información y si hay afectaciones a nivel de la cóclea. Por tanto, el método tiene gran potencial para emplearse como herramienta de pesquiasje auditivo [34].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se exploraron tres de los métodos que más se utilizan en la actualidad para la detección de EOATs. En un primer instante se hizo un análisis en el dominio del tiempo utilizando dos ventanas de tiempo en dos rangos diferentes: una de 4 a 10 ms y otra de 6 a 12 ms. En la literatura se reportan valores similares entre 2,5 y 12,5 ms [31, 35]. En los equipos clásicos la definición de la ventana es un paso crucial pues se trata de eliminar parte de la señal que no está directamente relacionada con la respuesta fisiológica de la cóclea sino con artefactos vinculados a la estimulación. Sin embargo, esta selección se hace visualmente y depende altamente de la experiencia del especialista

Para cada una de las ventanas se calculó: correlación, S/R y amplitud de la señal. Las bandas de frecuencias que se utilizaron están centradas en 1, 2, 3, 4, 5 y 6 kHz. Las señales se recogieron en el equipo LABAT (equipo de la competencia para registros de EOA) se sumaron y almacenaron de forma alterna en dos *buffers* A y B, cada una de ellas con 256 muestras, con una frecuencia de muestreo de 20 kHz. Estos *buffers* corresponden a los niveles de presión de sonido del promedio de las ondas A y B. En la figura 1 se muestran algunas etapas del procesamiento con estas señales. Todo el trabajo matemático se realizó con la herramienta Matlab R2014a.

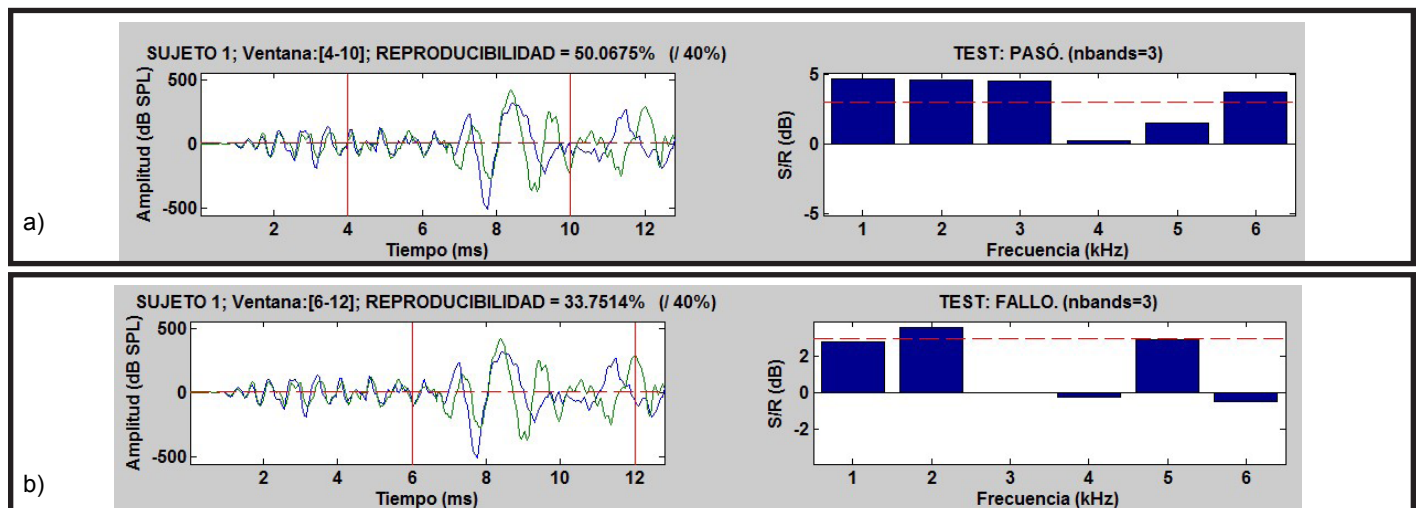


Fig. 1. Valores de correlación y S/R para ventana de 4 a 10 ms a) y 6 a 12 ms b).

El criterio que se siguió para determinar si estaba presente o no la EOAT fue un nivel de reproducibilidad de 40 entre ambos *set* de datos, de acuerdo con la experticia del Neurofisiólogo Clínico de este Centro y criterios sugeridos en la bibliografía consultada [9, 30], un valor de relación S/R de 3 dB en al menos 3 de las 6 bandas empleadas. Como se puede observar el sujeto no pasó la prueba en el primer caso, pero en el segundo sí, ya que cumplió con los criterios establecidos de correlación y S/R. En este caso el método demuestra que los resultados dependen en gran medida de la ventana de análisis seleccionada.

En una segunda etapa se aplicaron los métodos de análisis tiempo-frecuencia. La distribución de la amplitud tiempo-frecuencia de la señal, obtenida con la TFTC se muestra en la figura 2a) (TFTC para la señal y para el ruido respectivamente). Además se graficaron los espectrogramas tanto de la señal como del ruido (figura 2b). Por último, en la figura 2c) se puede apreciar la densidad espectral de potencia para la señal (PSD por sus siglas en inglés) y para el ruido.

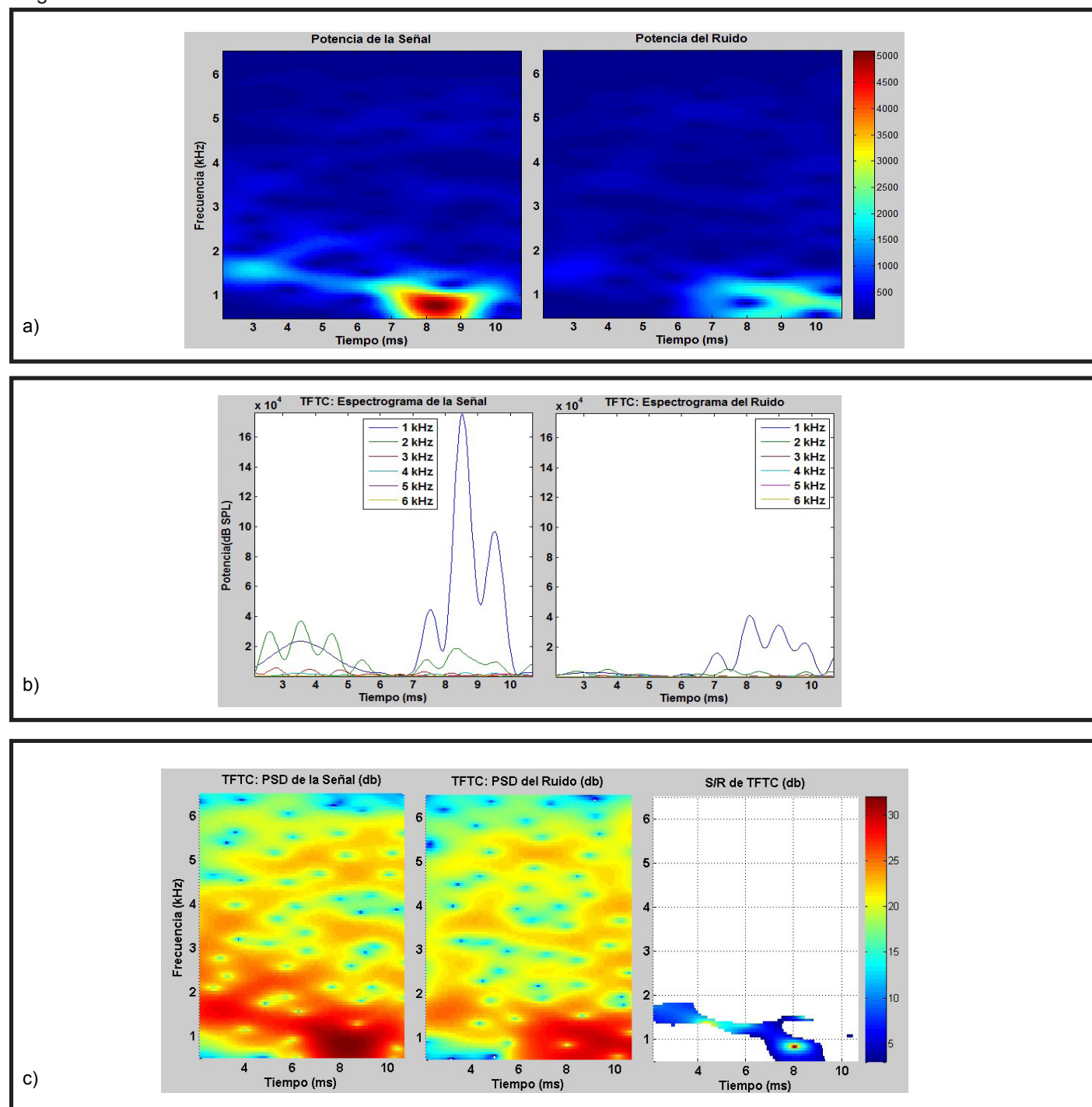


Fig. 2. TFTC de la señal a) y del ruido. Potencia de la señal y del ruido b). Densidad espectral de potencia para la señal y el ruido c).

Con la ayuda de estos gráficos se puede inferir en cual ventana de tiempo y en qué frecuencia se localizan las actividades que representan la señal de respuesta fisiológica. En este caso se obtiene una buena resolución temporal en el rango de 6 a 10 ms para el caso de la señal, observándose frecuencias de 1 kHz a 5 kHz aproximadamente.

Los resultados obtenidos con la Transformada Wavelet se muestran a continuación en la figura 3. Como se puede observar en este caso se obtiene una mejor resolución espectral.

Los métodos TF dan más información porque permiten ver en qué ventana de tiempo y en qué frecuencias ocurren las actividades que representan la señal y no el ruido. Permite explorar la relación S/R en todos los instantes de tiempo, de forma que se puede valorar mejor si se obtienen respuestas fuertes en algún momento, sin predefinir la ventana del tiempo.

CONCLUSIONES

En este artículo se hizo una exploración de la información que se obtiene del empleo de métodos TF en el aná-

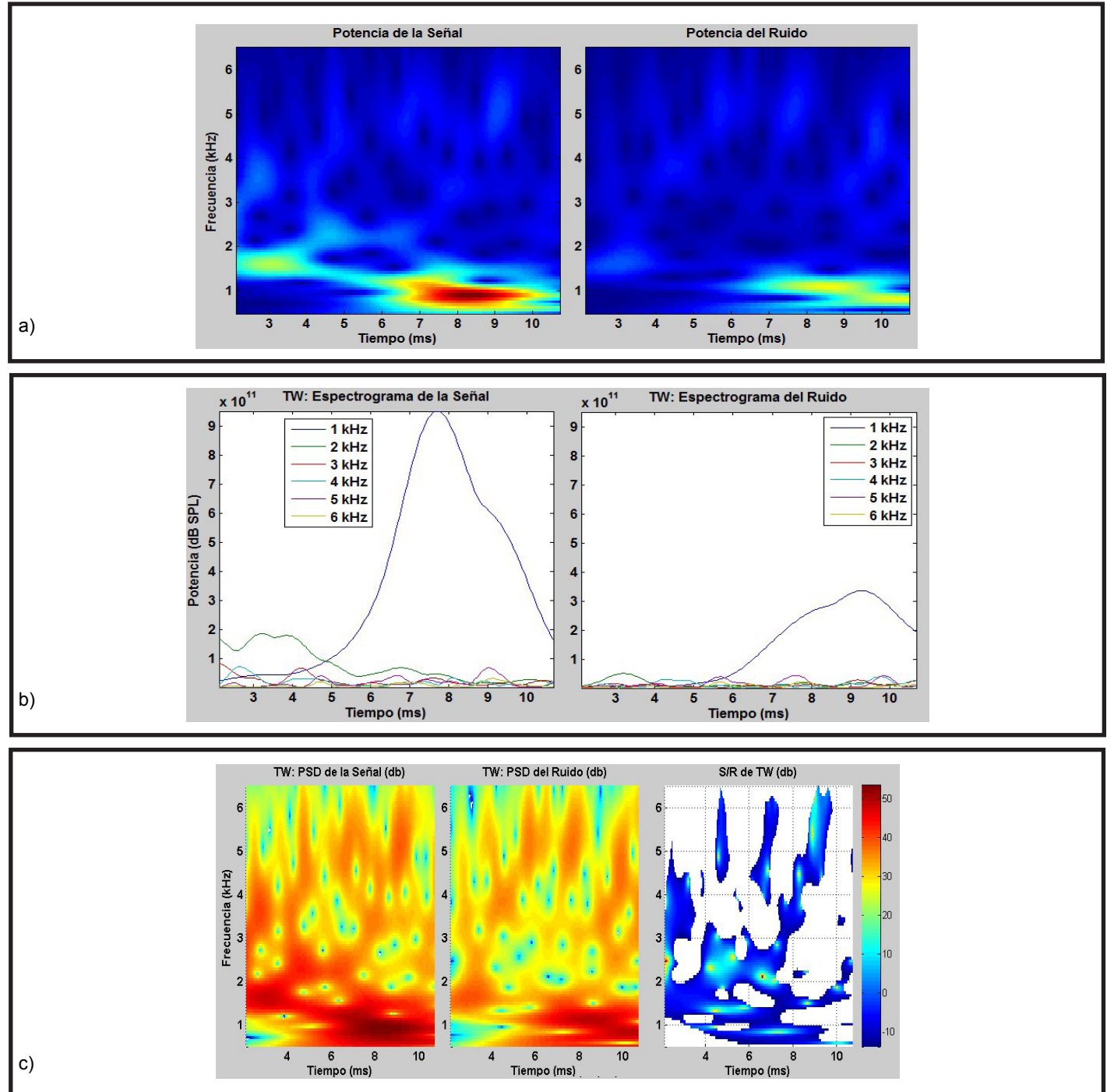


Fig. 3. TW de la señal y del ruido a). Potencia de la señal y del ruido b). Densidad espectral de potencia para la señal y el ruido c).

lisis de las EOAs, en comparación con el análisis clásico en tiempo y frecuencia separadamente. En particular, se exploró la importancia de escoger adecuadamente la ventana de análisis. Los resultados demuestran que los métodos TF son útiles para determinar qué porción de la señal es la más adecuada a la hora de decidir si hay o no EOA. Otro aspecto a destacar es que la TFTC demostró en su implementación que tiene una tendencia a sesgar la amplitud de la señal, sin embargo, la TW recupera este tamaño con una mayor robustez y confiabilidad. Por consiguiente, los valores calculados con la TW tienden a ser más elevados que los de la TFTC, lo cual permite obtener más información; lo que aún así presenta una desventaja y es que al tener una alta resolución temporal en las frecuencias más altas puede dar lugar a falsos positivos.

Es importante señalar que en aquellos casos en los cuales no se detecta respuesta con las EOAs, no implica que el sujeto tenga alguna deficiencia auditiva. Para ello se realizan otras pruebas como los PEATC a clic y posteriormente se puede brindar una evaluación más completa [9]. En próximos trabajos se desarrollarán metodologías de detección de las EOAs basadas en estos métodos TF y se realizarán comparaciones más exhaustivas con los métodos clásicos con el objetivo de determinar cuál o cuáles tienen mejor sensibilidad y especificidad en la detección de EOATs. Se explorará además si la TW es realmente adecuada para la detección de las EOAs.

REFERENCIAS

1. **SKARZYNSKI, Henryk; PIOTROWSKA, Anna.** "Screening for pre-school and school-age hearing problems: European Consensus Statement". *International Journal Pediatric Otorhinolaryngology*, 2012, vol. 76, núm. 1, pp. 120-1. ISSN: 1872-8464.
2. **BOTELHO ALVES, Fernanda; FERRAREZ BOUZADA, María Cándida et. al.** "Prevalence of hearing impairment in children at risk". *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 2010, vol. 76, núm. 6, pp. 739-44. ISSN: 1808-8686.
3. **MEHAR, Veerendra; SOMANI, Pavan et al.** "Targeted hearing screening in newborns". *International Journal of Contemporary Pediatrics*, 2016, vol. 3, núm. 1, pp. 159-163. ISSN: 2349-3283.
4. **PAGLIALONGA, Alessia; FIOCCHI, Serena et. al.** "Quantitative analysis of cochlear active mechanisms in tinnitus subjects with normal hearing sensitivity: Time-frequency analysis of transient evoked otoacoustic emissions and contralateral suppression". *Auris Nasus Larynx*, 2011, vol. 38, núm. 1, pp. 33-40. ISSN: 1879-1476.
5. **VASHISTHA, Ishika; ASERI, Yogesh et. al.** "Prevalence of Hearing Impairment in High Risk Infants". *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, 2015, pp. 1- 4. ISSN: 0973-7707.
6. **KEMP, David Thomas.** "Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system". *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1978, vol 64, núm. 5, pp. 1386-1391. ISSN: 0001-4966.
7. **PTOK, Martin.** "Early Detection of Hearing Impairment in Newborns and Infants". *Deutsches Ärzteblatt International*, 2011, vol. 108, núm. 25, pp. 426-31. ISSN: 1866-0452. Disponible en Web: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3139414/>.
8. **ENGDAHL, Bo; TAMBS, Kristian; HOFFMAN, Howard. J.** "Otoacoustic emissions, pure-tone audiometry, and self-reported hearing". *International Journal Audiology*, 2013, vol. 52, núm. 2, pp. 74-82. ISSN: 1708-8186.
9. **NODARSE MIJARES, Eleina; ABALO PÉREZ, María Cecilia; LÓPEZ SAVÍO, Guillermo.** "Métodos de pesquise de las pérdidas auditivas a edades tempranas". *Revista Electrónica de Audiología*. 2006, vol. 3, pp. 9-18. Disponible en Web: <http://www.auditio.com/docs/File/vol3/1/030103.pdf>.
10. **AKINPELU, Olubunmi V.; PELEVA, Emilia et. al.** "Otoacoustic emissions in newborn hearing screening: a systematic review of the effects of different protocols on test outcomes". *International Journal Pediatric Otorhinolaryngology*, 2014, vol. 78, núm. 5, pp. 711-7. ISSN: 1872-8464.
11. **KENNEDY, C. R.; KIMM, L. et al.** "Otoacoustic emissions and auditory brainstem responses in the newborn". *Archives of Disease in Childhood*, 1991, vol. 66, núm. 10, pp. ISSN: 1124-1129.
12. **THORSON, Megan J.; KOPUN, Judy G. et. al.** "Reliability of distortion-product otoacoustic emissions and their relation to loudness". *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2012, vol. 131, núm. 2, pp. 1282-1295. ISSN: 0001-4966.
13. **YOUSEFI, Jaleh; AJALLOUEYAN, Mohammad et. al.** "The Specificity and Sensitivity of Transient Otoacoustic Emission in Neonatal Hearing Screening Compared with Diagnostic Test of Auditory Brain Stem Response in Tehran Hospitals". *Iranian Journal of Pediatrics*. 2013, vol 23, núm. 2, pp. 199-204. ISSN: 2008-2150.
14. **BERNINGER, Erik; WESTLING, Birgitta.** "Outcome of a universal newborn hearing-screening programme based on multiple transient-evoked otoacoustic emissions and clinical brainstem response audiometry". *Acta Oto-Laryngologica*, 2011, vol. 131, núm. 7, pp. 728-39. ISSN: 1651-2251.
15. **MOLETI, Arturo; BOTTI, Teresa; SISTO, Renata.** "Transient-evoked otoacoustic emission generators in a nonlinear cochlea". *Journal of the Acoustical Society of America*, 2012, vol. 131, núm. 4, pp. 2891-903. ISSN: 1520-8524.
16. **KUMAR, Prawin; KUMAR, Kaushlendra; BARMAN, Animesh.** "Effect of short-duration noise exposure on behavioral threshold and transient evoked otoacoustic emission". *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, 2013, vol. 19, núm. 1, pp. 9-12.

17. **IMAM, Safaa S.; EL-FARRASH, Rania A. et. al.** "Targeted versus Universal Neonatal Hearing Screening in a Single Egyptian Center". *International Scholarly Research Notices: Pediatrics*, 2013, pp. 6.
18. **CLARK, W. W.; KIM, D. O. et. al.** "Spontaneous otoacoustic emissions in chinchilla ear canals: correlation with histopathology and suppression by external tones". *Hearing Research*, 1984, vol 16, núm. 3, pp. 299-314. ISSN: 0378-5955.
19. **PROBST, R.; LONSBURY-MARTIN, Brenda. L.; MARTIN, Glen.** "A review of otoacoustic emissions". *Journal of the Acoustical Society of America*, 1991, vol. 89, núm. 5, pp. 2027-67. ISSN: 0001-4966.
20. **JANSSEN, Thomas.** "A review of the effectiveness of otoacoustic emissions for evaluating hearing status after newborn screening". *Otology & Neurotology*, 2013, vol. 34, núm. 6, pp. 1058-63. ISSN: 1537-4505.
21. **TOGNOLA, Gabriella; GRANDORI, Ferdinando; RAVAZZANI, Paolo.** "Evaluation of click evoked otoacoustic emissions in newborns: effects of time-windowing". *Audiology*, 1999, vol. 38, núm. 3, pp. 127-34. ISSN: 0020-6091.
22. **RAVAZZANI, Paolo; TOGNOLA, Gabriella et. al.** "Principal component analysis as a method to facilitate fast detection of transient-evoked otoacoustic emissions". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2003, vol. 50, núm. 2, pp. 249-52. ISSN: 0018-9294.
23. **DATIAN, Ye; QIN, Gong et. al.** "Methods to reduce stimulus artifact in the detection of transient evoked otoacoustic emissions (TEOAEs)". *Computer Architectures for Machine Perception*, 2003. *IEEE International Workshop on*, 2004, pp. 63-66.
24. **RAVAZZANI, Paolo; TOGNOLA, Gabriella; GRANDORI, Ferdinando.** "Optimal band pass filtering of transient evoked otoacoustic emissions in neonates". *Audiology*, 1999, vol. 38, núm. 2, pp. 69-74. ISSN: 0020-6091.
25. **SISTO, Renata; MOLETI, Arturo; SHERA, Christopher A.** "On the spatial distribution of the reflection sources of different latency components of otoacoustic emissions". *Journal of the Acoustical Society of America*, 2015, vol. 137, núm. 2, pp. 768-76. ISSN: 1520-8524.
26. **MARTIN, Wolfgang; FLANDRIN, Patrick.** "Wigner-Ville spectral analysis of nonstationary processes". *Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2003, vol. 33, núm. 6, pp. 1461 - 1470. ISSN: 0096-3518.
27. **PAGLIALONGA, Alessia; BAROZZI, Stefania et. al.** "Cochlear active mechanisms in young normal-hearing subjects affected by Williams syndrome: time-frequency analysis of otoacoustic emissions". *Hearing Research*, 2011, vol 272, núm. 1-2, pp. 157-67. ISSN: 1878-5891.
28. **TOGNOLA, Gabriella; CHIARAMELLO, E. et. al.** "Effects of low-dose styrene exposure on linear and nonlinear otoacoustic emissions components". En actas de 22nd International Congress on Sound and Vibration (ICSV22), 2015.
29. **JEDRZEJCZAK, W. Wiktor; KOCHANIEK, Krzysztof et. al.** "Otoacoustic emissions for the evaluating the low-frequency hearing of patients considered for partial deafness treatment". *Journal of Hearing Science*, 2012, vol. 2, núm. 2. ISSN: 2084-3127.
30. **BERNINGER, Erik.** "Characteristics of normal newborn transient-evoked otoacoustic emissions: ear asymmetries and sex effects". *International Journal of Audiology*, 2007, vol. 46, núm. 11, pp. 661-9. ISSN: 1499-2027.
31. **ZHANG, Vicky Wei.; ZHANG, Zhi-Guo et. al.** "Detection improvement for neonatal click evoked otoacoustic emissions by time-frequency filtering". *Computers in Biology and Medicine*, 2011, vol. 41, núm. 8, pp. 675-86. ISSN: 1879-0534.
32. **TOGNOLA, Gabriella; GRANDORI, Ferdinando; RAVAZZANI, Paolo.** "Time-frequency distribution methods for the analysis of click-evoked otoacoustic emissions". *Technology and Health Care*, 1998, vol. 6, núm. 2-3, pp. 159-75. ISSN: 0928-7329.
33. **WILLBUR HALL, JAMES.** *Handbook of Otoacoustic Emissions*. 2000, Cengage Learning, ISSN: 1565938739.
34. **KONOPKA, Wieslaw; GRZANKA, Antoni.** *Long-term Reproducibility of the TEOAE time-frequency (TF) distributions*, 2014, Available from: <http://www.oae.it/index.php/en/on-line-lectures-2/file/69-long-term-reproducibility-of-the-teoae-time-frequency-tf-distributions>.
35. **WAN, Eric.** "Automatic Detection of Selective Auditory Attention Via Transient Evoked Otoacoustic Emissions". Doctoral dissertation, University of Toronto, Canada, 2013.

AUTORES

Yulenia Torné Cabrera

Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Electrónica, Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO), La Habana, Cuba

Eduardo Martínez Montes

Licenciado en Física, Doctor en Ciencias Físicas, Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO), La Habana, Cuba

Transient Evoked Otoacoustic Emissions: Review of Methods of Detection

Abstract

Due to the importance of the audition in the development of speaking, language, communication and learning, it is very important the early detection of disorders related to the auditory pathway in order to reduce its final impact. Among the most effective and the most frequently methods used are the Otoacoustics Emissions (OAE) and Brainstem Auditory Evoked Potentials (BAEPs). Both methods allow to research the integrity of ear canal essential in Neonatology in a quicker, objective and non-invasive way. Many authors have dedicated their studies to develop and test different methods that highly contribute to the perfection of these diagnostic tools. This article summarizes the most frequently OEAs detection methods currently used. Therefore the article evaluates a method that includes correlation levels, S/N ratio and signal amplitude.

Key words: otoacoustics emissions, time-frequency distributions, short-time Fourier transform, Wavelet transform