

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“NEOVIBRA. Estudio de las vibraciones en salas neonatales: caso del Hospital de Gandia.”

TRABAJO FINAL DE MASTER

Autor/a:

Gema González Mazarías

Tutor/a:

**Romina del Rey Tormos
Jesús Alba Fernández**

GANDIA, 2020

Agradecimientos

En primera instancia me gustaría agradecerle a Romina del Rey Tormos su gran apoyo incondicional. Su colaboración y soporte durante el proceso de trabajo en esta tesis de máster. Gracias a ella, este tiempo he podido adquirir nuevos conocimientos y una gran experiencia en el campo de la acústica.

A Jesús Alba Fernández por su implicación en el proyecto y estar siempre dispuesto a colaborar, de su mano he podido adquirir un gran conocimiento en el ámbito acústico.

Al equipo médico de pediatría del Hospital Francesc de Borja de Gandia su colaboración y asesoramiento en este proyecto.

Al equipo del Centro de Tecnologías Físicas de la Universitat Politècnica de València en su Campus de Gandia, del cual he podido recibir la mejor acogida, pudiendo disfrutar esta gran experiencia a su lado. Gracias a ellos he podido adquirir nuevas expectativas en el campo de la física aplicada a la acústica.

“A mi familia y amigos”.

*“Lo importante de una aventura, no es lograrlo,
sino conocer a cada persona y su historia,
que te han llenado de vida durante
todo ese tiempo”.*

Contenido

1	Introducción	1
2	Objetivos	3
3	Marco Teórico	6
3.1	Definición	7
3.2	Vibraciones y el cuerpo humano	8
4	Marco Legislativo	10
4.1	Términos y definiciones según normativa	10
4.1.1	Definición del índice de vibración	11
4.1.2	Definición del valor de aceleración global	11
4.1.3	Ponderaciones frecuenciales W_m	11
4.2	Marco legislativo Estatal	12
4.3	Marco legislativo Autonómico	13
5	Metodología	15
5.1	Análisis de las vibraciones incubadora neonatal.....	17
5.2	Análisis de las vibraciones en cuna neonatal	18
6	Análisis de resultados.....	20
6.1	Resultados en incubadoras neonatales.....	20
6.1.1	Simulación FEM del prototipo de la incubadora	29
6.2	Resultados en cunas neonatales	33
6.2.1	Influencia del peso del neonato en el análisis de vibraciones.....	41
7	Incertidumbre	44
7.1	Incertidumbre típica debida a la instrumentación.....	45
7.2	Incertidumbre Combinada y Expandida.	47
8	Conclusiones.....	50
9	Futuras líneas de investigación.....	52
	Referencias bibliográficas.....	53

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS VIBRACIONES.....	6
FIGURA 2 - CORTE TRANSVERSAL TÍPICO DE UN ACELERÓMETRO.....	7
FIGURA 3 - VALOR DE PICO A PICO, VALOR DE PICO, RMS Y MEDIA PARA UNA MUESTRA.....	8
FIGURA 4 - VISTA DE LA UBICACIÓN DEL HOSPITAL COMARCAL FRANCESC DE BORJA. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	15
FIGURA 5 - ESCENARIOS DE REGISTROS DE LOS SISTEMAS BAJO ESTUDIO EN LA SALA UNEO DEL HOSPITAL DE GANDIA.....	16
FIGURA 6 - EQUIPAMIENTO DE MEDICIÓN UTILIZADOS.....	17
FIGURA 7 - POSICIONES DE REGISTRO LLEVADOS A CABO EN EL PROTOTIPO BAJO ESTUDIO DE LA INCUBADORA NEONATAL	18
FIGURA 8 - POSICIONES DE LOS REGISTROS REALIZADOS EN EL ESCENARIO DE LA CUNA NEONATAL.....	18
FIGURA 9 - DIMENSIONES REALES DE LOS PROTOTIPOS EVALUADO.....	19
FIGURA 10 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA LAS PATAS Y ESTRUCTURA DE LA INCUBADORA	21
FIGURA 11 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA EL CAJÓN DE LA INCUBADORA.....	22
FIGURA 12 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA LA CAPOTA DE LA INCUBADORA	23
FIGURA 13 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA LA ESTRUCTURA DEL MOTOR DE LA INCUBADORA	24
FIGURA 14 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA LA BANDEJA SEPARADORA DE LA INCUBADORA.....	25
FIGURA 15 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA EL COLCHÓN DE LA INCUBADORA	26
FIGURA 16 - NIVELES DE ACELERACIÓN GLOBAL OBTENIDOS PARA LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES DE LAS PATAS (P1 Y P2) , LA ESTRUCTURA (P3) Y EL CAJÓN DE LA INCUBADORA (P4, P5 Y P6)	27
FIGURA 17 - VALORES DEL NIVEL DE ACELERACIÓN GLOBAL OBTENIDO EN LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES DE LA CAPOTA DE LA INCUBADORA NEONATAL (PUNTOS DE MEDICIÓN P7, P8, P9 Y P10)	27
FIGURA 18 - VALORES DEL NIVEL DE ACELERACIÓN GLOBAL PARA LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES SIMÉTRICAS DE LA POSICIÓN DE LA CABEZA DEL NEONATO SOBRE MOTOR (P11), PLACA (P14) Y COLCHÓN (P17).	28
FIGURA 19 - VALORES DEL NIVEL DE ACELERACIÓN GLOBAL PARA LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES SIMÉTRICAS DE LA POSICIÓN DEL TORSO DEL NEONATO SOBRE MOTOR (P12), PLACA (P15) Y COLCHÓN (P18).	28
FIGURA 20 - VALORES DEL NIVEL DE ACELERACIÓN GLOBAL PARA LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES SIMÉTRICAS DE LA POSICIÓN DE LAS EXTREMIDADES DEL NEONATO SOBRE MOTOR (P13), PLACA (P16) Y COLCHÓN (P19).	29
FIGURA 21 - ANOMALÍAS ENCONTRADAS EN LA FRECUENCIA DE 40 HZ PARA DISTINTAS POSICIONES.....	30
FIGURA 22 - RESULTADOS OBTENIDOS DEL NIVEL DE PRESIÓN PARA EL CONJUNTO DE ELEMENTOS EN EL PRIMER MODO (ARRIBA) Y SEGUNDO MODO (ABAJO)	31
FIGURA 23 - SIMULACIÓN OBTENIDA A 40 HZ DE FRECUENCIA.....	32
FIGURA 24 - RESULTADO OBTENIDO EN LA SIMULACIÓN DE ACELERACIÓN SOBRE LA ESTRUCTURA DE MOTOR	33
FIGURA 25 - RESULTADO DE LA SIMULACIÓN APLICÁNDOLE LA ACELERACIÓN EN EL PUNTO DE INCIDENCIA A 40 HZ DE FRECUENCIA	33
FIGURA 26 - RESULTADOS POR DÍA DE MEDICIÓN DE LAS POSICIONES DEL EJE CENTRAL DE LA CUNA NEONATAL	34
FIGURA 27 - RESULTADOS POR DÍA DE MEDICIÓN DE LAS POSICIONES SOBRE COLCHÓN DE LA CUNA NEONATAL	35
FIGURA 28 - CONFIGURACIÓN RUIDO DE FONDO.....	35
FIGURA 29 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA LAS PATAS Y BANDEJA DE LA CUNA NEONATAL	36
FIGURA 30 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS PARA EL EJE DE LA CUNA NEONATAL	37
FIGURA 31 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS SOBRE EL CRISTAL DEL CAJÓN CONTENEDOR DE LA CUNA NEONATAL ...	38
FIGURA 32 - NIVELES DE ACELERACIÓN REGISTRADOS SOBRE EL COLCHÓN DE LA CUNA NEONATAL	39
FIGURA 33 - NIVELES DE ACELERACIÓN GLOBAL OBTENIDOS PARA LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES DE LAS PATAS (P1 Y P3) , Y LA BANDEJA (P2) DE LA CUNA.....	39
FIGURA 34 - NIVELES DE ACELERACIÓN GLOBAL OBTENIDOS PARA LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES SOBRE EJE (P4) Y POSICIONES SIMÉTRICAS DE CONTENEDOR (P8) Y COLCHÓN (P11) DE LA CUNA	40
FIGURA 35 - NIVELES DE ACELERACIÓN GLOBAL OBTENIDOS PARA LOS REGISTROS DE LAS POSICIONES SIMÉTRICAS SOBRE EJE (P5 CONTENEDOR (P7) Y COLCHÓN (P10) DE LA CUNA).....	40
FIGURA 36 - ESTUDIO DE LA COMPARATIVA DEL MODO ESTÁTICO Y DINÁMICO DE LA CUNA EN LAS POSICIONES CON Y SIN COLCHÓN.....	41
FIGURA 37 - COMPARATIVA ENTRE LOS NIVELES DEL ÍNDICE DE ACELERACIÓN GLOBAL PARA LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE PESOS CON Y SIN AIRE EN LA SALA	42
FIGURA 38 - ANÁLISIS DE LAS FRECUENCIAS AFECTADAS EN EL ARRANQUE Y FRENADA DE LA CUNA	43
FIGURA 39 - COMPARATIVA DEL ÍNDICE GLOBAL DE ACELERACIÓN TOTAL Y EL ÍNDICE DE ACELERACIÓN GLOBAL POR DÍA	49

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 - VALORES DE PONDERACIÓN PARA LAS FRECUENCIAS CENTRALES DE LAS BANDAS EN TERCIOS DE OCTAVA. REFERENCIA: VALORES DE LA PONDERACIÓN W_m PARA LAS FRECUENCIAS CENTRALES DE LAS BANDAS DE TERCIO DE OCTAVA DE 1 Hz A 80 Hz (ISO 2631-2:2003)	11
TABLA 2. OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA PARA VIBRAIONES APLICABLES AL ESPACIO INTERIOR HABITABLE DE EDIFICACIONES DESTINADAS A VIVIENDA, USOS RESIDENCIALES, HOSPITALARIOS, EDUCATIVOS O CULTURALES. REFERENCIA: TABLA C DEL ANEXO II. OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA (REAL DECRETO, DE 19 DE OCTUBRE POR EL QUE SE DESARROLLA LA LEY 37/2003)	13
TABLA 3. NIVELES DE VIBRACIÓN (SEGÚN LA LEY 7/2002, DE 3 DICIEMBRE, DE PROTECCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA, DE LA GENERALITAT VALENCIANA).....	14
TABLA 4 - DESCRIPCIÓN DE INCERTIDUMBRES.....	45
TABLA 5 - VALORES DEL ÍNDICE GLOBAL DE ACELERACIÓN OBTENIDO CON INCERTIDUMBRE AÑADIDA PARA EL CASO DE LA INCUBADORA.....	48
TABLA 6 - VALORES DEL ÍNDICE GLOBAL DE ACELERACIÓN OBTENIDO CON INCERTIDUMBRE AÑADIDA PARA EL CASO DE LA CUNA	48

Autor: Gema González Mazarías¹

NEOVIBRA. Estudio de las vibraciones en salas neonatales: caso del Hospital de Gandia.

Tutora 1: Romina Del Rey Tormos

Tutor 2: Jesús Alba Fernández

ABSTRACT Neonatal rooms have not been designed with specific concern to ensure adequate acoustic comfort. The necessary equipment of these rooms (alarms, medical equipment), as well as common noise sources (air conditioning), make the study to obtain the acoustic diagnosis of these rooms complex. In previous works, the diagnosis of airborne noise levels to which neonatal patients are subjected in Neonatal rooms has already been made. It has been shown that it is also necessary to know what vibration levels they are subject to. The frequency ranges of action are totally different, and therefore, also the transmission paths of this pollutant. This work shows the first results of the diagnosis of vibrations to which neonatal patients are subjected during their admission to the neonatal ward of the Francesc de Borja Hospital in the city of Gandia, Valencia, Spain.

Key words: Neonates; Vibrations; ICU; Acoustic Comfort; Accelerometers.

RESUMEN Las salas Neonatales (UNEOS) no han sido diseñadas con el cuidado específico para asegurar un confort acústico adecuado. El equipamiento necesario de estas salas (alarmas y equipo médico), así como la presencia de otras fuentes habituales de ruido (aire acondicionado), hacen que el estudio para obtener el diagnóstico acústico de estas salas sea complejo. En trabajos anteriores ya se realizó el diagnóstico de los niveles de ruido aéreo a los que pacientes neonatales están sometidos en salas UNEOS. Se ha evidenciado que es necesario conocer también a qué niveles de vibración están sometidos. Los rangos de frecuencia de actuación son totalmente distintos, y por tanto, también los caminos de transmisión de este agente contaminante. En este trabajo se muestran los primeros resultados del diagnóstico de vibraciones a las que los pacientes neonatales están sometidos durante su ingreso en la sala neonatal del Hospital Francesc de Borja de la ciudad de Gandia, Valencia, España.

Palabras clave: Neonatos; Vibraciones; UNEOS; Confort Acústico; Acelerómetros.

¹ Autor: Gema González Mazarías

email: gegonma@epsq.upv.es

Fecha de entrega: 02/12/2020

² Toda figura, tabla o ilustración en la cual no se indique la fuente de procedencia, se debe entender como elaboración propia.

³ La definición de las variables usadas en el presente documento aparecerá indicada una sola vez.



1 Introducción

Hablar hoy en día de realizar un diagnóstico de vibraciones, es anteponerse a una tarea que no resulta fácil, pues este tipo de diagnósticos se encuentra centralizado en la detección de vibraciones en edificaciones [1] o centros de trabajos [2]. Por otra parte, y refiriéndose a estudios realizados en el análisis de vibraciones en el cuerpo humano, queda mucho trabajo por delante, más aún, si este se refiere al paciente neonatal; donde los pocos estudios realizados al respecto tratan sobre el diagnóstico de las vibraciones durante el transporte neonatal, tanto en medio terrestre (transporte en ambulancia) o en medios aéreos (helicópteros) [3-7]. Pero en lo referente al estudio de las vibraciones durante el ingreso de un paciente neonatal, se encuentra muy poca información [8].

El estudio de vibraciones, nos puede llevar a detectar un problema de contaminación acústica. Si consultamos la definición que ofrece la Vicepresidencia Cuarta del Gobierno junto al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en su primer texto legal orientado a controlar la contaminación acústica homogéneamente se encuentra que:

'Se entiende por contaminación acústica en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente'. [9]

Por otra parte, si consultamos la definición que recoge la Real Academia de la Lengua Española el término de 'vibración', esta lo define como:

'Cada movimiento vibratorio, o doble oscilación de las moléculas o del cuerpo humano'. [10]

Queda claro entonces que referirse a contaminación acústica engloba pues a estos dos conceptos, ruido y vibración; para los cuales su principal diferencia se encuentra en que un ruido se oye y una vibración se siente en el cuerpo. Y es que los espectros de frecuencia de cada uno están bien definidos. Podemos definir ruido aéreo (el que se oye) como la propagación de sonido que viaja desde los 20 Hz hasta los 20.000 Hz, y la vibración se encuentra definida para la salud, el bienestar y la percepción en un rango de 0.5 Hz a 80 Hz y para un mal movimiento el rango de 0.1 Hz a 0.5 Hz.

El equipamiento habitual de una sala neonatal (UNEO), como las alarmas, pulsioxímetros, bombas de infusión etc., no han sido diseñadas pensando en el confort ambiental de pacientes neonatales. Así como tampoco el entorno exterior a la sala UNEO, como por ejemplo el aire acondicionado central. La forma geométrica del cierre de las incubadoras y el mecanismo de enganche de este tipo de alarmas a las cunas

neonatales amplifican ciertas frecuencias de ruido aéreo, esto se ha podido comprobar durante el desarrollo del análisis de ruido aéreo de la sala neonatal del hospital de Gandia [11]. Estos resultados demuestran que es imprescindible el estudio de la contaminación vibroacústica a la que están sometidos pacientes neonatales durante su ingreso.

La Norma Internacional ISO 2631-2: 2003 [12] advierte que la respuesta humana a las vibraciones es muy compleja. Sobre los daños en la salud provocados por las vibraciones, añade que “estudios de investigación biodinámica así como la epidemiología han mostrado evidencia para un riesgo elevado al deterioro de la salud debido a exposición prolongada con vibración de alta intensidad en cuerpo entero”; sin embargo, también cita “no hay suficiente información para mostrar una relación cuantitativa entre la exposición a la vibración en cuerpo entero en términos de probabilidad del riesgo a varias magnitudes y duraciones de exposición”. El Real Decreto [13] por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el Sistema de Seguridad Social, enumera entre otras enfermedades derivadas de exposición a la vibración “Enfermedades osteoarticulares o neurovasculares provocadas por vibraciones mecánicas” o “dispatías de la columna dorsolumbar causadas por vibraciones repetitivas de todo el cuerpo”. Es también conocido que estar sometido a vibraciones de cuerpo completo genera efectos agudos en la salud como malestar, interferencia con la actividad, alteraciones de las funciones fisiológicas, alteraciones neuromusculares, cardiovasculares, endocrinas y metabólicas y/o alteraciones sensoriales del sistema nervioso central.

En la actualidad, la comunidad pediátrica piensa que es probable que exista repercusión cerebral en neonatos sometidos a vibraciones. Por este motivo es fundamental conocer los caminos de transmisión de las vibraciones hacia pacientes neonatales, y poder protocolizar este tipo de análisis a cualquier ámbito pediátrico.

Es por ello, que el presente trabajo tratará de conocer el nivel de vibración al que se encuentran sometidos durante su ingreso los pacientes neonatales para posteriormente, si es necesario, conseguir reducir estos niveles. El trabajo se realiza en la sala neonatal del hospital de Gandia, pero el protocolo del diagnóstico con la identificación de las principales fuentes de vibraciones podría ser extensible a cualquier sala neonatal. Además, la reducción de vibraciones no es algo exclusivo del entorno neonatal, por lo que podrá ser aplicado en cualquier área sanitaria susceptible de estar expuesta a vibraciones.

2 Objetivos

Este Trabajo Final de Máster se enmarca dentro de una acción preparatoria en la III Convocatoria de los proyectos Polisabio [14] "NEO-VIBRA. Estudio de agresores vibroacústicos en unidades neonatales". La necesidad de conocer las vibraciones en salas neonatales, nace de una convocatoria anterior a los proyectos Polisabios con el estudio "ECAEL: Estudio de la contaminación acústica, electromagnética y lumínica en salas neonatales", proyecto financiado por la fundación FISABIO (Fundación para el Fomento de la Investigación Sanitaria en la Comunidad Valenciana) y la Universitat Politècnica de València en su Campus de Gandia. Esta primera convocatoria permitió al equipo de acústica del Campus de Gandia trabajar ya con el equipo de pediatría del hospital comarcal de Gandia.

En ECAEL se obtuvieron los valores globales en dB(A) de todos los espectros de presión sonora tomados en la sala, espectros que fueron fundamentales para el análisis de algunos de los casos como, por ejemplo, el análisis de alguna fuente de ruido muy localizada, o por el tema de posibles amplificaciones de alguna frecuencia que se prevé dentro de la incubadora por la forma geométrica de la capota de cierre. Los valores globales en dB(A) fueron necesarios para poder comparar el análisis de la sala con las recomendaciones por las asociaciones de pediatría. La Asociación Americana de Pediatría o la Asociación Española de Pediatría recomiendan en el interior de una UCIN, niveles de ruido en torno los 45 dB(A), y que no se sobrepase nunca los 70 dB(A).

Fue en el análisis de este proyecto dónde se detectó la necesidad de estudiar las vibraciones a los que están sometidos los neonatos, en las salas UNEOS. En ECAEL se estudia en todo momento el nivel de ruido aéreo dentro y fuera de la incubadora neonatal, registrando, en algunos casos valores mayores dentro de la incubadora que fuera de ella. Por tanto, sería conveniente realizarse la siguiente pregunta ¿Puede existir algún camino de transmisión o alguna frecuencia de transmisión importante en vibraciones que se esté escapando, evaluando solamente el ruido aéreo y que bien el diseño de la incubadora, o de la capota este amplificando? Es aquí cuando surge la necesidad de conocer los posibles caminos de transmisión a través del esqueleto de la incubadora.

Para ello previamente debe realizarse un estudio protocolizado del estado de todas las vibraciones existentes en la sala neonatal y estudiar los posibles caminos de transmisión. Con este diagnóstico se diseñarán prototipos, basados en distintos tipos de soluciones, dependiendo del tipo de vibración (baja o media frecuencia), y del camino por el cuál pueda llegar a pacientes neonatos (vibración por transmisión directa o amplificación del ruido por vibración). El diseño de estas soluciones requiere de tecnología específica, ya que son múltiples los factores a considerar. El análisis de todos estos parámetros y la adecuación específica al tipo de vibraciones existente en neonatología es lo que le da el carácter innovador a este trabajo.

El **objetivo principal** de este trabajo es conocer las vibraciones a las que están sometidos pacientes neonatales durante su ingreso en sala neonatal, en concreto, en el caso práctica de la sala de neonatos del hospital de Gandia.

Para ello previamente debe hacerse un estudio protocolizado del estado de todas las vibraciones existentes en la sala neonatal y estudiar los posibles caminos de transmisión. Se deben evaluar de forma detallada las cunas e incubadoras, e identificar posibles escenarios propios de un funcionamiento de sala neonatal. Por esto, la coordinación con el equipo de pediatría del hospital de Gandia es fundamental.

Como **objetivos secundarios**, se deben identificar, de los distintos escenarios posibles, aquellos que realmente sean críticos para las agresiones vibro acústicas y si fuera posible, plantear soluciones a esto escenarios.

Para el cumplimiento de estos objetivos ha sido necesario:

- Realizar mediciones de vibraciones “de control” para poder determinar el equipamiento y la configuración experimental utilizados (tipo de análisis de señal, tipo de acelerómetro, espectro de frecuencias de estudio, tiempos de medida, etc.)
- Determinar con detalle los distintos escenarios en la sala neonatal susceptibles de influir en las vibraciones que pueden llegar al paciente neonato.
- Con el equipamiento y configuración experimental determinados, así como también detallados los diferentes escenarios, se realizan las medidas experimentales de los espectros de vibraciones.
- Conocer y revisar la legislación vigente referente a vibraciones.
- Analizar los resultados experimentales y determinar los indicadores que en la normativa vigente son indicadores de control.
- Comparar los indicadores de control experimentales con la legislación.
- Revisar, a partir de las comparaciones anteriores, de nuevo los escenarios estudiados, y plantear soluciones a aquellos que no cumplen con la legislación actual.

Para alcanzar estos objetivos, este proyecto se ha estructurado en un total de 9 capítulos

- **Capítulo 1 “Introducción”**: Introducción al tema de estudio en el que se basa el documento, haciendo hincapié en todos aquellos temas de los que se hablarán en los siguientes capítulos.
- **Capítulo 2 “Objetivos”**: (Capítulo actual). Se comentarán los antecedentes en los que se basa este documento, y los objetivos que pretende desarrollar.
- **Capítulo 3 “Marco teórico”**: Se pretende introducir al lector en un ambiente teórico sobre el concepto de las vibraciones y su análisis.
- **Capítulo 4 “Marco legislativo”**: En este apartado, se hablará del marco jurídico en el que se basa y fundamenta el análisis del nivel de vibración.
- **Capítulo 5 “Metodología”**: Se expondrá la metodología utilizada para recoger las mediciones experimentales y se explicará la forma de analizar toda la información del estudio. Además, se hablará de la instrumentación que fue necesaria utilizar para la recogida de medidas, como para la gestión y análisis de la información.
- **Capítulo 6 “Análisis de los resultados”**: Se expondrán y analizarán los resultados obtenidos, con el fin de poder obtener unas posibles mejoras en el caso de que fuese necesarias aplicarlas.
- **Capítulo 7 “Incertidumbre”**: En este apartado se calcularán y ofrecerán los resultados obtenidos durante el análisis de las muestras con su valor de error añadido.

- *Capítulo 8 “**Conclusiones**”*: Se expondrán las conclusiones del trabajo, así como recomendaciones para reducir y/o controlar la actual situación en las que se encuentran los diferentes escenarios.
- *Capítulo 9 “**Futuras líneas de investigación**”*: Se propondrán futuros trabajos de investigación que puedan desarrollarse a partir del presente documento.

3 Marco Teórico

En este bloque se pretende introducir al lector en el comportamiento y análisis físico de las vibraciones. Previamente a entrar en el desarrollo de la metodología del presente proyecto se requiere asentar conceptos relacionados y de esta forma hilar cada proceso descrito en el documento.

Como se comentó con anterioridad, cuando se habla de vibración, se refiere a una oscilación mecánica del entorno a una posición de referencia, por tanto, se trata de una variación normalmente en tiempo de la magnitud de una cantidad con respecto a una referencia específica cuando dicha magnitud varía su tamaño alternando este en más grande o pequeño, respecto de la referencia. Habiendo asentado esta definición, se puede relacionar el funcionamiento del acelerómetro con el principio de la ley de Hooke y la segunda ley de Newton, por la cual la propia aceleración generará una fuerza sobre la masa, la cual, al desplazarse, deformará el muelle bajo la siguiente condición:

$$F = ma = kx \quad (1)$$

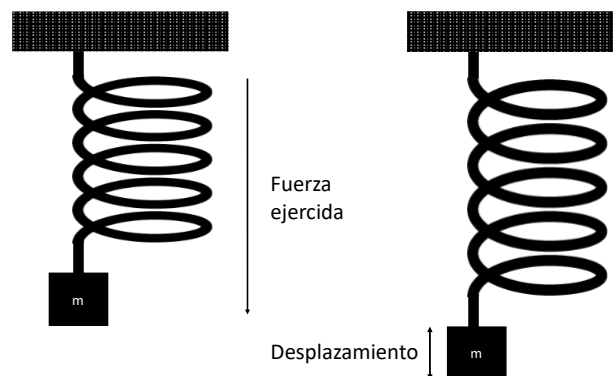


Figura 1 - Esquema representativo del principio de funcionamiento de las vibraciones

Este fenómeno ocurre como resultado de fuerzas mecánicas en máquinas o estructuras que cuentan con partes en movimiento o que se encuentran sometidas a acciones variables. Normalmente el origen de este fenómeno ocurre tras los efectos dinámicos de las tolerancias de fabricación, rozamientos, fuerzas desequilibradas en elementos de rotación, el contacto entre elementos que se encuentren rodando como las ruedas con las que se desplazan ciertos dispositivos, el balanceo de la estructura o su deslizamiento, etc. Frecuentemente, pequeñas vibraciones insignificantes pueden llegar a excitar frecuencias de resonancia de partes de la estructura y estas amplifican las vibraciones obtenidas en un nivel mayor.

En muchas ocasiones resulta imposible obtener una referencia fija de medida para el impacto y la vibración, por esta razón muchos de los transductores son del tipo masa muelle.

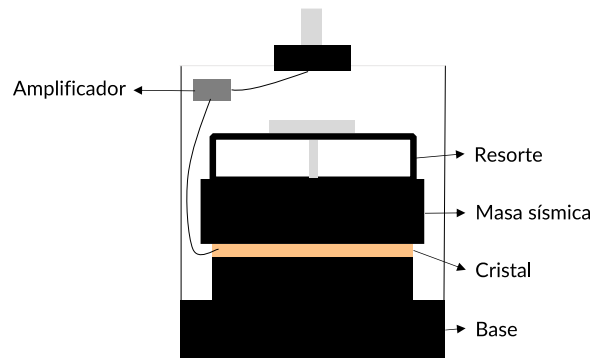


Figura 2 - Corte transversal típico de un acelerómetro

Como se observa en la Figura 2 se encuentra la masa m suspendida en la caja del transductor mediante un resorte de rigidez K . Bajo este principio se pretende medir el desplazamiento de la parte móvil respecto al espacio fijo.

3.1 Definición

Cuando se dice que un cuerpo se encuentra vibrando se describe el fenómeno como un movimiento oscilatorio en torno a una posición de equilibrio. El número de veces que se repite el movimiento cíclico en un segundo se conoce como frecuencia, se mide en hertzios (Hz), si se obtiene su inversa se habla de período y si esa frecuencia se multiplica por 2π , se obtiene la frecuencia angular; la cual a su vez es proporcional a la raíz cuadrada de la rigidez k dividida entre la masa m . Teniendo en cuenta este fenómeno, se puede llegar a la conclusión que al obtener un aumento de la masa en el sistema que se encuentra en vibración producirá un aumento en el periodo. Todo ello se resume en una disminución de la frecuencia. Por último, quedaría definir como se obtiene la intensidad de la vibración, la cual se obtendría con la amplitud de esta. [15]

En el análisis de vibraciones, la medida más relevante a tener en cuenta es el valor RMS dado que indica el valor de la amplitud teniendo en cuenta la historia de la señal y proporciona un valor directamente relacionado con el contenido energético de la vibración, lo que llevará a obtener la capacidad destructiva de la propia vibración.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (2)$$

Además de este parámetro, se pueden obtener otros como el valor de pico a pico, el cual indicará la distancia entre el máximo y el mínimo valor que se ha alcanzado, con el se podrán obtener las tensiones máximas en estados críticos de la maquina cuando se consideren rozamientos. Otro parámetro sería el valor de pico, el cual se define como el valor máximo alcanzado. Asimismo, se obtendría el valor medio de la señal con el que se tiene en cuenta el valor de toda la señal.

En la siguiente Figura 3 se muestra una interpretación de las ultimas definiciones para la señal registrada de una de las muestras tomadas en la campaña de medidas.

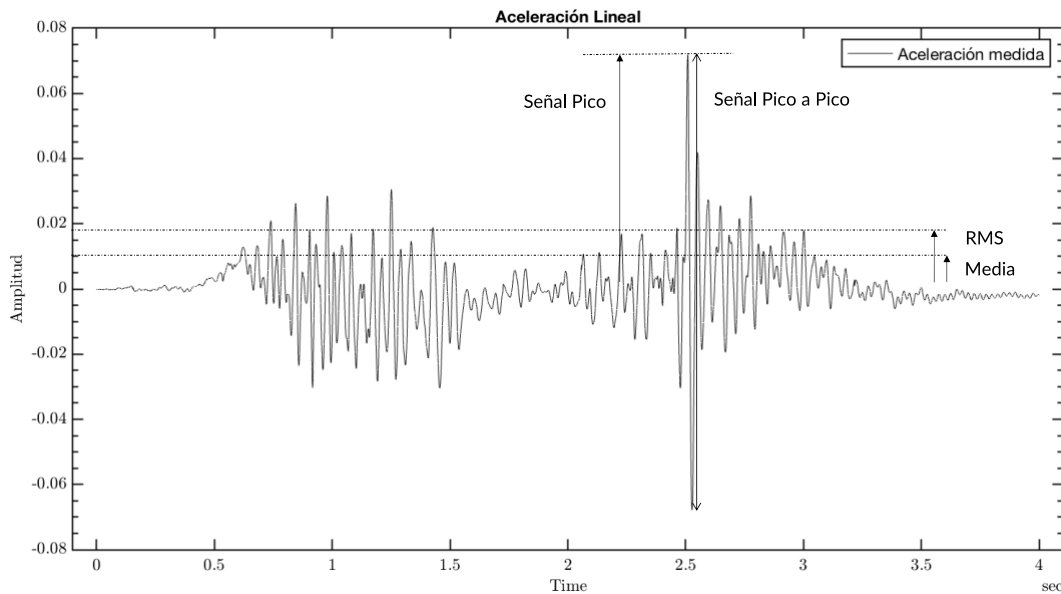


Figura 3 - Valor de pico a pico, valor de pico, RMS y media para una muestra

En el análisis de vibraciones se deberá de tener en cuenta que una vibración no tiene porque tener una única componente, sino que esta puede estar compuesta por muchas componentes a diferentes frecuencias actuando simultáneamente. Al análisis de la vibración en el compuesto de todas sus frecuencias se le denomina análisis frecuencial, consiguiendo la descomposición de la señal de la vibración en sus componentes individuales.

Llevar a cabo un análisis de las vibraciones se realiza por varios motivos:

- Para verificación en frecuencias y amplitudes, asegurándose de que no se sobrepasen los límites capaces de soportar.
- Evitar excitaciones que produzcan que el prototipo entre en resonancia.
- Conocer las fuentes de vibración y poder aislar o amortiguar.
- Realización de mantenimiento de los prototipos, debido a que muchos de los problemas que ocurran en ellos podrán originar un incremento de los niveles de vibración.
- Para construir o verificar modelos estructurales.

Hay que recordar pues que cuatro son las propiedades básicas de una estructura vibrante:

- Masa.
- Rigidez.
- Amortiguamiento.
- Desplazamiento.

3.2 Vibraciones y el cuerpo humano

Tras consultar varios trabajos anteriores sobre la influencia de las vibraciones sobre un cuerpo humano se conoce que los efectos de este fenómeno directamente sobre el cuerpo humano pueden ser importantes. La mayoría de estos trabajos consultados hablan sobre trabajadores sometidos a largos periodos de vibración tanto por parte de la maquinaria del trabajo como del transporte utilizado, y todos ellos coinciden en que los trabajadores expuestos pueden experimentar pérdidas del equilibrio, fatiga, reducción del confort, pérdida de concentración e incluso riesgos para la salud llegando

a poder dañar algunos órganos al estar sometidos a algunas frecuencias o a ciertas amplitudes.

Es de especial interés en este proyecto saber que, en dirección longitudinal, un cuerpo humano es más sensible a las frecuencias en un rango de entre 4 y 8 Hz, mientras que en la dirección transversal el cuerpo es más sensible a frecuencias de rango entre 1 y 2 Hz.

Se sabe que estar sometido a vibraciones de cuerpo completo deriva en efectos agudos en la salud como, por ejemplo, alteraciones sensoriales del sistema nervioso central. Pero en lo referente a los efectos de las vibraciones en un neonato (de 0 a 28 días de vida) queda mucho por investigar.

Se han planteado diversos trabajos enfocados en el nivel de vibraciones recibido en el transporte del paciente neonatal y este fenómeno como causa de la morbilidad [16-22]. En la actualidad la comunidad pediátrica cree que es probable que exista repercusión cerebral.

El presente documento pretende servir de ayuda para mostrar la realidad a la que se encuentran sometidos estos pacientes en las salas UNEOS y considerar de vital importancia conocer los niveles de vibraciones a los que se encuentran expuestos los pacientes neonatales durante su estancia en las salas UNEOS y poder protocolizar este tipo de análisis a cualquier ámbito pediátrico.

4 Marco Legislativo

Con base a lo descrito con anterioridad, nace la necesidad de protocolizar el estado de todas las vibraciones existentes en la sala neonatal y estudiar los posibles caminos de transmisión. Con este diagnóstico se diseñarán prototipos, basados en distintos tipos de soluciones, dependiendo del tipo de vibración (baja o media frecuencia), y del camino por el cuál pueda llegar a pacientes neonatos (vibración por transmisión directa o amplificación del ruido por vibración).

Es por ello por lo que se cree conveniente realizar un énfasis en la normativa la cual permitirá adquirir la caracterización acústica de la sala neonatal para posteriormente realizar su análisis y con todo ello poder detectar la necesidad del diseño de nuevas medidas o prototipos que aseguren el confort del paciente neonatal durante su ingreso.

Es necesario definir como poder cuantificar el efecto de la vibración, dado que se pueden medir diferentes variables. Las más comunes son el desplazamiento (m) respecto una posición de equilibrio, la velocidad (m/s) en un punto de la superficie o la aceleración (m/s^2) en el punto determinado, siendo esta última la más habitual de utilizar en el análisis de los agresores vibroacústicos. Además, se deberá tener en consideración que se realizará una conversión a escala logarítmica de las magnitudes, utilizando así pues los decibelios, unidad común en el análisis de vibraciones en el campo de la ingeniería [23]. Así se define el nivel de aceleración L_a (dB), como:

$$L_a(dB) = 20 \log \left(\frac{a}{a_0} \right) \quad (3)$$

En la expresión anterior se estaría representando el 'nivel de aceleración' respecto a una aceleración de referencia a_0 , la cual suele considerarse $10^{-6} m/s^2$. Este nivel de referencia marca el nivel de aceleración a 0 dB.

Antes de entrar en detalle en la normativa aplicada en este Trabajo Final de Máster, se requiere detallar los parámetros que han sido necesarios en el análisis de los registros tomados durante los días de medición debido a su aparición a lo largo del presente capítulo.

4.1 Términos y definiciones según normativa

Los siguientes términos y definiciones se encuentran redactados según el Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre por el que se desarrolla la ley 37/2003 [24], detallada en el siguiente apartado. Estos son imprescindibles para poder realizar los cálculos con los que llegar al análisis y resultado de este proyecto. De esta forma se concluirá si los escenarios estudiados cumplen o no con la normativa vigente.

4.1.1 Definición del índice de vibración

EL índice de vibración La_w se emplea en la estimación de los valores de vibración máximos y las molestias, durante el tiempo de evaluación y el espacio interior de los edificios. Este término se evalúa con la siguiente ecuación.

$$La_w = 20 \log \left(\frac{a_w}{a_0} \right) (dB) \quad (4)$$

Siendo:

- $a_w (m/s^2)$ el valor máximo eficaz (RMS) de la señal de aceleración, con la ponderación en frecuencia correspondiente W_m en tiempo t .
- a_0 se trata de la aceleración de referencia, $10^{-6} m/s^2$.

4.1.2 Definición del valor de aceleración global

Bajo este valor se estima la condición de rozamiento producida por la vibración según la siguiente ecuación:

$$a_{w,i} = \sqrt{\sum_j (W_{mj} a_{w,ij})^2} \quad (5)$$

Siendo:

- $a_{w,ij} (m/s^2)$ el valor máximo eficaz (RMS) de la señal de aceleración(j) junto a cada uno de los instantes de medición (i),
- con la ponderación en frecuencia correspondiente W_m en tiempo (j).

4.1.3 Ponderaciones frecuenciales W_m

Este método es utilizado en los estudios donde se requiere de una precisión y demanda de un equipamiento que disponga de tal ponderación. Dado que el equipo del laboratorio no dispone de ponderación frecuencial, se recurre al método numérico. Para ello se demanda de una grabación de la señal sin ponderar para posteriormente realizar el tratamiento de los datos.

Este procedimiento consiste en obtener una evaluación temporal de los valores RMS con un detector de medida exponencial junto a una constante de tiempo de 1s (SLOW) para cada una de las bandas de octava de interés. Una vez realizado este proceso, se pasa a multiplicar cada uno de los espectros que se obtuvieron por el valor de la ponderación asignado, en la siguiente tabla se muestran dichos valores (ver Tabla 1).

Tabla 1 - Valores de ponderación para las frecuencias centrales de las bandas en tercios de octava. Referencia: valores de la ponderación W_m para las frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava de 1 Hz a 80 Hz (ISO 2631-2:2003)

			W_m					W_m	
Hz	f1	f2	Factor W_m	dB	Hz	f1	f2	Factor W_m	dB
1	0,891	1,122	0,833	-1,59	10	8,909	11,225	0,494	-6,12
1,25	1,114	1,403	0,907	-0,85	12,5	11,136	14,031	0,411	-7,71
1,6	1,425	1,796	0,934	0,59	16	14,254	17,959	0,337	-9,44
2	1,782	2,245	0,932	-0,61	20	17,818	22,449	0,274	-11,25
2,5	2,227	2,806	0,91	-0,82	25	22,272	28,062	0,22	-13,14
3,15	2,806	3,536	0,872	-1,19	31,5	28,063	35,358	0,176	-15,09
4	3,564	4,490	0,818	-1,74	40	35,636	44,898	0,14	-17,10
5	4,454	5,612	0,75	-2,50	50	44,545	56,123	0,109	-19,23

			W_m					W_m	
Hz	f1	f2	Factor W_m	dB	Hz	f1	f2	Factor W_m	dB
6,3	5,613	7,072	0,669	-3,49	63	56,127	70,715	0,0834	-21,58
8	7,127	8,980	0,582	-4,70	80	71,272	89,797	0,0604	-24,38

Una vez obtenidos los valores de aceleración global se escogerá el valor máximo de las distintas aceleraciones globales.

El procedimiento anteriormente descrito no resulta adecuado cuando se evalúan vibraciones transitorias, debida a su respuesta lenta de los filtros a baja frecuencia (108 s) respecto a la respuesta SLOW, por tanto, su aplicación queda limitada a las vibraciones de tipo estacionario.

Para este tipo de vibraciones, la medición se realizará durante el periodo de mayor intensidad.

El trabajo se basará en la aplicación de la Norma internacional ISO 2631-2:2003 [12] la cual advierte que la respuesta humana a las vibraciones es muy compleja. En el Real Decreto 1299/2006 del 10 de Noviembre se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el Sistema de la Seguridad Social. Además, se consultan algunos estudios donde se plantea que la morbilidad es una posible consecuencia de las vibraciones durante el transporte de neonatos. Actualmente la comunidad pediátrica piensa que es probable que exista repercusión cerebral.

Una vez definidos los parámetros que hacen referencia a la normativa conforme a aplicabilidad en este proyecto, se pasa a analizar la normativa vigente en lo referente a la medición del índice de aceleración global que ayude a identificar el nivel de vibración al que se encuentran sometidos los pacientes de las salas UNEOS.

4.2 Marco legislativo Estatal

Es en el año 2003, se publica la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas [25]. Posteriormente, y en base a complementar la ley anterior, se publica el Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre por el que se desarrolla la ley 37/2003 [24]. Con todo ello lo que se quiere conseguir es llegar a prevenir, vigilar y reducir los niveles de contaminación vibro-acústica que afectan al territorio nacional. No obstante, queda a cargo de la Comunidad Autónoma y Ayuntamientos locales la regulación de los ruidos que no sean cubiertos por la ley nacional.

El Real Decreto 1367/2007 [24] propone los niveles límite a cumplir que se muestran en la Tabla 2 para conseguir llegar al objetivo de mitigación de contaminación acústica europea.

Para el caso que compete en este proyecto, la normativa recomienda para el ámbito sanitario, que los niveles registrados se encuentren por debajo del nivel de 72 dB dejando un margen de 5 dB por lo que estos podrían llegarse a incrementar hasta los 77 dB.

Tabla 2. Objetivos de calidad acústica para vibraiones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.
Referencia: Tabla C del Anexo II. Objetivos de calidad acústica (Real Decreto, de 19 de octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2003)

Uso del edificio ²	Índice de vibración L_{aw} (dB)
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

4.3 Marco legislativo Autonómico

Respecto al nivel autonómico, actualmente se encuentra vigente la Ley 7/2002 [26] de la Comunidad Valenciana publicada el 3 de diciembre de 2002 y la cual describe la legislación para la protección contra la contaminación vibro-acústica en dicho territorio. Esta ley viene modificada por la Ley 14/2005 publicada el 23 de diciembre de 2005 [27], que incluye los Reales Decretos 266/2004 [28] y 104/2006 [29].

Esta Ley indica cómo realizar la medición de la vibración, para ello menciona lo siguiente:

1. *Para medir las vibraciones se utilizará como magnitud la aceleración y se expresará en metro por segundo cada segundo ($m s^{-2}$).*
2. *Para la evaluación de vibraciones en edificios, se medirá la aceleración eficaz de vibración mediante análisis en bandas de tercio de octava. Reglamentariamente se establecerá el procedimiento para el cálculo del índice K de molestia.*
3. *Las mediciones de vibraciones se realizarán utilizando acelerómetros y analizadores de frecuencia, según los procedimientos establecidos reglamentariamente.*

Asimismo, se especifica lo siguiente:

4. *Las instalaciones de máquinas o dispositivos que puedan originar vibraciones en el interior de los edificios se efectuará adoptando los elementos antivibratorios adecuados, cuya efectividad deberá justificarse en los correspondientes proyectos.*
5. *No se permitirá la instalación ni el funcionamiento de máquinas o dispositivos que originen en el interior de los edificios niveles de vibración con valores k superiores a los límites expresados en la tabla 1 del anexo III [26] y que pueden consultarse en la Tabla 3 del presente documento.*
6. *No obstante, lo dispuesto en el apartado anterior, se prohíbe el funcionamiento de máquinas, equipos y demás actividades o instalaciones que transmitan vibraciones detectables directamente sin necesidad de instrumentos de medida en el interior de edificios destinados a uso sanitario, docente o residencial.*

⁴ A los efectos de lo establecido en el punto 4 del Anexo III del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, se consideran como valores admisibles de referencia, en relación con las molestias y alteraciones del sueño, los que se establecen en las tablas de este y el siguiente anexo.

Tabla 3. Niveles de vibración (según la Ley 7/2002, de 3 diciembre, de Protección contra la Contaminación Acústica, de la Generalitat Valenciana)

Situación	Valores de k			
	Vibraciones continuas		Vibraciones transitorias	
	Día	Noche	Día	Noche
Sanitario	2	1.4	16	1.4
Docente	2	1.4	16	1.4
Residencial	2	1.4	16	1.4
Oficinas	4	4	128	12
Almacenes y Comercios	8	8	128	128
Industrias	8	8	128	128

Las zonas de trabajo donde se exija un alto nivel de precisión tendrán un valor k igual a 1, día y noche.

Se consideran vibraciones transitorias aquellas cuyo número de impulsos sea inferior a tres sucesos por día.

Para este trabajo de fin de máster se aplicarán los niveles exigidos en la **Ley de Ámbito Nacional** para uso dominante de suelo "**Sanitario**", evaluando el nivel de aceleración $L_a(w)$, ya que se trata de la normativa más reciente y de rango superior aplicable a todo el territorio.

5 Metodología

La sala de neonatos sometida a estudio se encuentra en la planta primera del Hospital Comarcal Francesc de Borja de Gandia, centro público de la Generalitat Valenciana que se incluye en el Departamento de Salud de Gandia.

Se trata de un hospital relativamente nuevo, inaugurado en el año 2015 presenta atención a más de 188.00 habitantes de las 31 poblaciones que conforman la comarca de La Safor, además de albergar 10 municipios de La Vall d'Albaida. Se encuentra ubicado en la Avenida de la Medicina nº 6, en el sector de Sancho Llop, al sudoeste de Gandia. En la siguiente imagen se muestra su localización. [30]

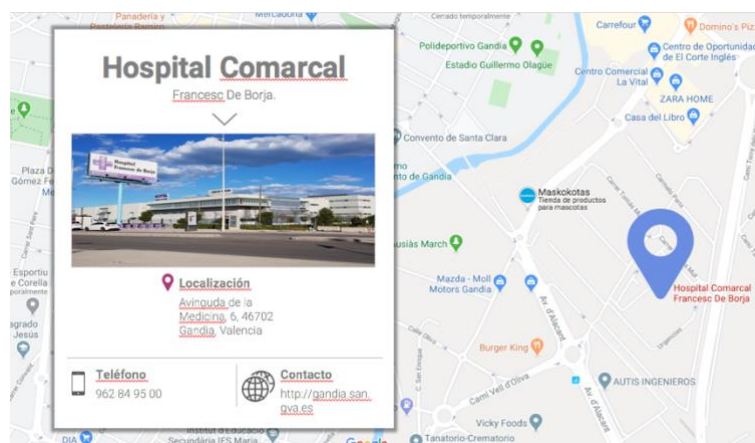


Figura 4 - Vista de la ubicación del Hospital Comarcal Francesc de Borja. Fuente: Google Maps.

La sala donde se ha llevado a cabo el estudio de las vibraciones cuenta con un número de cunas e incubadoras variables, con una capacidad media de 6 incubadoras, pudiendo llegar hasta un máximo de 10.

Durante este periodo de estudio se han llegado a realizar un total de **744 registros** de vibraciones, los cuales han sido distribuidos en distintos días y franjas horarias. Con ellos se ha conseguido caracterizar por completo los sistemas de cuna e incubadora consiguiendo 12 posiciones de registro para el sistema de la cuna y 19 registros para la incubadora. En la sala se encuentran en todo momento ingresados pacientes en las incubadoras y las cunas. Se requiere destacar que todo paciente neonatal pasa por la cuna. Esto puede resultar extraño, pero puede darse el caso de que un neonato recién nacido llegue a irse a casa, dándose este hecho rara vez y teniendo que volver a la sala neonatal pocas horas después. Estos pacientes siempre irán a cuna. Todo aquel neonato que cuando ingresa en la sala pasa su estancia en incubadora, antes de ser dado de alta siempre deberá pasar por la cuna antes para que pueda conseguir adaptarse a las condiciones "normales". De la misma forma los desplazamientos desde

el paritorio hasta la sala neonatal se producen con el paciente en la incubadora y cuando el desplazamiento es desde la sala UNEO hasta la sala donde se le requiera realizar alguna prueba de diagnóstico, el paciente viajará en cuna. Dado estos acontecimientos el equipo decidió incluir en las medidas que se tenían planeadas el escenario de los sistemas en movimiento. De esta forma, los escenarios estudiados han sido:

Escenarios en incubadora neonatal:

- Ruido de fondo (Todo apagado): a lo largo del documento cuando se haga referencia a mediciones de este escenario se referenciarán como 'fondo'.
- Motor de la incubadora encendido y aire de la sala apagado: para registros de este escenario se hará referencia en el documento a 'motor'
- Motor de la incubadora encendido y aire de la sala encendido: los registros de este escenario han sido referenciados como 'motorair'.
- Aire de la sala encendido: para los registros de este escenario se utilizará 'aire'.

Escenarios en cuna neonatal:

- Ruido de fondo (Todo apagado): a lo largo del documento cuando se haga referencia a mediciones de este escenario se referenciarán como 'fondo' (igual que en el caso de la incubadora).
- Aire de la sala encendido: de igual forma que en el estudio del prototipo de la incubadora, a este escenario se le referencia como 'aire'.
- Cuna en movimiento: por último, el escenario de la cuna en movimiento queda referenciado como 'din'

En la siguiente figura (ver Figura 5) se muestran la incubadora y la cuna neonatal. En los siguientes apartados se hablará en detalle de los puntos escogidos para cada uno de los escenarios y como se llevó a cabo el estudio.



Incubadora neonatal



Cuna de la sala neonatal

Figura 5 - Escenarios de registros de los sistemas bajo estudio en la sala UNEO del Hospital de Gandia

Los registros de este estudio fueron tomados con un sonómetro Brüel&Kjær 2250 bajo el módulo de analizador FFT avanzado, utilizando un acelerómetro Brüel&Kjær Type 4370, puede observarse esta instrumentación en la Figura 6. Para proceder con el registro se configuro el sonómetro según se detalla a continuación:

- Modulo: Analizador de Frecuencia Avanzado (FFT).
- Entrada: Trasero modelo 8334 (30145) en modo Taco-Disparo.
- Ajustes frecuenciales:

- Amplitud: 200 Hz/500 Hz. (Dependiendo del escenario)
- Líneas: 400/800. (Se consigue ajustar el tiempo de medida)
- Corrección: No
- Baja frecuencia: Extendida.
- Ponderación: Lineal.
- Control de medida: Manual/ Lineal/ 1
- Ventanas: FFT
- Unidades: RMS
- Grabación de la señal: Si

Los primeros registros (registros de control) fueron tomados en un margen de frecuencias de 0 Hz hasta 500 Hz para detectar posibles anomalías a altas frecuencias. Una vez realizado este estudio de control, se decidió disminuir el margen frecuencial a 200 Hz para el caso de la cuna. Siendo cierto que para el estudio de la vibración el equipo se centró en el rango frecuencial de 0 Hz hasta 80 Hz, tal y como se detalla en la norma para el estudio del Nivel de Aceleración Global - La_w . [12]



Figura 6 - Equipamiento de medición utilizados

5.1 Análisis de las vibraciones incubadora neonatal.

Para el análisis de este sistema se valoró definir un total de 19 puntos de medida con los que quedaba totalmente estudiada la estructura de la incubadora. De esta forma se consigue llevar a cabo el análisis de todas las posibles influencias como la transmisión de las vibraciones ocasionadas por la propia geometría de la sala, la estructura de la propia incubadora, la influencia del cajón del motor con el que cuentan todas las incubadoras, la influencia del motor (con este se lleva acabo el control de las condiciones de temperatura, humedad y oxígeno a las que se debe encontrar el paciente neonatal), la influencia de la placa soporte del colchón y del colchón, así como la influencia de la geometría de la capota y el cierre de la incubadora; consiguiendo un total de **456** mediciones, en la Figura 7 se muestra la localización de las posiciones de registro.

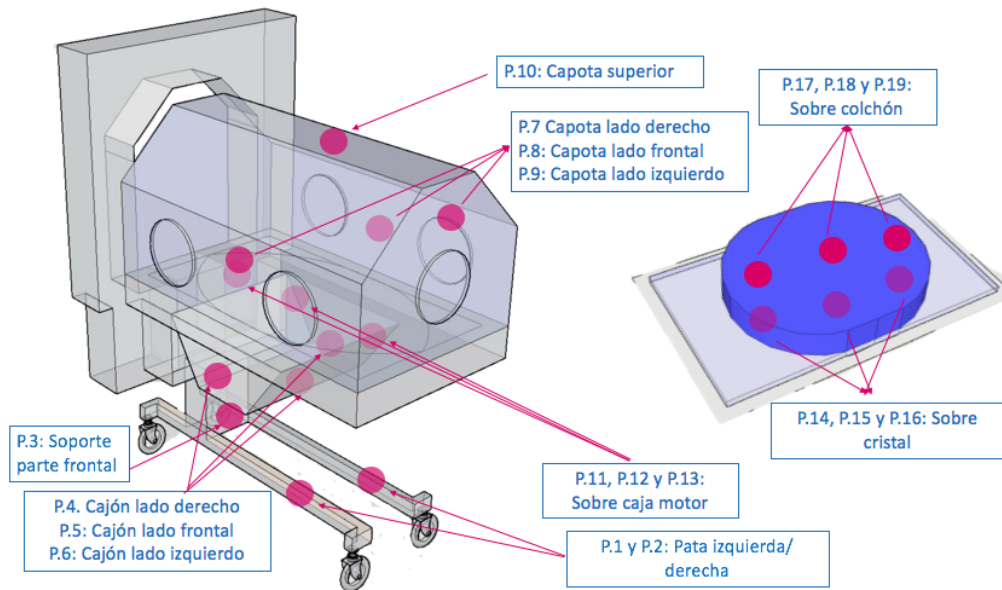


Figura 7 - Posiciones de registro llevados a cabo en el prototipo bajo estudio de la incubadora neonatal

Los 456 registros de medición de acelerómetro se realizan considerando los 4 escenarios definidos anteriormente para la incubadora: Ruido de fondo (Todo apagado), motor de la incubadora encendido y aire de la sala apagado, motor de la incubadora encendido y aire de la sala encendido y aire de la sala encendido

5.2 Análisis de las vibraciones en cuna neonatal

Para el análisis de este sistema se consigue el registro de **288** mediciones distribuidas en 12 posiciones que se muestran en la Figura 8, y en cada uno de los escenarios (ruido de fondo, aire de la sala encendido y cuna en movimiento). De esta forma se consigue estudiar todas las posibles influencias de la transmisión de las vibraciones en este prototipo con el objetivo de detectar los puntos más críticos.

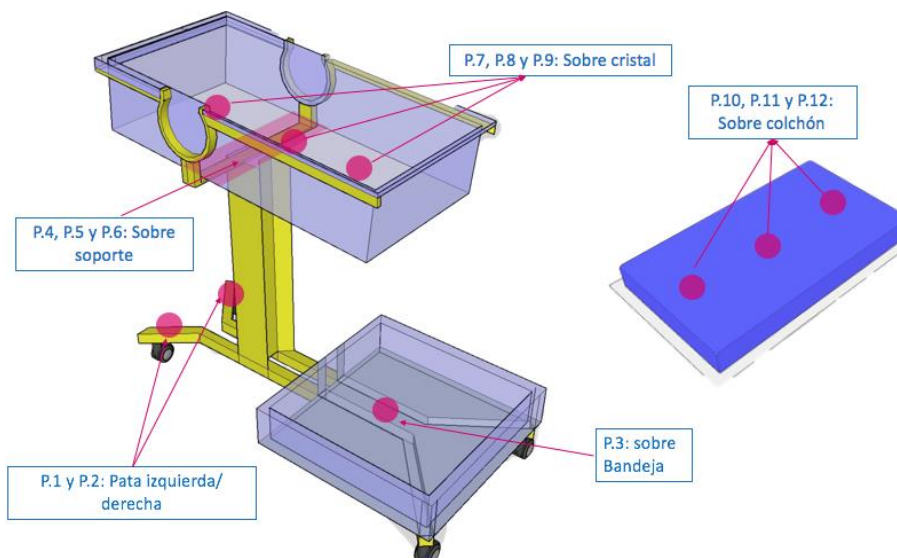


Figura 8 - Posiciones de los registros realizados en el escenario de la cuna neonatal.

En la Figura 9 se muestran las dimensiones, tanto de la incubadora como de la cuna neonatal.

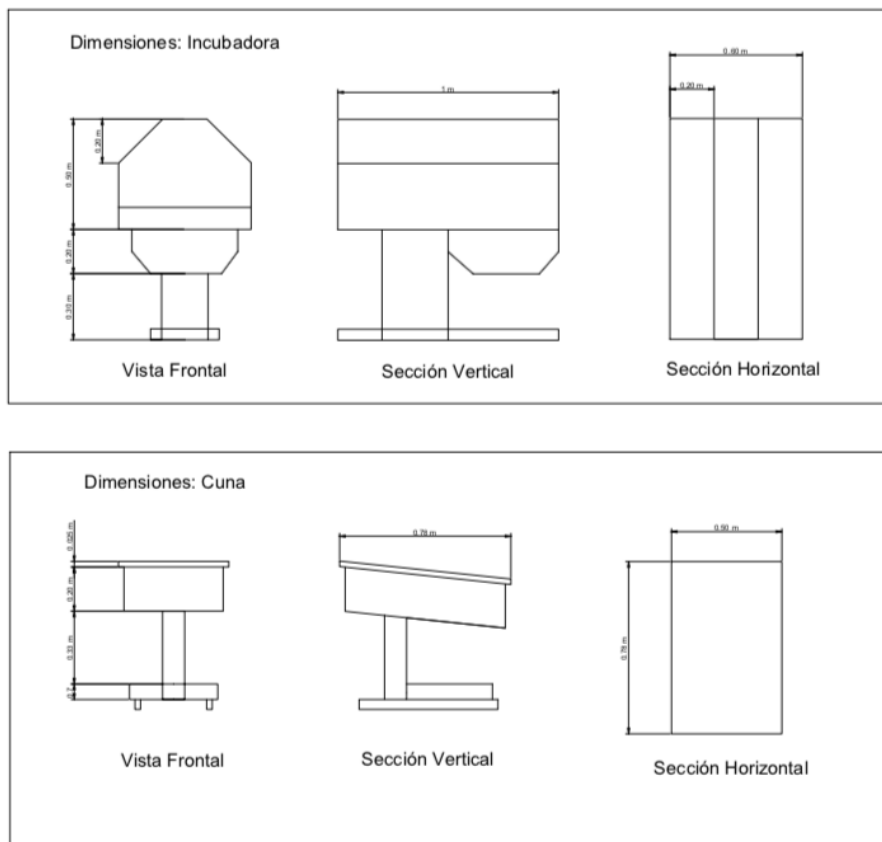


Figura 9 - Dimensiones reales de los prototipos evaluado

6 Análisis de resultados

Llegados a este punto y habiendo explicado con anterioridad el procedimiento seguido para la evaluación de los agresores vibro-acústicos según la normativa, se presenta el análisis de los registros obtenidos durante el proceso de recolección de estos. De esta forma se mostrarán los resultados obtenidos tanto para incubadora (apartado 6.1) como cuna neonatal (apartado 6.2).

Los valores del índice de vibraciones La_w (dB) evaluados deben ser inferiores a los 72 dB (uso hospitalario) y no deben exceder nunca los 77 dB ya que según Decreto [24] en ningún caso se permiten excesos superiores a los 5 dB definidos en la Tabla 1. Para la realización del registro de las medidas tanto en la incubadora como en la cuna se hace uso del material anteriormente descrito en el capítulo anterior.

Cabe recalcar que algunos de los resultados que se presentan en esta capítulo fueron presentados con anterioridad en el XI congreso Iberoamericano de Acústica; 51º congreso Español de Acústica . TECNIACUSTICA'20 "González, Gema; del Rey, Romina; Sequi, José; Alba, Jesús; Rodríguez, María del Carmen. Estudio de agresores vibroacústicos en unidades neonatales. XI Congreso Iberoamericano de Acústica; 51º Congreso Español de Acústica – TECNIACUSTICA'20, 21 a 23 de octubre de 2020. [31].

6.1 Resultados en incubadoras neonatales

Tal y como se comentó en el capítulo anterior, en la incubadora se han registrado 19 puntos de medición con un total de 4 escenarios diferentes. A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos en dichos registros, pudiendo observar los niveles que se obtienen desde las patas de la incubadora, hasta la capota de esta y su interior pasando por toda la estructura. Para un mayor detalle consultar el Anexo I: Registro y análisis de los prototipos.

El primer paso de este análisis de resultados será obtener el nivel de aceleración por bandas de frecuencias en tercios de octava para cada una de las posiciones de registro. En la Figura 10 se muestran los registros de los valores obtenidos para las disposiciones de las patas y la estructura, en la Figura 11 se mostrarán los valores obtenidos en el cajón de la incubadora, en la Figura 12 se pueden observar los registros de la capota, en la Figura 13 se muestran los resultados en las posiciones sobre motor, los resultados simétricos sobre la placa separadora se muestran en la Figura 14 y por último en la Figura 15 se muestran los resultados obtenidos en las posiciones sobre el colchón. Estas últimas posiciones serán las que se analicen con mayor interés, debido a que esta posición es la que guarda mayor relación con la posición del neonato debido a que este será posicionado sobre el colchón.

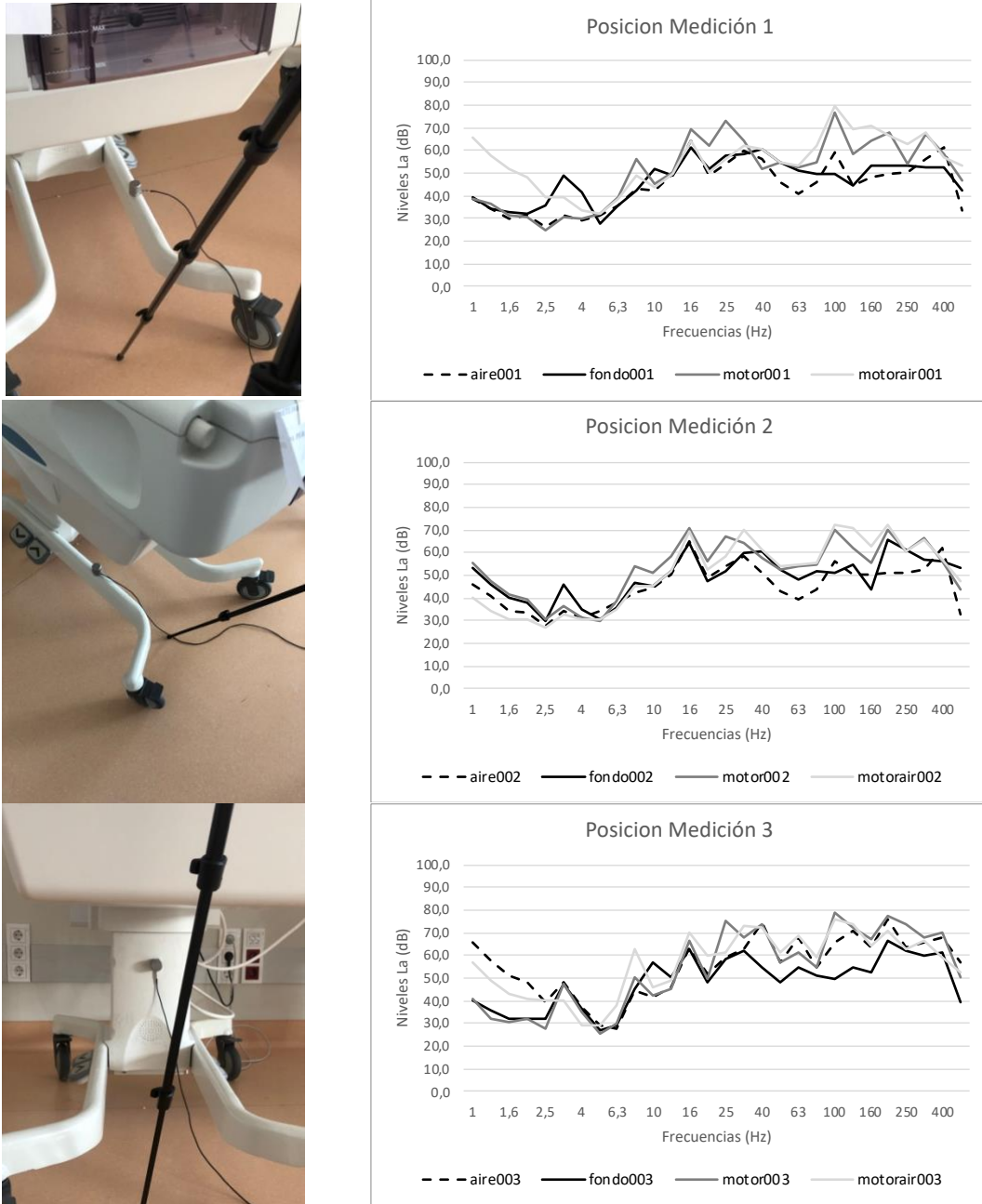


Figura 10 - Niveles de aceleración registrados para las patas y estructura de la incubadora (posiciones 1, 2 y 3).

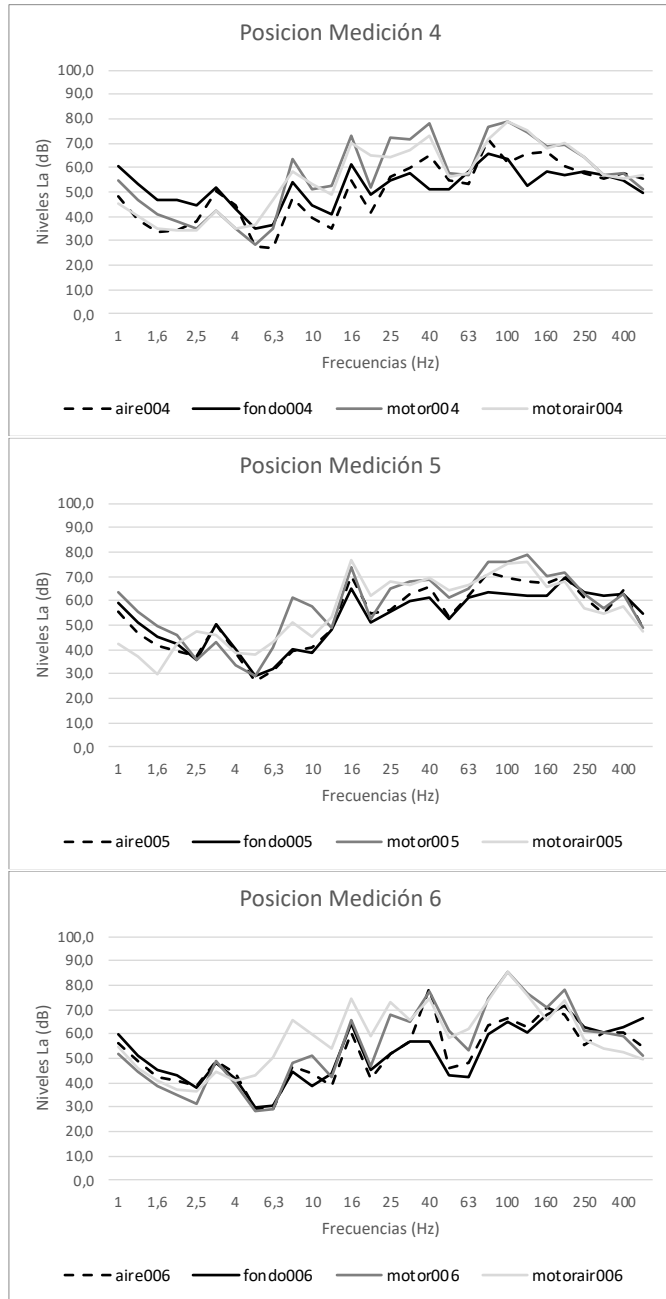


Figura 11 - Niveles de aceleración registrados para el cajón de la incubadora (posiciones 4, 5 y 6).

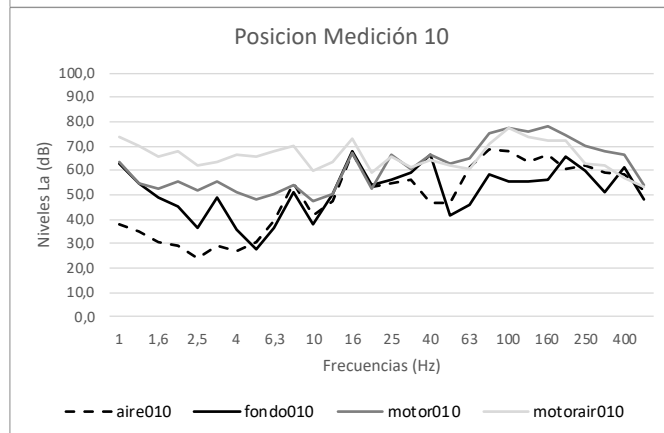
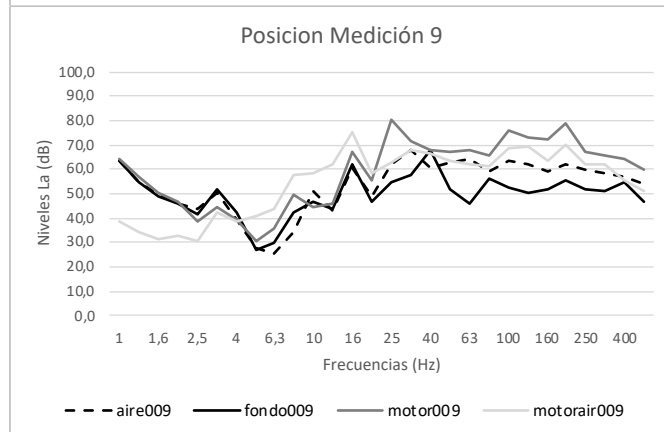
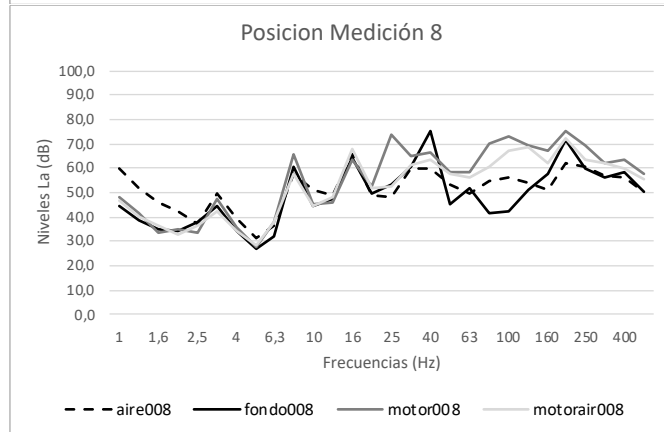
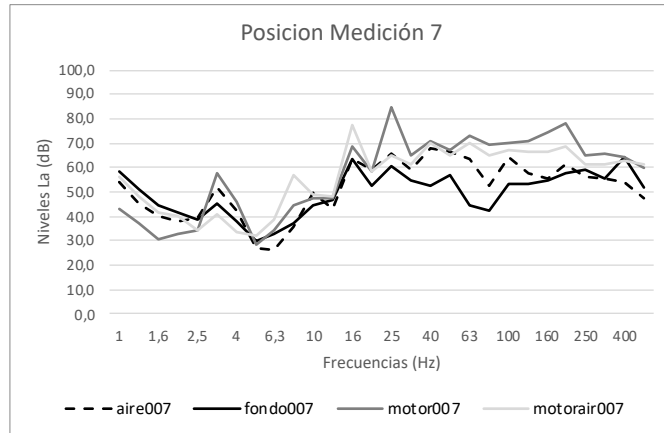


Figura 12 - Niveles de aceleración registrados en la capota de la incubadora (posiciones 7, 8, 9 y 10).

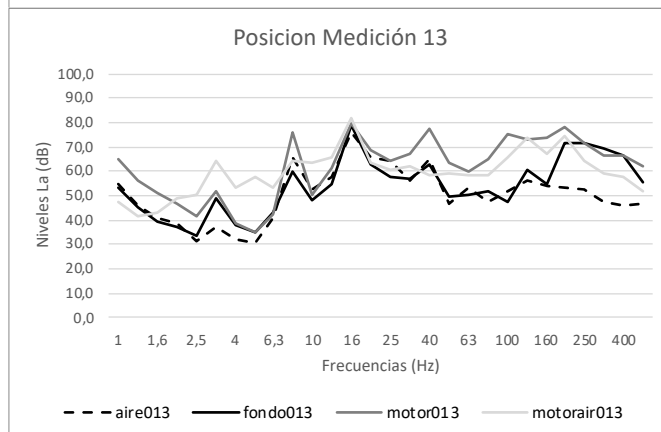
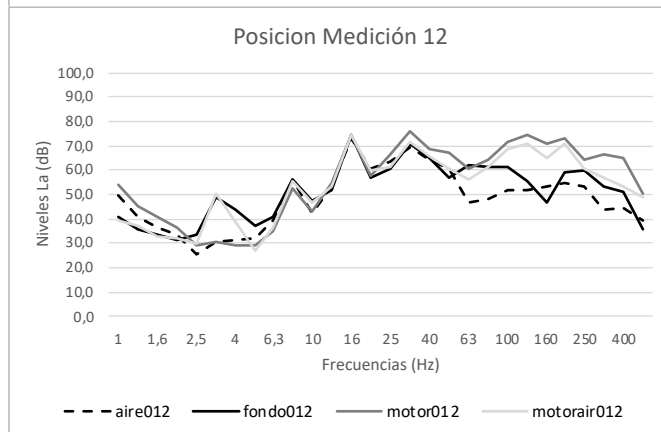
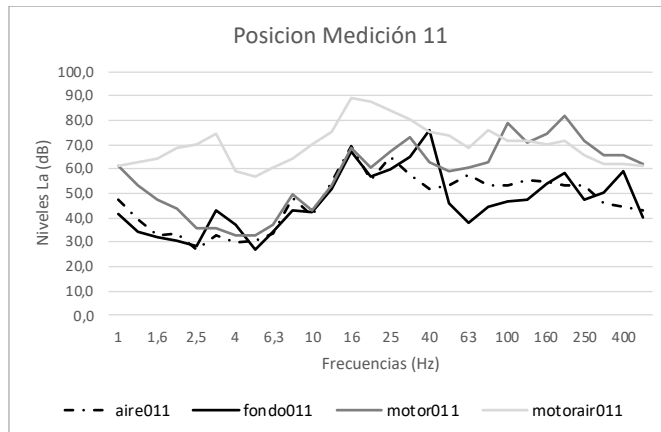
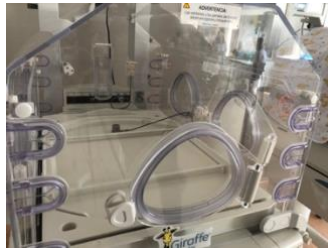


Figura 13 - Niveles de aceleración registrados para la estructura del motor de la incubadora (posiciones 11, 12 y 13).

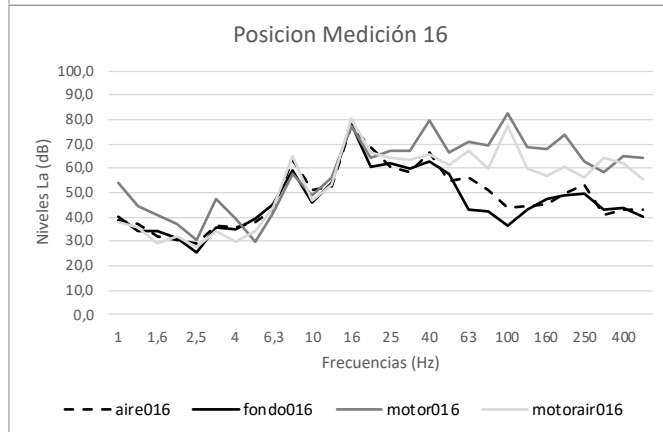
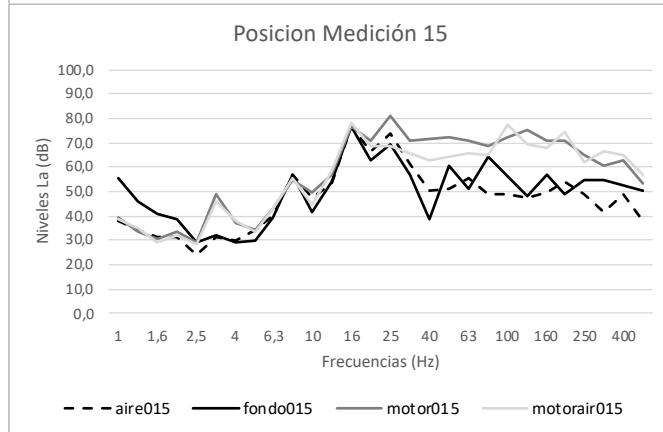
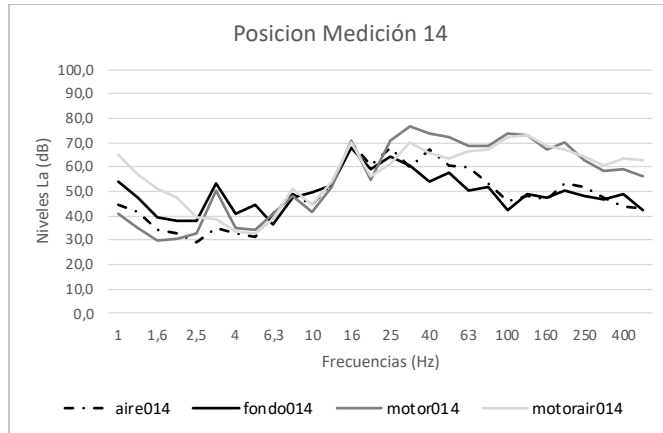


Figura 14 - Niveles de aceleración registrados sobre la bandeja separadora de la incubadora (posiciones 14, 15 y 16).

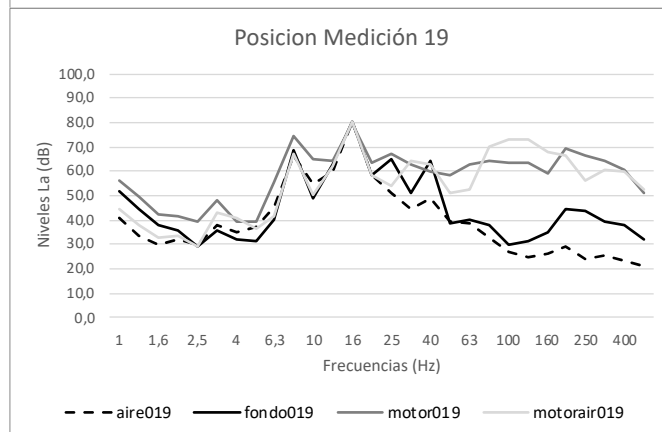
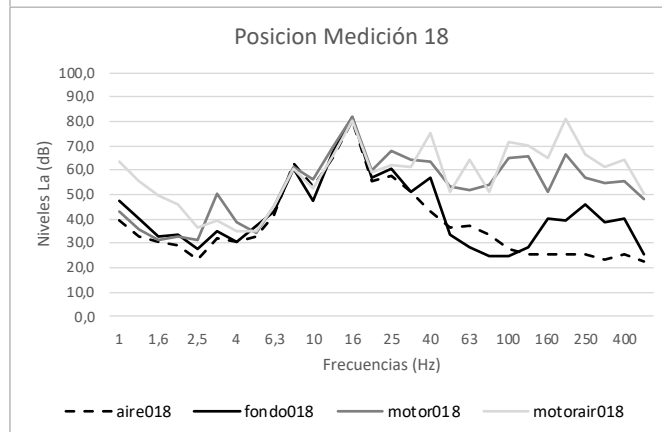
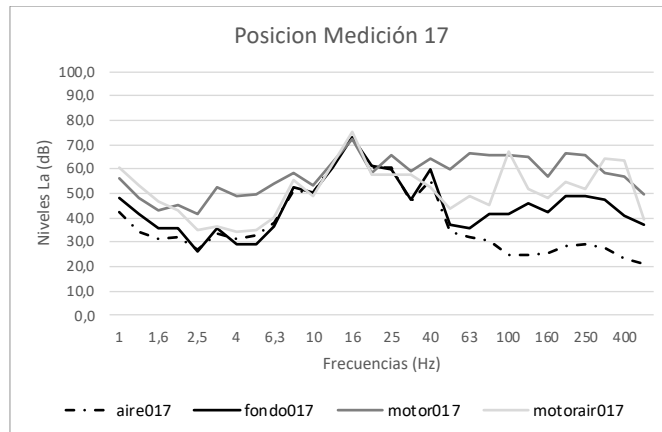


Figura 15 - Niveles de aceleración registrados sobre el colchón de la incubadora (posiciones 17, 18 y 19).

En este último bloque de registros se puede observar como las medidas con los niveles más elevados son las que se realizan con el motor de la incubadora encendido, y que la diferencia al tener el motor encendido junto al aire de la sala es muy pequeña y para estos registros no tendría una gran influencia el aire acondicionado de la sala. Destacar que en la posición de registro 11, posición sobre el motor en la parte superior, los valores de los registros del escenario “motorair” son mayores que el resto.

Se registra en las mediciones un pico en el nivel de aceleración alrededor de la frecuencia de 20 Hz. Esta frecuencia se considera en el cálculo del valor global del nivel de aceleración, por lo que es de interés en el análisis de este trabajo.

Además, se puede observar en la posición 6 (parte derecha del cajón) y posición 8 (parte frontal de la capota) unos picos en la frecuencia de 40 Hz, estos registros se evaluarán con más detenimiento más adelante, dado que en estas posiciones se encuentra una

anomalía que podría ser producida por la resonancia del modo propio sobre la estructura, o que vibraciones provenientes de otros puntos de medición estuviesen entrando en resonancia con la estructura de la capota. Se decide profundizar en el análisis de este fenómeno y dado que se trata de un recinto cerrado, se simulará en el punto 6.1.1 el prototipo.

Por otro lado, en la mayoría de las gráficas se puede observar como los niveles de aceleración en las frecuencias más bajas guardan cierta relación, mientras que para los valores de frecuencias más altas esta relación se rompe y mientras las configuraciones de aire y fondo se mantienen a niveles bajos, para la configuración de motor y aire + motor los niveles aumentan y los valores ya no guardan relación con los valores de las configuraciones anteriores.

Dado que ya se han obtenido los valores de aceleración por bandas de tercios de octava, se procede a realizar la ponderación W_m , haciendo uso de la Ecuación 3, en pos de poder obtener el valor de aceleración global de cada registro. En las figuras de la 16 a la 20 se muestran estos valores globales.

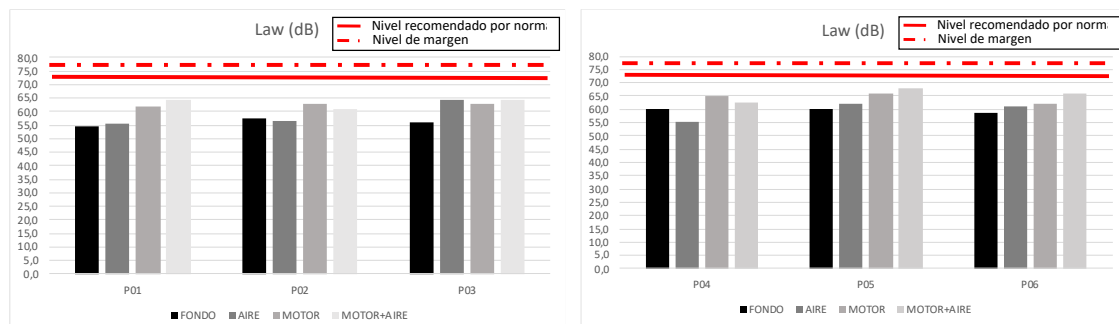


Figura 16 - Niveles de aceleración global obtenidos para los registros de las posiciones de las patas (P1 y P2), la estructura (P3) y el cajón de la incubadora (P4, P5 y P6)

En la Figura 16 se puede observar como en lo que abarcaría la parte de las patas y el eje central como el cajón de la incubadora, los niveles registrados estarían por debajo de los niveles que se recomiendan por normativa (72 dB).

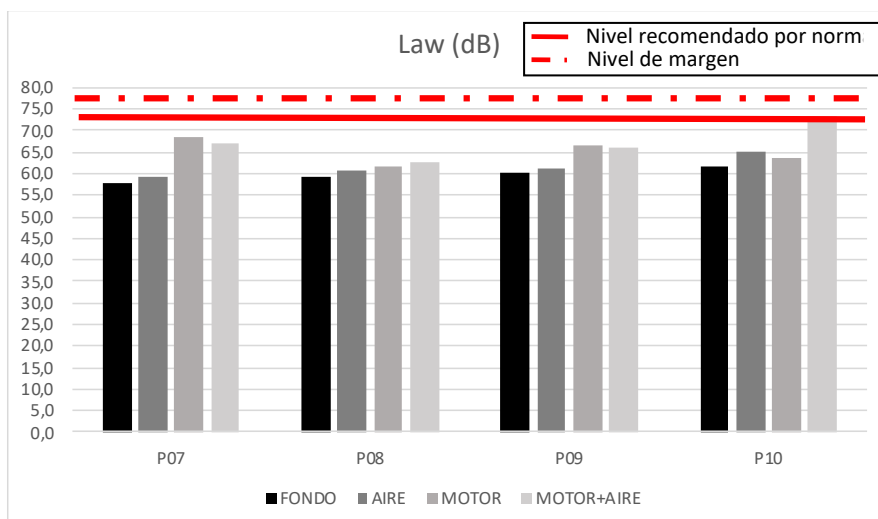


Figura 17 - Valores del nivel de aceleración global obtenido en los registros de las posiciones de la capota de la incubadora neonatal (Puntos de medición P7, P8, P9 y P10)

En la Figura 17 se pueden observar como los valores para los registros de estas posiciones incrementan su valor, estando en algunos casos muy próximos a los valores máximos recomendados por normativa.

Cuando se analiza la parte interior de la incubadora se pueden encontrar tres posibles configuraciones, que la medición se encuentre sobre el motor de la incubadora, que se encuentre sobre la bandeja que separa el punto de medición anterior con el colchón, y la medición que se realiza sobre el colchón. Estos últimos registros (puntos 11, 12 y 13, para la medición sobre motor, puntos 14, 15 y 16 para la medición sobre la bandeja que separa el motor del colchón y por último los puntos 17, 18 y 19, registrados sobre el colchón) quedarían pues sobre 'motor', sobre 'placa' y sobre 'colchón'.

En la Figura 18 se muestran los valores de niveles de aceleración global de las posiciones donde se encontraría la posición de la cabeza del neonato, por lo que se considera que estos registros serán los más importantes en este estudio, dado la inmadurez cerebral y orgánica. Se puede observar como para la posición 11 la cual se encuentra situada sobre la estructura del motor los niveles obtenidos en los escenarios "aire" y "motor+aire", sobrepasan los niveles indicados en normativa sobrepasando de igual forma el incremento de 5 dB.

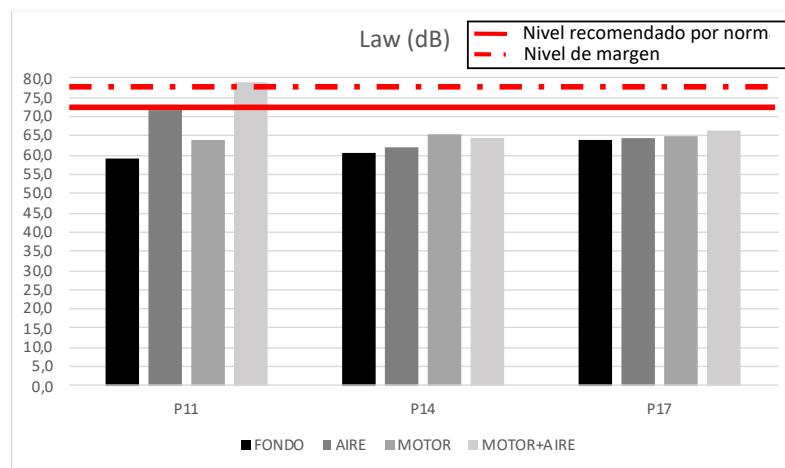


Figura 18 - Valores del nivel de aceleración global para los registros de las posiciones simétricas de la posición de la cabeza del neonato sobre motor (P11), placa (P14) y colchón (P17).

En la Figura 19 se muestran los valores de niveles de aceleración global de las posiciones serían donde se encontraría el torso del neonato.

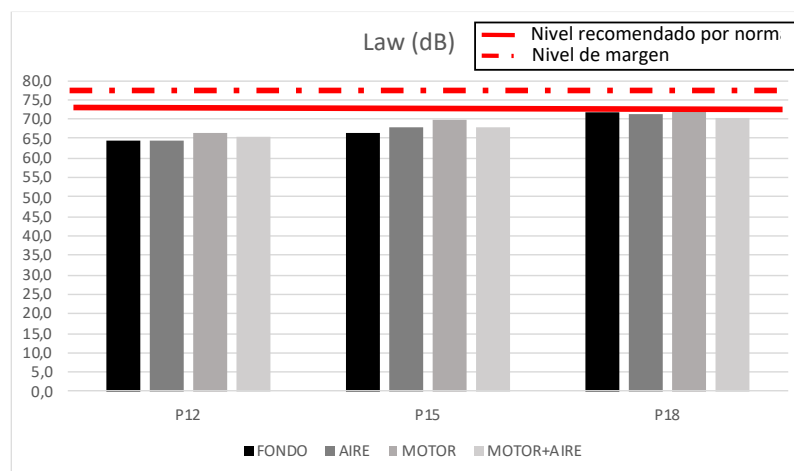


Figura 19 - Valores del nivel de aceleración global para los registros de las posiciones simétricas de la posición del torso del neonato sobre motor (P12), placa (P15) y colchón (P18).

Se observa que la medida que sobrepasa los niveles es la que corresponde al registro sobre el colchón, prácticamente en los 4 escenarios, y que el registro sobre la placa estaría cercano a sobrepasar los niveles.

Por último, en el análisis de los registros de nivel de aceleración global para el caso de la incubadora, quedaría analizar las posiciones sobre motor, sobre placa y sobre colchón donde reposarían las extremidades inferiores del neonato (Figura 20).

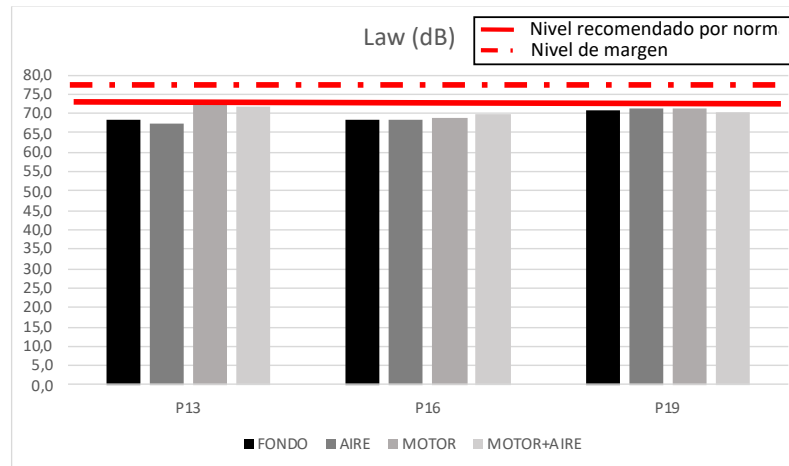


Figura 20 - Valores del nivel de aceleración global para los registros de las posiciones simétricas de la posición de las extremidades del neonato sobre motor (P13), placa (P16) y colchón (19).

Como resumen del análisis de los registros analizados en la incubadora neonatal se ha podido observar como dependiendo de la zona donde se encuentre la posición de registro se superen los niveles o se encuentren cercanos a sobrepasarlos, como es el caso del punto de medición 11, o la posición 18 sobre el colchón. Si se analiza las partes inferiores se puede observar como los niveles más elevados se encuentran en las posiciones 13 y 19 que serían sobre motor y sobre colchón, respectivamente.

6.1.1 Simulación FEM del prototipo de la incubadora

Tras el análisis realizado del modelo de la incubadora estudiado, se han encontrado picos en los niveles de aceleración en algunos registros, como son en las posiciones 6 y 8; estas anomalías se encuentran a una frecuencia de 40 Hz (ver Figura 21) y se cree que pueden ser producidas por la propia estructura de la incubadora, es decir, la estructura amplifica la vibración producida en la parte baja de la incubadora y la transmite a la parte superior. Otra posibilidad, sería que a la frecuencia de 40 Hz se encontrase un modo propio de la incubadora y este estuviese reaccionando a la vibración amplificando sus valores. Para evaluar este caso y poder llegar a una conclusión de lo que realmente está ocurriendo, se decide realizar una simulación en el software de COMSOL, software de modelamiento multifísico desarrollado para analizar este tipo de comportamientos; dado que se trata de una estructura cerrada. En este estudio se trabajó en el modulo frecuencial, con el que se pretende buscar la respuesta a la anomalía.

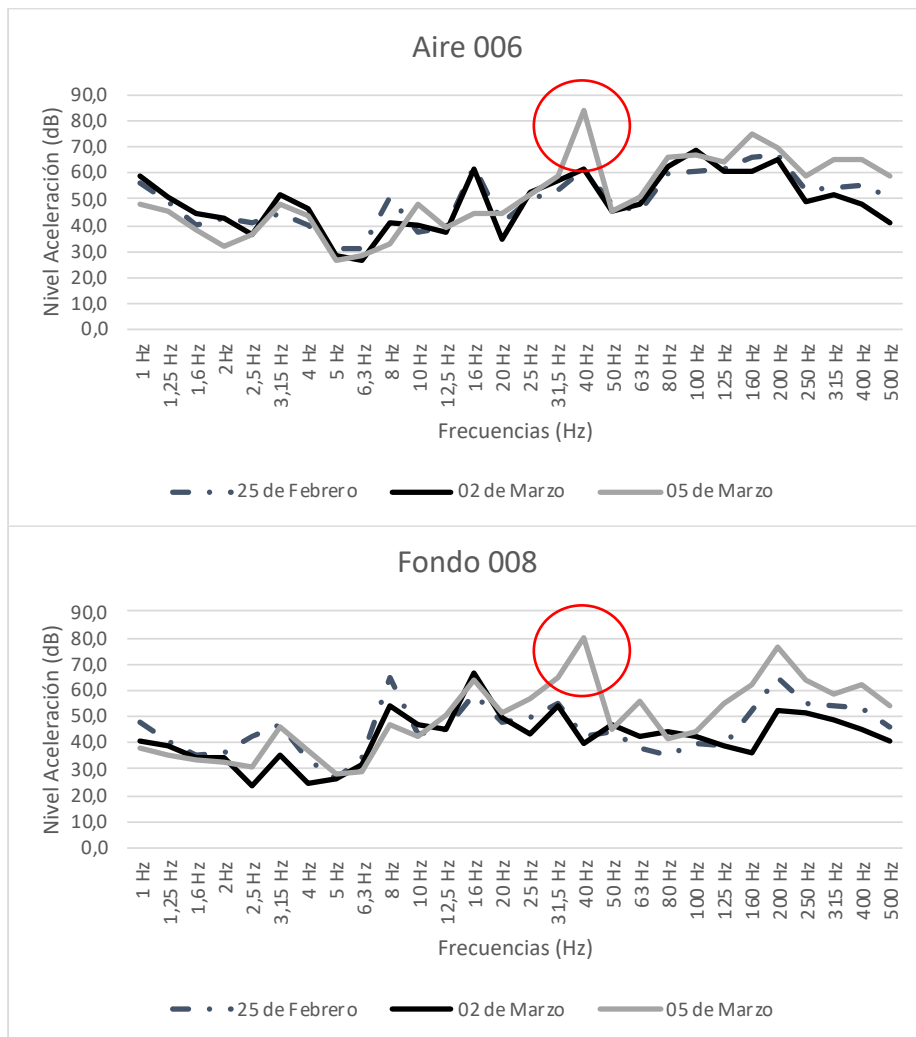


Figura 21 - Anomalías encontradas en la frecuencia de 40 Hz para distintas posiciones

Para ello, el diseño de la incubadora se divide en tres secciones: Cajón motor, cajón contenedor y cúpula.

Se procederá a realizar una simulación de la estructura al completo uniendo las tres secciones, donde se verá la influencia de toda la estructura sobre la frecuencia de 40 Hz y se determinaran unas ondas incidentes sobre el punto de medición número 8, para de esta forma comprobar si la estructura funciona como camino de transmisión y amplificación de frecuencias.

Para poder proceder a la simulación y obtener el estudio de las frecuencias, lo primero que se realizará será la caracterización de la malla de cada elemento, para ello se hará uso de la siguiente ecuación.

$$\text{Tamaño malla} = \frac{c / F_{\text{máx}}}{n^{\circ} \text{ elementos}} \quad (6)$$

Donde c es el valor de la velocidad de propagación, que para este caso en concreto será de 353.1 m/s para una temperatura de 36 grados centígrados, dado que el medio de propagación será a través del aire y que en el interior de la incubadora la temperatura se conserva para que el neonato se encuentre a una temperatura de 36 grados centígrados, F_{máx} es el valor de la frecuencia máxima a la que se va a trabajar, (80Hz) y n^o elementos donde se elegirá el número mínimo de elementos y el máximo,

normalmente este valor suele ser de 10 para el valor mínimo y de 12 para el valor máximo, con ellos conseguiremos obtener un buen tamaño de malla.

Haciendo uso de la ecuación anterior (Ecuación 6) se obtiene un tamaño de malla muy grande para realizar la simulación, por lo que se hará uso de la opción por defecto del software y se utilizará una malla “finer” con la que se conseguirá pasar a un tamaño de malla de 0.055m suficiente para la simulación que se quiere llevar a cabo. Con estos nuevos valores se podrá obtener una frecuencia de validez siguiendo la siguiente ecuación.

$$Frecuencia = \frac{c}{8 * \Delta x} \quad (7)$$

Con esta formulación y los valores anteriores se consigue un valor para la frecuencia de validez de 702.3 Hz, para este caso, suficiente dado que se podrá llegar a analizar la simulación hasta los 702.3 Hz, y el propósito de la simulación es averiguar qué ocurre con las vibraciones a 40 Hz. Con estos valores obtenidos y las características del modelado descrito con anterioridad, se obtuvieron las simulaciones para la estructura de la incubadora. A la izquierda se podrá observar el nivel de presión acústica en pascales y la derecha en dB.

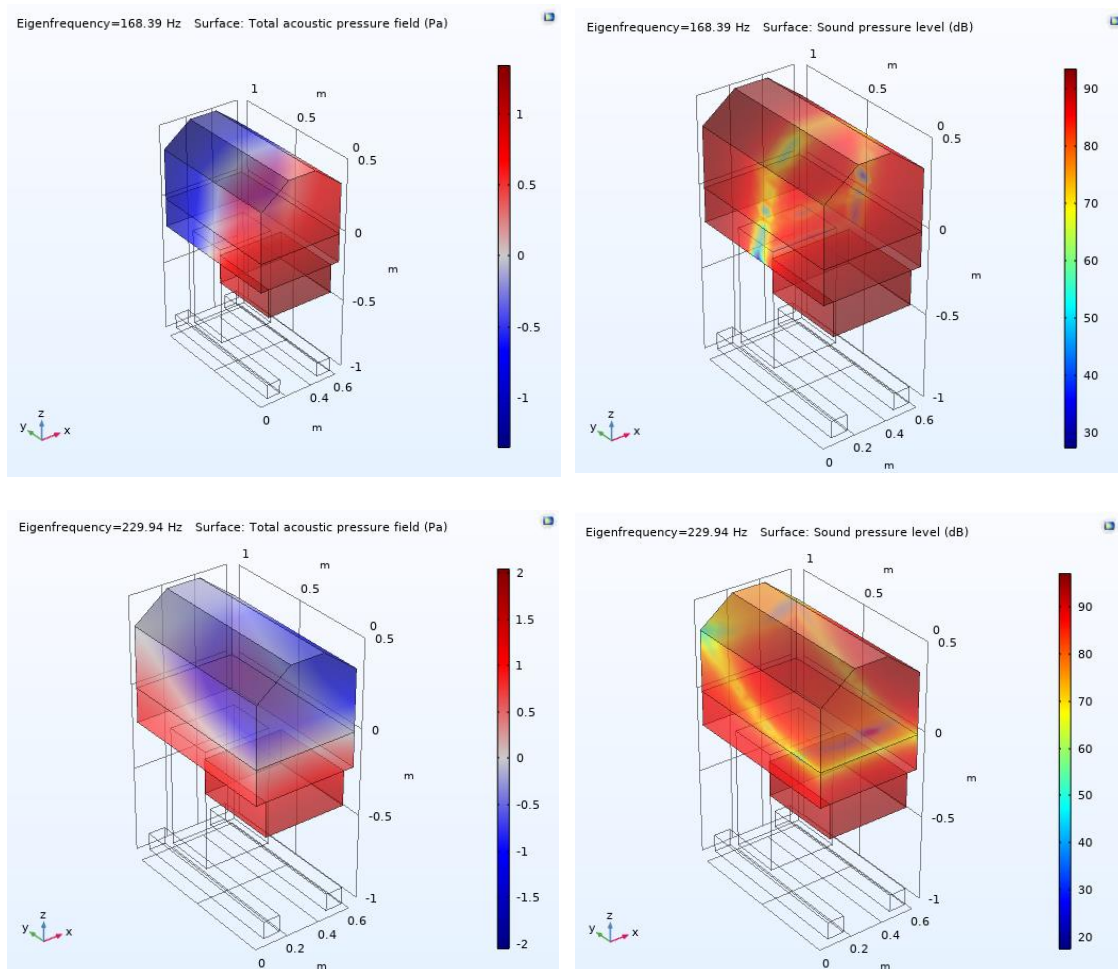


Figura 22 - Resultados obtenidos del nivel de presión para el conjunto de elementos en el primer modo (arriba) y segundo modo (abajo)

Si se estudia la Figura 22, se aprecia que los modos propios aparecen en las frecuencias de 168.4 Hz para el primer modo y el segundo a 230 Hz. Es por ello, que bajo los resultados de la simulación de los métodos infinitos se descarta que la anomalía encontrada haya sido producida por un modo propio a 40 Hz del prototipo. Al mismo tiempo se puede apreciar como en las posiciones de registro donde ocurre esta anomalía ocurre un cambio de presión brusco donde se encuentra una diferencia próxima a los 50 dB.

El software permite poder manipular los valores para poder realizar el estudio a una frecuencia determinada, por ende en vez de obtener los valores de las frecuencias propias de la estructura en las que se encuentran los modos propios, se decide ver como se comporta la estructura a 40 Hz, que es la frecuencia de interés.

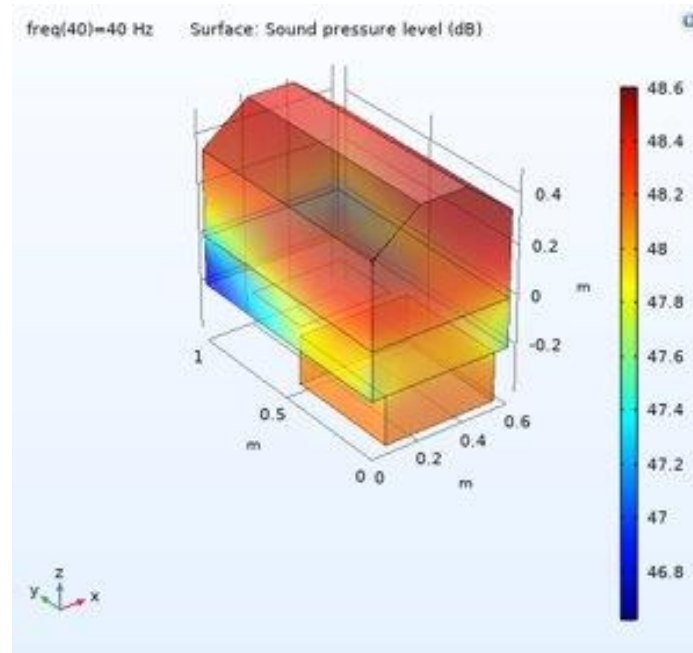


Figura 23 - Simulación obtenida a 40 Hz de frecuencia

Como se observa en la Figura 23, no se encuentra ningún modo propio claro a la frecuencia de 40 Hz, y esta vez la diferencia de nivel de presión es menor que la que se obtuvo en la Figura 22; en este caso la diferencia es de 2 dB.

Tras la simulación anterior lograda, se llega a la conclusión de que no existe ningún modo propio a la frecuencia de 40 Hz que origine problemas en el análisis de los registros. Se procede pues a realizar una simulación con condición de aceleración sobre el cajón de la incubadora y de esta forma estudiar si la estructura funcione como transmisión y/o amplificación de la vibración. Para ello se añadirá el valor que se obtuvo en los registros de medición para la aceleración registrada a 40 Hz la cual tenía un valor de $a_n = 1.41e^{-3}m/s^2$, además y dado que las patas se encuentran ancladas al suelo mediante las ruedas, se le designará la condición "fixed".

Con todo ello, obtenemos el siguiente resultado (ver Figura 24). Por otra parte, y para poder obtener una mejor imagen de lo que está ocurriendo se añade una onda incidente sobre el punto donde se encuentra la medición número 8, de esta forma se podrá simular la incidencia del acelerómetro en la superficie. Para ello, la onda se hallará controlada por dos ángulos:

- $0 < \theta < \pi$
- $0 < \varphi < 2\pi$

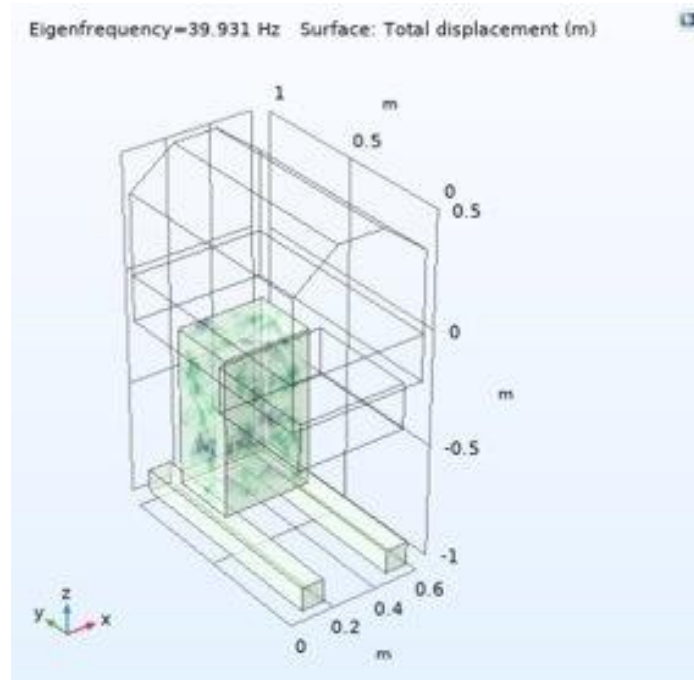


Figura 24 - Resultado obtenido en la simulación de aceleración sobre la estructura de motor

Al analizar el resultado, se llega a la conclusión de que efectivamente, para una frecuencia próxima a 40 Hz se halla que el desplazamiento de la estructura ocurre en el eje y las patas y este desplazamiento influye en los registros de medición de las posiciones 6 y 8.

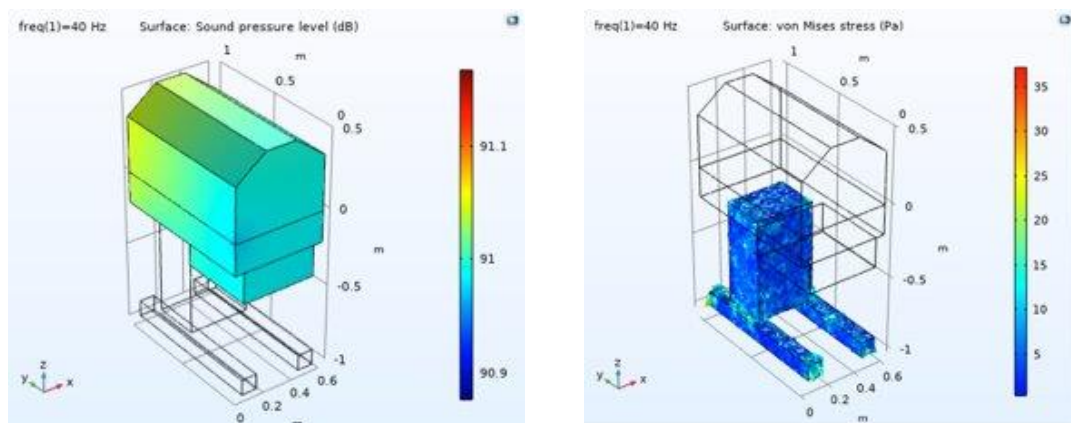


Figura 25 - Resultado de la simulación aplicándole la aceleración en el punto de incidencia a 40 Hz de frecuencia

6.2 Resultados en cunas neonatales

En el estudio de la cuna se han contemplado tres escenarios distintos.

- El primero de ellos realiza la medición de la cuna de forma estática y bajo el ruido de fondo existente en la sala neonatal del Hospital de Gandia: los registros en este escenario se referencian como 'fondo'.

6. Análisis de resultados

- El segundo estudio realiza la medición de la cuna de forma estática y con el aire de la sala encendido: para este caso, los registros de este escenario se referencian como 'air'.
- Por último, se realiza el estudio de la cuna de forma dinámica para evaluar cuál es nivel de vibración que le puede llegar al neonato durante su transporte a alguno de los servicios del hospital, como por ejemplo el traslado a la sala de rayos: se referencian los registros de este escenario como 'din'.

Se muestran a continuación los registros de aceleración. Un mayor detalle de las mediciones sobre todos los registros se puede consultar en el Anexo I: Registro y análisis de los prototipos, donde se ofrecen los valores dispuestos en tablas con el proceso del cálculo realizado para la obtención de estos niveles.

Se ha estimado necesario representar con detalle, y por días de registro, los niveles de aceleración para los tres escenarios en algunos puntos, los puntos considerados más críticos en este estudio. Los puntos críticos considerados son los siguientes:

- Puntos 4, 5 y 6: Sobre soporte del eje de la cuna.
- Puntos 10, 11 y 12: Sobre colchón de la cuna.

Estos han sido considerados puntos críticos dado que las posiciones situadas sobre el colchón serán las que nos ofrezcan la información más detallada del nivel de vibración que le llega al paciente neonato. Asimismo, se han considerado también como puntos de medición crítica las posiciones sobre el eje, dado que estas se encuentran entre el "eje de rotación" que en este caso es bastante rígido y el cubículo donde se encuentra el colchón con el paciente neonato.

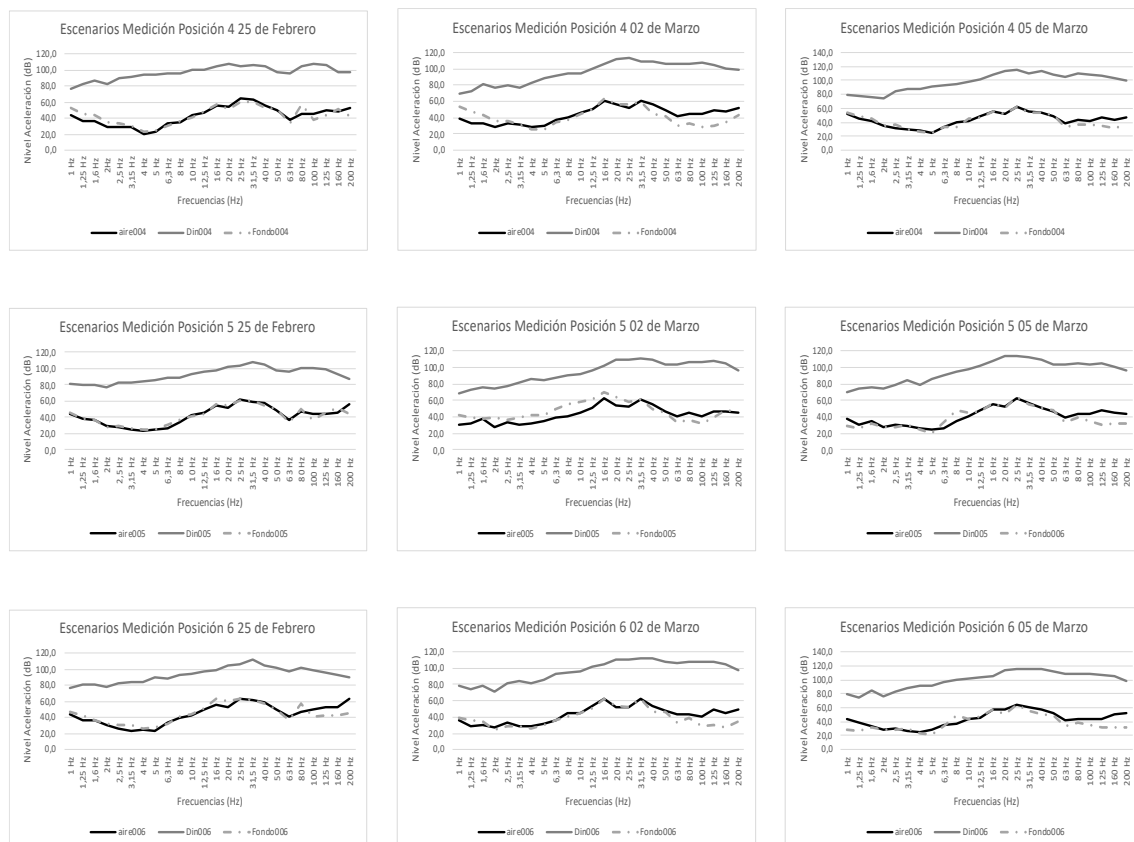


Figura 26 - Resultados por día de medición de las posiciones del eje central de la cuna neonatal



Figura 27 - Resultados por día de medición de las posiciones sobre colchón de la cuna neonatal

Llegados a este punto, si se observa la gráfica de la posición de medición 5 para el día 2 de marzo (Figura 26), el nivel de aceleración para el estudio de la muestra en configuración de ruido de fondo es superior al nivel de aceleración que se observa para la configuración de aire. Dado el caso se decide inspeccionar que fue lo ocurrido para ese día y se muestra la siguiente figura.

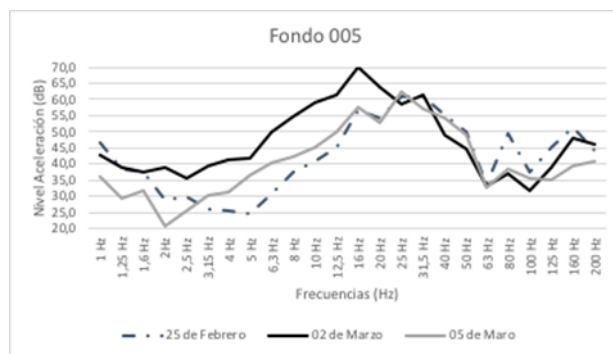


Figura 28 - Configuración ruido de fondo para 3 días distintos de registros.

Como se observa en la figura anterior, el nivel de aceleración medido para el día 02 de marzo es superior a los otros dos días de medición existiendo una diferencia de más de 10 dB. Este fenómeno es causado por la actividad cotidiana de la sala; durante los días de medición se crea un registro de toda la casuística de la sala, turnos de limpieza en la sala y los pasillos, llantos de los pacientes, padres que acceden a ver a sus hijos, madres que acceden a la hora de la toma del neonato, etc. Se decide pues eliminar esta medición para el cálculo del promedio del nivel de aceleración y el nivel global de aceleración, ya que las condiciones no eran representativas del funcionamiento típico de la sala de neonatos.

6. Análisis de resultados

Si se observa el resto de registro de la Figura 27, así como los registros de la Figura 28, en todo caso, la diferencia entre los escenarios “fondo” y “aire” son insignificantes, si los comparamos con los registros del escenario de la cuna en movimiento, escenario “din”.

A continuación, se ofrecen los valores promedio de todos los registros obtenidos para cada punto y cada escenario.

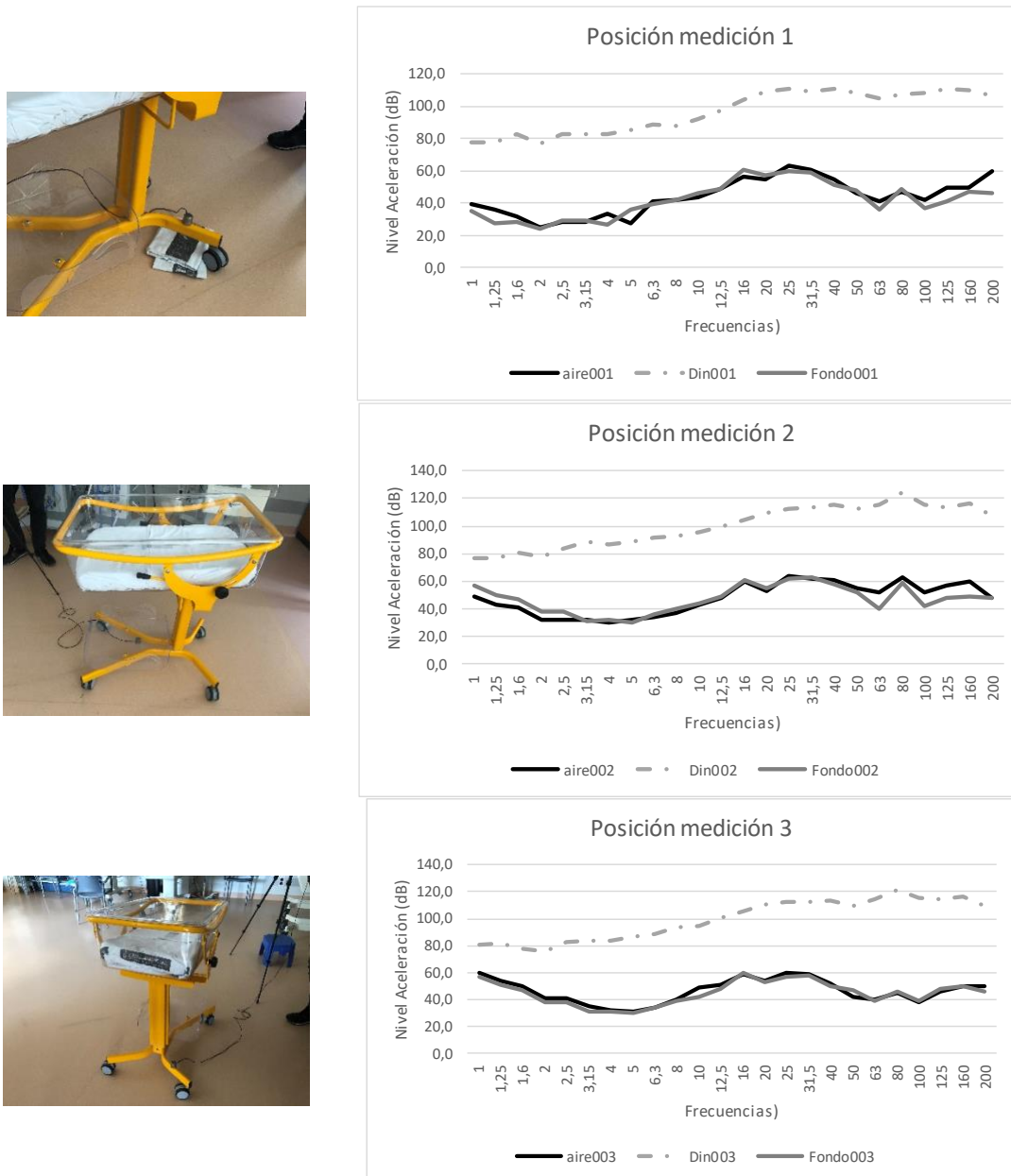


Figura 29 - Niveles de aceleración registrados para las patas y bandeja de la cuna neonatal (posiciones 1, 2 y 3).

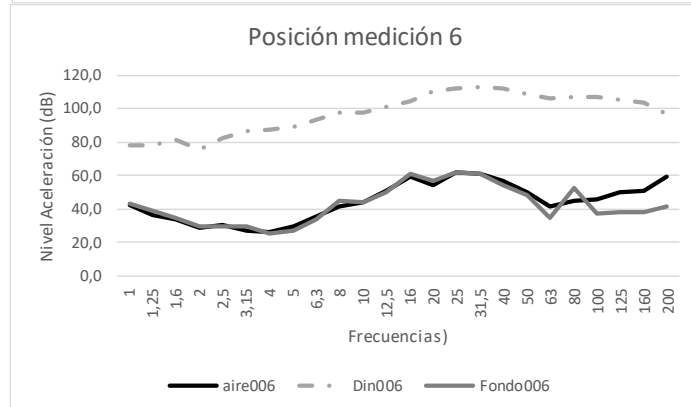
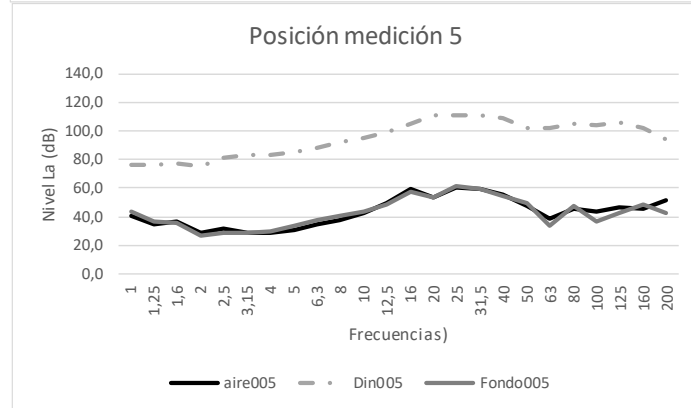
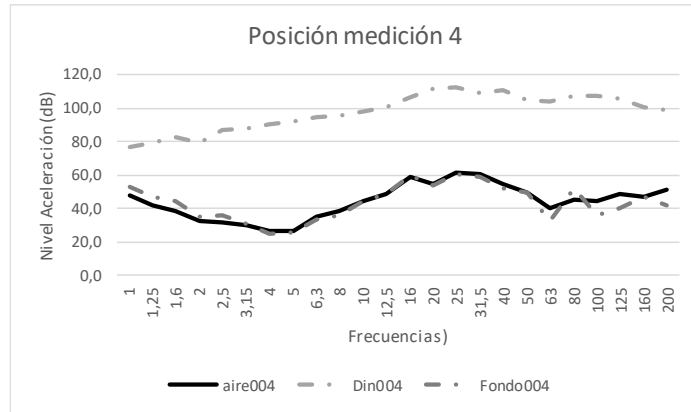
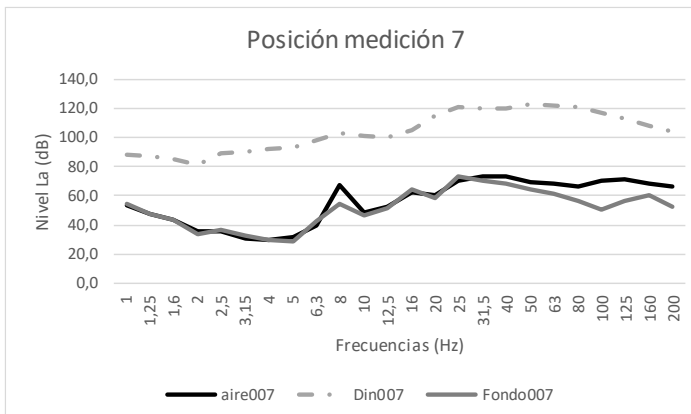
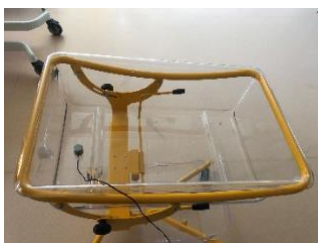


Figura 30 - Niveles de aceleración registrados para el eje de la cuna neonatal (posiciones 4, 5 y 6).



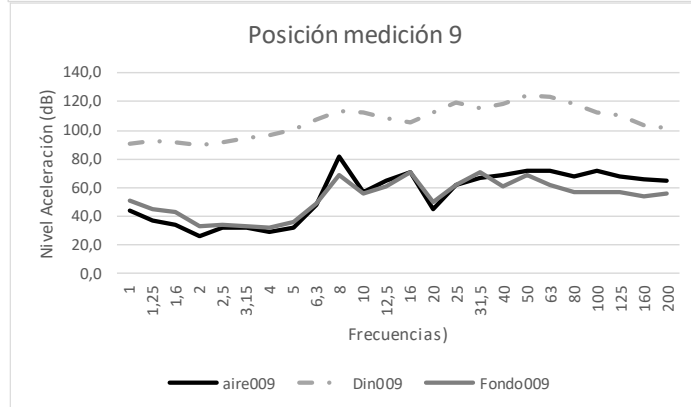
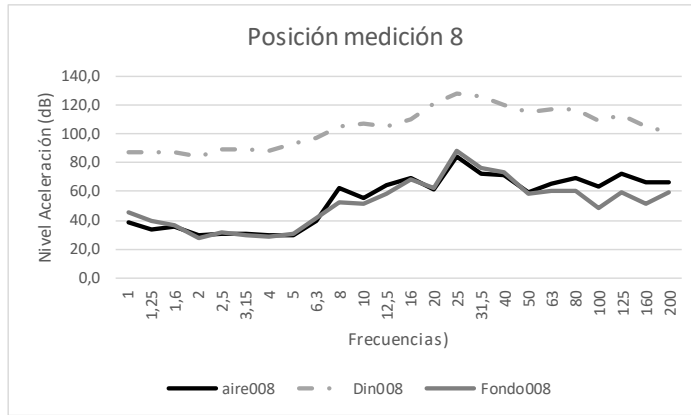
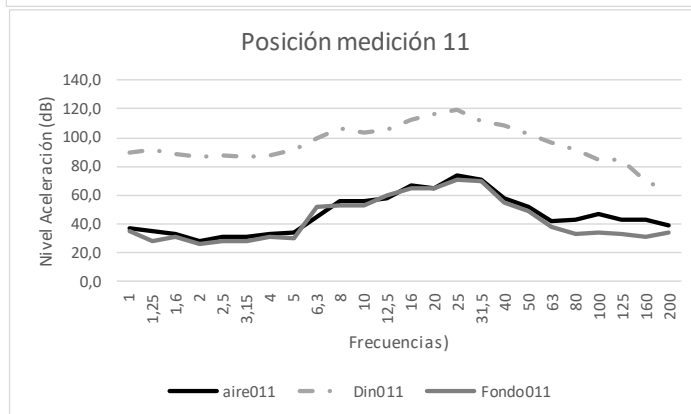
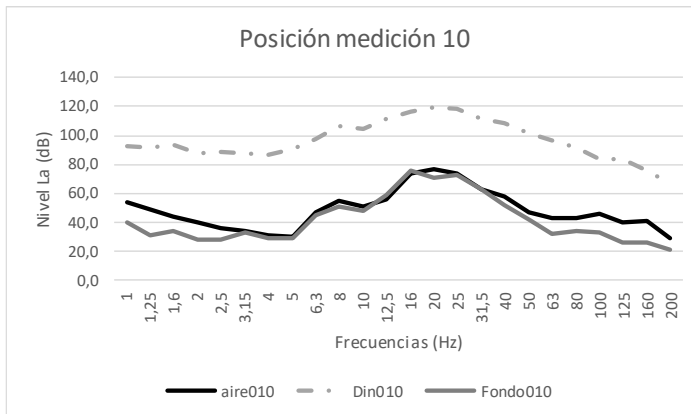


Figura 31 - Niveles de aceleración registrados sobre el cristal del cajón contenedor de la cuna neonatal (posiciones 7, 8 y 9).



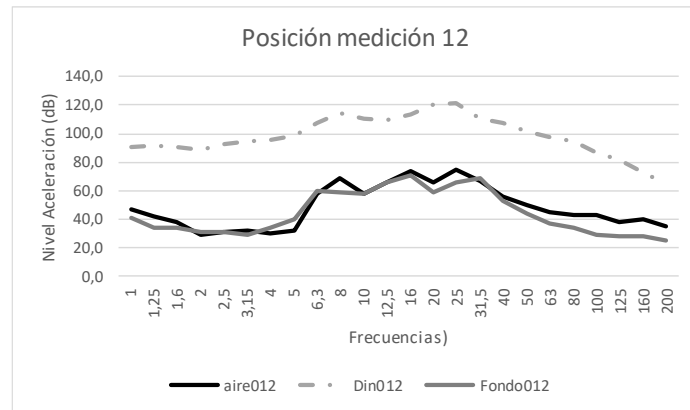


Figura 32 - Niveles de aceleración registrados sobre el colchón de la cuna neonatal (posiciones 10, 11 y 12).

Se observa en las figuras anteriores que, para el estudio de la cuna, se adquiere una respuesta bastante uniforme, donde el nivel de ruido de fondo queda por debajo del nivel medido para el estudio con la cuna dinámica.

Se muestran a continuación los valores globales del nivel de aceleración obtenidos a partir de los registros anteriores (Ecuación 3).

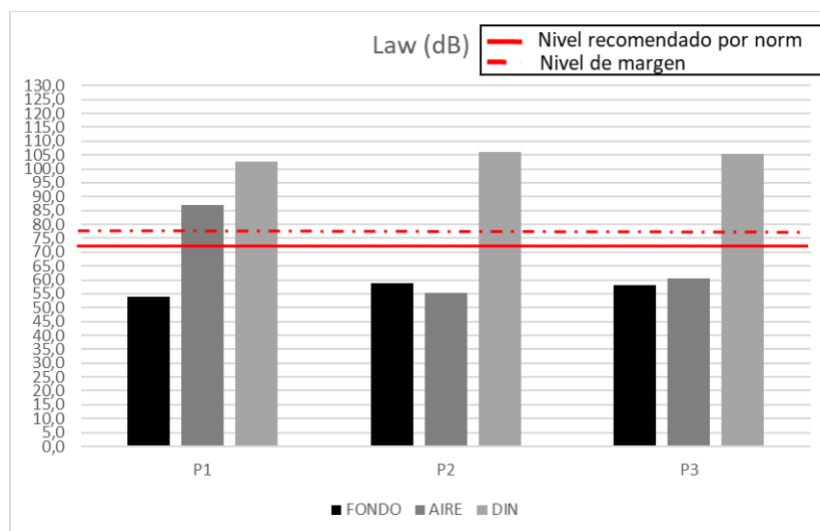


Figura 33 - Niveles de aceleración global obtenidos para los registros de las posiciones de las patas (P1 y P3) , y la bandeja (P2) de la cuna

Tal y como se observa en la Figura 33, aunque existen posiciones en la cuna estática en las que alguno de los puntos sobrepasa el nivel límite, como ocurre en la posición 1 ubicada en la pata derecha de la cuna, para el caso de aire de la sala encendido; el principal problema se encuentra en los registros realizados en el escenario de la cuna en movimiento donde se encuentran valores de hasta 105 dB para el índice global de aceleración.

En la siguiente figura (Figura 34) se detectan los valores máximos del índice de aceleración global en los registros de cuna dinámica de los puntos 4, 8 y 11 llegando a niveles de 115 dB. Valores también por encima de los exigidos se pueden observar en la Figura 36.

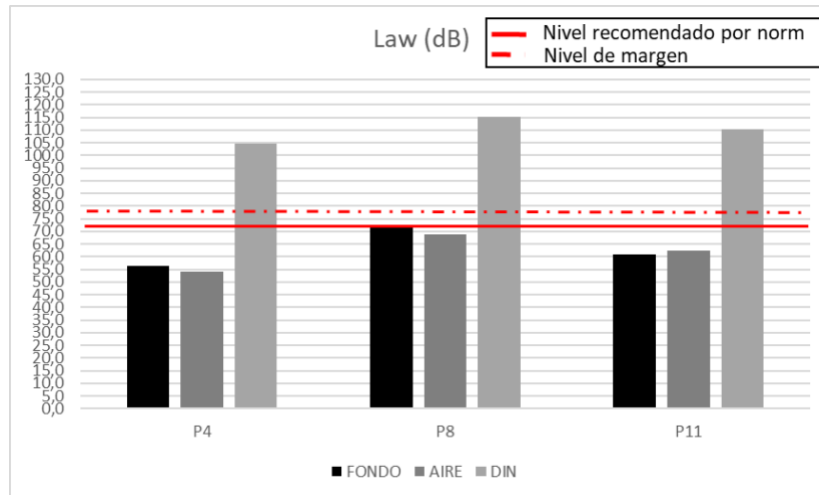


Figura 34 - Niveles de aceleración global obtenidos para los registros de las posiciones sobre eje (P4) y posiciones simétricas de contenedor (P8) y colchón (P11) de la cuna

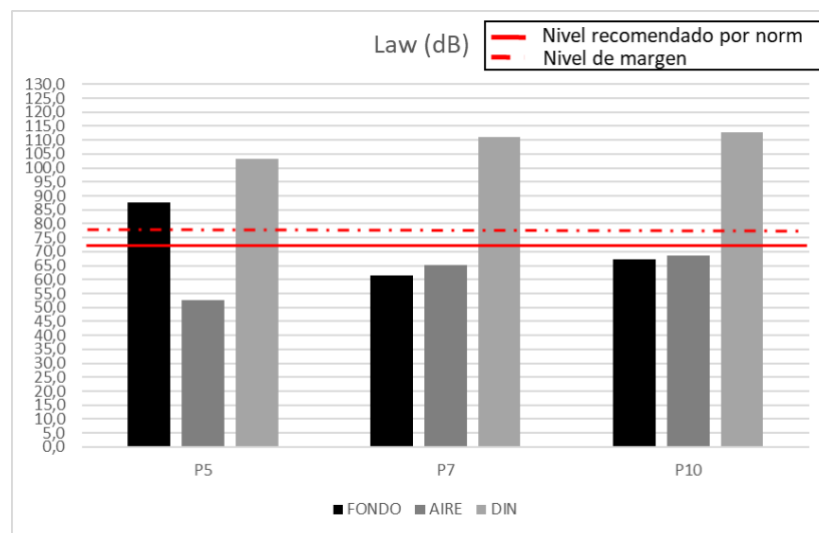


Figura 35 - Niveles de aceleración global obtenidos para los registros de las posiciones simétricas sobre eje (P5 contenedor (P7) y colchón (P10) de la cuna)

Se observa que los niveles más elevados que sobrepasan con creces los niveles exigidos en normativa son las mediciones realizadas en modo dinámico, es decir con la cuna en movimiento, y en esta ocasión no depende de la posición, pues todas ellas se encuentran afectadas. Aunque puede observarse que algunas de las mediciones en fondo superarían en ciertas ocasiones los niveles y que los valores más elevados registrados se darían en las posiciones sobre la caja donde reposaría el colchón y sobre el colchón.

Se ha podido observar que las posiciones más críticas son las medidas con la configuración dinámica de la cuna. Es decir, en este caso, cuando el neonato es transportado a otras áreas del hospital estaría recibiendo niveles mucho más elevados de lo recomendado; llegando a alcanzar los 115 dB cuando el valor recomendado en la normativa es de 72 dB. Un nivel excesivamente superior, recordemos que una diferencia de 3 dB produce un aumento del doble de potencia recibida.

Dada esta situación se decide analizar con detalle la influencia del colchón. A continuación, se puede observar en las gráficas los niveles promedios medidos para las

diferentes disposiciones, 7,8 y 9 (sin colchón) y 10, 11 y 12 (con colchón). Las posiciones 7 y 10 corresponden a la parte superior, donde se sitúa la cabeza del paciente neonato, las posiciones 8 y 11 a la parte central, donde se situaría el torso, y las posiciones 9 y 12 la parte inferior, donde quedaría las extremidades inferiores del neonato.

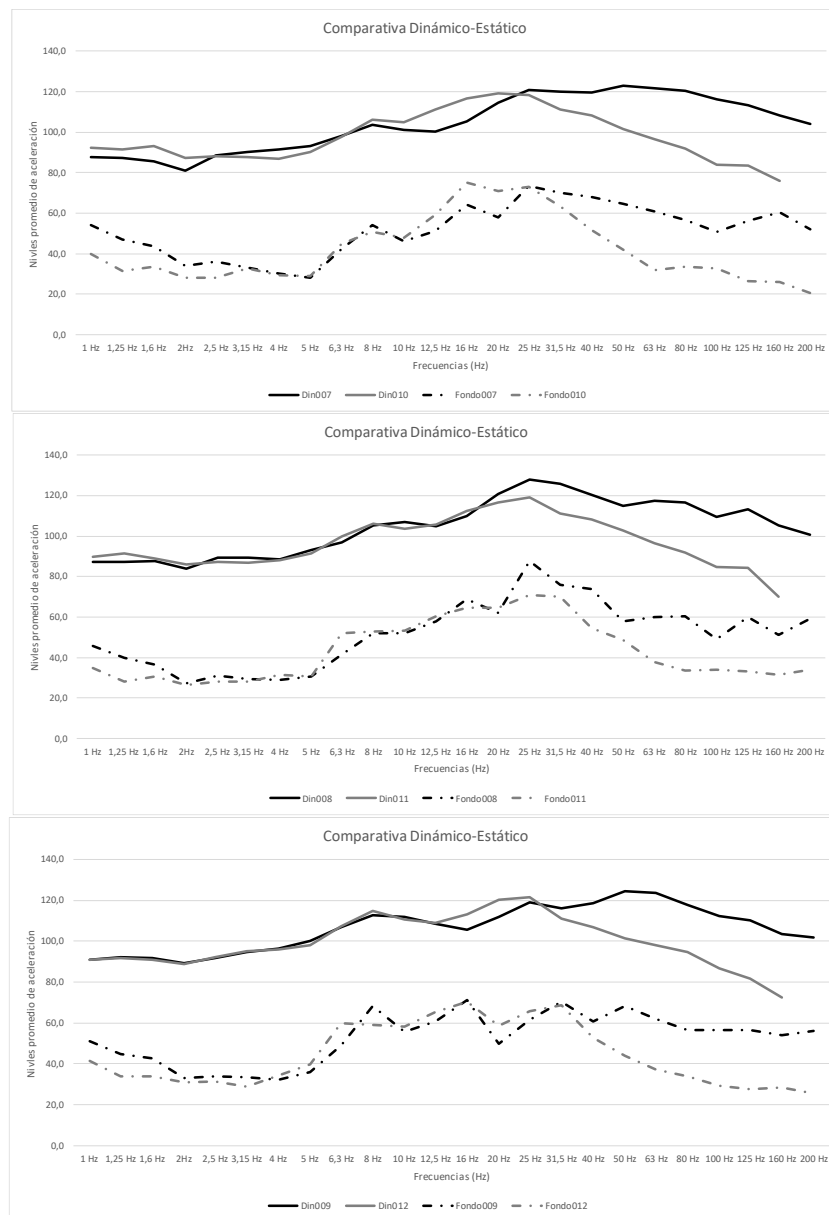


Figura 36 - Estudio de la comparativa del modo estático y dinámico de la cuna en las posiciones con y sin colchón

Se puede observar que aparte de la gran diferencia existente en un escenario (cuna estática) y el otro (cuna dinámica) existe otra gran diferencia entre tener el colchón o no tenerlo. En este caso la diferencia de nivel es de más de 40 dB, pero esta disminución de la vibración solamente se observa a frecuencias mayores a los 20Hz.

6.2.1 Influencia del peso del neonato en el análisis de vibraciones.

Debido a los valores tan altos de niveles de aceleración que presenta el escenario de cuna en movimiento, se creyó conveniente estudiar la influencia del peso de los neonatos en estos valores. Se realizaron mediciones simulando los pesos de los neonatos. Para realizar este estudio, fue necesario el asesoramiento del equipo médico, el cual nos indicó que un neonato es un paciente que abarca desde los 0 a los 28 días

6. Análisis de resultados

y por lo cual estos pacientes pueden tener un peso mínimo de 1.5 kg hasta llegar a un peso máximo de 4.5 kg pasando por un peso típico de unos 3 kg.

Se han realizado mediciones con los pesos mínimos, medios y máximos de los distintos escenarios. Como ejemplo, se muestran resultados de los valores globales del escenario fondo y dinámico de los puntos 10, 11 y 12 correspondientes a las mediciones realizadas.

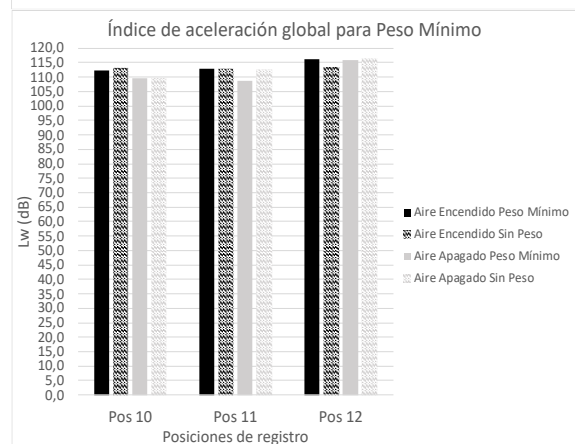
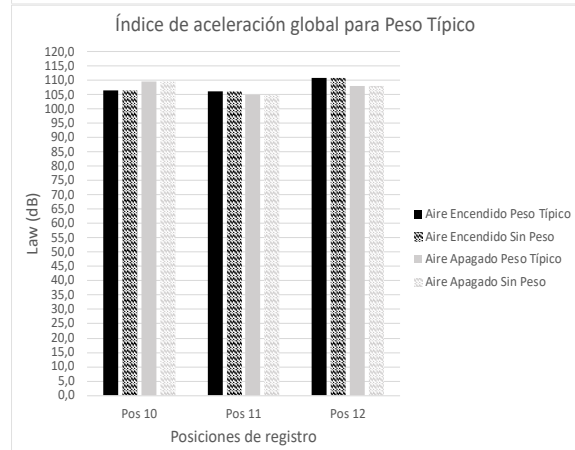
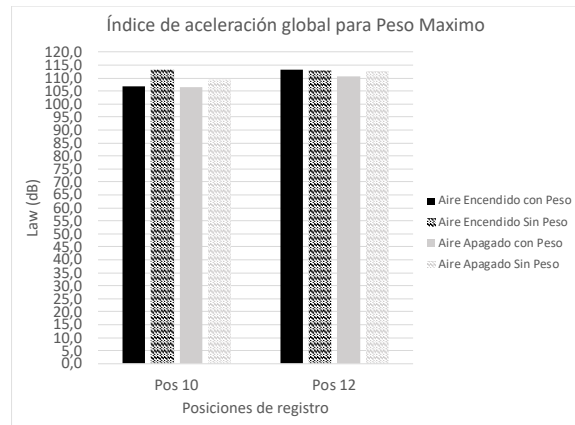
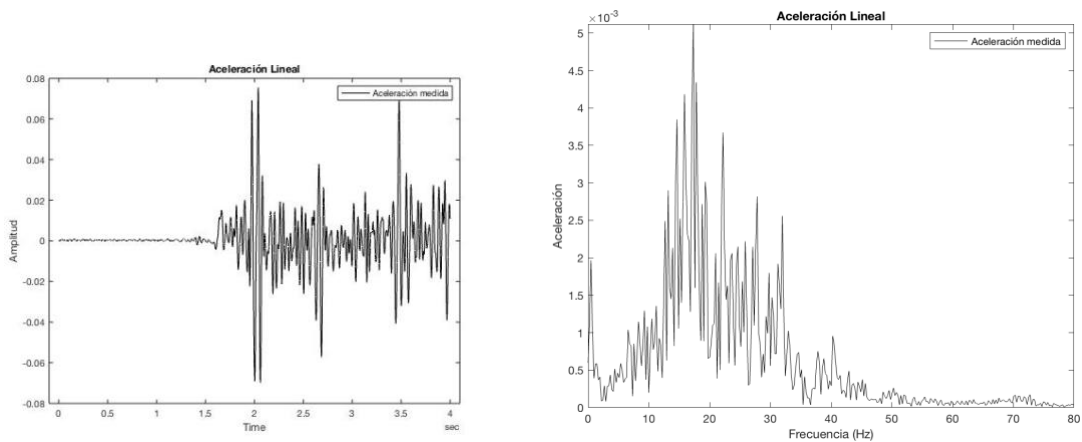


Figura 37 - Comparativa entre los niveles del índice de aceleración global para las diferentes configuraciones de pesos con y sin aire en la sala

Se observa en la Figura 37 que los valores globales que se obtienen con los distintos pesos (mínimo, típico y máximo), difieren, en algunos escenarios, como mucho 5dB de los valores globales obtenidos sin pesos, descendiendo ligeramente. Por lo que

consideramos válido el estudio detallado que se ha realizado sin los pesos, ya que, en todo caso, incluso con los pesos máximos, se supera en el escenario de la cuna en movimiento, las especificaciones de la normativa [24].

Para este estudio se considera de especial interés y dado que el prototipo se estudia bajo el escenario de cuna en movimiento, analizar con detalle que es lo que ocurre en la estructura desde el estado de reposo y arranque, pasando por el desplazamiento del sistema por el pavimento del hospital hasta que se origina la frenada del mismo. A modo de ejemplo, se muestra que es lo que ocurre en la posición de medición número 10 correspondiente a la posición de la cabeza del neonato cuando este se encuentra sobre el colchón. A la izquierda se muestran el análisis de la amplitud de la señal de vibración durante el tiempo de desplazamiento de la cuna y a la derecha el mismo desplazamiento se muestra en función de la frecuencia. Se puede observar que, en busca de una solución a este problema, la frecuencia a tratar debe de ser la centrada en los 20 Hz.



Aceleración lineal grabada con el acelerómetro en la posición 10 del escenario de la cuna.

Frecuencias afectadas en el proceso de arranque y frenada en el escenario de la cuna en el registro de la posición 10.

Figura 38 - Análisis de las frecuencias afectadas en el arranque y frenada de la cuna

7 Incertidumbre

En este apartado se pretende evaluar la exactitud de las medidas tomadas experimentalmente. Por ello se procederá a analizar las incertidumbres de las mediciones mediante ciertos cálculos (desarrollados a continuación), debido a que ninguna medición resulta exacta, es decir, el resultado de la medida no coincide exactamente con el valor real de la magnitud (todo equipo de medición, y más en campo abierto, y no en laboratorio, tiende a desviar su medida obtenida del dato real). Es importante cuantificar dichas incertidumbres para valorar la confianza que depositamos en cada medida.

Para este estudio y según la Norma ISO 1996-2 [32] se sigue la Guía para la Expresión de Incertidumbre de Medida (GUM) [33], en la cual se establecen las normas generales para la evaluación y expresión mediante modelos matemáticos. Ésta contempla todas las magnitudes que pueden contribuir de manera significativa a la incertidumbre en los niveles de presión sonora dependiendo de:

- El método de medida.
- La instrumentación utilizada.
- La fuente de sonido.
- Las condiciones meteorológicas.
- El intervalo de duración de la medición.
- La distancia existente entre el receptor y fuente.
- El sonido residual.

Se proporciona una probabilidad de cobertura del 95%, puesto que la incertidumbre en la medida es expresada tal como una incertidumbre expandida, basada en una combinación de incertidumbres multiplicada por un factor de cobertura igual a 2.

Para este estudio, se tendrá en cuenta las incertidumbres debidas al sonómetro (W), a las condiciones de operación (X), a las condiciones climáticas y del suelo (Y) y a la del sonido residual (Z) [34]. En la siguiente tabla (Tabla 4) se muestra a modo resumen, las incertidumbres presentes en el estudio:

Tabla 4 - Descripción de Incertidumbres.

Incertidumbre Típica				Incertidumbre Típica Combinada. $\sigma_t = \sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$ (dB)	Incertidumbre de Medida Expandida. $\pm 2\sigma_t$
Debida a la Instrumentación. W (dB)	Debido a las Condiciones de Operación. X (dB)	Debida a las Condiciones Meteorológicas y del Suelo. Y (dB)	Debido al Sonido Residual. Z (dB)		

Para proceder al cálculo de la incertidumbre combinada, se aplicará la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \sqrt{(1 \cdot W)^2 + (1 \cdot X)^2 + (1 \cdot Y)^2 + (C \cdot Z)^2} \quad (8)$$

En la Ecuación 8 todos los coeficientes poseen la misma sensibilidad, excepto Z que obtiene un valor C correspondiente al nivel de ruido residual.

En este caso y dado que la medición ha sido realizada para obtener los índices de aceleración a los que se encuentran sometidos los pacientes neonatales del Hospital de Gandia, solo se tendrá en cuenta para el cálculo de la incertidumbre el valor de la incertidumbre debida a la instrumentación que guarden relación con la medida realizada, es decir contando con el valor de W (dB), y con el valor obtenido se calculará el valor de la incertidumbre típica combinada y la incertidumbre de medida expandida [35].

7.1 Incertidumbre típica debida a la instrumentación.

El cálculo de la incertidumbre típica debida a la instrumentación (W) representa la influencia que ejercen los distintos operadores y equipos en el mismo lugar de trabajo, sometidos a condiciones constantes.

Para su cálculo, se utilizará la siguiente ecuación:

$$W(\text{dB}) = \delta_{PFE} + \delta_{PFA} + \delta_{LS} + \delta_{RMS} + \delta_{PT} + \delta_{CA} + \delta_{CC} + \delta_{ES} + \delta_{TS} + \delta_{PS} + \delta_{CS} + \delta_{PA} + \delta_{OB} \quad (9)$$

Todas las variables en el cálculo se pueden dividir en dos grupos:

- Las incertidumbres relacionadas con la operativa del sonómetro. Se obtiene desde los valores de verificación acústica y eléctrica y la cual abarca las incertidumbres desde δ_{PFE} hasta δ_{ES} .
- Las incertidumbres asociadas al uso del sonómetro, estas son desde δ_{TS} hasta δ_{OB} .

Se pasa a analizar cada una de las incertidumbres.

- δ_{PFE} : Representa la corrección de calibración eléctrica del nivel de presión sonora con ponderación A.

$$u_{(\delta_{PFE})} = \frac{U_E}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB.} \quad (10)$$

Donde U_E representa la incertidumbre expandida certificada y $K_n = 2$ indica la probabilidad de encontrar un valor verdadero de la magnitud en el intervalo señalado por la incertidumbre ampliada del 95.45% de la componente de la incertidumbre estándar.

- δ_{PFA} : Representa la corrección de calibración acústica del nivel de presión sonora con ponderación A.

$$u_{(\delta_{PFA})} = \frac{U_A}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB.} \quad (11)$$

- δ_{LS} : Representa la corrección asociada con la linealidad del sonómetro en su rango de referencia.

$$u_{(\delta_{LS})} = \sigma_L = 0.011 \text{ dB.} \quad (12)$$

- δ_{RMS} : Representa la corrección asociada con detector RMS del sonómetro evaluada eléctricamente; calculada a partir de la desviación típica de las desviaciones en dB de la precisión del detector RMS.

$$u_{(\delta_{RMS})} = \sigma_R = 0.055 \text{ dB.} \quad (13)$$

- δ_{PT} : Representa la corrección asociada con la función de ponderación temporal.

$$u_{(\delta_{PT})} \text{ fast o slow} = \frac{\Delta_{PT}}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ dB.} \quad (14)$$

Donde $\Delta_{PT} = 0.1$ representa la máxima desviación de las constantes temporales. En este caso la más restrictiva sería Slow.

- δ_{CA} : Representa la corrección asociada con el ajuste inicial del sonómetro utilizando un calibrador acústico.

$$u_{(\delta_{CA})} = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ dB.} \quad (15)$$

Donde E_S representa la resolución del sonómetro o lo que es lo mismo el dígito menos significativo.

- δ_{CC} : Representa la corrección de utilización del calibrador acústico sobre su valor certificado. El valor del nivel de presión sonora generado por el calibrador no es el que se tiene certificado debido a que las condiciones ambientales en las que se utilizan pueden ser distintas a las de calibración y además su valor deriva con el tiempo. Por tanto, la corrección δ_{CC} modela este hecho y su incertidumbre asociada será la incertidumbre de uso del calibrador.

$$u_{(\delta_{CC})} = \frac{U_C}{K_n} = \frac{\pm 0.11}{2} = \pm 0.055 \text{ dB.} \quad (16)$$

Donde U_C representa la incertidumbre expandida de uso del calibrador.

- δ_{ES} : Representa la corrección asociada a la resolución finita del valor de la indicación del sonómetro.

$$u_{(\delta_{ES})} = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.003 \text{ dB.} \quad (17)$$

- δ_{TS} : Representa la corrección asociada con la influencia de las variaciones de la presión atmosférica.

$$u_{(\delta_{TS})} = \frac{\alpha_M \cdot \Delta_T}{\sqrt{3}} = \frac{0.015(23^\circ\text{C} - T_M)}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

Donde α_M corresponde al coeficiente de variación con la temperatura y T_M con la temperatura en grados Celsius en el momento de la medida.

- δ_{PS} : Representa la corrección asociada con la influencia de las variaciones de presión atmosférica.

$$u_{(\delta_{PS})} = \frac{\gamma_M \cdot \Delta_p}{\sqrt{3}} = \frac{0.019(1013Pa - P_M)}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

Donde γ_M representa el coeficiente de variación de la presión ponderado en frecuencia y P_M la presión atmosférica medida.

Estos dos últimos valores (δ_{TS} y δ_{PS}), no se tendrán en cuenta en el cálculo de la incertidumbre, dado que no son parámetros que hayan influido en la toma de medidas.

- δ_{CS} : Representa la corrección asociada con la influencia de la carcasa del sonómetro. Modela el efecto de la perturbación del campo debido a la presencia del sonómetro en función de la frecuencia.

$$u_{(\delta_{CS})} = \frac{\Delta_{CS}}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ dB}. \quad (20)$$

Donde Δ_{CS} representa una desviación sobre cero máxima, ponderada con la frecuencia.

- δ_{PA} : Representa la corrección asociada con la influencia de la pantalla anti-vento. Este caso se da, debido a que algunos sonómetros llevan incorporado un filtro corrector para minimizar los efectos. Este caso resulta parecido al anterior.

$$u_{(\delta_{PA})} = \frac{\Delta_{PA}}{\sqrt{3}} = 0.017 \text{ dB}. \quad (21)$$

Donde Δ_{PA} representa la desviación máxima ponderada con la frecuencia suponiendo una distribución uniforme.

Este valor (δ_{PA}) no se tendrá en cuenta en el cálculo de la incertidumbre, dado que no resulta un parámetro que haya influido en la toma de medidas.

- δ_{OB} : Representa la corrección asociada a la influencia del observador en función del tamaño y la posición respecto al sonómetro. Depende de la frecuencia.

$$u_{(\delta_{OB})} = \frac{\Delta_{OB}}{\sqrt{3}} = 0.015 \text{ dB}. \quad (22)$$

Donde Δ_{OB} representa la medida de las ventanas. Para la evaluación de la incertidumbre, se seleccionan ventanas en el rango de la frecuencia y se determina la máxima desviación desde cero dentro en ellas.

7.2 Incertidumbre Combinada y Expandida.

Para el cálculo de la incertidumbre combinada (σ_t), se partirá de los valores de las desviaciones típicas parciales (anteriormente desarrollados) y se tomará la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \sqrt{(1 \cdot W)^2 + (1 \cdot X)^2 + (1 \cdot Y)^2 + (C \cdot Z)^2} \quad (23)$$

Una vez calculada la incertidumbre combinada, se podrá obtener el valor de la incertidumbre expandida (en dB) multiplicándolo por 2:

$$\pm 2\sigma_t \quad (24)$$

En la siguiente tabla se muestra el resultado de los cálculos de todas las incertidumbres explicadas anteriormente punto por punto, para al final obtener la incertidumbre en el nivel tomado para cada medida experimental:

Por ende, los valores obtenidos para el índice global de aceleración quedarán de la siguiente forma (ver Tabla 5 para los valores obtenidos de la incubadora y Tabla 6 para los valores obtenidos para la cuna).

Tabla 5 - Valores del índice global de aceleración obtenido con incertidumbre añadida para el caso de la incubadora

Posición de registro	Índice global de aceleración (dB)			
	Aire Encendido	Fondo	Motor incubadora encendido	Motor y aire encendido
Pos 1	56±1	54±1	62±1	64±1
Pos 2	57±1	57±1	63±1	61±1
Pos 3	64±1	56±1	63±1	64±1
Pos 4	56±1	60 ± 1	65±1	63±1
Pos 5	62±1	60±1	66±1	68±1
Pos 6	61±1	59±1	62±1	66±1
Pos 7	59±1	58±1	68±1	67±1
Pos 8	61±1	59±1	62±1	63±1
Pos 9	61±1	60±1	67±1	66±1
Pos 10	65±1	62±1	64±1	74±1
Pos 11	72±1	59±1	64±1	79±1
Pos 12	64±1	64±1	66±1	66±1
Pos 13	67±1	68±1	72±1	72±1
Pos 14	62±1	60±1	65±1	65±1
Pos 15	68±1	67±1	70±1	68±1
Pos 16	68±1	68±1	69±1	70±1
Pos 17	64±1	63±1	65±1	66±1
Pos 18	71±1	72±1	72±1	71±1
Pos 19	71±1	71±1	71±1	70±1

Tabla 6 - Valores del índice global de aceleración obtenido con incertidumbre añadida para el caso de la cuna

Posición de registro	Índice global de aceleración (dB)		
	Aire Encendido	Fondo	Din
Pos 1	87±1	54±1	103±1
Pos 2	55±1	59±1	106±1
Pos 3	61±1	58±1	105±1
Pos 4	54±1	56±1	103±1
Pos 5	53±1	88±1	103±1
Pos 6	54±1	55±1	106±1
Pos 7	65±1	62±1	111±1
Pos 8	69±1	72±1	115±1
Pos 9	78±1	67±1	114±1
Pos 10	69±1	67±1	113±1
Pos 11	63±1	61±1	110±1
Pos 12	69±1	64±1	115±1

Como se puede observar al ofrecer el valor del índice global de aceleración, existen valores, que se encuentran cumpliendo con normativa, pero esto no quiere decir que no existan momentos, ocasiones o días, que estos registros no superen los niveles recomendados. Como se puede ver en la figura siguiente (ver Figura 38) si se analiza el valor global que se ofrece, este se encontraría dentro de los valores recomendados en normativa, pero si se analizan las medidas tomadas por días por separado, existen registros, donde este nivel se encontraría superando los valores recomendados. Por tanto, el neonato se encontraría afectado por las vibraciones en esos momentos. De ahí nace la importancia de realizar las medidas 'in situ' físicamente, para poder tomar un mejor control de lo que se encuentra ocurriendo en la sala en todo momento, de esta forma se podrá construir unos protocolos donde se indiquen los horarios o días donde los pacientes se encuentren sometidos a niveles de vibración más elevados y se deba actuar de una forma diferente a la normal para reducir estas vibraciones en pacientes.

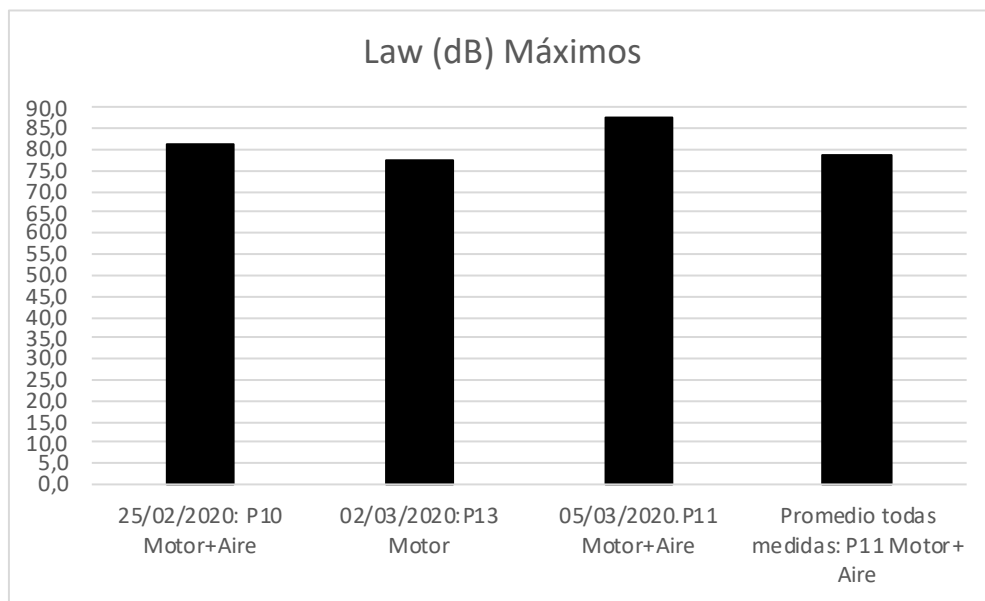


Figura 39 - Comparativa del índice global de aceleración total y el índice de aceleración global por día

8 Conclusiones

En este proyecto se ha mostrado los resultados de diagnóstico de vibraciones a los que se encuentran sometidos los pacientes de las salas UNEOS durante su estancia en un ingreso en el Hospital Francesc de Borja de la ciudad de Gandia, Valencia, España; analizando los escenarios que se han considerado, junto al equipo de pediatría más representativos, y de mayor interés. El proyecto forma parte de los resultados de una acción preparatoria llevada a cabo entre la Universitat Politècnica de València (UPV) y la Fundación FISABIO.

Para poder realizar el diagnóstico, se ha seguido un protocolo de actuación para la realización de medidas: se han identificados los diferentes escenarios, se han identificado los distintos puntos de medida en cada escenario, se ha determinado el equipamiento de medida y se ha identificado el margen frecuencial de registro y actuación.

Ha sido necesario determinar los parámetros de control a estudiar, siendo considerado el índice global de aceleración La_w el mejor indicador de calidad, después de estudiar diferentes niveles de legislación sobre vibraciones. Para obtener este indicador en cada uno de los posibles escenarios con detalle, se han evaluado también los niveles de aceleración en función de la frecuencia. De estas evaluaciones, las conclusiones que se pueden obtener son las siguientes:

En el estudio de la evolución del nivel de aceleración en función de la frecuencia, para los diferentes escenarios de la **incubadora neonatal**, se ha registrado un pico en su nivel de aceleración entorno a los 20 Hz. Este estudio a baja frecuencia es fundamental para el análisis del valor global, así como la influencia de las vibraciones en el cuerpo humano, por lo que se ha encontrado un punto de partida desde el cual, cuando la situación actual en los centros sanitarios mejore, será necesario actuar para conseguir reducir los niveles de vibración que lleguen al paciente neonatal. Otra frecuencia que se debe estudiar con detalle es la frecuencia de 40Hz, también influyente en el valor global, y que presenta en puntos relacionados con el cajón de la incubadora, valores elevados. Este cajón, está pensado para guardar mantas, almohadas o otros complementos de la incubadora, pero en la gran mayoría de los casos este cajón está vacío. Posiblemente se ha encontrado otro punto de partida donde investigar, y poder rebajar los niveles de aceleración.

Otra conclusión que se observa a través de los registros de la incubadora neonatal, es que la mayor influencia en vibraciones, viene marcada por el motor de la propia incubadora, siendo otras posibles fuentes de vibraciones, como por ejemplo, el aire acondicionado de la sala, menos influyentes frente al propio motor de la incubadora.

En las figuras que representan la comparativa de los índices de vibración se obtiene información de si los registros realizados cumplen o no con los valores legislados para los niveles de vibración en diferentes usos de los edificios, y en concreto para este proyecto el caso del uso hospitalario.

Al estudiar los valores globales del nivel de aceleración de la incubadora neonatal, se observa que en algunos puntos se supera el valor recomendado (72 dB), o se acerca mucho a este valor, estos registros son los registros de la capota de cierre de la incubadora. Sin embargo, son más preocupantes, los registros sobre el motor, superando incluso el nivel máximo permitido (77 dB). Lo mismo ocurre sobre el colchón en la posición superior, donde se sitúa habitualmente la cabeza del paciente neonato. Se encuentra aquí otro punto de partida para conseguir bajar los niveles de vibración, con la innovación de nuevos colchones neonatales.

Respecto al estudio realizado en la **cuna de la sala neonatal**, del mismo modo que para la incubadora, se muestran los registros obtenidos para las distintas posiciones en los diferentes escenarios dispuestos para este prototipo. Se ha demostrado que el estudio de especial interés se focaliza en el registro de las medidas para el caso de la cuna en estado dinámico, es decir, en movimiento, dado que en este escenario los índices de aceleración global se superan llegando a niveles muy superiores donde en algunas posiciones se pueden alcanzar casi los 115 dB. Para poder proceder con un mejor análisis de este caso, se han estudiado la vibración en función del tiempo con los que se consiguen detectar los puntos de máxima vibración y las frecuencias de máxima excitación. Por lo que, un planteamiento próximo es el del estudio del cambio de ruedas de la propia cuna.

Queda en evidencia que los pacientes neonatales se encuentran sometidos a niveles de vibración excesivos teniendo en cuenta la sensibilidad de los mismos dado la inmadurez cerebral y orgánica.

9 Futuras líneas de investigación

Aunque se han cumplido los objetivos planteados en este Trabajo Fin de Máster, el propio estudio ha abierto nuevos campos de investigación relacionado en el bienestar acústico de los neonatos.

Algunas de las líneas futuras que se detallan a continuación se han evidenciado a partir de los propios resultados de este Trabajo Fin de Máster, otras han sido planteadas por el equipo de pediatría del Hospital de Gandía, después de revisar este trabajo:

- Es necesario un estudio más detallado de algunas frecuencias que presentan picos de vibración en un margen que puede afectar directamente al propio desarrollo del neonato.
- Es necesario encontrar y desarrollar una innovación en cuanto a textiles técnicos para poder mejorar el aislamiento en vibraciones que presentan los actuales colchones neonatales.
- Es necesario revisar el protocolo sanitario actual en cuanto a la posición del neonato dentro de la propia incubadora.
- Es necesario realizar un estudio detallado de los posibles materiales para el diseño de las ruedas de las cunas neonatales, así como ampliar el estudio dinámico que se ha realizado para la cuna, también a la incubadora. Dadas las circunstancias sobrevenidas este año y dado que se dependen de los casos de contagios por COVID-19 para acceder al hospital este último punto no ha podido ser llevado a cabo para este Trabajo Final de Máster.
- Es necesario revisar las vibraciones, no solamente debidas al propio funcionamiento “estándar” de la sala neonatal, sino también en los casos que los equipamientos médico-sanitarios estén en marcha, como dispositivos de la sala como alarmas imprescindibles para un correcto diagnóstico del paciente neonatal.

Referencias bibliográficas

- [1] Alba J., del Rey R. *Evaluación de las vibraciones en el espacio interior de las edificaciones. Acústica ambiental: análisis, legislación y soluciones*, pp-353-384. Sociedad Española de Acústica, 2009. ISBN: 84-87985-18-1.
- [2] Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores.
- [3] Bailey, V.; Szyld, E.; Cagle, K.; Kurtz, D.; Chaaban, H.; Wu, D.; Williams, P. *Modern Neonatal Transport: Sound and Vibration Levels and Their Impact on Physiological Stability*. *Am. J. Perinatol.* 15 March 2019, 36 (04), 352–359. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1668171>
- [4] Blaxter, L.; Yeo, M.; McNally, D.; Crowe, J.; Henry, C.; Hill, S.; Mansfield, N.; Leslie, A.; Sharkey, D. *Neonatal Head and Torso Vibration Exposure during Inter-Hospital Transfer*. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part H J. Eng. Med.* 5 February 2017, 231 (2), 99–113. <https://doi.org/10.1177/0954411916680235>.
- [5] Castellote, A. *Fisiopatología Del Transporte En Helicóptero Physiopathology of Helicopter Transport*. **2016**, 9–10.
- [6] Macnab, A.; Chen, Y.; Gagnon, F.; Bora, B.; Laszlo, C. *Vibration and Noise in Pediatric Emergency Transport Vehicles: A Potential Cause of Morbidity?* *Aviat. Space. Environ. Med.* March 1995, 66 (3), 212–219.
- [7] Youngblut, J. M.; Lewandowski, W.; Casper, G. R.; Youngblut, W. R. *Vibration in Metal and Non-Metal Incubators*. *Biomed. Instrum. Technol.* 1994, 28 (6), 476–480.
- [8] Ciesielki S, Kopke J, Kidawa B. *Incubator noise and vibration-possible iatrogenic influence on neonate*. *International Journal of Pediatric otorhinolaryngology*, 1980, Feb; 1(4): 309-16.
- [9] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. GOBIERNO DE ESPAÑA (2020). Contaminación Acústica.
<<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion-acustica/>> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- [10] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (2020). Vibración. <<https://dle.rae.es/vibraci%C3%B3n>> [Consulta: 19 de Octubre de 2020]
- [11] del Rey, Romina; Alba, Jesús; Sequi, Jose; Revert, Marta. Análisis Acústico del entorno de la sala Neonatal del Hospital de Gandia. *XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica – TECNIACUSTICA'18*, Cádiz 2018.
- [12] ISO 2631-2:2003. *Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2:Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*.
- [13] España. Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la seguridad social y se establecen criterios para su notificación y registro. *Boletín Of. del Estado* 2006, No. 302, 19 de diciembre.
- [14] POLISABIO Programa de colaboración UPV-FISABIO
< <https://www.polisabio.es/index.php/es/> > [Consulta: 28 de Noviembre de 2020].

- [15] Capítulo 2: Conceptos de las vibraciones. *Análisis modal operacional: teoría y práctica*. <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3828/fichero/Cap%C3%ADtulos%252F2+Conceptos+de+vibraciones.pdf>> [Consulta: 02 de noviembre de 2020]
- [16] Youngblut, J. M.; Lewandowski, W.; Casper, G. R.; Youngblut, W. R. *Vibration in Metal and Non-Metal Incubators*. Biomed. Instrum. Technol. 1994, 28 (6), 476–480.
- [17] Bailey, V.; Szyld, E.; Cagle, K.; Kurtz, D.; Chaaban, H.; Wu, D.; Williams, P. Modern Neonatal Transport: Sound and Vibration Levels and Their Impact on Physiological Stability. *Am. J. Perinatol.* 15 March 2019, 36 (04), 352–359. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1668171>
- [18] Blaxter, L.; Yeo, M.; McNally, D.; Crowe, J.; Henry, C.; Hill, S.; Mansfield, N.; Leslie, A.; Sharkey, D. Neonatal Head and Torso Vibration Exposure during Inter-Hospital Transfer. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part H J. Eng. Med.* 5 February 2017, 231 (2), 99–113. <https://doi.org/10.1177/0954411916680235>.
- [19] Castellote, A. Fisiopatología Del Transporte En Helicóptero Physiopathology of Helicopter Transport. 2016, 9–10.
- [20] Macnab, A.; Chen, Y.; Gagnon, F.; Bora, B.; Laszlo, C. Vibration and Noise in Pediatric Emergency Transport Vehicles: A Potential Cause of Morbidity? *Aviat. Space. Environ. Med.* March 1995, 66 (3), 212–219.
- [21] Youngblut, J. M.; Lewandowski, W.; Casper, G. R.; Youngblut, W. R. Vibration in Metal and Non-Metal Incubators. *Biomed. Instrum. Technol.* 1994, 28 (6), 476–480.
- [22] Ciesielki S, Kopke J, Kidawa B. Incubator noise and vibration-possible iatrogenic influence on neonate. *International Journal of Pediatric otorhinolaryngology*, 1980, Feb; 1(4): 309-16.
- [23] Alba J., del Rey R. Evaluación de las vibraciones en el espacio interior de las edificaciones. *Acústica ambiental: análisis, legislación y soluciones*, pp-353-384. Sociedad Española de Acústica, 2009. ISBN: 84-87985-18-1.
- [24] BOE, 254. Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. España, 2007.
- [25] BOE, 276. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. España, 2003.
- [26] DOGV. Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de protección contra la contaminación acústica. Valencia, 2002.
- [27] DOGV, 5166 LEY 14/2005, de 23 de diciembre, de la Generalitat, de Medidas Fiscales, de Gestión Financiera y Administrativa, y de Organización de la Generalitat. España 2005.
- [28] DOGV, 4901 Real Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios. España 2004.
- [29] DOGV, 5305 Real Decreto 104/2006, de 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica. España 2006.
- [30] del Rey, Romina; Alba, Jesús; Sequi, Jose; Revert, Marta. Análisis Acústico del entorno de la sala Neonatal del Hospital de Gandia. *XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica – TECNIACUSTICA'18*, Cádiz 2018.
- [31] González, Gema; del Rey, Romina; Sequi, José; Alba, Jesús; Rodríguez, María del Carmen. Estudio de agresores vibroacústicos en unidades neonatales. *XI Congreso Iberoamericano de Acústica; 51º Congreso Español de Acústica – TECNIACUSTICA'20*, del 21 al 23 de octubre de 2020.
- [32] AENOR. UNE-ISO 1996-2, Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental (2009). España.
- [33] GUM (1995) "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 2nd ed. (International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland).
- [34] Propuesta presentada por Grupo de Trabajo 2 de Dosis/Efecto (WG2) de la Unión Europea.

- [35] González Mazarías, G. (2019). Acústica Ambiental: Investigación sobre el ruido ambiental en el Centro Histórico de Gandia. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Superior de Gandia.