

ACÚSTICA DE UNA INCUBADORA NEONATAL

PACS no. 43.80.+p

Beira Jiménez, Juan Luis¹; Puyana Romero, Virginia¹; Hernandez Molina, Ricardo¹; Fernandez Zacarías, Francisco¹; Bustillo Velázquez-Gaztelu, Pedro Jesús¹; Cueto Ancela, José Luis¹; Rodríguez Montaña, Víctor Manuel ¹; Lubian López, Simón².

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

{jluis.beira@uca.es, ricardo.hernandez@uca.es, francisco.fernandez@uca.es, pedrobustillo@gmail.com, joseluis.cueto@uca.es, rodriguezv90@gmail.com, virginiapuyana@yahoo.es }

²Hospital Puerta del Mar, Cádiz, España.

{slubian@yahoo.es}

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

Keywords: neonates, sound pressure, incubator, sound source, pediatric ICU.

ABSTRACT

The objective of this work is focused on the study of the main sources of noise associated to the incubator and the acoustic effects derived from them. The method that has been established is based on tests performed under different operating conditions of the incubator. Noise levels and structural transmission were analyzed in an audiometry room, in an acoustically controlled room and in the pediatric ICU room. Under normal operating conditions the levels within the incubator are around 56 dBA, values that exceed the maximum limits recommended by the American Academy of Pediatrics.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo se centra en el estudio de las principales fuentes de ruido asociadas a la incubadora 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 la incubadora. Se han analizado los niveles de ruido en una sala de audiometría, en una sala de acústica controlada (ambas en ambiente hospitalario) y en una sala de UCI pediátrica. En condiciones normales de funcionamiento los niveles en el interior de la incubadora se encuentran en torno a los 56 dBA, valores que superan los límites máximos recomendados por la American Academy of Pediatrics.

1. INTRODUCCIÓN

En las unidades de cuidados intensivos neonatales (UCIN), el ruido está reconocido como un problema potencial en el desarrollo de los recién nacidos prematuros. La mayoría de los neonatos suelen ingresar en la UCIN entre la 35 a 40 semana de gestación, cuando sistema auditivo no está completamente desarrollado, pudiendo causar la pérdida auditiva neurosensorial [1]. En este sentido, los recién nacidos prematuros tienen una respuesta reducida a la estimulación auditiva en comparación con los recién nacidos a término [2]. Además de los efectos directos del ruido sobre el sistema auditivo, numerosos estudios demuestran que el ruido también influye en el sistema cardiovascular, el sistema respiratorio, los patrones de sueño, y los niveles de estrés de los recién nacidos.

1.1. Ruido En Las UCIN

La mayoría de los estudios publicados, indican que los niveles medios de ruido medidos en las UCIN oscilan entre los 55 dBA y los 67 dBA [1][3][4], aunque a veces aparecen ruidos puntuales de 140 dB (golpeo de la incubadora para estimular la apnea) [5]. Por otro lado los ruidos generados durante la manipulación de las incubadoras se sitúan entre los 72.5 dB (colocación fichas en la cúpula) y 98.4 dB (al cerrar escotillas) [6]. Los valores medios anteriormente citados están muy por encima de los objetivos de calidad acústica establecidos por la legislación española en materia de protección contra el ruido para edificios hospitalarios, (40 dB en periodo día y tarde, y 35 dB en periodo noche, para dormitorios, y 45 dB en periodo día y tarde, y 40 en periodo noche para zonas de estancia), y de las recomendaciones establecidas por la mayoría de las asociaciones internacionales de pediatría.

1.2. Ruido De Las Incubadoras

Los niveles de ruido dentro de las incubadoras llegan a superar los 57 dB, cuando el ruido ambiental en el exterior de la misma ni siquiera alcanza los 40 dB [7]. Algunos estudios muestran valores medios y máximos en el interior de las incubadoras de 57.0 dBA y 88.8 dBA respectivamente [3], mientras que otros muestran valores de 66.8 dBA y 84.1 dBA respectivamente [1]. También se sabe que los ruidos en el interior de la incubadora provienen fundamentalmente del motor eléctrico que acciona el ventilador, circuito de recirculación de agua, de las aperturas y cierres de las puertas de la incubadora y de las alarmas de los equipos [8].

Este hecho se ha visto corroborado por los datos obtenidos en nuestros ensayos cuando la incubadora se encuentra en un ambiente no controlado, como es su situación en la sala de la UCi pediátrica. Como se observa en la siguiente gráfica, si correlacionamos los niveles de ruido existentes en el interior de la incubadora con los presentes en la Sala (durante 24 horas), se puede comprobar 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 recomendables en todo momento. Esto se debe a que el ruido de fondo (tomado en L90 del global de la medición) en la sala es de 46,3 dBA mientras que la incubadora genera un ruido de fondo de 53,9 dBA, hecho que no permite que la afección no decazca por debajo de este umbral. Es decir, el ruido en la incubadora apenas se ve influenciado por el ruido generado en la sala, ya que su propio ruido de fondo es muy elevado

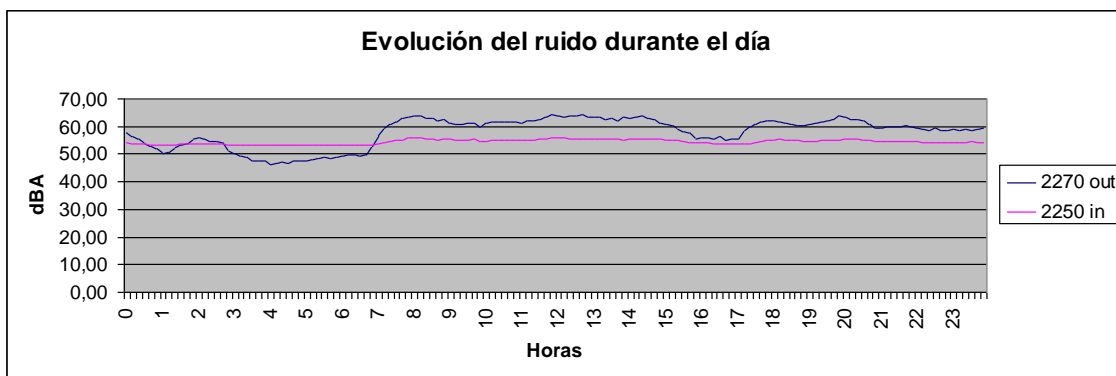


Figura 1. Evolución del ruido interior y exterior de una incubadora 24 horas en una UCIN

Así, aunque hay recomendaciones para limitar el nivel de ruido dentro de las incubadoras a 60 dB, tal es el caso de la norma AAMI/IEC para incubadoras [9][10], también existen otras recomendaciones que indican que los ruidos deben estar por debajo de 45 dB [11][12]. Varios estudios sobre el ruido, como los realizados por Academia Americana de Pediatría y por el Comité Internacional de Salud Ambiental, recomiendan que la exposición continuada de ruido

no supere los 45 dBA. El 100% de los registros del sonómetro interno (2250) superaron los 51 dBA.

La estructura uterina protege al feto de los sonidos de alta frecuencia (> 500 Hz) [13]. Para reducir los niveles de ruido en el interior de las incubadoras, en algunos trabajos de investigación se han introducido paneles absorbentes, que han supuesto un importante decremento del ruido [14][15]. Así, considerando perjudiciales los ruidos en la incubadora en alta frecuencia, las pruebas con paneles de espuma acústica han mostrado su eficacia en frecuencias de sonido ≥ 500 Hz [16]. También es necesario considerar que las bandas de frecuencias dominantes dentro de las incubadoras son diferentes a las frecuencias de sonido dentro del útero, y que altos niveles de ruido especialmente a bajas frecuencias, dentro de incubadoras puedan ser perjudiciales para el recién nacido en desarrollo [17]. Dado que se trata de una máquina eléctrica cuya frecuencia de trabajo es la de la red (50Hz), el funcionamiento de la incubadora (ventilador, termostato...) genera un ruido a muy baja frecuencia difícil de aislar con dichos paneles.

La citada reducción de los niveles de ruido gracias a los paneles absorbentes es sólo efectiva cuando el ruido en el exterior es mayor que en el interior. ¿Qué pasa cuando el ruido en el interior de la incubadora es superior al ruido en el exterior de la misma? También existen indicios de que la cubierta de la incubadora tiene beneficios en la calidad del sueño de los prematuros, fundamentalmente por su función de protección frente al sonido [18].

1.3. Objetivo

El objetivo de este trabajo se centra en el estudio de las principales fuentes de ruido asociadas a la incubadora y los efectos acústicos que se derivan de ellas. Para ello se han llevado a cabo diferentes ensayos en distintas condiciones de operación de la incubadora, discriminando la principal fuente de ruido presente en la incubadora para evaluar los niveles de ruido existentes.

2. METODOLOGÍA

2.1. Instrumentos De Medida

Para realizar las mediciones, toma de muestras necesarias y análisis de datos, se han empleado sonómetros *Brüel & Kjaer*, tipos 2260 y 2250 con registro sonoro y analizador de ruido. En todo momento se tuvieron controladas las condiciones ambientales. Asimismo, antes y después de la realización de los ensayos se procedió a la verificación de la cadena de medida mediante el calibrador 4231.

En el proceso de tratamiento de los datos se ha empleado los programas *Evaluator*, *Matlab* y el Módulo de análisis de registros para BZ-5503 de *Brüel & Kjaer*.

2.2. Procedimiento De Medida

Dado que el objetivo en esta fase de la investigación era analizar los niveles de ruido generados por la incubadora, se procedió al estudio de la principal fuente de ruido, que se encuentra integrada en la máquina y que está constituida por el motor que acciona el ventilador empleado para mantener el flujo de aire caliente en el interior del habitáculo. Para estudiar los niveles de ruido a los que estaban sometidos los neonatos se realizaron medidas en la UCIN del Hospital Puerta del Mar. Asimismo, para intentar aislar las fuentes actuantes de la incubadora, se realizaron medidas en una sala audiométrica del Hospital materno infantil de Málaga y en una sala de acústica controlada del Hospital Puerta del Mar.

Para la realización de las medidas se colocaron micrófonos en el interior y en el exterior de la incubadora (ver figura 1). Los datos se almacenaron con una frecuencia de muestreo de 48kHz y cuantificación de 24 bits. El análisis de los datos se ha realizado en tercios de octava.



Figura 2. Ensayos con la incubadora Ohmeda Care Plus 3000 funcionando en el interior de la sala de acústica controlada (izquierda) y de la cámara semianecoica (derecha).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se ha procedido al análisis de los niveles de ruido generados por la propia incubadora. Dicho análisis se ha llevado cabo para todo el espectro auditivo del ser humano, centrándose en la evaluación de las amplitudes de los niveles existentes en bajas, medias y altas frecuencias.

Para ello se estableció un protocolo de ensayos, orientado a la caracterización de la incubadora sin la influencia del ambiente sonoro externo de la UCI, con el objetivo de evaluar el origen y la naturaleza de los ruidos existentes en el interior del habitáculo de la incubadora. En este sentido se procedió a realizar una serie completa de ensayos de ruido en la sala audiométrica del Hospital de Málaga y en la cámara semianecoica de la Universidad de Málaga. Las medidas se realizaron en condiciones normales de funcionamiento de las incubadoras, con las puertas cerradas. Se analizaron tres modelos distintos de incubadora, Ohmeda Giraffe, Ohmeda Care Plus 3000 y Ohmeda Care Plus 4000, realizándose medidas con la incubadora apagada y encendida.

Con las incubadoras apagadas y sus puertas cerradas, considerando solo y exclusivamente un ruido de fondo de aproximadamente 40 dBA, las diferencias de los niveles de presión sonora registrados en todas entre el micrófono interior y el exterior no llegaron a superar los 0.4 dBA en ninguno de los modelos analizados, es decir, las diferencias fueron muy pequeñas.

Posteriormente se realizaron medidas independientes a cada modelo con la incubadora encendida y las puertas cerradas, registrándose principalmente el ruido de fondo y el del ventilador de la incubadora. La tabla 1 y la figura 2 muestran la situación que se da cuando las

incubadoras están encendidas y el ruido en el exterior es muy bajo. El nivel de presión sonora en el interior del habitáculo se ve incrementado en hasta 14 dBA respecto al del exterior, posiblemente debido a la inexistencia de acondicionamiento acústico en la incubadora, a las reflexiones que se producen en su interior y a la transmisión estructural. En el interior del habitáculo, en el modelo con condiciones más desfavorables se alcanzan valores que rondan los 55 dBA, muy superiores a la mayoría de las recomendaciones internacionales.

Tabla 1. Valores globales del ruido interior/exterior a la incubadora. Incubadora encendida. Modo silencio

Mod. Incubadora	Leq_Interior		Leq_Exterior		Diferencia (Ext-Int)	
	dB	dBA	dB	dBA	dB	dBA
GIRAFFE	58.0	55.3	48.3	41.0	-9.7	-14.3
OCP3000	57.6	53.3	42.1	39.6	-15.5	-13.7
OCP4000	53.5	50.7	42.3	40.0	-11.2	-10.7

La figura 3 muestra que los valores de ruido en el exterior de la incubadora permanecen alrededor de los 40 dBA, independientemente del modelo de incubadora. Además, de la comparación de los espectros (de las tres incubadoras) se observa que, para frecuencias ≥ 2000 Hz, los niveles de presión sonora en tercios de octava son muy similares en las tres incubadoras, y sin embargo, presentan una mayor disparidad por debajo de dicha banda de frecuencia.

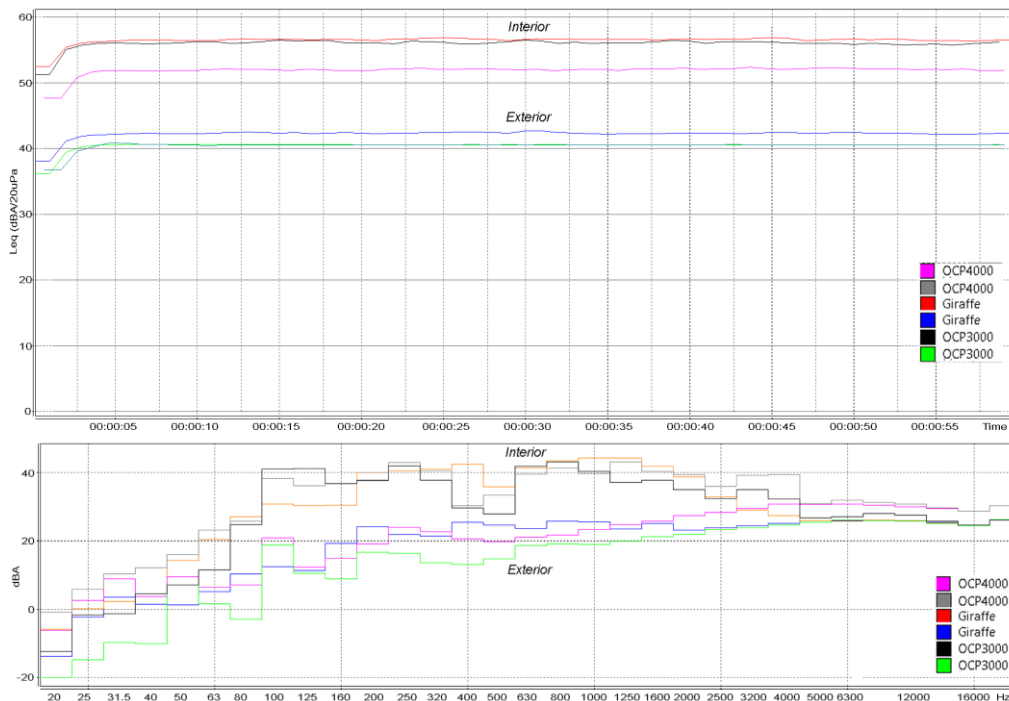


Figura 3. Evolución temporal y espectral entre los valores registrados dentro y fuera de las incubadoras en dB. Incubadora encendida, sin fuente externa, con puerta cerrada. Valores obtenidos en la Cámara semianecoica de Málaga

Posteriormente y siguiendo el procedimiento anterior se estuvieron haciendo mediciones con la incubadora Ohmeda Care Plus 3000 en una habitación con ambiente sonoro controlado del Hospital Puerta del Mar de Cádiz (es decir se midió el nivel de ruido de fondo comprobándose que éste no varía sensiblemente en ninguno de los ensayos). En estas condiciones se realizaron ensayos de los niveles de ruido existentes dentro del habitáculo.



Figura 4. Disposición del motor en el interior de la incubadora

En relación con la fuente, debemos indicar que el motor se encuentra integrado dentro de la estructura tal y como muestra en la figura 5, las características del motor son: Reliance Electric KP-E22 protegido térmicamente tipo R, a 50Hz y 1480 rpm.

La figura 5 muestra los niveles de presión sonora -LAeq (dBA)- del ruido de fondo en los primeros instantes de la medición (en verde) y el nivel alcanzado una vez encendida la incubadora (amarillo), medidos en el interior del habitáculo en una sala con ambiente acústico controlado. Cuando se enciende la incubadora se alcanza un nivel de presión sonora LAeq de 58.9dBA, con una diferencia de 22.3 dBA con respecto al ruido de fondo. Los valores de la leyenda del gráfico corresponden a los niveles instantáneos medidos durante el sonido de la alarma de la incubadora.



Figura 5. Cambio de nivel LeqA al poner en funcionamiento el motor de la incubadora.
Micrófono localizado en el interior a la incubadora

Asimismo, podemos identificar cambios sustanciales en los niveles de presión sonora correspondientes a las alarmas de la incubadora. De la comparación del espectro de la incubadora en funcionamiento con la alarma sonando (figura 6) y la alarma apagada se deduce

que la alarma supone un aumento apreciable de los valores en las bandas entre 1600 Hz y 6300 Hz, con un valor máximo de diferencia en la banda de 2000Hz de unos 19 dB.

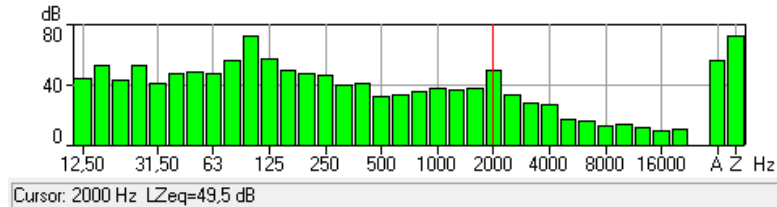


Figura 6. Espectro con la incubadora funcionando durante el sonido de la alarma, en tercios de octava.

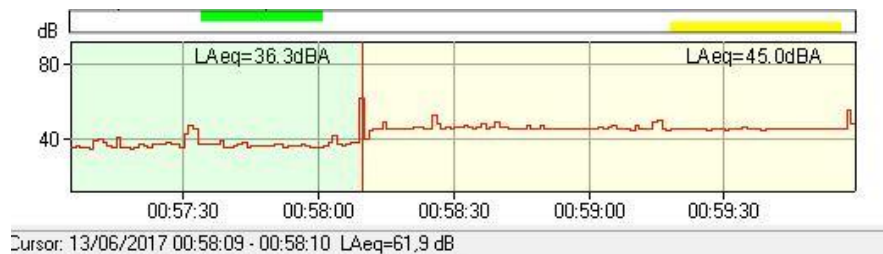


Figura 7. Nivel de presión sonora ponderado A LAeq (dBA) con el motor de la incubadora apagado (tramo verde) y encendido (tramo amarillo),

La figura 7 muestra los niveles de presión sonora medidos en la sala controlada, medido en el exterior, con la incubadora apagada (verde) y tras el encendido de la misma (amarillo). Los valores de la leyenda del gráfico son niveles medidos durante el sonido de la alarma de la incubadora (61,9 dB). La diferencia entre los niveles de encendido y apagado, aunque no es tan acusada como en el interior de la incubadora, ronda los 9 dBA, con un nivel de presión sonora de 45 dBA con la incubadora encendida. Si lo comparamos con la diferencia de valores medida en el interior de la misma, estos son mayores dada la proximidad de la fuente generadora de ruido, la naturaleza de los materiales y las soluciones de unión entre los mismos que fomentan la reflexión y la transmisión estructural del ruido.

Además, la diferencia entre el exterior y el interior de la incubadora una vez encendido el motor (ver figura 5 y figura 7) es de unos 13.9 dBA, valor muy similar a la diferencia de valores en sala audiométrica de 13.7 dBA para el modelo de incubadora bajo estudio (ver tabla 1).

4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que, cuando la incubadora está en funcionamiento, en el interior del habitáculo de la incubadora se alcanzan niveles de 55.3 dBA, muy superiores a las mayoría de las recomendaciones internacionales.

Como ejemplo de la conclusión del párrafo anterior, resulta además destacable que en todos los casos estudiados, el ruido en el interior de la incubadora es mayor al del exterior, llegándose a superar en 14 dBA. Así mismo, el simple encendido del motor de ventilación para mantener las

condiciones ambientales dentro de la incubadora, supone un incremento de al menos 22 dBA en el interior del habitáculo y de 9 dBA en el exterior.

Por otra parte, el ruido de la alarma alcanza niveles aproximados de 65 dBA, y suponen un incremento con respecto al ruido de sistema de ventilación que se concentra en bandas altas de frecuencia, entre 1600 Hz y 6300 Hz, con una diferencia máxima de 19 dB respecto al ruido generado por el motor de la incubadora en la banda de 2000 Hz.

A la vista de los resultados obtenidos, en esta fase de la investigación, podemos concluir que, dados los altos niveles de ruido existentes de manera continua en el interior de la incubadora, la influencia de los niveles de ruido existentes en las salas neonatales tiene muy poca o incluso ninguna incidencia sobre el ambiente acústico en el interior del habitáculo. Lo que nos lleva a plantear la necesidad de establecer propuestas de mejora del diseño de la propia incubadora, orientadas a disminuir la influencia de la principal fuente de ruido y a la mejora del acondicionamiento acústico de la incubadora.

REFERENCIAS

- [1] Stennert, E; Schulte, Fj; Vollrath, M. Incubator Noise and Hearing-Loss. EARLY HUMAN DEVELOPMENT. Vol.1, Num.1, Pag.113-115. 1977.
- [2] Barreto, E et al. Do former preterm infants remember and respond to NICU. EARLY HUMAN DEVELOPMENT. Vol.82, Num.11, Pag.703-707. 2006.
- [3] Fortes-Garrido, JC et al. The characterization of noise levels in a neonatal intensive care unit and the implications for noise management. JEHSE. Vol.12, Num.104. 2014.
- [4] ELANDER, G; HELLSTROM, G. Reduction of noise levels in intensive care units for infants: Evaluation of an intervention program. HEART & LUNG. Vol.24, Num.5, Pag.376-379. 1995.
- [5] Bremmer, P; Byers, JF; Kiehl, E. Noise and the premature infant: Physiological effects and practice implications. JOGNN-JOURNAL OF OBSTETRIC GYNECOLOGIC AND NEONATAL NURSING. Vol.32, Num.4, Pag.447-454. 2003.
- [6] Rodarte, M; Scochi, C; Leite, A; Fujinaga, C; Zamberlan, N; Castral, T. Noise generated during incubator manipulation: implications for nursing care. REVISTA LATINO-AMERICANA DE ENFERMEDADES. Vol. 13, Num.1, Pag.7, 9-85. 2005.
- [7] Plangsangmas, V; Leeudomwong, S; Kongthaworn, P. Sound Pressure Level in an Infant Incubator. MAPAN-JOURNAL OF METROLOGY SOCIETY OF INDIA. Vol.27, Num.4, Pag. 199-203. 2012.
- [8] Peixoto, PV; Balbino, FS; Pinheiro, VCEM; Kakehashi, TY. Internal noise levels in neonatal intensive care unit incubators. ACTA PAULISTA DE ENFERMAGEM. Vol.24, Num.3, Pag. 359-364. 2011.
- [9] ANSI/AAMI/IEC 60601-2-19:2009. Medical Electrical Equipment — Part 2-19: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant incubators.
- [10] Guía Tecnológica No. 4: Incubadora Neonatal (2004). (GMDN 12113). Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. CENETEC, SALUD.
- [11] Lindvall Thomas, Berglund Birgitta, Bradley John and Jansen Gerd. GUIDELINES FOR COMMUNITY NOISE. World Health Organization. 1995.
- [12] American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. Noise: A hazard for the fetus and newborn. PEDIATRICS. 1997; 100:724–727.
- [13] Kellam, B; Bhatia, J. Effectiveness of an acoustical product in reducing high-frequency sound within unoccupied incubators. JOURNAL OF PEDIATRIC NURSING. Vol. 24, Num. 4, Pag. 338-43. 2009.
- [14] Altuncu, E; Akman, I; Kulekci, S; Akdas, F; Bilgen, H; Ozek, E. Noise levels in neonatal intensive care unit and use of sound absorbing panel in the isolette. INTERNATIONAL JOURNAL OF PEDIATRIC OTORHINOLARYNGOLOGY. Vol.73, Num.7, Pag.951-953. 2009.

- [15] Wubben, SM; Brueggeman, PM; Stevens, DC; Helseth, CC; Blaschke, K. The sound of operation and the acoustic attenuation of the Ohmeda Medical Giraffe OmniBed (TM).
- [16] Kellam, B; Bhatia, J. Sound spectral analysis in the intensive care nursery: measuring high-frequency sound. JOURNAL OF PEDIATRIC NURSING. Vol.23, Num.4, Pag.317-23. 2008.
- [17] Marik, PE; Fuller, C; Levitov, A; Moll, E. Neonatal incubators: A toxic sound environment for the preterm infant? PEDIATRIC CRITICAL CARE MEDICINE. Vol.13, Num.6, Pag. 685-689. 2012.
- [18] Hellstrom-Westas, L; Inghammar, M; Isaksson, K; Rosen, I; Stjernqvist, K. Short-term effects of incubator covers on quiet sleep in stable premature infants. ACTA PEDIATRICA. Vol.90, Num.9, Pag. 1004-1008. 2001.