

## DIAGNÓSTICO DEL RUIDO EN EL INTERIOR DE INCUBADORAS NEONATALES EN CONDICIONES DE CAMPO LIBRE:

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

Ricardo Hernández-Molina<sup>1</sup>, Víctor M. Rodríguez-Montaña<sup>1</sup>; Juan Luis Beira Jiménez<sup>1</sup>; Virginia Puyana-Romero<sup>1,2</sup>; José Luis Cueto-Ancela<sup>1</sup>; Francisco Fernández Zacarías<sup>1</sup>

[ricardo.hernandez@uca.es](mailto:ricardo.hernandez@uca.es); [victor.rodriguez@uca.es](mailto:victor.rodriguez@uca.es); [jluis.beira@uca.es](mailto:jluis.beira@uca.es); [virginia.puyana@uca.es](mailto:virginia.puyana@uca.es); [joseluis.cueto@uca.es](mailto:joseluis.cueto@uca.es); [francisco.fernandez@gm.uca.es](mailto:francisco.fernandez@gm.uca.es).

[1] Laboratorio de ingeniería Acústica, Universidad de Cádiz, Cádiz, España; Edificio CASEM; Campus de Puerto Real; Universidad de Cádiz; Avda de la Universidad de Cádiz s/n; 11515 Puerto Real, Cádiz. Teléfonos: + 34 956 019108

[2] Grupo de Investigación de Ambientes Acústicos, Departamento de Ingeniería del Sonido y Acústica, Campus Granados, Universidad de las Américas, Quito 170125, Ecuador:

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

### ABSTRACT.

The study aims to diagnose the sound pressure levels inside the incubators. In a controlled environment under free field conditions. The tests have been carried out in a semi-anechoic chamber under the standard: UNE-EN ISO 3745:2012/A1:2018, in three different operating modes: Stopped situation, normal operation, and operation with a temperature alarm. Sound pressure levels were analyzed in three different models of incubators, both inside and outside. The main noise indices analyzed are  $L_{eq, T}$  and  $L_{k,eq, T}$  in thirds of an octave. The latter indicates the noise transmitted by the elements of the incubator to the interior of the enclosure where the premature newborn is. The results obtained show variations between the different models of incubators, although globally they are high values (around 56/60 dBA) under normal conditions. The influence of the alarm can considerably worsen these data. The values obtained show that premature newborns are exposed to noise levels above international recommendations. This work is part of the Project: "Design and improvement of the acoustic comfort of neonatal incubators; Neonatal Incubators Comfort Acoustic Class (NICA +)". within the scope of the Andalusian Plan of Research, Development, and Innovation (PAIDI 2020). Ref: ID: 6018 File Nº: 1157205.

### RESUMEN.

El estudio tiene como objetivo diagnosticar los niveles de presión sonora en el interior de las incubadoras, en condiciones de campo libre. Los ensayos se han realizado en cámara semianecoica bajo la norma: UNE-EN ISO 3745:2012/A1:2018, en tres modos de funcionamiento diferentes: Situación parada, funcionamiento normal y con alarma de temperatura. Se han analizado los niveles de presión sonora, tanto en el interior como en el exterior, en tres modelos diferentes de incubadoras. Los principales índices de ruido analizados son  $L_{eq, T}$  y  $L_{k,eq, T}$  en tercios de octava. Los resultados obtenidos muestran variaciones entre los diferentes modelos de incubadoras, aunque globalmente son valores elevados (alrededor de 56/60 dBA) en condiciones normales. La influencia de la alarma puede empeorar considerablemente estos datos. Los valores obtenidos muestran que los recién nacidos prematuros, en condiciones normales de uso de la incubadora, están expuestos a niveles de ruido por encima de las recomendaciones internacionales. Este trabajo se enmarca en el Proyecto: "Diseño y mejora del confort acústico de incubadoras neonatales; Incubadoras Neonatales Clase Confort Acústica (NICA+)", en el ámbito del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI 2020). Ref: DNI: 6018 Nº Expediente: 1157205.

## 1. INTRODUCCIÓN

Basándonos en una revisión bibliográfica podemos afirmar que los niveles de presión sonora existentes en las unidades de cuidados intensivos (UCIN), si bien son consideradas espacios de especial protección acústica, suelen ser mayores que los que pueden darse en otro tipo de entornos [1]. El entorno sonoro de la UCIN es ruidoso y contiene ruidos molestos de corta duración y a intervalos irregulares que a menudo exceden el nivel máximo aceptable de 45 decibelios (dB), recomendado por la Academia Estadounidense de Pediatría [2]. La discapacidad auditiva se diagnostica en el 2% al 10% de los bebés prematuros frente al 0,1% de la población pediátrica general [3].

En estudios realizados en tres UCIN urbanas en Estados Unidos [4], se comprobó que los niveles de ruido estaban por encima del nivel de 45 dB recomendado por la Academia Estadounidense de Pediatría y, a menudo, por encima de los 50 dB, que no debe excederse más del 10% del tiempo, superando valores máximos recomendados de 65 dB. En periodos nocturnos los valores superaron los recomendados por la Agencia de Protección Ambiental (35 dB) para hospitales.

Las diferentes recomendaciones internacionales se elaboran con el objeto de promover la atención al problema de la exposición insegura al sonido en el desarrollo temprano, no obstante el seguimiento real de estas es muy bajo. El Grupo de estudio sobre la unidad de cuidados intensivos neonatales (Sound Study Group) [5] emite las principales recomendaciones destinadas a abordar el problema de la exposición elevada y/o sostenida al sonido en el desarrollo temprano. Entre ellas nos gustaría destacar dos: Las unidades de cuidados intensivos infantiles deben incorporar un sistema de evaluación regular del ruido.  $L_{eq}$  de 50 dB(A), un  $L_{10}$  por hora de 55 dB(A) y un  $L_{máx}$  de 1 segundo a 70 dB(A), todos con ponderación A, en la escala de respuesta lenta. Por tanto las unidades de cuidados intensivos infantiles deben desarrollar y mantener un programa de control y reducción del ruido para operar dentro de los criterios de ruido permisible recomendados. En la actualidad, estas guías junto con las realizadas por la Academia Estadounidense de Pediatría [6] son referenciadas internacionalmente en el cuidado de fetos y lactantes [7]

La exposición al sonido puede tener efectos beneficiosos y perjudiciales para el feto en desarrollo y el bebé prematuro [8]. La exposición al sonido es una forma necesaria y constante de estimulación sensorial en el feto en desarrollo y el bebé prematuro. Aunque la aplicación de la fuente de sonido en el abdomen materno no aumenta el nivel de sonido en el útero [9] tan solo un rango estrecho de frecuencias llega al feto. Sin embargo, el sonido intenso y sostenido tiene serias implicaciones para el desarrollo vascular y el cerebro del feto y del bebé prematuro con efectos fisiológicos y conductuales negativos [10]. No obstante, en la actualidad, se siguen utilizando prácticas que someten a fetos y bebés prematuros a niveles de sonido potencialmente dañinos [11], [12]. Concretamente en los Estados Unidos, los informes recientes de los niveles de sonido en las UCIN van desde un  $L_{eq}$  de 50 dBA a 89,5 dBA con picos (o  $L_{max}$ ) de 105 dBA [13, 14, 15]

El feto tiene una ventaja de desarrollo sobre el bebé prematuro porque los tejidos del abdomen y el útero maternos filtran la mayoría de los sonidos de alta frecuencia y atenúan o reducen los niveles de ruido (dB) hasta en 20 a 35 dB [16]. El rango de frecuencia normal que puede escuchar un adulto está entre 20 y 20 000 Hertz (Hz) [17]; sin embargo, el feto más joven (hasta las 27 semanas de gestación) oye predominantemente frecuencias más bajas (por debajo de 500 Hz) y probablemente no pueda detectar frecuencias superiores a 500 Hz hasta las 29 semanas debido al filtrado de los tejidos maternos [16].

Los estudios en humanos y no humanos han demostrado que la estimulación auditiva excesiva [18] crea respuestas fisiológicas negativas, y puede estar relacionada con deficiencias auditivas, anomalías cromosómicas, niveles elevados de cortisol, niveles reducidos de lactógeno, desarrollo anormal del cerebro y los sentidos, problemas del habla y del lenguaje y comportamiento social anormal después del nacimiento [19]

Por otro lado, sabemos que los dispositivos eléctricos generales y los sistemas de ventilación generan ruido de baja frecuencia  $<100$  Hz. Estudios previos muestran que la exposición a bajas frecuencias causa alteraciones del equilibrio en humanos y ratones durante la edad adulta [20]. De hecho los efectos fisiológicos y psicológicos no auditivos pueden ser causados por niveles de ruido de baja frecuencia por debajo del umbral auditivo individual [21]. Por lo tanto, es posible que los recién nacidos tengan un riesgo potencial de exposición a las bajas frecuencias en la UCIN. Sin embargo, no se ha estudiado suficientemente los riesgos potenciales de la exposición niveles de ruido de baja frecuencia [22] de los neonatos y los posibles efectos adversos en la salud de los recién nacidos, de ahí la importancia del tratamiento frecuencial de los niveles de exposición al que están sometidos.

Las estructuras uterinas protegen al feto de los sonidos de alta frecuencia (es decir,  $>500$  Hz). Los bebés prematuros no están protegidos del sonido  $>500$  Hz [23]. Es necesario evaluar las frecuencias del sonido para proteger a los bebés prematuros del sonido de alta frecuencia. Sin embargo, no es frecuente realizar estudios de medición de ruido utilizando análisis espectral de sonido. Los resultados obtenidos en dos unidades de cuidados intensivos neonatales (UCIN) de nivel III, indicaron que existía un sonido significativo de alta frecuencia dentro del entorno de atención inmediata del bebé.

Sin embargo, los bebés prematuros no tienen esa protección [2]. Sin la protección de las estructuras uterinas, los bebés prematuros están expuestos a todo el espectro de frecuencias en una etapa de desarrollo para la cual el sistema auditivo no está preparado [21]. Por ejemplo, los estímulos anormales afectan negativamente la arborización normal de las conexiones neuronales en todo el sistema auditivo central y periférico de los bebés prematuros. Por ello, es importante conocer las frecuencias de ruido a las que están expuestos.

El análisis de los niveles de sonido generados y emitidos por las incubadoras es el objetivo principal de este trabajo. El análisis de espectros de banda de tercio de octava y su comparación con las respuestas humanas conocidas causadas por los niveles y frecuencias medidos podría ayudar a evaluar los riesgos para la salud [24]. En nuestro caso, se analizaron los niveles de ruido emitidos por tres tipos diferentes de Incubadoras, en diferentes modos de funcionamiento, en el interior de una sala anecoica, tanto dentro como fuera de la cabina neonatal. De esta manera podemos comprobar el ambiente sonoro generado por las incubadoras en estos dos entornos tan diferentes: lo que aporta al interior de la cabina neonatal y lo que aporta al entorno externo circundante en condiciones de campo libre controladas.

La principal característica del campo libre, en acústica es que es una situación en la que el sonido no se refleja. Ello quiere decir que cualquier sonido generado dentro del campo libre, está completamente determinado por el oyente o un micrófono, dado que recibe el sonido directo de la fuente de sonido [25] porque se recibe a través del sonido directo de la fuente de sonido. Esto hace que el campo libre sea un campo de sonido directo. En condiciones de laboratorio una sala de campo libre, es una sala cuyas paredes, techo y piso están revestidos con materiales que absorben el sonido para minimizar todos los reflejos del sonido, también conocida como sala anecoica [26].

Los resultados obtenidos los podemos cotejar con las recomendaciones internacionales y con otros previos realizados in situ en las unidades de cuidados intensivos neonatales.

## **2. METODOLOGIA.**

### **2.1 Instrumentación empleada**

Para llevar a cabo las medidas se han utilizado los sonómetros: 2270 y 2250 y el calibrador modelo 4231 de Brüel & Kjaer. Antes de realizar las mediciones, todo el equipo fue previamente verificado y calibrado. En todos los casos se tomaron los datos de las condiciones ambientales: Temperatura, presión y humedad, en ambas cámaras.



Los datos registrados se procesaron empleando el software Evaluator Type 7820 de Brüel & Kjaer, con la aplicación BZ7225 Versión 4.7.4 y Microsoft Excel.

## 2.2. Procedimiento de medida

Por tanto, las pruebas se realizan en incubadoras desocupadas, ubicadas en la cámara semianecoica que proporciona condiciones de medida en campo libre conforme la Norma UNE-EN ISO 3745:2012/A1:2017 y tiene una frecuencia de corte mínima de 50 Hz. Para realizar los ensayos se colocaron micrófonos dentro (modelo 2270) y fuera (modelo 2250) de la incubadora. El análisis de datos se ha realizado en tercios de octava.

Se estableció un protocolo de prueba, encaminado a caracterizar las incubadoras dentro de la cámara semianecoica. Para ello las incubadoras se colocaron en el centro de las cámaras, se definieron cuatro posiciones de medida situadas a 1 m de distancia de las incubadoras y a una altura de 1,5m. En el interior de la incubadora se instaló un micrófono (modelo 2270) en una posición fija dirigida al lugar donde reposa la cabeza del neonato. En el exterior se colocó un micrófono (modelo 2250), que se cambiaba de posición en cada ensayo (posiciones 1A, 1B, 1C y 1D). Las mediciones se realizaron de manera simultánea en cada uno de los puntos definidos. El tiempo de medición en cada punto (para todos los casos) fue de 1 minuto.

Los valores que se registraron, fueron:  $L_{Aeq,Ti}$ ,  $L_{Ceq,Ti}$ ,  $L_{Aeq,Ti}$ ,  $L_{Aeq,Ti}$ ,  $L_{Ceq,Ti}$ ,  $L_{Aeq,Ti}$ ,  $L_{AFmax}$ ,  $L_{AFmin}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ , y el  $L_{90}$ . Se obtuvieron los valores en bandas de frecuencia en tercios de octava, de 12,5 Hz a 20 KHz. Con estos datos, se estimó la presencia de componentes por baja frecuencia, tonales e impulsivos, lo que nos permite calcular el nivel continuo equivalente corregido  $L_{K_{eq,Ti}}$

El empleo de los percentiles ( $L_{10}$ ,  $L_{50}$ , y el  $L_{90}$ ), junto con el  $L_{K_{eq,Ti}}$ , está justificado dado que son indicadores que reflejan la molestia y los efectos nocivos inherentes a sonidos con presencia de componentes tonales, impulsivos o de baja frecuencia.

Las tres incubadoras se midieron en diferentes condiciones de ensayo, situación de incubadora parada con el objeto de obtener el ruido de fondo existente fuera y dentro de la incubadora. Situación de incubadora funcionando con el objeto de obtener los valores de presión sonora tanto el interior como en el exterior de la incubadora. Situación de incubadora funcionando con la influencia de la alarma de temperatura.

Modelos de incubadoras: Los modelos de incubadoras, han sido proporcionados por el servicio neonatal de la unidad de cuidados intensivos del Hospital Universitario "Puerta del Mar" de Cádiz y fueron: La Incubadora OHMEDA OHIO, Care Plus; la Incubadora DRÄGER Caleo; la Incubadora OHMEDA GIRAFFE [figuras 1,2 y3]



Figura1: Incubadora OHMEDA OHIO, Care Plus



Figura2: Incubadora DRÄGER

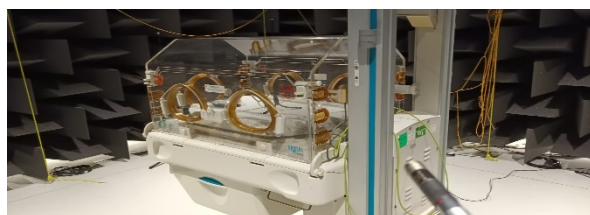


Figura3: Incubadora OHMEDA

## 3. RESULTADOS:

En el análisis de los datos, queremos indicar que se ha tomado el valor del  $L_{Aeq,Ti}$ , de mayor nivel de los obtenidos en las cuatro posiciones del micrófono exterior, para el ruido de fondo se ha tomado el valor del  $L_{Aeq,Ti}$ , de menor nivel de los obtenidos en las cuatro posiciones del micrófono exterior.

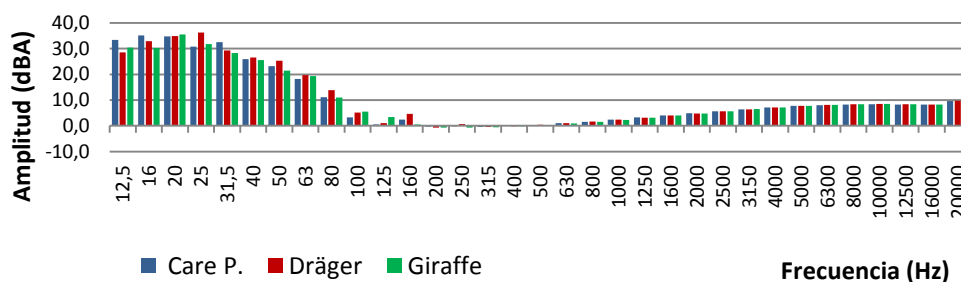
### 3.1. Situación de incubadora parada.

Con el objeto de obtener el ruido de fondo existente fuera y dentro de la incubadora, se midieron en situación de “parada” los tres modelos de incubadora, situados en el interior de la cámara semianecoica. Los resultados se muestran en la siguiente tabla [Tabla 1]. Podemos observar que en cuanto a ruido de fondo las diferencias son muy pequeñas. De media se obtiene un valor de  $L_{Aeq,Ti}$ , de 18 dBA en el exterior y de 17 dBA en el interior.

**Tabla 1.** Incubadoras paradas (Ruido de fondo): Cámara Semianecoica e interior de incubadora.

Modelo de incubadora	Exterior (2250) dBA								Interior (2270) dBA							
	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{Ceq,Ti}$	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{AFmax}$	$L_{AFmin}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{Ceq,Ti}$	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{AFmax}$	$L_{AFmin}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$
01 Care Plus Rever	17,8	35	17,8	18,2	17,5	17,9	17,5	17,1	17,7	42,7	18,9	27,6	16,5	17,8	17	16,2
02 Dräger Medical	17,8	35,7	17,8	18,8	17,5	18,0	17,8	17,6	16,9	36,6	17,1	19,9	16,5	17,1	16,8	16,6
03 Giraffe	17,8	34,0	17,8	18,4	17,5	18,0	17,8	17,6	17,0	34,3	17,1	19,1	15,8	17,2	17,0	16,8

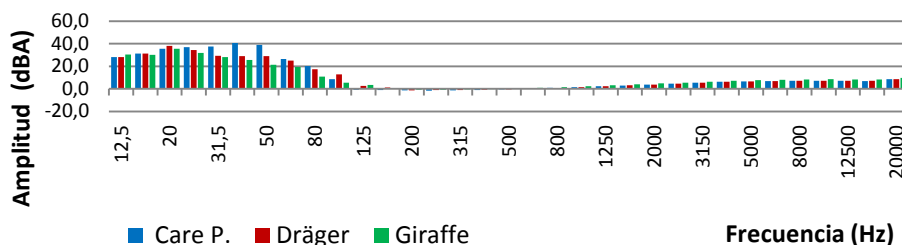
En las siguientes gráficas [Figuras 1 y 2] podemos observar los valores obtenidos en tercio de octava.



**Figura 1.** Incubadoras paradas para las cámaras semianecoicas (Ruido de fondo): Cámara semianecoica.

Semianecoica.

Las condiciones de ruido de fondo obtenidas durante los distintos ensayos han sido similares a partir de la frecuencia de 200 Hz, sin embargo, a las frecuencias inferiores y debido a las características físicas de la propia cámara semianecoica, estas pueden variar mínimamente de un ensayo a otro. Teniendo en cuenta la frecuencia de corte declarada en la propia cámara, se podría relacionar el efecto antes comentado con esta característica.



**Figura 2.** Incubadoras paradas (Ruido de fondo): interior de incubadora.

Interpretando la gráfica, en estas condiciones de medición, se observa que los niveles de presión sonora en tercio de octavas son muy parecidos a los reflejados en la cámara semianecoica, atenuados por los paramentos que conforman el habitáculo de la incubadora.

### 3.2. Situación de incubadora funcionando

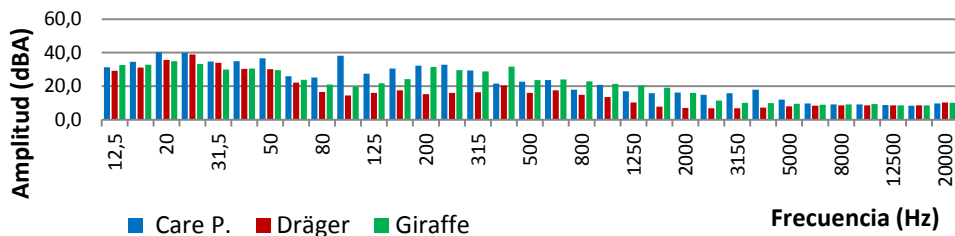
Con el objeto de obtener los valores de presión sonora tanto el interior como en el exterior de la incubadora, se midieron en situación de “funcionando” cada uno de los tres modelos de incubadora, situados en el interior de la cámara semianecoica. En estas condiciones los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla [Tabla 2].

**Tabla 2.** Incubadoras funcionando: Cámara Semianecoica e interior de incubadora.

Modelo de incubadora	Exterior (2250) dBA								Interior (2270) dBA							
	L <sub>Aeq,Ti</sub>	L <sub>Ceq,Ti</sub>	L <sub>Aleg,Ti</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFmin</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>90</sub>	L <sub>Aeq,Ti</sub>	L <sub>Ceq,Ti</sub>	L <sub>Aleg,Ti</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFmin</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>90</sub>
01 Care Plus Rever	31,9	44,3	32,9	33,3	30,4	32,8	32,0	31,2	55,2	69,7	56,2	56,9	53,7	55,9	55,5	55,1
02 Dräger Medical	23,7	38,6	24,3	24,8	22,8	24,1	23,7	23,3	48,8	54,8	49,8	50,3	47,5	49,3	48,8	48,3
03 Giraffe	32,6	40,1	33,3	33,6	32,1	33,0	32,6	32,1	56,3	63,2	56,9	57,2	55,2	56,7	56,3	55,9

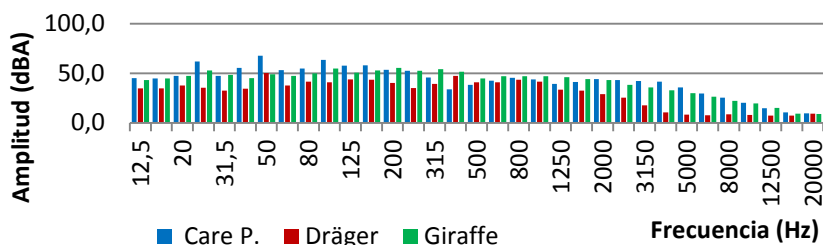
Si observamos los resultados obtenidos, podemos comprobar que en modelo Giraffe es donde se han obtenido los valores de presión sonora (Nivel continuo equivalente ponderado A L<sub>Aeq,Ti</sub>) más elevados medidos en el interior del recinto del neonato con 56,3 dBA. Siendo esta incubadora la que también aporta mayor nivel de ruido al exterior 32,6 dBA. En estas condiciones el modelo Dräger es el que ha presentado los niveles más bajos, por debajo de los 50 dBA en el interior del recinto y con una emisión al exterior de 23,7 dBA.

En las siguientes gráficas [Figuras 3 y 4] podemos observar los valores obtenidos en tercio de octava.



**Figura 3.** Incubadoras funcionando: Cámara Semianecoica.

Cuando la incubadora se encuentra funcionando, se observa que los niveles de presión sonora en tercio de octavas tienen diferentes comportamientos según el modelo de incubadora, principalmente en el rango de 100 Hz a 4 kHz. La incubadora Dräger Medical no aporta tanta emisión sonora al entorno como los otros dos modelos. La incubadora Care Plus muestra un peor comportamiento acústico frente a los otros modelos analizados en valores de frecuencia comprendidos entre los 100 Hz y 250 Hz y entre los 3,15 kHz y 5 kHz, sin embargo, en el rango de frecuencia comprendido entre los 400 Hz y 1,6 kHz la que peor comportamiento acústico ofrece es la incubadora Giraffe.



**Figura 4.** Incubadoras funcionando: interior de incubadora.

Interpretando la gráfica, en estas condiciones de medición, se observa que los niveles de presión sonora en tercio de octavas tienen diferentes comportamientos según el modelo de incubadora, la incubadora Dräger Medical tiene en general un comportamiento mejor a los otros dos modelos analizados. Al igual que en el caso anterior, se observa un peor

comportamiento acústico en el interior del habitáculo de la incubadora Care Plus en valores de frecuencia comprendidos entre los 25 Hz y 160 Hz y entre los 2,5 kHz y 6,3 kHz. Sin embargo, en el rango de frecuencia comprendido entre los 315 Hz y 1,6 kHz la incubadora Giraffe aporta un mayor aporte sonoro.

### 3.3. Situación de incubadora funcionando con la influencia de la alarma de temperatura.

Con el objeto de analizar la influencia de la presencia de alarmas tanto en el interior como en el exterior de la incubadora, se midieron cada uno de los tres modelos de incubadora, situados en el interior de la cámara semianecoica. En estas condiciones los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla [Tabla 3].

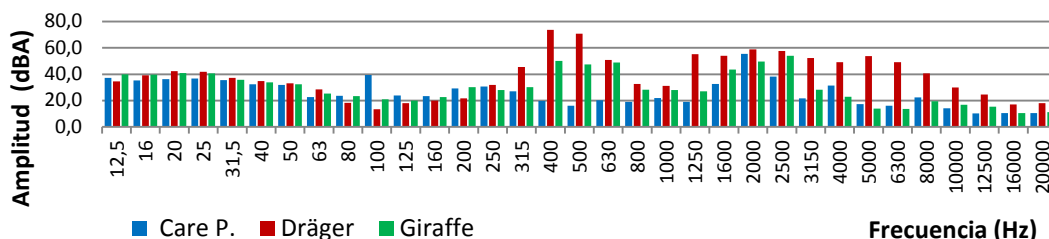
**Tabla 3.** Incubadoras funcionando + Alarma por temperatura: Cámara Semianecoica e interior de incubadora.

Modelo de incubadora	Exterior (2250) dBA								Interior (2270) dBA							
	L <sub>Aeq,Ti</sub>	L <sub>Ceq,Ti</sub>	L <sub>Aleg,Ti</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFmin</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>90</sub>	L <sub>Aeq,Ti</sub>	L <sub>Ceq,Ti</sub>	L <sub>Aleg,Ti</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFmin</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>90</sub>
01 Care Plus Rever	56,6	55,5	63,6	65,2	29,9	56,9	56,5	56,1	59,1	71,8	62,4	64,1	55,7	59,9	59,5	59,1
02 Dräger Medical	72,6	76,0	78,2	79,9	22,7	78,1	51,8	23,5	58,4	62,3	66,3	68,8	47,6	61,1	50,8	48,6
03 Giraffe	58,0	58,0	64,3	64,3	31,0	62,0	56,9	31,7	56,6	63,2	57,5	58,0	54,9	57,2	56,7	55,8

Si observamos los resultados obtenidos, podemos comprobar que el modelo Care Plus es donde se han obtenido los valores de presión sonora (Nivel continuo equivalente ponderado A L<sub>Aeq,Ti</sub>) más elevados medidos en el interior del recinto del neonato con 59,1 dBA. Sin embargo la que aporta mayor nivel de ruido al exterior es el modelo Dräger con 72,6 dBA, ello se debe a la disposición de esta alarma en esa incubadora.

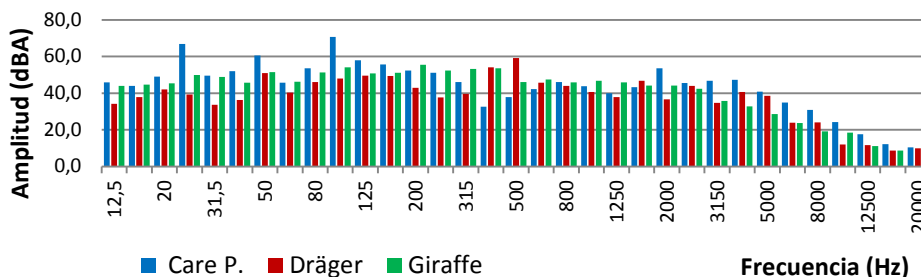
En esta situación el modelo de incubadora que aporta un menor nivel de presión sonora al interior del recinto del neonato es la Giraffe. Este hecho puede ser debido a la disposición de la alarma y sus características acústicas, las cuales son diferentes en cada una de ellas. No obstante los valores obtenidos siguen siendo muy elevados y se encuentran por encima de las recomendaciones internacionales.

En las siguientes gráficas [Figuras 5 y 6] podemos observar los valores obtenidos en tercio de octava.



**Figura 5.** Incubadoras funcionando + Alarma por temperatura: Cámara Semianecoica.

En estas condiciones en las que la incubadora está en funcionamiento y la alarma por temperatura sonando, la incubadora Dräger Medical aporta una mayor amplitud sonora al exterior frente a los otros dos modelos de incubadoras analizados, tanto en medias como en altas frecuencias. Es en este caso, en el cual la incubadora Care Plus produce un menor aporte sonoro.



**Figura 6.** Incubadoras funcionando

do + Alarma por temperatura: interior de incubadora.

Sin embargo, si se observa la figura anterior, los niveles de presión sonora en tercios de octavas medidos en el interior del habitáculo de los diferentes modelos de incubadoras analizadas, tienen comportamientos muy similares.

### 3.4. Estimación de la presencia de componentes por baja frecuencia, tonales e impulsivos [4], Cálculo del nivel continuo equivalente corregido $L_{K_{eq,Ti}}$

El índice de ruido  $L_{K_{eq,Ti}}$ , representa el nivel continuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq,Ti}$ ) corregido por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo. La presencia de estos componentes permite evaluar la molestia o los efectos nocivos asociados a los niveles de presión sonora [5]. Si bien su uso generalizado está pensado en la evaluación de actividades o instalaciones, creemos que es adecuada su aplicación a este estudio, dado que la fuente que lo genera es una incubadora neonatal y la persona que puede verse afectada por los niveles generados por el funcionamiento de este equipo es el propio neonato [6].

Debemos tener en cuenta que un sonido con el mismo nivel de presión sonora, puede llegar a ser más nocivo o molesto según su naturaleza [7], la cual se puede definir por la presencia de estos componentes asociados a la misma.

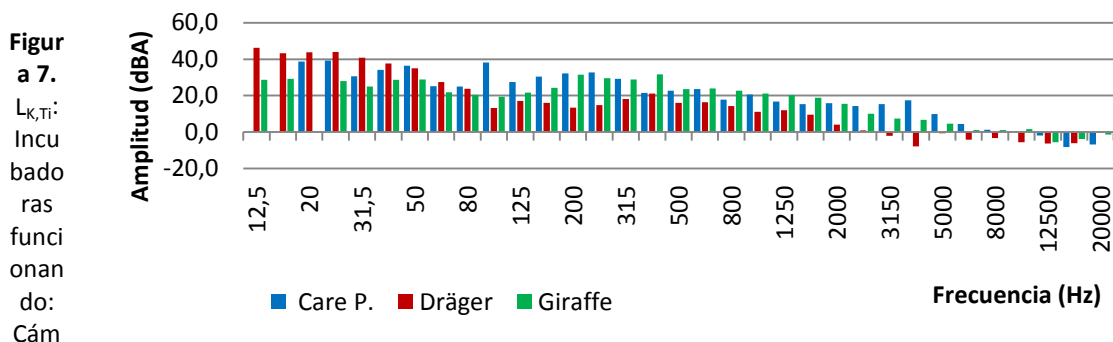
En el cálculo del  $L_{K_{eq,Ti}}$ , es importante previamente corregir el  $L_{Aeq,Ti}$ , por el ruido de fondo existente en el momento del ensayo. Una vez obtenido los valores en tercio de octava se procede al análisis para determinar si para cada uno de esos valores hay presencia de componentes tonales emergentes, de baja frecuencia o de carácter impulsivo. En caso positivo es necesario penalizar, entre 3 y 6 dBA, el valor correspondiente al el nivel continuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq,Ti}$ ), conforme a los procedimientos indicados en la normativa correspondiente [4].

Nos centraremos en el análisis de la incubadora en la que se han observado valores más altos del  $L_{K_{eq,Ti}}$ . En estas condiciones los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla [Tabla 4].

Modelo de incubadora	Exterior (2250) dBA							Interior (2270) dBA						
	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{Ceq,Ti}$	$L_{Aleg,Ti}$	Kt	Kf	Ki	$L_{K_{eq,Ti}}$	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{Ceq,Ti}$	$L_{Aleg,Ti}$	Kt	Kf	Ki	$L_{K_{eq,Ti}}$
01 Care Plus Reve	31,7	43,8	32,8	6,0	3,0	0,0	41	56,1	69,0	57,9	6,0	3,0	0,0	65
02 Dräger Medical	23,0	45,4	23,7	6,0	6,0	0,0	35	48,8	54,7	49,7	6,0	0,0	0,0	55
03 Giraffe	32,4	38,9	33,1	3,0	0,0	0,0	35	56,3	63,2	56,9	6,0	0,0	0,0	62

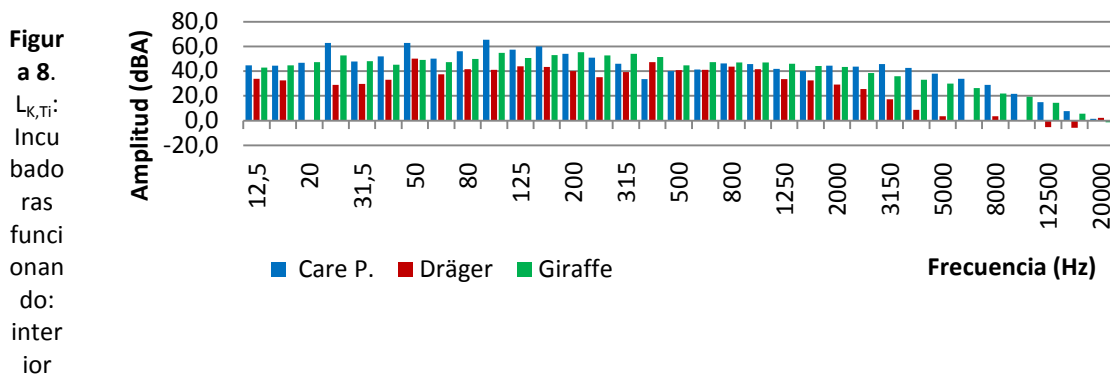
[Tabla 4]: Incubadoras (Lk) Cámara Semianecoica

En el caso de la incubadora modelo Care Plus [Figuras 7 y 8], se observaron la presencia de componentes tonales en las bandas de 100 Hz (38,2 dBA), 630 Hz (23,6 dBA), 1 KHz (20,6 dBA) y 10 KHz (01 dBA) medida en el exterior de la incubadora. Siendo la más significativa la de 100 HZ correspondiente al espectro de baja frecuencia comprendido entre los 20 y 125 Hz. Ello implica que el sonido puede ser más molesto o nocivo que si no existiera este componente en baja frecuencia. También se detectó la presencia de componentes por bajas frecuencias con un valor de 12 dBA





ara Semianecoica.



de incubadora.

En el interior de la incubadora, se observaron la presencia de componentes tonales en las bandas de 25 Hz (62,7 dBA), 50 Hz (62,9 dBA), 10 KHz (21,8 dBA) y 12,5 KHz (12,8 dBA). También se detectó la presencia de componentes por bajas frecuencias con un valor de 12,9 dBA.

No se observaron la presencia de valores impulsivos ni en el exterior de la incubadora ni en el interior. Aplicando el procedimiento indicado anteriormente se observa que en el caso de esta incubadora (Care Plus) en la que se han obtenido valores de niveles de presión sonora de 31,7 dBA en el exterior y de 56,1 dBA en el interior de la incubadora, valores ligeramente inferiores a los del modelo Giraffe [Tabla 4], sin embargo la presencia de componentes tonales y por baja frecuencia elevados, el nivel continuo equivalente corregido son significativamente más altos. Lo que nos indica que el ambiente sonoro, sobre todo en el interior de la incubadora es el más nocivo

Modelo de incubadora	Exterior (2250) dBA							Interior (2270) dBA						
	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{Ceq,Ti}$	$L_{Aleg,Ti}$	Kt	Kf	Ki	$L_{Keq,Ti}$	$L_{Aeq,Ti}$	$L_{Ceq,Ti}$	$L_{Aleg,Ti}$	Kt	Kf	Ki	$L_{Keq,Ti}$
01 Care Plus Reve	56,6	55,5	63,6	6,0	0,0	0,0	63	59,1	71,8	62,4	6,0	3,0	0,0	68
02 Dräger Medical	72,5	76,0	78,2	6,0	0,0	0,0	79	58,4	62,3	66,3	6,0	0,0	0,0	64
03 Giraffe	58,0	58,0	64,3	6,0	0,0	0,0	64	56,6	63,2	57,5	6,0	0,0	0,0	63

[Tabla 5]: Incubadoras Funcionando + Alarma por temperatura Cámara Semianecoica

En la situación de las incubadoras funcionando y con la presencia de la alarma por temperatura, los valores son obviamente más altos [Tabla 5], aunque en ninguno de los casos estudiados se observaron la presencia de valores impulsivos ni en el exterior de la incubadora ni en el interior del recinto donde se encuentra el recién nacido prematuro.

Sin embargo en el caso de la incubadora modelo Care Plus se comprueba que el valor del nivel continuo equivalente corregido  $L_{K_{eq,Ti}}$  en el interior del recinto, es el más alto de los observados, comprobándose la presencia de componentes tonales en las bandas de 25 Hz (66,9 dBA), 50 Hz (60,5 dBA), 100 Hz (70,7 dBA), 2 KHz (53,6 dBA), y 10 KHz (24,2 dBA). También se detectó la presencia de componentes por bajas frecuencias con un valor de 12,9 dBA. [Figuras 9 y 10]

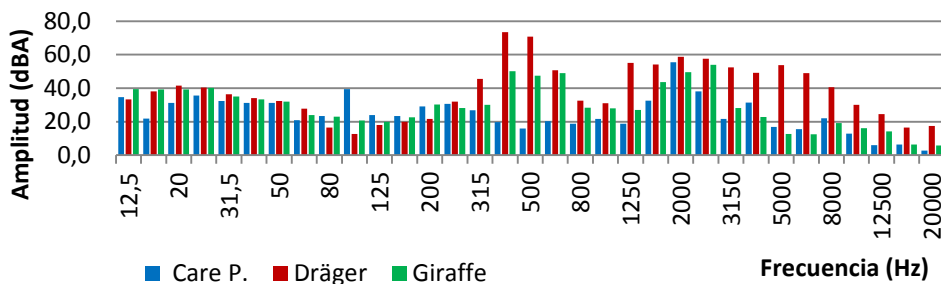


Figura 9.  $L_{k,Ti}$ : Incubadoras funcionando + Alarma por temperatura: Cámara Semianecoica.

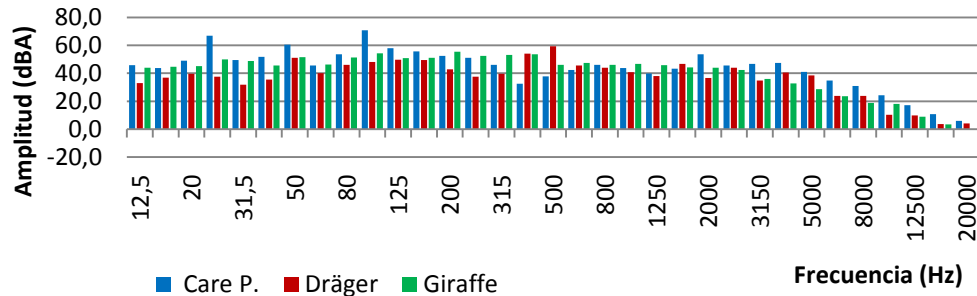


Figura 10.  $L_{k,Ti}$ : Incubadoras funcionando + Alarma por temperatura: interior de incubadora.

En el caso de la incubadora modelo Dräger, se comprueba que el valor del nivel continuo equivalente corregido  $L_{K_{eq,Ti}}$  en el exterior del recinto, es el más alto de los observados (79 dBA), ello se debe a la disposición de la alarma en este tipo de incubadora.

#### 4. CONCLUSIONES

Se comprueba que en todos los casos el nivel continuo equivalente corregido existente en el interior del habitáculo está por encima de los 45 DBA marcados como recomendación de la APP. Teniendo en cuenta que los ensayos se han producido fuera del ambiente sonoro natural del campo de trabajo de una incubadora, como puede ser una UCIN, a estos niveles, habría que sumarle el aporte sonoro producido en el propio ambiente sonoro donde van a operar las mismas.

Se evidencia que es necesario desarrollar y mantener un programa de control y reducción del ruido para operar dentro de los criterios de ruido permisible recomendados.

#### RECONOCIMIENTOS:

Los autores agradecen al personal de la UCIN del Hospital Universitario “Puerta del Mar” (Cádiz, España), por su ayuda en la realización de este trabajo.

Este trabajo se enmarca en el Proyecto: “Diseño y mejora del confort acústico de incubadoras neonatales; Incubadoras Neonatales Clase Confort Acústica (NICA+)”. en el ámbito del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI 2020). Ref: DNI: 6018 N° Expediente: 1157205.

#### REFERENCIAS

- [1] Almadhoob A., Ohlsson A. (2015). Sound reduction management in the neonatal intensive care unit for preterm or very low birth weight infants. *Cochrane Database Syst. Rev.*1:CD010333 DOI: 10.1002/14651858.CD010333.pub2
- [2] Barbara Kellam PhD, RN, Jatinder Bhatia MD; “Sound Spectral Analysis in the Intensive Care Nursery: Measuring High-Frequency Sound”; *Journal of Pediatric Nursing*; Volume 23, Issue 4, August 2008, Pages 317-323; <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2007.09.009>
- [3] Índices de ruido (anexo I); 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. BOE 254; 23/10/2007.
- [4] Darcy AE, Hancock LE, Ware EJ. A descriptive study of noise in the neonatal intensive care unit. Ambient levels and perceptions of contributing factors. *Advances in Neonatal Care*. 2008; 8(5): S16–S26.

- [5] Stanley N Graven MD; Sound and the Developing Infant in the NICU: Conclusions and Recommendations for Care; *Journal of Perinatology*, volume 20, pagesS88–S93 (2000); Doi: [10.1038/sj.jp.7200444](https://doi.org/10.1038/sj.jp.7200444)
- [6] American Academy of Pediatrics, Committee on Environmental Hazards. Noise pollution: Neonatal aspects. *Pediatrics*. 1974; 54:476–479.
- [7] Antonucci R, Porcella A, Fanos V. The infant incubator in the neonatal intensive care unit: unresolved issues and future developments. *Journal of Perinatal Medicine*. 2009; 37(6):587–598
- [8] Charlene Krueger; ElanHoresh; Brian Adam Crossland; “Safe Sound Exposure in the Fetus and Preterm Infant”; *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*; Volume 41, Issue 2, March–April 2012, Pages 166-170; Doi:10.1111/j.1552-6909.2012.01342.x
- [9] Maria J. Bieńkowska, Andrzej W. Mitas, Anna M. Lipowicz & Agata M. Wijata; Signal to Noise Ratio in Intrauterine Environment During Acoustic Stimulation; *Innovations in Biomedical Engineering* pp 203–210; Conference paper. First Online: 04 October 2016; *Advances in Intelligent Systems and Computing* book series (AISC, volume 526)
- [10] Chang EF, Michael MM. Environmental noise retards auditory cortical development. *Science*. 2003; 300: 498–502.
- [11] Lai T, Bearer C. Iatrogenic environmental hazards in the neonatal intensive care unit. *Clinics of Perinatology*. 2008; 35(1):163–181.
- [12] Thomas KA, Uran A; “How the NICU environment sounds to a preterm infant: an update. *The American Journal of Maternal Child Nursing*”, 01 Jul 2007, 32(4):250-253; MID: 17667291; Doi: 10.1097/01.nmc.0000281966.23034.e9
- [13] Darcy AE, Hancock LE, Ware EJ. Physiological effects of sound on the newborn. *Journal of Perinatology*. 2000; 20:S55–60.
- [14] Lasky RE, Williams AL. Noise and light exposures for extremely low birth weight newborns during their stay in the neonatal intensive care unit. *Pediatrics*. 2009; 123(2):540–546.
- [15] Matook SA, Sullivan MC, Salisbury A, Miller RJ, Lester BM. Variations of nicu sound by location and time of day. *Neonatal Network*. 2010; 29(2):87–95.
- [16] Gerhardt KJ, Abrams RM. Fetal exposures to sound and vibroacoustics stimulation. *Journal of Perinatology*. 2000; 20:S20–S29
- [17] Gray L. Properties of sound. *Journal of Perinatology*. 2000; 20:S5–S10
- [18] Gema Marrón; “NICU noise and the preterm infant”; *Neonatal Netw*, 2009 May-Jun; 28(3):165-73. Doi: 10.1891/0730-0832.28.3.165.
- [19] National Research Council; Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics; Assembly of Behavioral and Social Sciences. Prenatal effects of exposure to high-level noise. Report of Working Group. 1982:85.
- [20] Nobutaka Ohgami, Reina Oshino, and Masashi Kato; “Risk Assessment of Neonatal Exposure to Low Frequency Noise Based on Balance in Mice”; *Frontiers in behavioral neuroscience*, vol. 11 30. 22 Feb. 2017, doi:10.3389/fnbeh.2017.00030
- [21] Leventhall, G., Pelmear, P. and Benton, S. 2003. A review of published research on low frequency noise and its effects. UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. <https://doi.org/EPG1/2/50>
- [22] Schust M. Effects of low frequency noise up to 100 Hz. *Noise Health* 2004;6:73-85
- [23] Virginia Ballesteros Arjona, Antonio Daponte Codina; “Ruido y Salud”; Depósito Legal GR 2669-2011 ISBN 978-84-694-5930-0; Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN).
- [24] Hansen, Colin (enero de 1951). "fundamentos de la acústica"(PDF). *Revista estadounidense de física*.
- [25] "Campos sonoros - glosario acústico". [www.acoustic-glossary.co.uk](http://www.acoustic-glossary.co.uk). <https://www.acoustic-glossary.co.uk/sound-fields.htm#free-sound-field>.
- [26] Definición de sala de campo libre (IEC 801-31-18).