



MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA PRESIÓN ACÚSTICA ENTRE EL OÍDO EXTERNO Y LA NASOFARINGE EN RECIÉN NACIDOS PREMATUROS

Bustillo Velázquez-Gaztelu Pedro Jesús¹, Beira Jiménez Juan Luis¹, Fernandez Zacarías Francisco¹, Hernandez Molina Ricardo¹, Lubian López, Simón²

¹Universidad de Cádiz

{pedrobustillo@gmail.com, jluis.beira@uca.es, ricardo.hernandez@uca.es, francisco.fernandez@uca.es }

²Hospital Puerta del Mar, Cádiz, España.

{slubian@yahoo.es}

Resumen

La finalidad de este artículo es describir un método de medición para determinar el grado de correlación entre la presión sonora registrada en el oído externo y la presión sonora registrada en la nasofaringe del neonato, con objeto de describir la posible relación causal entre ambos registros, de esta forma poder determinar la implicación de la trompa de Eustaquio en el mecanismo de audición. La metodología empleada para ello ha consistido en el uso de herramientas estadísticas, para evaluar mediante técnicas experimentales la fiabilidad y validez de los datos.

Para lograr este propósito se ha llevado a cabo un estudio experimental en la unidad neonatal de cuidados intensivos del Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz.

Palabras-clave: neonatos, nasofaringe, presión sonora, incubadora, sonda.

Abstract

This article aims to describe a measurement method to determine the degree of correlation between the sound pressure recorded in the external ear and the sound pressure recorded in the nasopharynx of the newborn, in order to describe the possible causal relationship between the two records, being able to determine the involvement of the Eustachian tube in the hearing mechanism. For this purpose it has been used statistical tools to evaluate by experimental techniques the reliability and validity of the data.

An experimental study in the neonatal intensive care unit of the “Hospital Universitario Puerta del Mar” of Cádiz has been performed for this purpose.

Keywords: neonates, nasopharynx, sound pressure, incubator, probe.

PACS no. 43.80.+p Bioacoustics, 43.50.+y Noise: its effects and control, 43.66.+y Psychological acoustics.



1 Introducción

El oído externo está formado por el pabellón auricular, estructura cartilaginosa recubierta de piel, y del conducto auditivo exterior, formación tubular de unos 25 mm de largo, en el caso de un adulto, que está cerrada en su extremo interno por la membrana timpánica [1].

El oído medio es una cavidad dentro del hueso temporal que contiene una cadena de huesecillos. Entre el oído medio y el conducto auditivo externo, existe la membrana timpánica, que se comunica con la nasofaringe a través de las trompas de Eustaquio, manteniendo el equilibrio de presión a ambos lados de la membrana timpánica. La membrana timpánica se une al oído interno por los huesecillos, denominados martillo, yunque y estribo que modula e intensifica la señal sonora y la transmite al oído interno [1].

En los neonatos el conducto auditivo externo, evidentemente, es pequeño, corto, recto, aunque a veces se presenta tortuoso, y la trompa de Eustaquio es corta y ancha.

Una de las funciones de la trompa de Eustaquio es la protección del oído medio contra la presión sonora nasofaríngea, evitando su transmisión desde la faringe. Por tanto, conocer la relación entre la presión sonora en el oído externo y la presión sonora nasofaríngea puede ser de vital importancia para determinar problemas auditivos. En este sentido, algunos investigadores intentan detectar problemas auditivos derivado de un malfuncionamiento de la trompa de Eustaquio [2].

Los efectos de los ruidos en la zona de la faringe podrían tener diversas aplicaciones. Jianwu and Kiyoshi [3] trabajaron en un estudio sobre la mejora de la producción vocal relacionando colocando un micrófono en la zona de la faringe. Ehrt et al trabajaron en un estudio para detectar problemas fisiológicos, tomando como referencia los movimientos faríngeos, los cuales estaban atribuidos a determinadas señales acústicas, que registraron mediante un micrófono, cuyas señales usaban como indicador del funcionamiento de la trompa de Eustaquio [4]. Ryota Shimokura et al trabajaron en la estimación de la presión Sonora del conductor auditivo externo a través de la estimulación del cartílago mediante un sonido [5].

En este sentido otros autores han realizado diversos estudios sobre ruidos en salas neonatales de unidades de cuidados intensivos [6], [8], [9], [10], [13], [14], [15] para determinar diversas patologías relacionadas con los niveles acústicos presente en la sala y aquellos provocados por el tipo de instrumental que se utilizan en este tipo de unidades.

2 Objetivo.

El objetivo de esta comunicación es definir un método de medición fiable, adecuado y eficaz que cumpla con los principios de repetibilidad y reproducibilidad [17], para determinar el grado de correlación entre la presión sonora registrada en el oído externo y la presión sonora registrada en la nasofaringe del neonato, con objeto de describir la posible relación causal entre ambos registros, de esta forma poder determinar la implicación de la trompa de Eustaquio en el mecanismo de audición.

Se pretende desarrollar un método para paliar las deficiencias o limitaciones derivados de los métodos que otros autores hasta la fecha han empleado para mostrar sus conclusiones [6], [8], [9], como pueden ser la calibración de la cadena de medida, calibraciones antes y después de cada medida, las



anotaciones in situ de los distintos acaecimiento que van aconteciendo durante la duración de todas mediciones.

Por otro lado la complejidad y la novedad de este método radican en la zona donde se ubicará el micrófono, o mejor dicho, la sonda. En este proyecto se presente colocar la sonda conectada al micrófono en el lugar lo más cercano posible al oído medio, sin provocar daños posibles o potenciales en el individuo y, por tanto, garantizando la integridad del individuo. El lugar elegido para este fin se denomina nasofaringe, la zona superior de la faringe y comienzo de la trompa de Eustaquio. Otros autores han medido ruido en sistemas CPAP (Continuous positive airway pressure), registrando altos niveles de ruido y recomendando por ello el sistema HFNC (High flow nasal cannulae) [7], lo que inspiró la idea de medir en la nasofaringe. Se cree que puede existir una relación directa entre la presión sonora en el oído medio (dentro de la nasofaringe, junto a la trompa de Eustaquio) y en el exterior (junto al pabellón auditivo, en el interior de la incubadora [12]).

3 Metodología para la toma de mediciones

3.1 Instrumentos de medida.

Para proceder a la toma de muestras del tipo de medida objeto de este método es recomendable disponer del siguiente instrumental:

- **Un analizador integrador-promediador con filtros de ponderación frecuencial.** Sería deseable que este instrumento, a ser posible, pudiese tomar medidas en FFT, pues de esta forma es posible registrar sonidos en banda estrecha más cercanas a los objetivos deseados. Téngase en cuenta que según las curvas de Flecher y Muson el ancho de banda de mayor sensibilidad auditiva se encuentra entre los 3 y 4 kHz, y en la que muchos especialistas se centran en los 3kHz. En el caso que nos ocupa se usó el “Pulse, Brüel & Kjaer, Type 3560C, Serial No.2790521”.
- **Micrófonos para las medias en el oído externo y el oído medio.** Para medidas de ruido en el oído medio, y lo más cercano posible sin causar daños es la nasofaringe, por ello debe usar un micrófono de sonda. En este caso se usó el micrófono “Probe Microphone Type 4182, Serial No. 2956944. Brüel & Kjaer”. Para las medidas de ruido en el oído externo, en el caso de adultos podría ser un micrófono tipo “[SV 25S Microphone In Real Ear \(MIRE\)](#)” que se introduce en el pabellón auditivo, sin embargo, para los neonatos no es posible su uso, pues la distancia a la membrana timpánica es muy pequeña y podría provocar daños irreparables. Por estos motivos se recomienda un micrófono de superficie, que el ser relativamente pequeño se puede colocar lo más cerca posible al oído. En este caso se empleó el micrófono “Micrófono G.R.A.S. 47AX 1/2" CCP Flush-Mounted Microphone Set. Serial No. 164489”
- **Pistófono o calibrador de ruido.** Instrumento que emite un tono a 1kHz, el cual permite comprobar el buen funcionamiento de la cadena. En este caso se empleó el “Sound Calibrator Type 4231” calibrado para asegurar el valor del tono de 1kHz emitido por el instrumento. Por otro lado, este tono se puede usar de referencia para ajustar la cadena de medida, así como las ganancias correspondiente.
- **Instrumento para medidas de condiciones ambientales.** Aunque este tipo de equipo es secundario, pues en salas de neonatos, las condiciones ambiente están literalmente controladas, si conoce puede el rango diario de temperatura y humedad relativa en el que se



mueven estos parámetros. Por tanto, salvo que se requiera para la determinación de la incertidumbre, su uso puede pasar a un segundo plano. En este caso se usó el equipo “Velocical plus de TSI”. Por tanto, es un dato poco influyente, teniendo en cuenta el entorno donde se mide.

- **Generador de tonos.** Es un instrumento necesario para generar tonos puros y distintas funciones, que dependerá del tipo de experimento se esté realizando en cada momento. Sería deseable que el instrumento fuese programable. En este caso se empleó para tales menesteres el “Generador de tonos Rigol DG4062”.
- **Hardware para el registro de los factores fisiológicos.** A veces puede ser necesarios algún instrumento para tomar medidas de ritmo cardiaco, frecuencia respiratoria, saturación de oxígeno, presión arterial, temperatura, etc.
- **Software para el tratamiento de datos.** Se trata de un software que facilitar la labor al científico para que pueda aunar sus esfuerzos en el objetivo del proyecto, generalmente suele ir acompañado con el analizador y, por tanto, se facilita en el momento de la adquisición del equipo. En el caso que nos ocupa se empleó “Software Pulse réflex”

3.2 Tratamiento de la población.

Para conseguir información de los elementos sometido a estudios, es decir, la población, es necesario conocer las características de sus individuos y, por tanto, recurrir a los distintos tipos de fuentes – primarias, secundarias o terciarias–, según proceda, así como a las herramientas estadísticas. Por tanto, es necesario tener en cuenta una serie de características:

- **Definir la población que se va a estudiar.** Es necesario identificar la población, para ello puede ser necesarios algunos tener en cuenta alguna de sus características: patologías, antropometría, edad, sexo, etc. Concretar el tipo de individuos, acotar la población.
- **Determinar el tamaño de la población y definir cómo se va a agrupar.** En el caso que nos ocupa se eligieron los sujetos en función de los parámetros de gestación (de 30 a 38 semanas) y de peso (de 1 a 1,2 kg), otros parámetros al margen de estos fueron secundarios. Se usó un muestreo aleatorio simple.
- **Parámetros de la muestra.** Definir el error admisible, el nivel de confianza y el tamaño de la muestra.

3.3 Procedimiento de medida.

Para proceder a la toma de mediciones de la presión sonora, se propone seguir los siguientes pasos:

- **Verificación de la cadena de medida.** Se procede al montaje de la cadena de medida y posterior ajuste y calibración. Para ello se tomarán medidas y se comprobarán que los registros son coherente con los sonidos emitidos por las fuentes.
En este apartado, también se comprueba otros transductores, como pueden ser aquellos que se usan para interpretar determinados factores fisiológicos, para asegurar su coherencia con los resultados reales, fundamentalmente por comparación con otros instrumentos calibrados.
- **Ubicación adecuada de transductores.** Para este tipo de estudio es suficiente con dos micrófonos y los transductores de constantes fisiológicas que fuesen necesarios.
Uno de los micrófonos se coloca en el interior de una sonda que se ubicará en la nasofaringe del neonato, para ello es necesario tomar una serie de precauciones, como la distancia a la que se coloca la sonda, para que en todas las medidas la sonda se coloque a la misma profundidad.

Es necesario tener en cuenta que el niño se puede mover, por tanto es necesario fijar con algún tipo de adhesivo especial para neonatos la sujeción de la cánula, no sólo a la nariz, sino también al cuerpo.

El segundo micrófono se coloca en cercano al oído externo del neonato, la ubicación de este no es determinante si el neonato se desplaza debido a su movimiento.

Si existieran transductores se empleará los mismos cuidados que el que se describió para a la sujeción del primer micrófono.

- **Sincronización de los equipos de medida.** Es muy importante que los equipos de medida de todos las variables que se vayan a registrar estén sincronizados temporalmente, para realizar post-proceso adecuado y sin ningún contratiempo.
- **Funcionamiento del generador funciones.** Se procede a comprobar el generador de funciones emitiendo tonos a distintas frecuencias y comprobando que la potencia de emisión es la adecuada y anotando cada una de ellas. Este test se realiza con el registro de los micrófonos, uno colocado en el interior de la nasofaringe del neonato y en el otro cercano al oído externo.
- **Medidas de ruido por tonos y por barrido.** Se procede a realizar mediciones por tonos una tras otra con las potencias establecidas anteriormente. Se pueden emitir tonos en tercio de octavas o en frecuencias preestablecidas específicas, además de realizar un barrido que recorra todo el espectro desde los 20 Hz hasta los 20KHz. En el caso que nos ocupa se emitieron 14 tonos independientes, y adicionalmente un barrido lineal.
Con la instrumentación adecuada, descrita anteriormente, se procede a la toma de mediciones, en FFT o tercio de octavas en función del objetivo prefijado.
En el caso que nos ocupa se realizaron mediciones en FFT, con enventanado hanning, con la finalidad de poder correlacionar la frecuencia de excitación con los registros de ambos micrófonos [16].
- **Pre-proceso.** Para el análisis posterior de los datos, se requiere realizar pre-proceso, para la depuración y limpieza de los registros, por ello es importante que la muestra no sea demasiado pequeña, a ser posible superior a un minuto de registros de sonido/tono. En esta fase se realiza un estudio temporal de la señal.
- **Post-proceso.** Una vez se tiene la señal procesada, se realiza la transformada rápida de Fourier (FFT) para interpretar la señal en el dominio de la frecuencia. La finalidad es establecer una vinculación entre la medida registrada en el oído externo y la medida en nasofaringe, para localizar posibles patrones que pudieran derivar en conclusiones coherentes.

4 Resultados y discusión.

Para probar el método propuesto se realizó una serie de ensayos sobre una muestra pequeña, un total de 8 neonatos, siguiendo los pasos seguidos en la metodología.



Figura 1. Sonda para Probe Microphone Type 4182

Durante las medidas aparecieron muestras que hubo que desechar, como consecuencia de la dificultad de introducir el micrófono en la cánula. Por tanto se ha de destacar que es necesario tomar precaución

en este sentido, si el micrófono probe no se introduce correctamente, la cánula puede quedar parcialmente obstruida.

Otro de los defectos detectados durante las medidas defectuosas fue como consecuencia de los flujos que se producen en el conducto de la nasofaringe, que llegaron a obstruir la cánula y, por tanto, los ruidos registrados quedaban extremadamente atenuados.

Cuando se daban estos casos, la única solución era sustituir la cánula por una nueva. En la figura 2 se puede observar el comportamiento anómalo derivado de este tipo de circunstancia, sin embargo este método permite segregar los registros anómalos de la muestra poblacional para no desviar o alterar las conclusiones del estudio.



Figura 2. Comparación de señales temporales excitadas a 63Hz de neonato con sonda afectada por flujo interno de la nasofaringe (arriba) y neonato con sonda limpia (abajo).

El software Pulse Reflex empleado para post-proceso de los registros permite mostrar de forma superpuestas las señales de ambos micrófonos, situación que se puede observar en la figura 3.

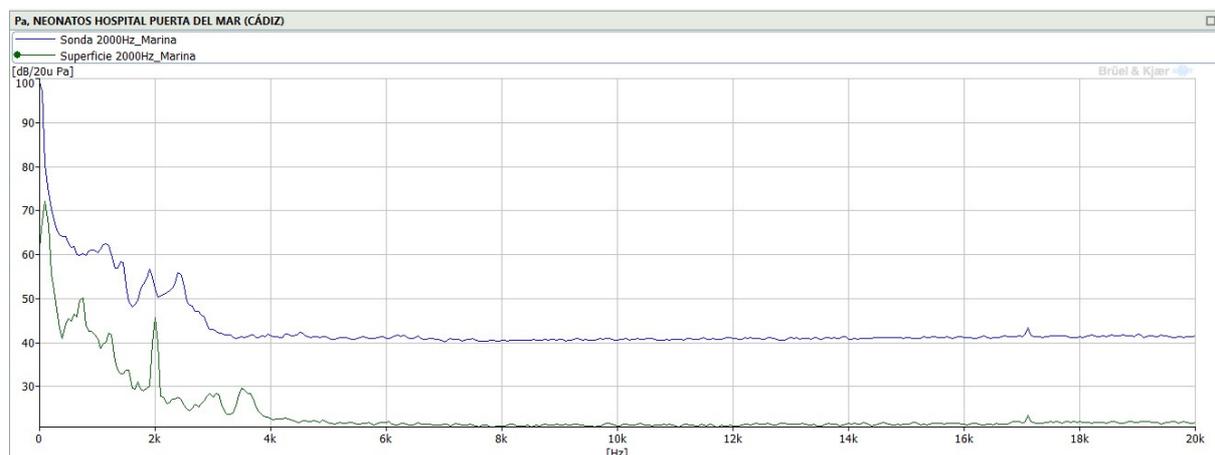


Figura 3. FFT de las señales “sonda” y “superficie” excitadas a 2000Hz.

De la figura 4 se puede observar que establecer que dentro de la nasofaringe no hay respuesta a la frecuencia de excitación por parte del neonato, esto puede deberse a que posiblemente haya que plantearse otras técnicas de medida que tengan en cuenta los factores biológicos del neonato, como pueden ser presión sanguínea, respiración, etc. La figura también muestra cómo para cada una de las 14 señales distintas de 14 tonos (50Hz, 100Hz, 200Hz, 250Hz, 400Hz, 800Hz, 1000Hz, 2000Hz,

4000Hz, 5000Hz, 8000Hz, 10000Hz, 16000Hz y 20000Hz) frecuenciales diferentes del registro en la nasofaringe del neonato no existe una presión sonora como respuesta a esa excitación frecuencial.

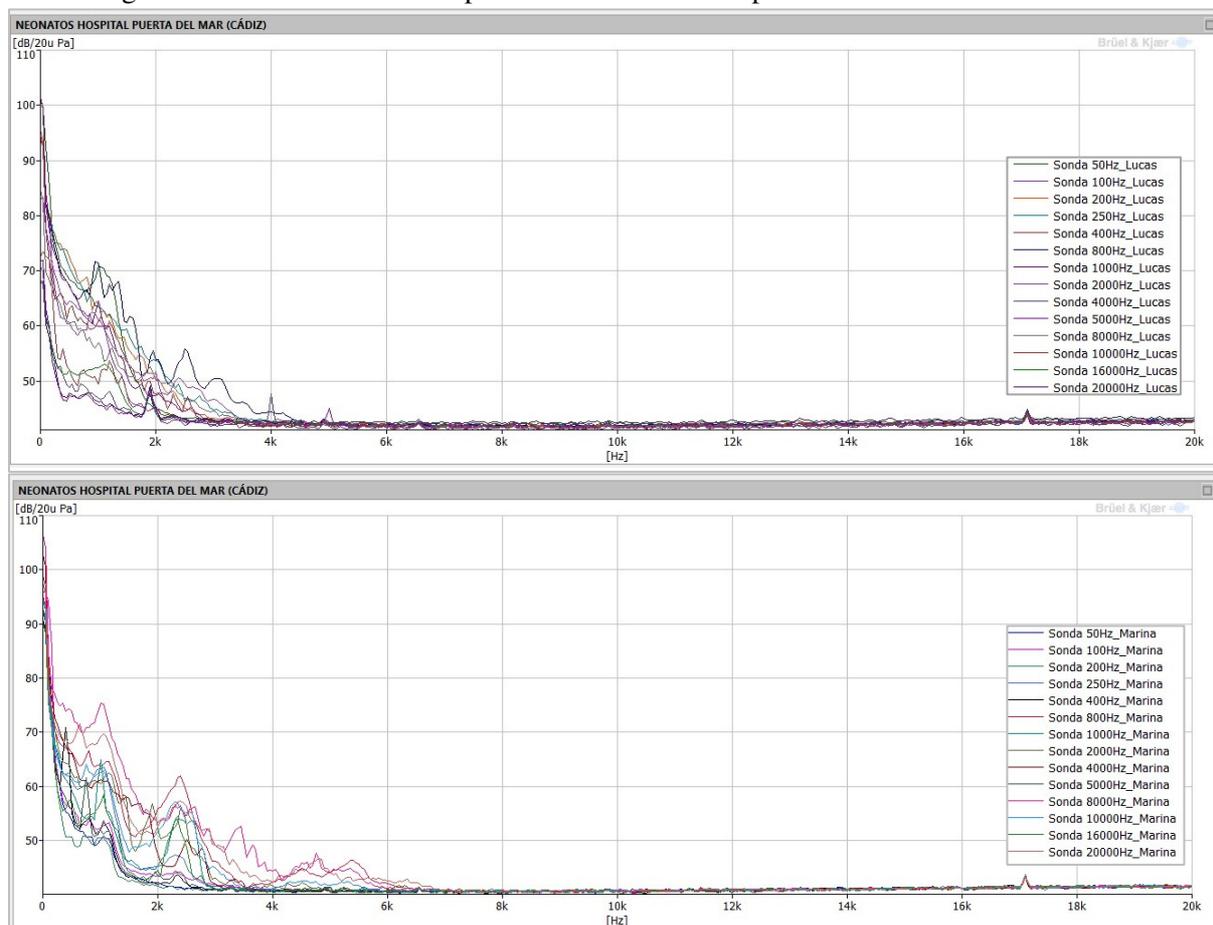


Figura 4. FFT de 14 señales en nasofaringe de dos neonatos distintos.

Asimismo, se ha encontrado un patrón que responde a un comportamiento sistemático, tanto en las medidas del oído externo, como en la sonda ubicada en la nasofaringe. La misma figura 4 se muestra como las gráficas de los dos neonatos son de similar comportamiento. Esto nos permite constatar que el método de medición utilizado es fiable y muestra resultados similares con independencia de la frecuencia de excitación y del neonato en que se mida, habiendo una correlación entre ambas medidas. Sin embargo, en la figura 5 se puede observar que el registro del oído externo sí muestra un pico de excitación en las frecuencias que se han excitado con el generador de tonos y que no aparecen en la medida en nasofaringe.

Asimismo, tal y como puede verse en las figuras 4 y 5, los valores de presión sonora soportados por el neonato dentro de la nasofaringe, así como los valores en el interior de la incubadora, son excesivamente altos, especialmente en el primero.

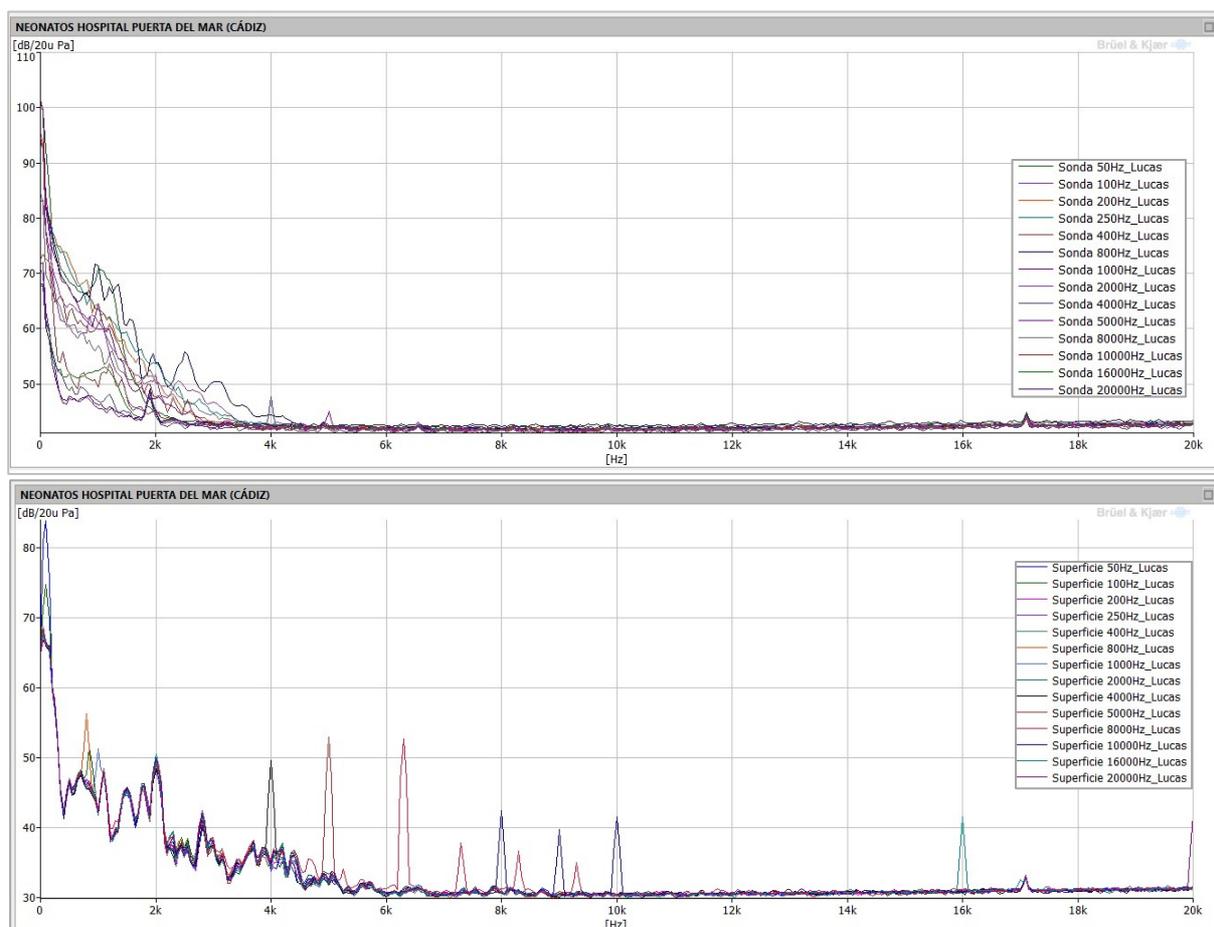


Figura 5. FFT de 14 señales en nasofaringe y junto al pabellón auditivo de un mismo neonato.

5 Conclusiones

Cuando se hacen medidas de ruido, colocando el micrófono en el interior de conductos que pudiesen llevar fluidos, es necesario vigilar con frecuencia los registros y comprobar la cadena de medida después de cada medición.

Como se muestra de los resultados obtenidos el método propuesto es un método fiable y adecuado, teniendo, capaz de detectar muestras anómalas en el post-proceso.

Así mismo los resultados mostrados indican la posibilidad de un patrón que responde a un comportamiento sistemático, tanto en las medidas del oído externo, como en la sonda ubicada en la nasofaringe, con lo cual el método responde al principio de repetibilidad

Otro elemento a tener en cuenta, es la función de autoprotección que presenta la trompa de Eustaquio atenuando el ruido que penetra por la faringe.

Agradecimientos

Queremos mostrar nuestro agradecimiento al responsable de pediatría, el Dr. Simón Lubian, y a todo el personal de la UCIN del Hospital Puerta del Mar por la ayuda prestada en este trabajo.



Referencias

- [1] Gil-Carcedo E, LM G-C, Vallejo L. Efectos del ruido en la salud humana. 2008.
- [2] James B. Snow Jr. Oortohinolaryngology. Head and neck surgery. BC Decker Inc .2009. People's Mediacal Publishing House Shelton, Conneticut.
- [3] Jianwu Dang¹, Kiyoshi Honda. An improved vocal tract model of vowel production implementing piriform resonance and transvelar nasal coupling. ICSLP-1996
- [4] Ehrt, Karsten et al. "Physiological" Ear Clicking: Its Origin and Potential Usability as a Test Tool for the Eustachian Tube Function. *Otology & Neurotology*: April 2016 - Volume 37 - Issue 4 - p 345–349.
- [5] Ryota Shimokura, Hiroshi Hosoi , Tadashi Nishimura , Takashi Iwakura , Toshiaki Yamanaka. Simulating cartilage conduction sound to estimate the sound pressure level in the external auditory canal. *Journal of Sound and Vibration* 335 (2015) 261–268.
- [6] Elisha M Wachman, Amir Lahav. The effects of noise on preterm infants in the NICU. 2011.
- [7] C T Roberts, J A Dawson, E Alquoka, P J Carew, S M Donath, P G Davis, B J Manley. Are high flow nasal cannula noisier than bubble CPAP for preterm infants?. 2015.
- [8] A.García, V.Roques, J.V.Garrigues y J.Miranda. The acoustic contamination in neonatology units (póster). XV Congreso Europeo de Medicina Perinatal. Glasgow, 1996.
- [9] V.Roqués, J.Miranda, A.García y J.V.Garrigues. Contaminación acústica en neonatología: un problema potencial (póster). XVI Congreso Nacional de Medicina Perinatal. Cádiz, 1997.
- [10] V.Roqués, J.Miranda, A.García y J.V.Garrigues. Contaminación acústica en salas de neonatología. I Simposio Internacional de Neonatología (Neonatólogica 97).- *Revista Latinoamericana de Neonatología*. Valencia, 1997.
- [11] J.Miranda, V.Roqués, J.V.Garrigues y A.García. Espectro de frecuencias de la contaminación acústica en una unidad de neonatología (póster). I Simposio Internacional de Neonatología (Neonatólogica 97). Valencia, 1997.
- [12] J.Miranda, V.Roqués, J.V.Garrigues y A.García. Identificación de fuentes sonoras en el interior de las incubadoras (póster). I Simposio Internacional de Neonatología (Neonatólogica 97). Valencia, 1997.
- [13] J.Miranda, V.Roqués, J.V.Garrigues y A.García. El ruido en las unidades de neonatología (póster). Reunión Internacional sobre Screening Auditivo en la Infancia. Valencia, 1997.
- [14] A.García, J.V.Garrigues, V.Roqués y J.Miranda. Estudio del ruido ambiental en unidades de neonatología. *Proceedings del Primer Congreso Ibérico de Acústica (Acústica 98)*, pág. 477-480. Lisboa, 1998.
- [15] V.Roqués, J.Miranda, J.V.Garrigues, A.Pons, M.Tranchoni, J.Güemes, P.Sáenz, A.García y J.Artigas. Contaminación ambiental en las unidades de neonatología. *Revista Latinoamericana de Neonatología, Suplemento 1*, pág. 99-105 (1999).
- [16] Joint Committee for Guides in Metrology, Grupo 2. VIM "Vocabulary International of Metrology" http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf. JCGM 200:2012.