



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ANÁLISIS DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL HABITÁCULO DE UNA INCUBADORA NEONATAL: PROPUESTA DE MEJORA

PACS: (43.80.+p Bioacoustics, 43.50.+y Noise: its effects and control, 43.66.+y Psychological acoustics).

Rodríguez Montaña, Víctor M.¹; Beira Jiménez, Juan Luis¹; Virginia Puyana¹; Fernández Zacarías, Francisco¹; Cueto Ancela, José Luis¹; Hernández Molina, Ricardo¹; Bustillo Velázquez-Gaztelu, Pedro Jesús¹; Lubian López, Simón².

¹Laboratorio de Ingeniería Acústica. Universidad de Cádiz, Puerto Real, Cádiz, España.

Tfno.: 956016140. {victor.rodriguez@uca.es, jluis.beira@uca.es, virginiapuyana@yahoo.es, francisco.fernandez@uca.es, joseluis.cueto@uca.es, ricardo.hernandez@uca.es, pedrobustillo@gmail.com}

²Hospital Universitario Puerta del Mar, Cádiz, España. {slubian@yahoo.es}

Palabras Clave: neonatos, presión sonora, incubadora, fuente de ruido, UCIN.

ABSTRACT.

The objective of this work focuses on the study of the main sources of noise associated with incubators and the acoustic effects that derive from them. The method that has been established is based on tests carried out under different operating conditions of the incubators. Noise levels are analyzed under different boundary conditions (Neonatal ICU and "Controlled environment rooms"). Under normal operating conditions, the levels inside the incubator are around 56 dB(A), values that exceed the maximum limits recommended by the American Academy of Pediatrics. The scope of this study is to evaluate the existing noise levels in the incubator and analyze possible design improvements. The study was carried out in the hospitals of Cádiz, Huelva and Malaga.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo se centra en el estudio de las principales fuentes de ruido asociadas a las incubadoras y los efectos acústicos que se derivan de ellas. El método que se ha establecido se basa en ensayos llevados a cabo en diferentes condiciones de operación de las incubadoras. Se analizan los niveles de ruido en diferentes condiciones de contorno (UCI Neonatal y "Salas de entorno controlado"). En condiciones normales de funcionamiento, los niveles en el interior de la incubadora se encuentran en torno a los 56 dB(A), valores que superan los límites máximos recomendados por la American Academy of Pediatrics. El alcance de este estudio es evaluar los niveles de ruido existentes en la incubadora y analizar posibles mejoras de diseño. El estudio se ha llevado a cabo en los hospitales de Cádiz, Huelva y Málaga.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la puesta en marcha de las UCIN, la creciente evolución e incorporación de tecnologías en el tratamiento y cuidado de los recién nacidos ha modificado sustancialmente la ecología de



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

estas unidades transformándolas en un ambiente con altos niveles de presión sonora, luminosidad ininterrumpida y ritmo de trabajo intenso. Esta situación ambiental, cuya percepción del neonato prematuro estaba minimizada mientras se encontraba en el interior del útero materno, puede comprometer de manera significativa la salud de los pacientes dada su inmadurez.

Los ensayos realizados en neonatos, mediante electroencefalograma de la actividad espontánea inducida por el ambiente al que se ven sometidos estos pacientes en la UCIN, refleja vigilia tensa y fatiga intensificada^{[1][2]}. Ello implica, que la privación del sueño afecta a varios parámetros fisiológicos, que pueden influir negativamente a la recuperación de los pacientes neonatos. La causa de esta alteración se debe a múltiples factores entre los que se encuentran la condición médica del paciente, la medicación, la atención respiratoria, los tratamientos, los procedimientos de atención, la luz y el ruido. Sin embargo, se debe recordar que a diferencia de los factores relacionados con la condición en la que se encuentra el neonato, el ruido como fuente de alteración del sueño puede ser en muchos casos evitado. Se estima que aproximadamente el 40% de estos trastornos son debidos al ruido^[3]. En ese sentido, la legislación española en prevención de riesgos laborales^{[4][5]}, indica que estar sometido a altos niveles de presión sonora puede generar trastornos tanto físicos como psíquicos, a corto, medio o largo plazo, pudiendo llegar a ocasionar, en el peor de los casos, incapacidad permanente en el personal laboral, sin tener en cuenta la legislación la exposición al ruido de los pacientes.

La American Academy of Pediatrics (AAP) ha observado que la exposición prolongada a niveles sonoros por encima de 90 dB(A) conduce a la pérdida de audición entre otras complicaciones médicas, por lo que recomienda que los niveles de ruido dentro de la UCIN deben mantenerse por debajo de los 45 dB(A)^[6]. Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que el recién nacido no debe estar expuesto a un nivel de presión sonora superior a 40 dB(A) durante el periodo día y 35 dB(A) en periodo noche. En España, el Comité de Normas de la Sociedad de Neonatología de la Asociación Española de Pediatría (AEP), recomienda un nivel total de ruido de fondo en la UCIN inferior a 45 dB(A) y no superar un máximo de 65 – 70 dB(A) de forma transitoria^[7].

Como ejemplo, durante la gestación, el feto se encuentra en un ambiente que contiene sonidos rítmicos, estructurados y con patrones que provienen fundamentalmente de la madre. La intensidad del sonido registrado internamente dentro del líquido amniótico, en pruebas realizadas en ovejas, no superan los 50 dB(A)^[8], confirmando la validez de las recomendaciones anteriormente citadas. A pesar de que el sonido externo también se transmite al feto, este ambiente es capaz de regular y actuar de filtro de los estímulos que percibe, más aún a las frecuencias más altas^[9].

A pesar de todas las recomendaciones anteriormente citadas, numerosos estudios reportan niveles de ruido, en las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales, que exceden estos límites hasta en un 70% del tiempo de exposición del neonato, con promedios que oscilan entre los 55 y 89 dB(A)^{[3][10][11][12][13][14]}. El problema se agrava, más aún, cuando aparecen valores máximos del nivel de presión sonora, debidos principalmente a las alarmas de cualquiera de los equipos que rodean a los neonatos, al sonido del teléfono, etc., en el que el nivel de presión sonora instantánea (L_{peak}) alcanza niveles que pueden llegar a superar los 144,8 dB^[14], valor muy por encima del umbral del dolor, situado en 120 dB.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

El interior del habitáculo de la incubadora cuenta con su propio nivel de ruido de fondo debido al ruido generado por el motor que produce y regula la temperatura y humedad en el interior de la incubadora y que se encuentra acoplado en su interior. Diversos estudios indican que el motor genera un promedio de 55 a 60 dB(A) ^{[11][15]}, mientras que el equipo y la actividad dentro del habitáculo y su entorno pueden contribuir con entre 10 y 40 dB(A) más, por lo que estos pacientes se encuentran permanentemente expuestos a un nivel de ruido que oscila entre los 50 y 90 dB(A) ^[16]. La norma UNE-EN 60601-2-19:2009 ^[17] limita el nivel de ruido en el interior de las incubadoras a 60 dB(A), para unas condiciones de ensayo (temperatura entre 36°C y humedad máxima), excediendo claramente las recomendaciones dadas por las distintas organizaciones (AAP, OMS, AEP, etc.) como se ha referido anteriormente.

2. METODOLOGÍA

2.1. Instrumentos de Medida

Para la realización de las mediciones se han empleado varios sonómetros como son *Brüel & Kjaer* modelos 2270, 2260 y 2250, *RION* serie NL-31 y *Svante* SVAN 958A, así como la fuente de sonido *Brüel & Kjaer* modelo 4224 y el calibrador *Brüel & Kjaer* modelo 4231. Antes de realizar las mediciones todos los equipos fueron previamente verificados y calibrados.

Los datos registrados se trataron mediante los software *Evaluator Type 7820* de *Brüel & Kjaer*, *SVAN PC++* y *Microsoft Excel*.

2.2. Procedimiento de Medida

Los ensayos se han llevado a cabo en incubadoras no ocupadas situadas en diferentes espacios según los objetivos que se querían estudiar. Las primeras medidas se tomaron en la UCIN del Hospital Juan Ramón Jiménez durante un periodo de muestreo de 15 días, donde se tenía por objetivo conocer los niveles de ruido en el ambiente de la sala y la influencia que éstos presentaban en el interior de la incubadora. Posteriormente, se estableció un protocolo de ensayo, orientado a la caracterización de la incubadora sin la influencia del ambiente sonoro externo de la UCIN, en las llamadas "Salas de entorno controlado". En ese sentido, se procedió a realizar una serie de ensayos en la Cámara Semianecoica del ETSIT de la Universidad de Málaga, y en una habitación cedida por el Hospital Universitario Virgen de la Victoria, en Málaga.

Por último, en el Hospital Universitario Puerta del Mar, en Cádiz, se procedió al estudio de los posibles efectos que tendría la incorporación de material fonoabsorbente en el interior del habitáculo, así como a conocer los niveles de presión sonora que el motor de la incubadora transmite al interior del habitáculo.

Para la realización de los ensayos se colocaron micrófonos en el interior y en el exterior de la incubadora. Los datos se almacenaron con una frecuencia de muestreo de 48 kHz y cuantificación de 24 bits. El análisis de los datos se ha realizado en tercios de octava.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la UCIN del Hospital Juan Ramón Jiménez, en Huelva, se han registrado niveles de ruido de fondo en la sala, dado por el percentil 90 (L_{90}), que oscila entre los 43 dBA, en horario nocturno, y los 62 dBA, en periodo diurno ^[10]. Valores que superan los recomendados por las

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

distintas entidades internacionales, como la AAP o la AEP, las cuales indican que el ruido de fondo de la UCIN debe mantenerse por debajo de los 45 dBA.

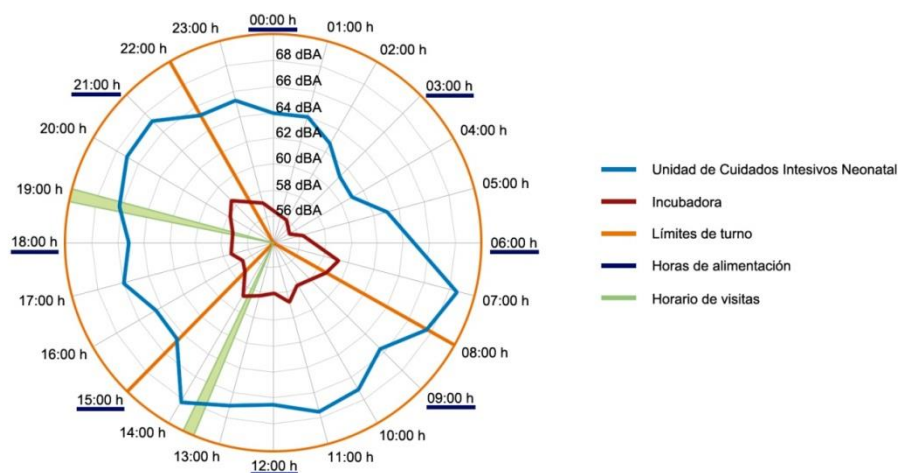


Figura 1. Valores promedios integrados de nivel continuo equivalente con 1 hora de periodo de integración registrado en el Hospital Juan Ramón Jiménez, en Huelva.

Si establecemos una comparación entre la variación de los niveles mínimos recogidos por el sonómetro ubicado en el interior del habitáculo y fuera de él, se comprueba que los niveles de ruido en la incubadora son mayores, hecho que se puede atribuir al motor interno de la misma, necesario para generar los niveles óptimos de temperatura y humedad. De igual modo, se observa que los niveles mínimos en la incubadora son más estables que los mínimos del ruido ambiente de la UCIN, ya que los niveles de ruido en el interior del habitáculo se encuentran atenuados por el aislamiento acústico que proporcionan las paredes del mismo. En cuanto a los máximos entre estos dos puntos, se puede apreciar que los picos máximos presentan una mínima relación, asociando los valores presentes en la unidad con los que pueda estar percibiendo el neonato en el interior de la incubadora.

De las mediciones realizadas en las “Salas de entorno controlado”, podemos afirmar que cuando las incubadoras se encuentran apagadas y los niveles de ruido ambiental en la sala no superan los 45 dBA (límite recomendado por las entidades internacionales), el nivel de presión sonora en el interior del habitáculo es igual o menor al ruido de fondo. Cuando la incubadora es encendida, el motor que acciona el ventilador para mantener las condiciones de humedad y temperatura óptimas en el interior del habitáculo, provoca un nivel de ruido de fondo en el interior del habitáculo próximo a los 56 dBA y permanece constante en todo el periodo de medición.

Para la caracterización del habitáculo de la incubadora, se empleó una fuente sonora externa situada a 2 metros de la incubadora, emitiendo un nivel de presión sonora de aproximadamente 85 dBA. Cuando aplicamos ruido blanco, cuya principal característica es mantener un espectro frecuencial plano, es decir, igual energía en toda la banda de frecuencias, tanto con la incubadora apagada como encendida, la diferencia entre ambos ambientes es de aproximadamente 10 dBA. Atenuación, que parece mantenerse cuando aplicamos ruido rosa, cuya característica principal es mantener un espectro decreciente en función de la frecuencia. Por lo que se podría decir, que los paramentos que conforman el habitáculo produce un aislamiento de 10 dBA.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Con las incubadoras en condiciones normales de funcionamiento (temperatura entre 36 y 37°C y humedad relativa entre el 40 y 60%), si el ruido de fondo en la unidad asistencial es menor que el ruido más alto alcanzado por el motor de la incubadora en el interior del habitáculo (en este caso sería 56 dBA), situación dada en horario nocturno en la UCIN analizada, la dosis de ruido percibida por el neonato, calculada para un periodo de referencia de 8 horas (comparación con la dosis que percibirá un trabajador durante su jornada laboral^[5]), será:

$$\text{Dosis} = 56 \text{ dBA} + 10 \cdot \log (t/8) \quad [5]$$

Donde t es el tiempo que el neonato está en la incubadora lo largo del día.

Por lo que la dosis recibida por el neonato a lo largo de 24 horas se verá incrementada en 4 dBA. Ahora bien, si el ruido ambiental es mucho mayor de 56 dBA (situación simulada mediante la fuente sonora externa), la dosis de ruido recibida por el neonato en el interior del habitáculo de la incubadora será menor que la que percibe cualquier otro individuo fuera de ella, llegando a reducirse en 10 dBA, teniendo en cuenta que nunca se encontrará por debajo de los 56 dBA anteriormente mencionados^{[15][18]}.

Con esta serie de medidas, se pudo valorar el rango de frecuencias que los paramentos del habitáculo es capaz de atenuar. En la figura 2, es posible entrever que las tres incubadoras testeadas tienen comportamientos totalmente distintos, en cuanto a atenuación se refiere. Se puede observar, en general, que la incubadora *Ohmeda Medical Giraffe Omnibed (Giraffe)* es la que peor comportamiento tiene en bajas frecuencias (entre 63 y 1000 Hz), pero si nos vamos al otro extremo de la banda frecuencia, las altas frecuencias, la que peor comportamiento tiene es la incubadora *Ohmeda Medical Ohio Care Plus 4000 (OCP 4000)*, aunque también lo muestra a muy bajas frecuencias (por debajo de 80 Hz). A medio camino se encuentra la incubadora *Ohmeda Medical Ohio Care Plus 3000 (OCP 3000)*, que muestra un comportamiento más regular en banda ancha y, por tanto, de entre las tres incubadoras, la que potencialmente mayor protección ofrece al neonato frente al ruido producido en la sala.

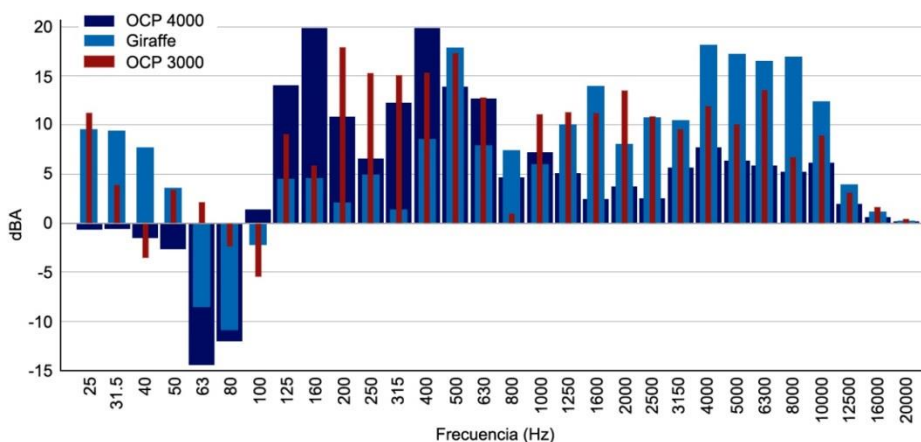


Figura 2. Diferencias entre los niveles de presión sonora en 1/3 de octava en el interior y el exterior de la incubadora. Incubadoras encendidas con fuente sonora emitiendo ruido blanco.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

En los ensayos realizados en una de las habitaciones del Hospital Universitario Puerta de Mar, en Cádiz, se trató evaluar la posible disminución del nivel de presión sonora cuando se introduce material fonoabsorbente en el habitáculo. Dicho material se planteó en situaciones donde no es necesaria la visión del neonato (cabecero, pies y/o cúpula). A la vista de los resultados obtenidos, se puede decir que no se ha presentado una gran atenuación, obteniéndose, en el mejor de los casos analizados, una atenuación de 1,7 dBA.

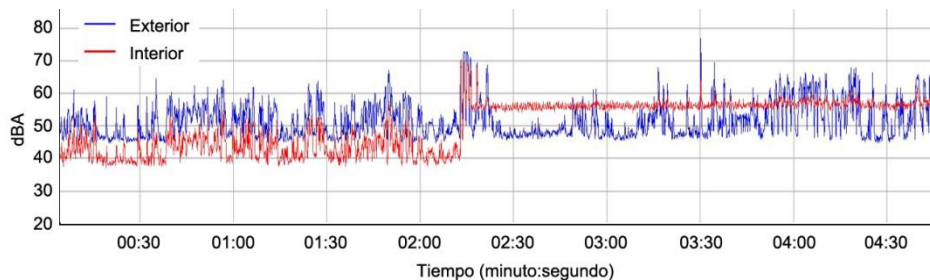


Figura 3. Espectro de los niveles de presión sonora con respecto al tiempo registrados en el interior y el exterior de la incubadora.

Para finalizar, con las mediciones realizadas en la UCIN del Hospital se pretendió conocer el nivel de presión sonora que el motor de la incubadora transmite al interior de la misma. Para ello, siguiendo los criterios establecidos en el R.D. 1367/2007^[19], a igualdad de condiciones de contorno, se procede a corregir el nivel de ruido existente en el interior del habitáculo cuando la incubadora está encendida con los niveles existentes cuando está apagada. De estos cálculos realizados, se obtiene que la incubadora *Giraffe* aporta un nivel de ruido de 53 dBA, mientras que la *OCP 3000* transmite 64 dBA, debido a la presencia de componentes de baja frecuencia y tonales emergentes.

4. PROPUESTAS DE MEJORA

4.1. En Relación con la Fuente

Como ha quedado demostrado, el motor que acciona el ventilador capaz de producir las condiciones idóneas en el interior del habitáculo, es la principal fuente generadora de ruido percibida por el neonato. La principal hipótesis que se plantea, debido a las necesidades existentes, es la eliminación del mismo, lo que conllevaría a la eliminación de los ruidos y vibraciones estructurales generados por los actuales ventiladores incorporados en la incubadora, siendo sustituidos por un sistema externo que permite una importante mejora en el suministro del flujo de aire y oxígeno, a la par que garantiza un cierto nivel de presurización constante (y regulable) en el interior del habitáculo.

Otra posibilidad, sería alejar el motor lo máximo posible del habitáculo. Para el transporte de flujo de aire, desde el motor hasta el habitáculo, se debiera conectar ambos elementos mediante conductos flexibles, que si bien habría que estudiarse, por norma general, el sonido producido por el motor podría transmitirse e incluso aumentarse debido a este conducto. La solución pasa por acoplar filtros, principalmente silenciadores reactivos, ya que tienen una gran importancia en el control del ruido.

4.2. En Relación con el habitáculo

En el habitáculo se podría actuar de dos formas muy distintas, en relación con la incorporación de materiales fonoabsorbentes o actuando sobre la forma de la cúpula. En el primer caso, como ha quedado demostrado anteriormente, la incorporación de material fonoabsorbente en el interior del habitáculo, ha supuesto una baja atenuación y además tiene la problemática de ser materiales porosos y por ende, pueden alojar bacterias y microorganismos dañinos para los neonatos. La opción más factible sería crear un doble habitáculo, en el que cada una de las capas sean independientes para poder ser esterilizadas y en el que la capa exterior se trataría como elemento rígido, mientras que la interior dispondría de orificios por los que pasaría el sonido, recreando un absorbedor selectivo.

A falta de un estudio sobre el tiempo de reverberación existente en la incubadora, es lógico pensar que al estar formado por materiales reflexivos, éste sea alto, por lo que la forma de la cúpula del habitáculo juega un papel significativo en este tema. Lo ideal es alejar lo máximo posible las primeras reflexiones del sistema auditivo del neonato. La figura 4, muestra el comportamiento que ofrece determinadas formas con respecto a las reflexiones que se producen al impactar sobre su superficie.

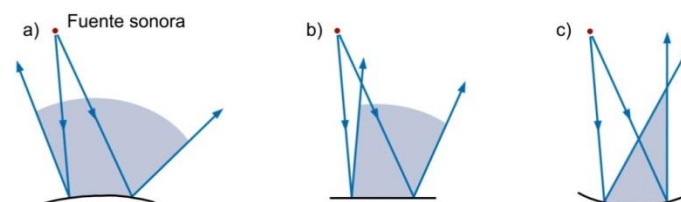


Figura 4. Zonas de cobertura asociadas a diferentes superficies reflectantes: a) superficie convexa; b) superficie plana; c) superficie cóncava ^[20].

5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos, como conclusión, podemos decir que, cuando la incubadora está encendida, si el ruido ambiente en la sala es menor que el nivel más alto producido por el motor de la misma, pueden llegar a alcanzarse, en el interior del habitáculo, niveles aproximados a los 56 dBA. Así mismo, el simple encendido del motor, puede llegar a suponer un incremento, en el peor de los casos analizados, de hasta 22 dBA en el interior del habitáculo y de 3 dBA en el exterior.

Sin embargo, el motor de la incubadora, no solo produce este incremento del nivel de presión sonora, sino que además produce, dependiendo del modelo, una mayor o menor afección acústica sobre el neonato, llegándose a alcanzar un $L_{K_{eq,T} Fuente}$ (asociado a la molestia) de hasta 64 dBA, debido a la presencias de componentes tonales emergentes y de baja frecuencia. El entorno sonoro en el interior del habitáculo generado por el motor viene graficado en la figura 5. Como puede verse, en todo los modelos de incubadoras analizados, el nivel de presión sonora es muy elevado en todo el ancho de banda, destacando el rango de frecuencias entre los 100 y 4000 Hz, rango de mayor sensibilidad auditiva.

Cuando el ruido ambiente en la sala es muy superior al generado por el motor, los paramentos que conforman el habitáculo de la incubadora, producen un aislamiento de aproximadamente 10 dBA.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

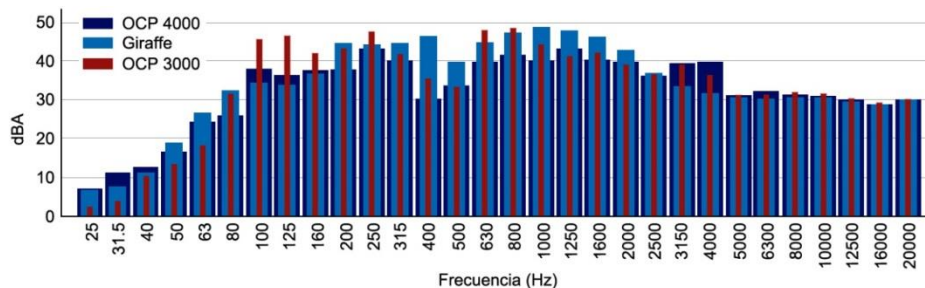


Figura 5. Espectro de os niveles de presión sonora en 1/3 de octava en el interior de las incubadoras OCP 4000, OCP 3000 y Giraffe medidos en “Sala de entorno controlado”.

En cuanto a los niveles de ruido registrados en la UCIN, estos varían desde los 42.3 dBA (L_{min}) a los 97.4 dBA ($L_{máx}$), con un nivel de presión sonora equivalente (L_{Aeq}) que supera los 63.7 dBA. Los niveles de presión sonora en 1/3 de Octava alcanzados en la UCIN, y mostrados en la figura 6, indican una mayor amplitud de bajas y medias frecuencias (< 2.5 kHz).

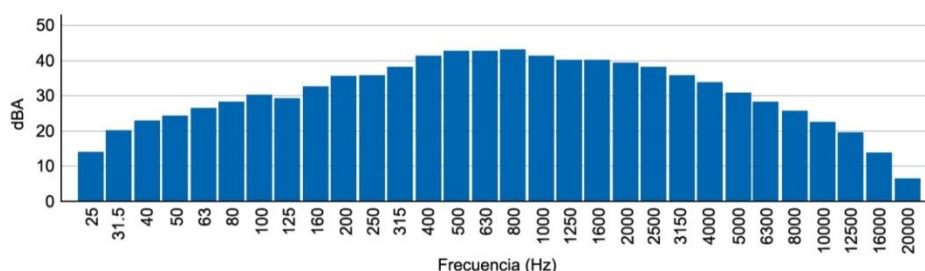


Figura 6. Espectro de los niveles de presión sonora en 1/3 de octava registrados en la UCIN del Hospital Juan Ramón Jiménez, en Huelva.

Si se correlaciona los niveles de ruido existentes en el interior de la incubadora, con los presentes en la UCIN (durante 24 horas), se comprueba que las variaciones en el interior de la incubadora son muy pequeñas entre los periodos diurno y nocturno, manteniéndose muy estable y con valores evidentemente superiores a los recomendados en todo momento. Este hecho indica que el ruido en el interior del habitáculo de la incubadora apenas se ve influenciado por el ruido generado en la UCIN, ya que su propio ruido de fondo es muy elevado.

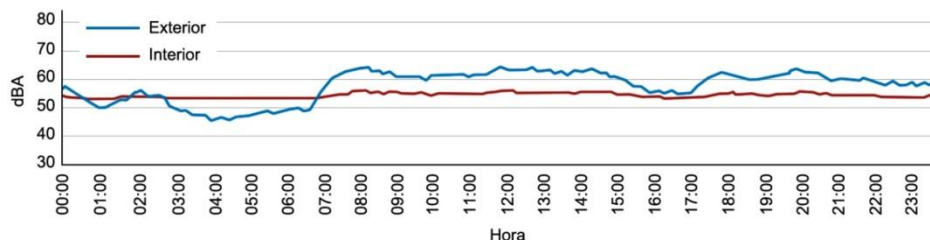


Figura 7. Niveles de presión sonora (L_{Aeq}) a lo largo de 24 horas, medidos en el interior y el exterior de una incubadora situada en la UCIN del Hospital Universitario Puerta del Mar, en Cádiz.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. C. Donis Paz, "Contaminación acústica en la Unidad de Neonatología del Hospital Roosevelt," *Trab. Fin Grado. Licenciatura en Med. Univ. Rafael Landívar*, 2013.
- [2] J. K. Sweeney and S. Blackburn, "Neonatal physiological and behavioral stress during neurological assessment.," *J. Perinat. Neonatal Nurs.*, vol. 27, no. 3, pp. 242-52; quiz 253-4, 2013.
- [3] K. Persson Wayne, "A caring sound environment in hospitals?," *Care Sound*, pp. 11-26, 2013.
- [4] "Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales."
- [5] "Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido."
- [6] A. D. M. Jackson, "Guidelines for Perinatal Care," *Am. Acad. Pediatr.*, 1986.
- [7] Y. Agra Varela *et al.*, "Unidades de neonatología. Estándares y recomendaciones de calidad," *Minist. Sanidad, Serv. Soc. e Igual.*, 2014.
- [8] F. Lejeune *et al.*, "Sound Interferes with the Early Tactile Manual Abilities of Preterm Infants," *Sci. Rep.*, vol. 6, pp. 1-8, 2016.
- [9] G. B. Avery, M. A. Fletcher, and M. G. MacDonald, *Neonatología : fisiopatología y manejo del recién nacido*. Médica Panamericana, 2001.
- [10] A. P. Garrido Galindo, Y. Camargo Caicedo, and A. M. Vélez-Pereira, "Nivel continuo equivalente de ruido en la unidad de cuidado intensivo neonatal asociado al síndrome de burnout," *Enferm Intensiva*, vol. 26, no. 3, pp. 92-100, 2015.
- [11] J. Fortes-Garrido, A. Velez-Pereira, M. Gázquez, M. Hidalgo-Hidalgo, and J. Bolívar, "The characterization of noise levels in a neonatal intensive care unit and the implications for noise management," *J. Environ. Heal. Sci. Eng.*, vol. 12, 2014.
- [12] L. da Silva Reis Santana *et al.*, "Measurement of Acoustic Noise Levels in a Neonatal Intensive Care Unit," *REME Rev. Min. Enferm.*, vol. 19, no. 2, pp. 27-31, 2015.
- [13] G. Joshi and N. Tada, "Analysis of noise level in neonatal intensive care unit and post natal ward of a tertiary care hospital in an urban city," *Int. J. Contemp. Pediatr.*, vol. 3, no. 4, pp. 1358-1361, 2016.
- [14] A. Pinheiro Nazario, V. C. Benetti Jacinto Santos, E. Giovanini Rossetto, S. N. Degau Hegeto de Souza, N. E. Zamberlan Amorim, and C. G. Silvan Scochi, "Avaliação dos ruídos em uma unidade neonatal de um hospital universitário," *Semin. Ciências Biológicas e da Saúde*, vol. 36, no. 1, pp. 189-198, 2015.
- [15] F. Fernández Zacarías, J. L. Beira Jiménez, P. J. Bustillo Velázquez-Gaztelu, R. Hernández Molina, and S. Lubián López, "Noise level in neonatal incubators: A comparative study of three models," *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, vol. 107, no. July 2017, pp. 150-154, 2018.
- [16] J. Parra, A. de Suremain, F. Berne Audeoud, A. Ego, and T. Debillon, "Sound levels in a neonatal intensive care unit significantly exceeded recommendations, especially inside incubators," *Acta Paediatr. Int. J. Paediatr.*, vol. 106, no. 12, pp. 1909-1914, 2017.
- [17] "UNE-EN 60601-2-19. Equipos electromédicos. Parte 2-19: Requisitos particulares para la seguridad básica y funcionamiento esencial de las incubadoras de bebé."
- [18] V. M. Rodríguez Montaña, "Análisis del acondicionamiento acústico del habitáculo de una incubadora neonatal: propuestas de mejora," *Trab. Fin Máster. Máster en Ing. Acústica. Univ. Cádiz*, 2018.
- [19] "Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas."
- [20] A. Carrión Isbert, "Diseño acústico de espacios arquitectónicos." 1998.