



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Análisis del comportamiento de la Clapeta en ensayos de
repetibilidad y ensayos con cámaras acústicas.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Acústica

AUTOR/A: Arenas González, Juan Luis

Tutor/a: Redondo Pastor, Francisco Javier

Cotutor/a externo: PERAL ORTS, RAMON

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Resumen: 200 palabras máximo. Y 5 palabras clave

Este proyecto supone la continuación del Trabajo Final de Grado de Juan Luis Arenas en sus estudios de Grado en Ingeniería Mecánica en la Universidad Miguel Hernández de Elche. El nombrado TFG analiza el comportamiento sonoro de la herramienta para la emisión sonora en espacios cerrados conocida como "la Clapeta", instrumental diseñado en la UMH como parte del desarrollo de la Tesis Doctoral de Ginés Cervantes Madrid, esta investigación previa determinó, la viabilidad de esta herramienta en el desarrollo de estudios acústicos normativos de aislamiento a ruido aéreo y medición de tiempo de reverberación en salas, en función de las características de la misma.

En el presente trabajo se analizan las mediciones realizadas para el ensayo de repetibilidad de la Clapeta, determinando su comportamiento en función de las características de los operarios voluntarios para el estudio. Además, se contrastan los resultados obtenidos en las investigaciones anteriores, mediante el uso de cámaras acústicas, analizando las características frecuenciales y direccionales de la herramienta.

Palabras clave:

Clapeta;repetibilidad;omnidireccionalidad;cámaras acústicas;fuente impulsiva

Abstract

This project represents the continuation of Juan Luis Arenas' Bachelor's Final Project in his Mechanical Engineering degree studies at Miguel Hernández University of Elche. The aforementioned project analyzes the sound behavior of a tool for sound emission in enclosed spaces known as "la Clapeta," an instrument designed at UMH as part of the development of Ginés Cervantes Madrid's doctoral thesis. This previous research determined the feasibility of this tool in the development of normative acoustic studies for airborne noise insulation and measurement of reverberation time in rooms, based on its characteristics.

In this present work, the measurements performed for the repeatability test of the Clapeta are analyzed, determining its behavior based on the characteristics of the voluntary operators involved in the study. Furthermore, the results obtained in previous investigations are compared using acoustic cameras, analyzing the frequency and directional characteristics of the tool.

Key words:

Clapet;repeatability;omnidireccionalidad;acoustic camera;impulsive sound source

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Motivo del proyecto.....	3
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Objetivos.....	4
2. DEFINICIONES	5
2.1. Conceptos básicos	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1. Materiales	9
3.2. Métodos	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Resultados.....	28
4.2. Discusión	32
5. CONCLUSIÓN	48
6. REFERENCIAS	49

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivo del proyecto

La realización de este proyecto de investigación surge como resultado de la realización de un Trabajo Final de Máster que tiene como objetivo estudiar el comportamiento de la Clapeta para validar su uso en ensayos acústicos normalizados. El proyecto en cuestión se enfoca en la titulación de Máster en Ingeniería Acústica en la Universidad Politécnica de Valencia, campus de Gandía, con la colaboración de la Universidad Miguel Hernández, y es realizado por el alumno Juan Luis Arenas González.

1.2. Antecedentes

En la actualidad, existen muchos tipos de fuentes acústicas tanto continuas como impulsivas que permiten realizar diversos ensayos normalizados en edificaciones. El más utilizado, sin duda, es el altavoz dodecaédrico debido a sus características en cuanto a omnidireccionalidad, niveles de presión acústica emitidos, repetibilidad y, sobre todo, fiabilidad en los resultados obtenidos. Sin embargo, estas fuentes presentan diversos inconvenientes como pueden ser los altos costos de adquisición, voluminosidad de los equipos en el caso del dodecaedro o los peligros asociados a la mayoría de las fuentes impulsivas como petardos, pistolas y globos de Hidrógeno-Oxígeno.

A continuación, se presenta una tabla comparativa de las características principales de las fuentes sonoras. Las características más relevantes, y motivo de la hegemonía de la fuente dodecaédrica, son la capacidad de omnidireccionalidad y repetibilidad:

		OMNIDIRECCION	REPETIBILIDAD	FRECUENCIAS			POTEN. SONORA	COSTE	TRANSPORTE	USA ELECTRICIDA	PELIGROSO
				BAJA	MEDIA	ALTA					
SONIDO CONTÍNUO	DODECAEDRO	SI	SI	BUENA	BUENA	MEDIA	110-120 dB	MUY ALTO	MUY MALO	SI	NO
	CONO INVERSO	SI	SI	BUENA	BUENA	BUENA	85 dB	MEDIO-ALTO	MALO	SI	NO
SONIDO DE IMPULSO	GLOBOS H-O	SI	NO	BUENA	BUENA	BUENA	130 dB	BAJO-MEDIO	BUENO	NO	SI
	PETARDOS	SI	NO	MEDIA	BUENA	BUENA	140 dB	BAJO	BUENO	NO	SI
	PISTOLAS	NO	SI	MEDIA	MEDIA	BUENA	130-135 dB	MEDIO	BUENO	NO	SI
	CHISPA ELEC.	NO	SI	MEDIA	BUENA	BUENA	145 dB	ALTO	MALO	SI	SI
	PALMAS	NO	NO	MALA	MALA	MALA	50-70 dB	MUY BAJO	BUENO	NO	NO

Ilustración 1 Resumen de características de fuentes acústicas en el mercado

La Clapeta, una fuente sonora impulsiva diseñada en la Universidad Miguel Hernández como parte del desarrollo de la tesis doctoral de Ginés Cervantes Madrid, se ha analizado en estudios anteriores [1-2]. Estos estudios han evaluado su omnidireccionalidad, una de las principales características de las fuentes acústicas, así como su idoneidad para realizar ensayos en el interior de automóviles y su viabilidad para pruebas de aislamiento de acuerdo con las normativas aplicables (140-1 o 16283) y para medir el tiempo de reverberación.

1.3. Objetivos

Este proyecto tiene por objetivo el desarrollo y mejora del trabajo previo realizado para el Trabajo Final de Grado de Juan Luis Arenas González. Se continua con la línea de investigación que se llevó a cabo previamente en la Universidad Miguel Hernández.

Para lograr este propósito, se llevará a cabo un estudio de repetibilidad de la Clapeta, que es la segunda característica más importante en las fuentes acústicas. Además, se realizarán mediciones utilizando cámaras acústicas para corroborar y validar los resultados obtenidos en investigaciones anteriores. Esto permitirá contrastar los hallazgos y garantizar la fiabilidad de los estudios previos sobre la Clapeta.

2. DEFINICIONES

A continuación, se presentarán las definiciones de los términos y conceptos que se abordan a lo largo del documento con el objetivo de garantizar y facilitar su comprensión por parte del lector.

2.1. Conceptos básicos

2.1.1. Espectro frecuencial

El espectro frecuencial, también conocido como espectro de frecuencias, se refiere a la representación gráfica de las diferentes frecuencias que conforman una señal u onda. Esta representación se utiliza para analizar y comprender las propiedades de señales acústicas, electrónicas o musicales.

En el campo de la acústica, el espectro frecuencial abarca normalmente las frecuencias que van desde los 20 hasta los 20.000 Hz, ya que este es el rango auditivo del ser humano. Sin embargo, este rango puede ser ampliado o reducido dependiendo de la aplicación específica de la acústica en cuestión, y se puede subdividir en diferentes bandas de frecuencia.

2.1.2. Bandas de frecuencia

Las bandas de frecuencia son segmentos en los que se divide el espectro frecuencial. Estas divisiones se realizan comúnmente utilizando franjas de octava o tercios de octava.

Las bandas de octava son segmentos que abarcan un intervalo de frecuencias en el cual cada banda tiene un ancho igual al doble de la banda anterior. Por ejemplo, una banda de octava puede abarcar desde 125 Hz hasta 250 Hz, mientras que la siguiente banda de octava abarcará desde 250 Hz hasta 500 Hz, y así sucesivamente.

Por otro lado, las bandas de tercios de octava subdividen aún más el espectro frecuencial. En este caso, cada banda tiene un ancho igual a un tercio del ancho de la banda de octava correspondiente. Por lo tanto, las bandas de tercios de octava son más estrechas y permiten un análisis más detallado de las diferentes frecuencias en el espectro.

2.1.3. Nivel de presión sonora (SPL)

El nivel de presión sonora se utiliza comúnmente para describir la intensidad de los sonidos y el ruido en diferentes entornos, como en la industria, en la construcción, en la música y en la salud ocupacional.

El SPL se mide en decibelios (dB) y se define como la relación entre la presión sonora medida y una presión de referencia, que suele ser de 20 micropascales (μPa) en el aire.

2.1.4. Nivel L_{eq}

El valor L_{eq} se define como el nivel de presión sonora constante que, a lo largo de un periodo de tiempo determinado, tiene la misma energía total que el ruido real considerando sus fluctuaciones. También se le llama nivel sonoro continuo equivalente o nivel sonoro promediado en el tiempo.

2.1.5. Nivel LA_{eq}

El valor LA_{eq} se define como el nivel de presión sonora constante en un periodo de tiempo determinado L_{eq} a la que se le aplica la ponderación frecuencial tipo A. Esta ponderación asemeja las magnitudes físicas de presión medidas en cada una de las bandas de frecuencia a las que se perciben realmente el oído humano.

2.1.6. Nivel $LF_{m\acute{a}x}$

El valor $LF_{m\acute{a}x}$ se define como el nivel de presión sonora máximo registrado mientras se mide en ponderación temporal Fast (125 ms) a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

2.1.7. Nivel $LAF_{m\acute{a}x}$

El valor $LAF_{m\acute{a}x}$ se define como el nivel de presión sonora máximo registrado mientras se mide en ponderación temporal Fast (125 ms) a lo largo de un periodo de tiempo determinado y en ponderación frecuencial A. Esta ponderación asemeja las magnitudes físicas de presión medidas en cada una de las bandas de frecuencia a las que se perciben realmente el oído humano.

2.1.8. Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación es una medida de la duración que tarda el sonido en disminuir en intensidad 60 dB respecto a su valor inicial después de que una fuente de sonido ha dejado de emitir sonido en un espacio cerrado. Este depende de varios factores, como el tamaño y la forma de la habitación, la cantidad y la ubicación de los objetos en la habitación, y los materiales de construcción utilizados en la sala. Un tiempo de reverberación corto significa que el sonido se desvanece rápidamente.

2.1.9. Absorción acústica

La absorción acústica se refiere a la capacidad de un material para absorber la energía acústica de una onda en lugar de reflejarla o dejar que la atraviese. Cuando el sonido incide sobre un material, parte del sonido se refleja, mientras que otra parte se absorbe o se transmite a través de la pared.

Cuanto mayor sea la capacidad de absorción acústica de un material mayor será la cantidad de sonido que quedará mitigado por el material.

2.1.10. Repetibilidad

La repetibilidad acústica se refiere a la capacidad de un sistema de medición acústica para producir mediciones consistentes y reproducibles cuando se mide una misma señal de sonido en varias ocasiones bajo condiciones similares. Este parámetro se mide en los conocidos como ensayos de repetibilidad.

2.1.11. Ensayo de repetibilidad

Un ensayo de repetibilidad acústica es un procedimiento para evaluar la consistencia y precisión de las mediciones acústicas realizadas en un entorno controlado. El objetivo principal de este ensayo es determinar si las mediciones acústicas realizadas por diferentes operadores o en diferentes momentos producen resultados consistentes y reproducibles.

El ensayo de repetibilidad acústica generalmente se lleva a cabo en un ambiente controlado, como una sala de ensayo o un laboratorio acústico. Se utilizan equipos de medición de sonido, como micrófonos y analizadores de espectro, para realizar mediciones de niveles de sonido y características acústicas de una fuente de sonido específica.

Para llevar a cabo el ensayo, se establecen las condiciones de medición y se realizan mediciones repetidas en la misma fuente de sonido, utilizando diferentes operadores o en diferentes momentos. Luego, los resultados se comparan para evaluar la repetibilidad de las mediciones.

2.1.12. Omnidireccionalidad

La omnidireccionalidad acústica se refiere a la capacidad de un micrófono, altavoz u otro dispositivo de audio para capturar o reproducir el sonido de manera uniforme en todas las direcciones.

2.1.13. Ensayo de Omnidireccionalidad

El ensayo de omnidireccionalidad es una prueba que se realiza para evaluar el patrón de radiación de, en este caso, una fuente acústica. En particular, esta prueba se utiliza para medir la capacidad de la fuente para irradiar en todas las direcciones de manera uniforme.

En el ámbito de la acústica, estos ensayos constan de la fuente acústica y de un círculo de micrófonos que rodea la fuente. De esta forma, al hacer uso de la fuente, se puede medir y comparar la señal que se recibe en cada uno de los micrófonos en las distintas bandas de frecuencia.

Para una representación de la radiación en tres dimensiones, es necesario repetir este ensayo tres veces. Una por cada plano de radiación de la fuente.

2.1.14. *Aislamiento acústico*

El aislamiento es un valor característico de una sala, el cual mide la cantidad de energía acústica que absorben las paredes, suelo y techo de la estancia impidiendo así su propagación a las salas contiguas.

Este valor característico se puede representar con tres valores distintos:

D: aislamiento bruto

Dn: aislamiento como diferencia de niveles normalizada

Dnt: aislamiento como diferencia de niveles estandarizada

2.1.15. *Aislamiento como diferencia de niveles estandarizada*

El aislamiento como diferencia de niveles estandarizada representa la diferencia entre los niveles medios de presión sonora entre dos recintos por bandas de frecuencia y teniendo en cuenta la reverberación de la sala receptora. Se normaliza T_0 a un Tiempo de Reverberación de 0,5 segundos.

$$D_{nt} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

Siendo cada uno de los parámetros de la fórmula [6]:

- L_1 representa los niveles medios de presión acústica medidos en el recinto emisor
- L_2 representa los niveles medios de presión acústica medidos en el recinto receptor
- T representa el tiempo de reverberación de la sala receptora
- T_0 representa el valor de estandarización del tiempo de reverberación que tiene un valor de 0,5 segundos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Sonómetro

Instrumento de medición acústica utilizado para medir la intensidad del sonido. Este permite tener una medición de la intensidad acústica de una onda diferenciando entre las distintas bandas de frecuencia.

El sonómetro utilizado para esta investigación es un sonómetro tipo 1 modelo 2250 de la marca Brüel & Kjær.

3.1.2. Clapeta

Las Clapetas son instrumentos compuestos por dos láminas rectangulares de madera que, utilizadas en el ámbito de la acústica arquitectónica, generan un sonido de carácter impulsivo que puede ser utilizado para la caracterización de salas.

En el caso de la Clapeta analizada en la presente investigación, se trata de una Clapeta diseñada en la Universidad Miguel Hernández para el desarrollo de la tesis doctoral de Ginés Cervantes.

La Clapeta consta de dos cavidades en cada una de las estructuras circulares, estas actúan de caja de resonancia y amplían la potencia sonora del instrumental. Con el fin de reducir el fenómeno de reverberación las cavidades están rellenas con piezas de espuma de poliuretano de densidad media. Además, para mejorar su comportamiento en bajas frecuencias se aumentó el peso y tamaño de la Clapeta y se añadieron unas láminas de caucho que actúan como resonadores a bajas frecuencias.

Todas estas características mejoran el comportamiento de la Clapeta en campo cercano permitiendo su uso en recintos muy reducidos como puede ser el interior de un vehículo.

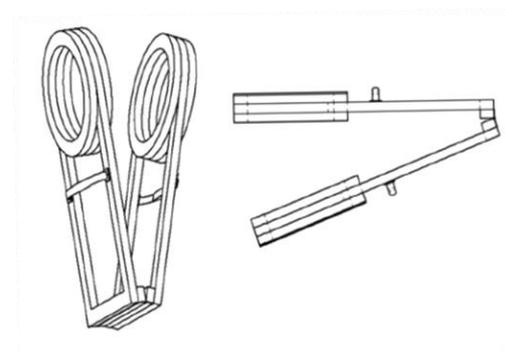


Ilustración 2: Imágenes de la Clapeta objeto de la investigación

3.1.2.1. Caracterización de la omnidireccionalidad

La Clapeta ha sido objeto de diversas investigaciones previas a este estudio [1-2], lo que ha permitido probar ciertos parámetros acústicos con anterioridad. Uno de estos parámetros es la omnidireccionalidad.

En dichos ensayos, se capturaron imágenes de los patrones de radiación de la Clapeta, lo que demuestra su omnidireccionalidad. Las ilustraciones 3, 4 y 5 muestran estos patrones de radiación obtenidos durante los ensayos previos.

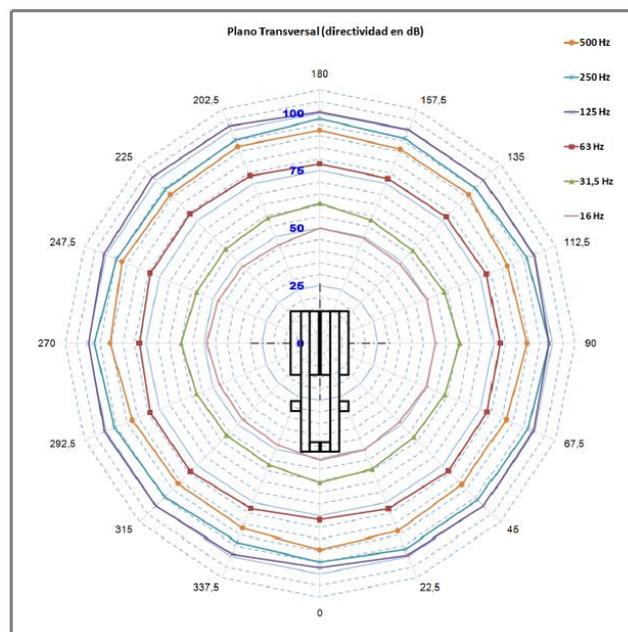


Ilustración 3 Resultados de directividad en el plano transversal

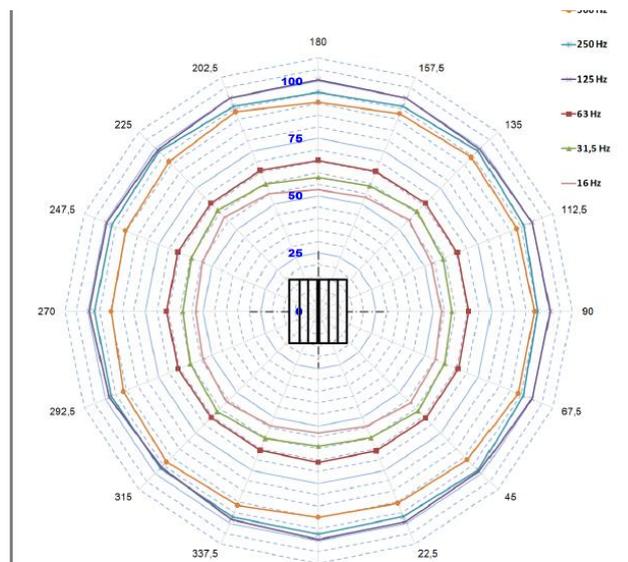


Ilustración 4 Resultados de directividad en el plano horizontal

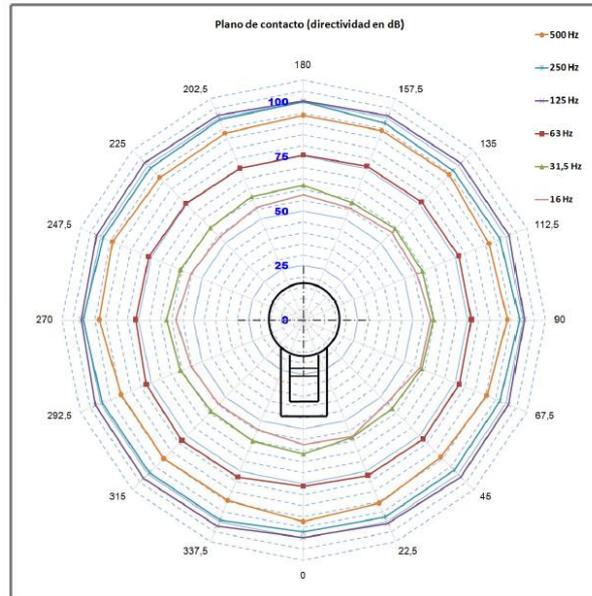


Ilustración 3 Resultados de directividad en el plano de contacto

3.1.2.2. Viabilidad en ensayos de reverberación

Como se ha demostrado en investigaciones anteriores [1], la Clapeta es una fuente acústica impulsiva con la capacidad de emitir una intensidad acústica igual o superior a la de los globos de O-H, dependiendo del operario que la utilice.

La diferencia en los niveles de presión acústica entre la Clapeta y el ruido de fondo supera los requisitos mínimos normativos de 20 dB y 30 dB, y en muchos casos representa una diferencia de más de 60 dB [13]. Por lo tanto, al igual que se considera el uso de globos como herramienta para medir el tiempo de reverberación, también se puede considerar el uso de la Clapeta. Por lo tanto, es viable utilizarla en este tipo de ensayos.

3.1.2.3. Viabilidad en ensayos de aislamiento

El Trabajo de Final de Grado titulado "La Clapeta como nuevo instrumental para ensayos acústicos" [1] se centra principalmente en estudiar la viabilidad de la Clapeta como sustituto del altavoz dodecaedro en los ensayos de aislamiento.

En este trabajo, se lleva a cabo una selección de diferentes espacios, clasificándolos en función de diversos parámetros acústicos y geométricos de las salas, como el volumen, el tiempo de reverberación y el aislamiento. La clasificación de los espacios se realiza de acuerdo con los mismos criterios utilizados en otros estudios acústicos y documentos normativos [2-3-4-5], y quedan definidos de la siguiente manera:

Por tamaño:

- Sala pequeña: menos de 50 m³
- Sala mediana: entre 50 y 250 m³
- Sala grande: más de 250 m³

Por tiempo de reverberación:

- Poco reverberante “sala muerta”: tiempo de reverberación menor a 0.75 s
- Reverberación media: tiempo de reverberación de entre 0.75 y 2 s
- Muy reverberante “sala viva”: tiempo de reverberación de más de 2 s

Por valor de aislamiento:

- Poco aislantes: capacidad de aislar de menos de 55 dBA
- Aislamiento intermedio: capacidad de aislar de entre 55 y 65 dBA
- Muy aislantes: capacidad de aislar de más de 65 dBA

De esta manera, se obtiene una muestra representativa de al menos 15 espacios diferentes, con una combinación de características que asegura la presencia de al menos una sala por cada combinación de dos de estas características.

Después de realizar la selección de ensayos, se llevan a cabo pruebas de aislamiento en las diferentes salas utilizando tanto la Clapeta como el altavoz dodecaedro, lo que permite comparar posteriormente los resultados obtenidos.

Finalmente, tras el procesamiento de los datos y el desarrollo de conclusiones, se genera la siguiente tabla de resultados.

		V			T60			Dnt		
		BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
V	BAJO				válida	No Determinante	No Determinante	No Determinante	válida	válida
	MEDIO				No Válida	válida	válida	No Determinante	No Determinante	No Válida
	ALTO				No Determinante	No Válida	válida	No Determinante	válida	válida
T60	BAJO	válida	No Válida	No Determinante				válida	válida	válida
	MEDIO	No Determinante	válida	No Válida				válida	válida	No Válida
	ALTO	No Determinante	válida	válida				No Determinante	No Determinante	No Determinante
Dnt	BAJO	No Determinante	No Determinante	No Determinante	válida	válida	No Determinante			
	MEDIO	válida	No Determinante	válida	válida	válida	No Determinante			
	ALTO	válida	No Válida	válida	válida	No Válida	No Determinante			

Ilustración 4 Resultados de viabilidad en ensayos de aislamiento de la Clapeta [1]

Finalmente, basándose en la información previa sobre la Clapeta obtenida de artículos de investigación anteriores [2-3-9-10], se llega a las siguientes conclusiones:

1. La Clapeta es una herramienta viable y prometedora para su uso en ensayos acústicos de aislamiento.
2. Los resultados obtenidos en los ensayos de aislamiento con la Clapeta muestran un desempeño comparable al del altavoz dodecaedro.
3. La Clapeta presenta una capacidad omnidireccional, lo que la hace adecuada para medir y analizar el comportamiento acústico en diferentes direcciones.
4. Los estudios previos respaldan la idoneidad de la Clapeta para reemplazar el altavoz dodecaedro en la realización de pruebas de aislamiento.
5. La Clapeta ofrece una alternativa más económica y práctica en comparación con el altavoz dodecaedro, que presenta desventajas como costos de adquisición elevados y voluminosidad.
6. Se recomienda el uso de la Clapeta en estudios acústicos normativos y mediciones de aislamiento de acuerdo con las regulaciones aplicables.

Estas conclusiones respaldan la viabilidad y eficacia de la Clapeta como una herramienta adecuada para realizar ensayos acústicos y promueven su implementación en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

3.1.3. Cámara Acústica

Las cámaras acústicas son dispositivos que constan de varios conjuntos de micrófonos dispuestos en una superficie plana o en forma de esfera..



Ilustración 5 Imágenes de las cámaras acústicas empleadas

Se utilizan principalmente para la detección y localización de fuentes sonoras, ya que, mediante un proceso de triangulación entre los micrófonos, pueden identificar y mapear fuentes sonoras en función de los niveles sonoros globales y las bandas de frecuencia específicas. Esto permite una visualización más precisa del origen de los diferentes sonidos en un entorno determinado.



Ilustración 6 Ejemplo de solución obtenida con cámara acústica

A pesar de la gran ventaja de localización de fuentes sonoras, las cámaras acústicas no se utilizan para la medición de ensayos normativos debido a que

no son tan precisas como los sonómetros tipo 1. Además, la falta de una normativa procedural para su calibración y uso en ensayos limita su aplicabilidad.

En el presente proyecto, la cámara acústica no se utiliza para el análisis de la acústica de la Clapeta en las situaciones planteadas. Su uso se limita a la caracterización y visualización gráfica de la radiación de la Clapeta como una forma de corroborar investigaciones anteriores.

En esta investigación, se han utilizado dos tipos de cámaras acústicas: una de superficie plana y otra de superficie esférica. Principalmente, se han utilizado para corroborar los resultados en ensayos de omnidireccionalidad y para estudiar la generación acústica de la Clapeta en el interior de vehículos.

3.1.4. Escáner espacial en 3D láser

Un escáner láser es un dispositivo utilizado para crear una representación tridimensional de un objeto o superficie. Emite un haz de luz láser que cubre el objeto o superficie a escanear. Al rebotar en el objeto, un sensor en el escáner registra el tiempo de retorno del rayo y la cantidad de luz reflejada.

Estos datos se utilizan para generar una representación precisa en tres dimensiones del objeto o superficie escaneada. Los escáneres láser se utilizan en diversos campos, como ingeniería, arquitectura, fabricación y diseño de videojuegos.

En esta investigación, se utilizó un escáner láser para escanear salas y recintos en los que se empleó la Clapeta. Con la ayuda de software especializado, se representó visualmente el nivel de presión sonora (SPL), lo que permite una visualización más intuitiva de los resultados obtenidos.

3.2. Métodos

3.2.1. Cálculo de la repetibilidad de la Clapeta

Para determinar el valor de repetibilidad de un instrumento, es necesario calcular la incertidumbre asociada al mismo. Esto es especialmente importante en el caso de la Clapeta, donde el resultado del ensayo puede verse influenciado por la destreza del operador. Para obtener este valor, se siguen las directrices de cálculo de incertidumbre establecidas en la norma ISO 12999-1 [6].

Es importante destacar que la norma ISO 12999-1 [6] sustituye a la norma ISO 140-2 [11]. Ambas normas son equivalentes y no existen cambios en los procedimientos entre ellas. El cambio de normativa se realizó de manera similar a las normas ISO 140-1, 140-5 y 140-7, que fueron reemplazadas por las correspondientes normas UNE 16283. En este caso, se introdujo un ligero cambio en el cálculo, pero no en el procedimiento.

Para determinar la incertidumbre de la Clapeta, es necesario obtener un tamaño de muestra apropiado, que según la norma [6], se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$p * (n - 1) > 35$$

En el cálculo de la incertidumbre de la Clapeta, se utiliza la expresión mencionada anteriormente, teniendo en cuenta el número de laboratorios involucrados en las mediciones (p) y el número de resultados por laboratorio (n). En este caso específico, el valor de p se considera como el número de operarios que participan en el estudio.

La norma también recomienda que el número de laboratorios sea superior a 8. Esta recomendación tiene como objetivo reducir la cantidad de muestras requeridas y aumentar la relevancia de los resultados obtenidos. Al tener un número mayor de laboratorios, se obtiene una mayor diversidad de datos, lo que contribuye a una evaluación más precisa de la incertidumbre de la Clapeta. Conociendo esta expresión, se llega a que, según norma, el número de muestras por operador debe ser aproximado a los siguientes valores:

- 40 golpes/operador si solo hay un operador
- 20 golpes/operador si son dos operadores
- 15 golpes/operador si son tres operadores
- 10 golpes/operador si son cuatro operadores

Sin embargo, debido a que este tamaño de muestra se calcula para la evaluación de resultados de mediciones en ensayos acústicos previamente normalizados, como ensayos de aislamiento o medición de niveles sonoros [7-12], se considera apropiado realizar un total de 40 golpes por cada operario.

Al generar una mayor cantidad de datos, se puede estudiar más a fondo el comportamiento de la Clapeta.

Por lo tanto, se registran 40 impulsos de 5 segundos cada uno, obteniendo muestras limpias del impulso generado por la Clapeta. Se contó con la participación de 18 operarios voluntarios, descartando aquellos registros que contengan sonidos ajenos a la Clapeta que puedan afectar o invalidar la muestra.

Es importante tener en cuenta que se busca obtener valores de repetibilidad con operarios sin experiencia previa en el uso de la Clapeta. De esta manera, en función de los resultados obtenidos, también se podrá discutir sobre la facilidad de uso de la Clapeta para nuevos usuarios.

Las muestras se tomaron en la misma sala, específicamente en el taller del laboratorio de vehículos y acústica ubicado en el edificio Innova de la Universidad Miguel Hernández. Todos los operarios se colocaron en el mismo lugar y a la misma distancia del sonómetro. Esta distancia se fijó en 2 metros, ya que investigaciones anteriores han demostrado que la Clapeta muestra una omnidireccionalidad a distancias superiores a un metro [2].



Ilustración 7 Disposición de equipos en el ensayo de repetibilidad

Con esta configuración de toma de datos, la única variable no controlada es la variabilidad inherente a la Clapeta debido a su uso por diferentes operarios.

A continuación, se describe el procedimiento para calcular la incertidumbre siguiendo la norma [6]. Esto proporcionará al lector una comprensión de los valores objetivo que se buscan obtener.

En primer lugar, se calcula el valor de la desviación estándar (σ) para cada uno de los operarios. Se asume que estos valores seguirán una distribución gaussiana, lo que permite estimar la variabilidad de las mediciones realizadas por cada operario.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Siendo N el número total de muestras, x_i los distintos valores medidos en la prueba y μ queda definido como la media aritmética de las muestras.

$$\mu = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N x_i$$

Si se asume la existencia de condiciones de repetibilidad, es decir, que las mediciones se realizan en condiciones estables y consistentes, entonces la desviación típica de todas las posibles diferencias entre dos resultados distintos será igual a la desviación estándar dentro del conjunto de mediciones. Esta desviación estándar representa la variabilidad inherente a las mediciones y se utiliza como una medida de la precisión de los resultados obtenidos:

$$\sqrt{2} * \sigma$$

Además, si se quiere obtener un nivel de confianza caracterizado por un coeficiente de cobertura k , el cual en el caso que se aborda, es necesario ya que el resultado de las muestras depende sustancialmente del operador. Entonces se puede definir el límite de repetibilidad como:

$$r = k * \sqrt{2} * \sigma$$

El valor de r se define de esta manera específica debido a que el resultado de la medición de presión sonora puede desviarse tanto por encima como por debajo del valor esperado, siguiendo una distribución normal. Por lo tanto, se trata de un ensayo estadístico bilateral en el que se consideran ambos extremos de la distribución.

A pesar de que el valor obtenido puede ser poco homogéneo durante las pruebas debido al papel del operador, se considerará una capacidad de repetibilidad adecuada según la norma con un nivel de confianza del 95%. Este valor del 95% se tiene en cuenta al comparar el valor de r (límite de repetibilidad) con la tabla de referencia de la norma ISO 12999-1 [6], la cual se presenta en función del nivel de confianza del 95%.

El factor de cobertura es una constante que se utiliza para agregar un factor correctivo a la expresión de repetibilidad. Este valor indica cuántas muestras erróneas o anómalas son aceptables en una población de muestras. Por ejemplo, considerar un nivel de confianza del 95% implica que, de cada 100 muestras tomadas, no más de 5 muestras serán consideradas erróneas o no válidas. En contraste, si se considera un nivel de confianza del 68%, se aceptarán como fallidas 32 muestras de cada 100.

Es importante destacar que este proceso debe realizarse para cada una de las bandas de frecuencia distintas. Esto se debe a que se pueden cumplir los criterios de repetibilidad en un rango de frecuencias diferente al especificado por la norma. Si esto ocurre, el instrumento u operador no se considerará apto en términos de repetibilidad.

Factor de cobertura para diferentes niveles de confianza.

Factor de cobertura <i>k</i>	Nivel de confianza para un ensayo bilateral %	Nivel de confianza para un ensayo unilateral %
1,00	68	84
1,28	80	90
1,65	90	95
1,96	95	97,5
2,58	99	99,5
3,29	99,9	99,95

Ilustración 8 Factor de cobertura para diferentes niveles de confianza

Con todo esto, suponiendo el nivel de confianza del 95%, se puede afirmar que se está dentro de los valores óptimos de repetibilidad si el valor obtenido en *r* (límite de repetibilidad) es inferior a los expuestos en la siguiente tabla de la ISO 12999-1 [6]:

Tabla 1 – Desviación típica máxima de repetibilidad

Frecuencia Hz	Desviación típica máxima de repetibilidad dB
50	4,0
63	3,5
80	3,0
100	2,6
125	2,2
160	1,9
200	1,7
250	1,5
315	1,4
400	1,3
500	1,3
630	1,3
800	1,3
1 000	1,3
1 250	1,3
1 600	1,3
2 000	1,3
2 500	1,3
3 150	1,3
4 000	1,3
5 000	1,3

Ilustración 9 Desviación típica máxima de repetibilidad por norma para cada banda de frecuencia

3.2.2. *Procesado de datos*

En el proceso de comparación de los resultados de repetibilidad con los límites establecidos en la norma ISO 12999-1 [6], se asume inicialmente un nivel de confiabilidad del 95%. Sin embargo, debido a la influencia del operador en el uso de la Clapeta, este nivel de confiabilidad puede resultar excesivo. Por lo tanto, se establecerá como objetivo un nivel de confiabilidad del 68%, que es el nivel que suelen cumplir los globos de O-H en la mayoría de los casos.

Debido a esta diferencia en los niveles de confiabilidad, se procederá a procesar los datos medidos para cada operador mediante la eliminación de registros "anómalos" de manera que se cumpla la relación de mediciones establecida en la norma.

En otras palabras, se eliminarán los registros que presenten resultados más desfavorables para cada operador, hasta alcanzar un conjunto de 30 registros por operador. Estos 30 registros representarán el 75% de las muestras totales de cada operador. A partir de este nuevo conjunto de muestras, si el operador cumple con los límites establecidos para un nivel de confiabilidad del 95%, entonces se considerará que cumple con los límites de repetibilidad establecidos para el nivel de confiabilidad del 68%.

Esta metodología permite ajustar el nivel de confiabilidad a un valor más realista y adecuado para la evaluación de la repetibilidad de la Clapeta, teniendo en cuenta la variabilidad inherente al uso de este instrumento por parte de los operadores.

La eliminación de los registros más desfavorables se realiza de la siguiente manera:

- Se calcula el valor límite de repetibilidad de los registros para cada banda de frecuencia.
- Se escoge el mayor valor de desviación estándar entre las bandas de tercio de octava que no cumplen con la norma.
- En este tercio de octava, se escoge el máximo y el mínimo de todas las muestras que componen la población. De esta forma en una única iteración se eliminarán dos registros, agilizando así el proceso.
- Se eliminan estas muestras, tanto la frecuencia escogida previamente como todas las que corresponden a la misma muestra.
- Se comprueba, mediante el proceso expuesto previamente si la nueva población de muestras cumple la norma y si ha mejorado el resultado previo.

Para aquellos operadores que se acerquen al límite en todas las bandas de frecuencia, se puede sumar las desviaciones de las bandas de frecuencia que no cumplen con los límites establecidos. Esta suma proporciona un valor que

permite determinar si el operador cumple con los requisitos mínimos de repetibilidad.

Este valor límite se establece en 1,5 dB(A) por criterio técnico. Se considera que una diferencia de esta magnitud dividida en diferentes bandas de frecuencia es insignificante en términos prácticos. Si la suma de las desviaciones está por debajo de este valor, se puede afirmar que el operador cumple con los requisitos mínimos de repetibilidad.

Esta cifra de 1,5 dB(A) se utiliza como umbral para evaluar el desempeño de los operadores y garantizar que sus mediciones se encuentren dentro de los límites aceptables en términos de repetibilidad en todas las bandas de frecuencia.

3.2.2.1. Ejemplo de procesado de datos

A continuación, se muestra un ejemplo de procesamiento de muestras, que se realizará de forma independiente para cada operador.

En primer lugar, se calculan los valores límite de la población de 40 muestras. Estos valores límite se calcularán únicamente para las bandas de frecuencia de tercios de octava comprendidas entre los 100 y los 3150 Hz. Esto se debe a que la norma [6] proporciona los valores a cumplir específicamente para este rango de frecuencias.

Durante este proceso, se calcularán los límites de repetibilidad para cada banda de frecuencia dentro del rango mencionado, teniendo en cuenta el nivel de confiabilidad establecido en el 68%. Estos límites servirán como referencia para evaluar la conformidad de las mediciones realizadas por cada operador.

Es importante recordar que este cálculo de límites de repetibilidad se realizará para cada banda de frecuencia y para cada operador individualmente, siguiendo el procedimiento establecido en la norma [6].

	Frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1200	1600	2000	2500	3150
K	r max perm.	4	4	3,5	3,5	2,5	2,5	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3,29	r 99,9%	4,48	2,50	2,33	3,29	3,14	3,42	5,38	4,76	4,52	7,11	4,54	4,88	5,61	3,18	5,65	5,04
2,58	r 99%	3,51	1,96	1,83	2,58	2,46	2,68	4,22	3,74	3,54	5,58	3,56	3,82	4,40	2,49	4,43	3,95
1,96	r 95%	2,67	1,49	1,39	1,96	1,87	2,03	3,21	2,84	2,69	4,24	2,70	2,91	3,34	1,89	3,37	3,00
1,65	r 90%	2,24	1,25	1,17	1,65	1,57	1,71	2,70	2,39	2,26	3,57	2,28	2,45	2,81	1,59	2,83	2,53
1,28	r 80%	1,74	0,97	0,91	1,28	1,22	1,33	2,09	1,85	1,76	2,77	1,76	1,90	2,18	1,24	2,20	1,96
1	r 68%	1,36	0,76	0,71	1,00	0,95	1,04	1,64	1,45	1,37	2,16	1,38	1,48	1,70	0,97	1,72	1,53

Ilustración 10 Ejemplo de valores límite para un operario previos al procesado

Con esto y con una simple comparación, se puede ver que valores están por encima y cuales por debajo de los límites normativos.

Frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1200	1600	2000	2500	3150
r 99,9%	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO						
r 99%	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
r 95%	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
r 90%	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
r 80%	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
r 68%	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	NO								

Ilustración 11 Ejemplo de comparación de límites previos al procesado

Una vez calculados los valores límite para cada banda de frecuencia y para cada operador, podemos proceder a calcular el valor total de desviación. Este valor se define como la suma de las diferencias entre los valores medidos y los límites establecidos, teniendo en cuenta únicamente los valores no nulos y positivos.

Para cada operador, se evaluará la desviación en cada banda de frecuencia, considerando únicamente aquellas desviaciones que sean mayores a cero y que superen los límites establecidos. Estas desviaciones se sumarán para obtener el valor total de desviación para ese operador en particular.

Esta suma de diferencias de límites nos proporciona una medida de cuánto se alejan las mediciones de un operador de los valores límite establecidos. Cuanto menor sea el valor total de desviación, más cerca estará el operador de cumplir con los requisitos de repetibilidad establecidos:

$$D = \sum_{i=100Hz}^{3150 Hz} r_{j,i} - r_{máx,i}$$

Siendo:

- $r_{j,i}$: el valor de la repetibilidad para un nivel de confianza j para una frecuencia i
- $r_{máx,i}$: el valor máximo de la repetibilidad permitido por la norma para una frecuencia i
- i comprendido entre la banda octava de 100 Hz hasta la banda de 3150 Hz con saltos de tercio de octava

Dicho valor D (en dBA) para la situación de ejemplo que se muestra tiene el valor de 1,11 dBA:

Si se representan los valores obtenidos de manera gráfica, quedan de la siguiente forma, siendo los valores aptos inferiores a los marcados por la línea roja (máxima permitida):

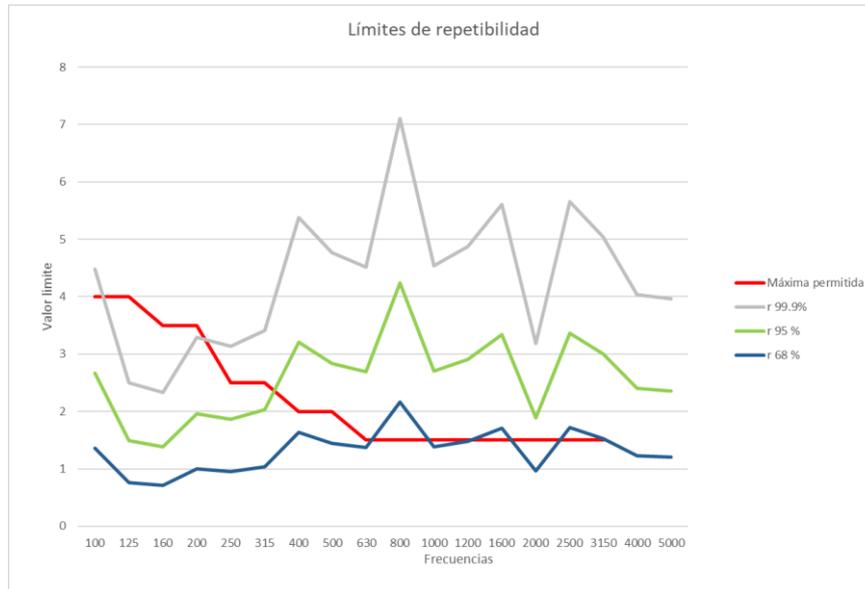


Ilustración 12 Ejemplo de gráfica de valores previos al procesado

Una vez conocido el estado inicial de las muestras de un operador y aplicando el proceso de eliminación de valores extremos según el procedimiento descrito anteriormente, se procede a comparar los resultados restantes con los límites establecidos en la norma para el nivel de confianza del 95%.

Siguiendo este procedimiento, los resultados obtenidos después de eliminar las 10 muestras más desfavorables se presentan de la siguiente manera.

	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1200	1600	2000	2500	3150
Regi 1	59	68,1	77,1	77,9	75,3	76,6	79,4	77,1	82,5	85,4	84	82,7	84,5	83,7	84,9	87,8
Regi 2																
Regi 3																
Regi 4																
Regi 5																
Regi 6	59,9	67,7	77,3	77,3	75,5	76,6	79,1	76,6	80,9	85,1	84,1	84,1	85,3	84,4	84,7	85
Regi 7	59,5	67,3	77	76,7	75,6	76,8	76,9	76,8	80,9	83,7	83,7	82,2	83,8	84,2	84,8	85,6
Regi 8	60,5	68,2	77,7	77,2	76,1	77,5	76,9	75,9	82,4	84,5	83	84,1	85,1	85,9	85,3	86,3
Regi 9	60,3	67,9	77,2	76	75	76,1	75,9	76,4	82	84,6	83,1	83,3	84,7	84,6	85,3	87,5
Regi 10	60,3	68	77,3	76,2	75,5	76,5	76	75,3	81,7	83,9	82,6	83,9	84,1	85,5	85,7	86,5
Regi 11	60,5	67,9	77	76,6	75,4	76,1	77,5	76,1	80,6	85,9	83,1	83,4	85,5	84,4	84,3	85
Regi 12	60,9	68,2	77,4	77,1	75,6	76,2	77,5	76,7	81,9	86,1	83,1	84,1	85,6	85,6	84,2	87,2
Regi 13	61,1	68,4	77,5	77,3	75,8	75,5	78,1	77	81,3	86,3	83,1	84,3	84,7	85,2	87,5	86,4
Regi 14	61,8	68,4	76,8	76,4	75,3	76,4	77,6	76,6	84,1	84	83,3	83,4	86,8	84,1	86	87,9
Regi 15	59,7	67,1	76,4	75,2	74,5	76,3	75,6	74,1	80,4	84,3	81,2	82,3	83,9	85,1	85,1	85,9
Regi 16	59,4	67,1	76,5	76	74,5	76,7	75,8	73,6	81	84,1	82,9	83,2	84,4	84	84,7	86,3
Regi 17	60,5	67,8	77	76,2	74,9	77,4	77,3	76,1	81	85,1	83,1	83,1	86,3	85,8	85,6	85,2
Regi 18	60,1	67,7	77	76,2	74,8	76,8	76,5	73,8	81,7	85,6	82,6	82,9	84,4	84,9	84,4	84,9
Regi 19	60,2	67,7	77	76,2	74,3	76,3	76,5	74,8	80,8	86,1	83,5	83,2	83,8	84,9	85,1	85,7
Regi 20	60,9	68,1	77,1	77	74,7	76,4	77,3	75,5	81,6	87,1	83,3	83,6	87,3	85,9	84,3	85,9
Regi 21																
Regi 22	60,3	67,8	76,6	76	74,4	75,7	77,2	74,4	80,1	84,8	82,3	82,4	84,1	84,3	83,6	86,3
Regi 23																
Regi 24	61,4	68,3	77,2	77,2	75	74,9	78	75,2	81	86,5	83,3	82,8	85,6	83,8	84,1	85,2
Regi 25																
Regi 26	60,7	67,7	76,6	76,2	75,4	75,5	75	76,2	82,2	84,3	81,5	81,9	84,3	85	84,8	85,3
Regi 27																
Regi 28	61,3	68,4	77,5	77,2	76	76,6	77,5	76,2	81,8	86,4	82,8	83,2	85,6	85,7	83,9	85,8
Regi 29	61,1	68,1	77,4	77,1	75,3	75,5	77,3	75,2	81,7	85,9	83,2	83,6	85,3	84,8	86,4	86,3
Regi 30	60,7	67,9	76,8	76,2	75,6	75,9	76,5	75	79,2	85,2	82,3	82,4	84,4	84,1	83,5	83,8
Regi 31	60,3	67,4	76,6	76,8	74,8	75	77,1	75,7	79,4	85,3	81,7	82	85,6	84,6	83,5	85,2
Regi 32	61,3	68,4	77,3	77,4	76,1	76,1	77,9	75,5	81,5	87,1	83,7	83,9	86,3	85,6	86,9	87,5
Regi 33	60,9	68	77,2	77,3	75,6	75,5	78,7	76,1	81,1	86,6	83,8	84,4	86,5	84,6	85	85,4
Regi 34	60,8	68,2	77,4	77	76,2	76,6	78,2	76	80,9	86,4	83,1	84,2	85	84,3	86	86,5
Regi 35	59,2	66,5	75,8	75,5	75	74,2	75,8	74,5	80,3	84,4	82	83,3	83,7	83,8	86	84,9
Regi 36																
Regi 37	61	68,1	77	77,4	75,6	75,9	78	76,2	79,9	86,4	83	82,5	86,7	84,8	83,8	85,1
Regi 38																
Regi 39	61,1	68,1	76,9	76,6	76,3	75,8	76,7	75,8	80,9	87,1	82,6	83,1	83,7	84,6	85,3	87
Regi 40	61,1	67,9	76,5	76,6	75,6	75	77,1	75,1	79,4	85,9	81	80,3	85,9	83,8	84,2	84,4

Ilustración 13 Tabla de registros con muestras eliminadas después del procesado

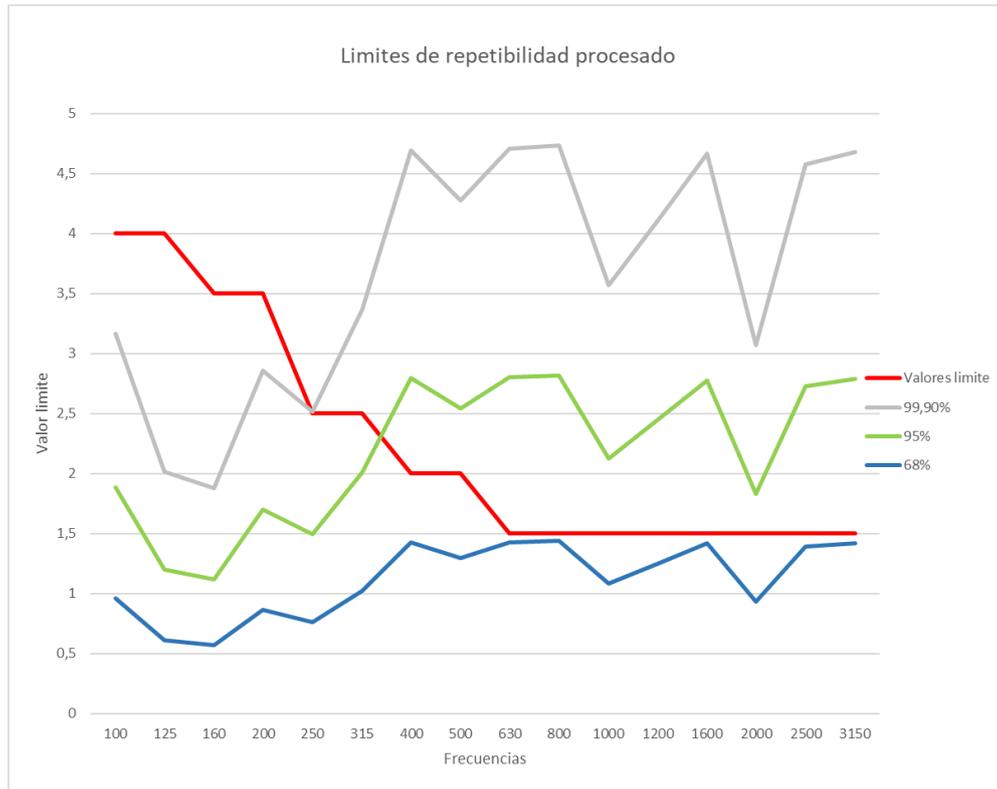


Ilustración 14 Límites de repetibilidad una vez procesado

Durante esta investigación, se ha llevado a cabo el procesamiento y análisis de resultados utilizando dos parámetros de medición diferentes:

- LAF_{máx}
- LA_{eq}.

En primer lugar, se analizaron los límites de repetibilidad utilizando el parámetro LAF_{máx}, el cual proporciona los valores máximos en cada una de las bandas de frecuencia. Este parámetro resulta adecuado debido a que la fuente de sonido en este caso es de carácter impulsivo.

Sin embargo, en ciertas ocasiones, este parámetro puede no resultar representativo, especialmente en mediciones de fuentes de sonido impulsivas en recintos cerrados con poca o nula absorción acústica. Esto se debe a un fenómeno en el cual las primeras reflexiones del sonido en la sala se combinan y generan un pico de presión acústica mayor que el producido por el sonido directo de la fuente. En otras palabras, la sala puede amplificar ciertos componentes específicos de la onda generada por la fuente, lo que distorsiona los resultados obtenidos.

Por lo tanto, aunque el parámetro LAF_{máx} se utiliza en este estudio, es importante tener en cuenta las limitaciones y posibles distorsiones que pueden surgir en su aplicación, especialmente en entornos acústicos particulares. Es necesario considerar otros parámetros de medición y realizar un análisis más

completo para obtener una evaluación precisa de la repetibilidad en dichas situaciones.

Por esta razón, al normalizar las condiciones de ensayo con una duración de 5 segundos y misma situación y condiciones para cada uno de los operadores, se analizan también las mediciones con respecto al parámetro LAeq.

Este parámetro se calcula como una media de los niveles de presión sonora en cada medición. Por ello, se verá enormemente afectado por la reverberación de la sala en la que se realice el ensayo.

Al incluir tanto el parámetro LAF_{máx} como el LAeq en el análisis de los resultados, se obtiene una perspectiva más completa y se puede discernir si los fenómenos acústicos detectados se deben a la Clapeta o a las condiciones específicas de la sala de medición.

En un escenario ideal, este experimento se habría llevado a cabo en una sala anecoica para eliminar por completo la influencia de la reverberación. Sin embargo, debido a la falta de disponibilidad de una sala anecoica en la Universidad de Elche en el momento de las mediciones, esta opción fue descartada y se procedió con las mediciones en la sala disponible.

En base al procesamiento de datos realizado y con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los valores límite de repetibilidad, se establecen los siguientes rangos de cumplimiento utilizando el parámetro calculado D, que es la suma de las diferencias entre el límite de repetibilidad según la norma y el valor de repetibilidad obtenido para cada banda de frecuencia evaluada:

- Cumplimiento: D con valor inferior estricto a 0,5
- Cumplimiento medio: D comprendido entre 0,5 (incluido) y 1,5
- No Cumplimiento: D superior o igual a 1,5

Estos rangos se definen siguiendo los siguientes puntos:

- Debido al método de procesamiento utilizado, que en ocasiones puede generar un error de cálculo debido a la selección de muestras desfavorables, se considera una incertidumbre de 0,5 dBA para el cumplimiento.
- La categoría de cumplimiento medio se establece permitiendo una desviación de 1dBA, a la cual se suma la incertidumbre del método de procesamiento. Esta categoría se aplica a aquellos operadores que se encuentran cerca de cumplir con los valores límite y que, con un poco de práctica, podrían considerarse aptos para el uso de la Clapeta. Es importante recordar que los operadores están utilizando la Clapeta por primera vez durante la prueba de repetibilidad.
- Cualquier valor que supere estos límites se considera no apto.

3.2.3. Cámara acústica

3.2.3.1. Omnidireccionalidad

Para medir la omnidireccionalidad de la Clapeta se utiliza una cámara acústica plana que cuenta con un anillo de receptores dispuestos alrededor de una cámara. A través de un cálculo de triangulación, la cámara determina la fuente sonora de la Clapeta y su propagación a lo largo del tiempo.

El software de la cámara acústica permite realizar promedios acústicos (LAeq) para diferentes ventanas de tiempo, según las preferencias del operador. Al definir estos parámetros, se genera un mapa de calor con los valores medidos.

Esta medición se realiza en campo libre para evitar cualquier tipo de reflexión que pueda distorsionar las lecturas tomadas por la cámara acústica. La distancia entre la fuente y la cámara se mantiene a dos metros, y tanto la fuente como el eje central de la cámara se ubican a una altura aproximada de 1,6 metros.

La altura de la cámara se determina en función de la altura a la que se encuentra la fuente durante su uso, la cual está influenciada por la altura del operador que la utiliza.

Una vez que los equipos están preparados, se toman muestras de la radiación acústica de la Clapeta colocando la fuente sonora en diferentes posiciones, de modo que se pueda visualizar la radiación en todos los ejes.



Ilustración 15 Disposición de equipos en el ensayo de omnidireccionalidad

3.2.3.2. Acústica en el interior de vehículos

Para evaluar los espacios interiores de los vehículos, se utiliza un escáner láser para generar un modelo en 3D del interior del vehículo que se está evaluando. Sobre este modelo se mostrarán los resultados obtenidos por la cámara acústica esférica en forma de mapa de color de dos tipos de mediciones distintas.

En la primera medición, se activa la Clapeta en el asiento del conductor, mientras que el operador se sitúa en el asiento trasero, tratando de estar lo más cerca posible del asiento delantero para minimizar su influencia en la acústica del vehículo.

En la segunda medición, el procedimiento es similar a la primera, pero la Clapeta se coloca en el asiento del copiloto, y el operador se ubica en el lado derecho del vehículo.

En ambas mediciones, la cámara acústica se coloca en el centro de la cabina del vehículo, entre los dos asientos delanteros, a la altura de los pies de los asientos traseros (ver ilustración 18).

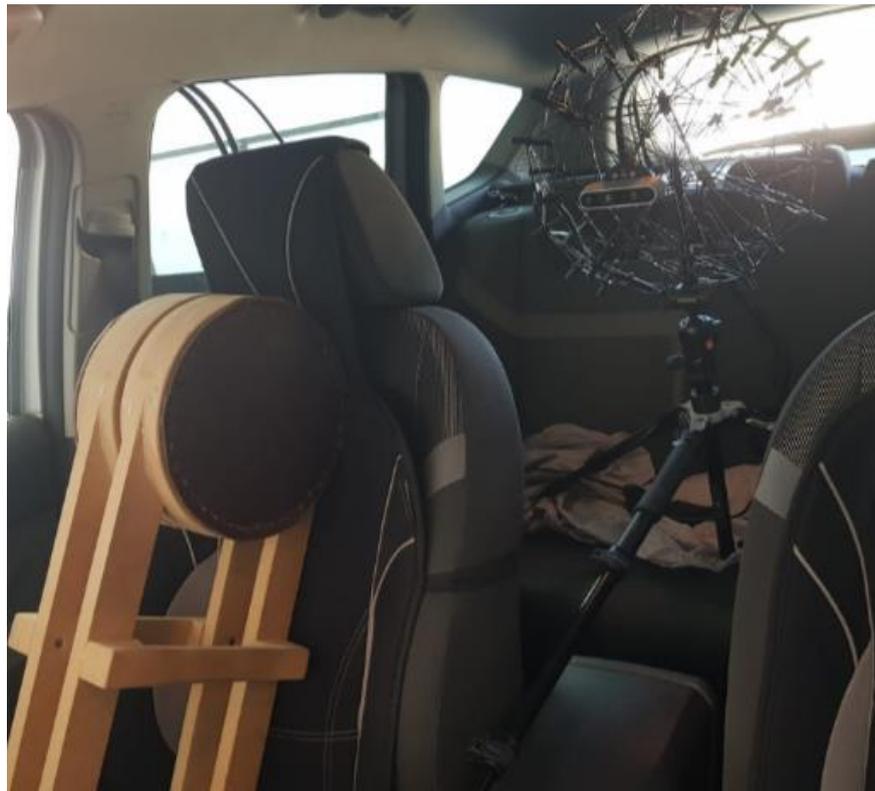


Ilustración 16 Vista de la disposición de equipos para el ensayo en interiores de vehículos

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Repetibilidad

A continuación, se muestra la tabla resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los operadores [véase ilustración 19] para el parámetro LAF_{máx}.

La tabla refleja la mejora experimentada por cada operador después del procesado de datos, así como el nivel de cumplimiento en función de los rangos definidos en este informe.

	D inicial	D final	¿Cumple?
Op. 1	1,1	0,0	SI
Op. 2	10,9	6,7	NO
Op. 3	2,6	0,1	SI
Op. 4	8,7	0,6	MEDIO
Op. 5	7,5	4,8	NO
Op. 6	2,0	0,4	SI
Op. 7	16,3	4,9	NO
Op. 8	6,1	0,7	MEDIO
Op. 9	1,9	0,9	MEDIO
Op. 10	33,9	2,3	NO
Op. 11	23,4	20,4	NO
Op. 12	18,5	9,4	NO
Op. 13	2,9	0,0	SI
Op. 14	8,7	0,2	SI
Op. 15	9,1	1,5	MEDIO
Op. 16	9,1	0,0	SI
Op. 17	9,1	4,6	NO
Op. 18	99,7	8,6	NO

SUMA	
SI	6
MEDIO	4
NO	8

Ilustración 17 Resultados repetibilidad para LAF_{máx}

A continuación, se muestra la tabla resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los operadores [véase ilustración 20] para el parámetro LAF_{máx}.

	D inicial	D final	¿Cumple?
Op. 1	1,2	0,0	SI
Op. 2	10,4	6,0	NO
Op. 3	2,8	0,1	SI
Op. 4	19,3	0,6	MEDIO
Op. 5	4,8	2,8	NO
Op. 6	3,1	0,0	SI
Op. 7	62,7	12,9	NO
Op. 8	29,2	0,5	SI
Op. 9	11,8	0,7	MEDIO
Op. 10	33,9	2,3	NO
Op. 11	19,9	14,8	NO
Op. 12	22,7	9,5	NO
Op. 13	13,4	0,1	SI
Op. 14	28,8	0,3	SI
Op. 15	30,1	2,4	NO
Op. 16	5,4	0,0	SI
Op. 17	10,6	4,6	NO
Op. 18	130,0	8,6	NO

SUMA	
SI	7
MEDIO	2
NO	9

Ilustración 18 Resultados repetibilidad para LAeq

4.1.2. Cámara acústica

4.1.2.1. Omnidireccionalidad

Posterior a la toma de las muestras de la Clapeta en las diversas posiciones requeridas y del procesado informático de las mismas, se obtiene una serie de imágenes que muestran la radiación acústica de la Clapeta de una forma muy visual.

A continuación, se muestran las imágenes obtenidas para cada uno de los ejes de medición (transversal [ilustración 21], horizontal [ilustración 22] y de contacto [ilustración 23]):

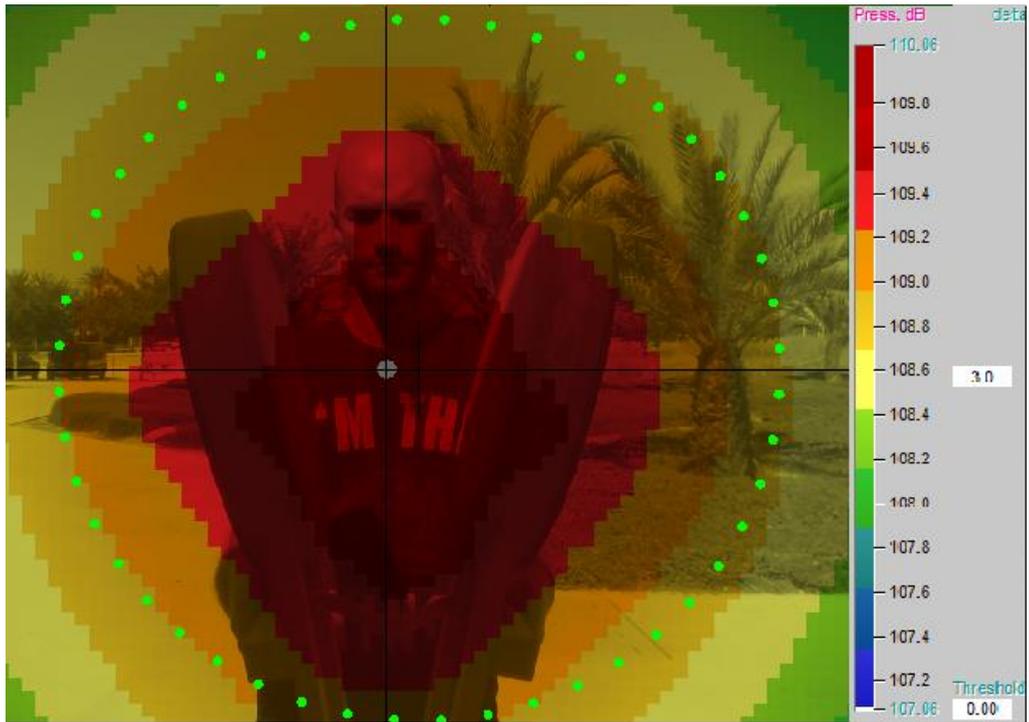


Ilustración 19 Renderizado de cámara acústica en el eje transversal

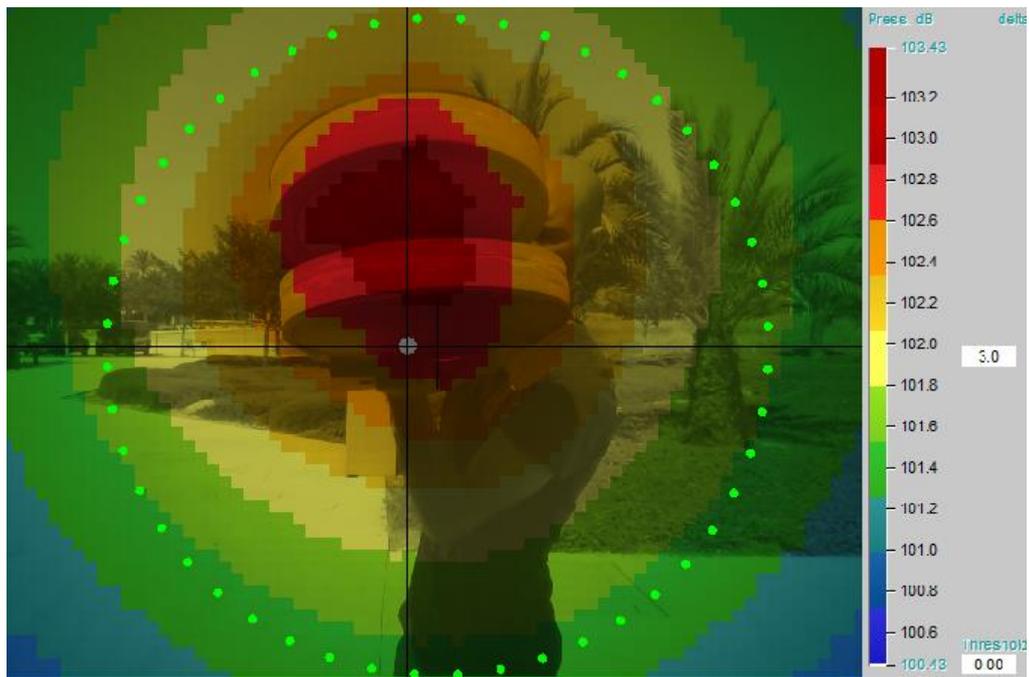


Ilustración 20 Renderizado de cámara acústica en el eje horizontal

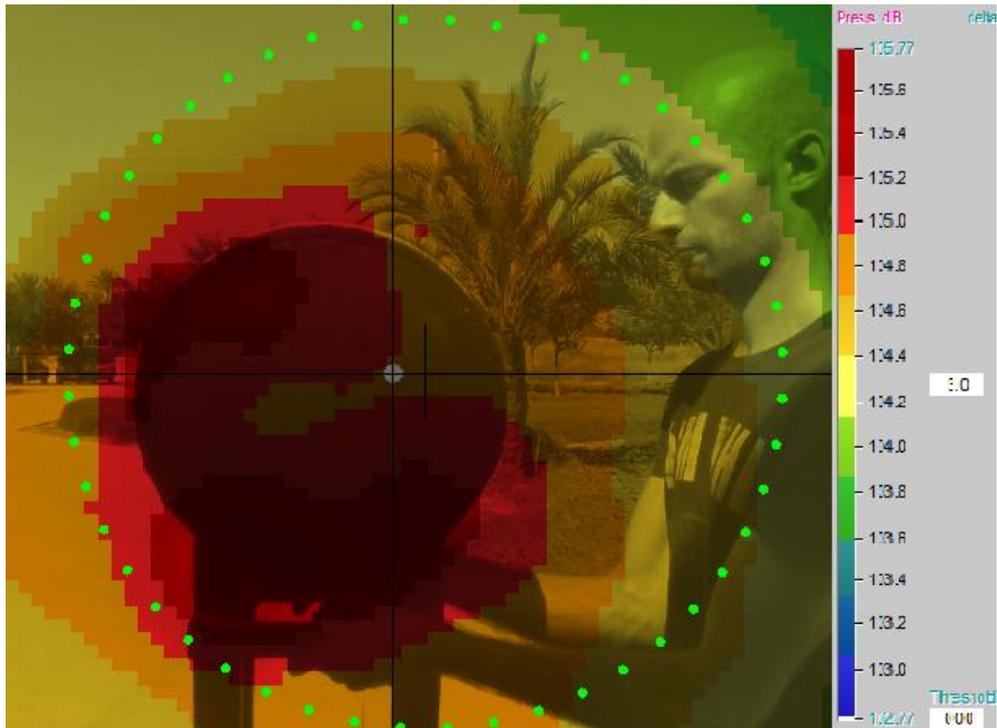


Ilustración 21 Renderizado de cámara acústica en el eje de contacto

4.1.2.2. Acústica en interiores de vehículos

Posterior a la toma de muestras y escaneado del interior del vehículo evaluado, se procesan los datos de modo que quedan representados en las superficies del modelado tridimensional los niveles de presión sonora generados por la Clapeta. Se muestra a modo de ejemplo la imagen de una muestra con la Clapeta en el asiento del conductor [véase ilustración 24].

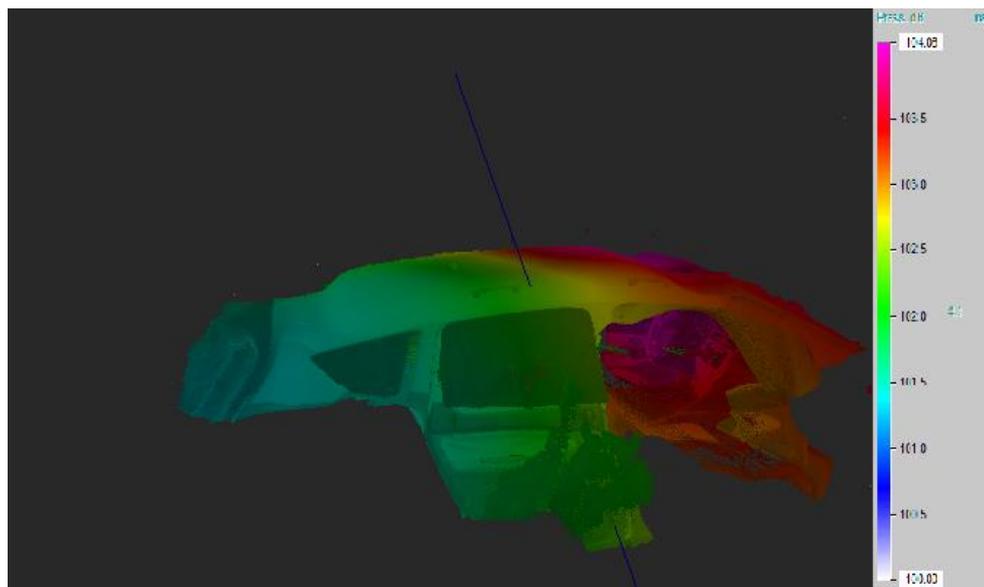


Ilustración 22 Renderizado de cámara acústica en el interior de vehículos

4.2. Discusión

En el apartado de discusión de resultados, se realizará un análisis detallado de los hallazgos obtenidos en la investigación. Se evaluará la relevancia de los resultados en relación con el problema que se abordó en el estudio y se discutirán las implicaciones que estos hallazgos pueden tener en el campo de estudio.

Se examinarán posibles explicaciones para los patrones observados en los datos y se buscarán conexiones o relaciones con estudios previos realizados en el mismo ámbito. Se destacarán las similitudes y diferencias entre los resultados obtenidos y los resultados de investigaciones anteriores.

Además, se identificarán y se discutirán las limitaciones del estudio, es decir, las restricciones o condiciones que pueden haber afectado a los resultados o a la interpretación de los mismos. Se ofrecerán recomendaciones y sugerencias para futuras investigaciones que puedan abordar estas limitaciones y ampliar el conocimiento en el tema.

4.2.1. Método de procesado de datos

Después de analizar en conjunto los resultados obtenidos para todos los operadores y parámetros, se llega a las siguientes conclusiones:

- Los límites de repetibilidad mejoran significativamente para todos los operadores después de aplicar el método de detección y eliminación de valores desfavorables. Esto demuestra que el proceso de selección de muestras ha sido efectivo y ha contribuido a reducir la variabilidad en las mediciones.
- Se observa que, en general, los patrones de los valores límite de repetibilidad se mantienen consistentes antes y después del procesado de los datos. Esto indica que el método de eliminación de registros desfavorables no introduce distorsiones en la distribución de los valores límite entre las diferentes bandas de frecuencia.

Con base en estas conclusiones, se puede afirmar que el método descrito en la sección 3.2.2 es válido y adecuado para el propósito de este informe. Por lo tanto, se utilizará este método para el procesado de los parámetros LAF_{máx} y LA_{eq} en las mediciones tomadas.

Estas conclusiones respaldan la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos a través del proceso de selección y procesado de las muestras. Asimismo, proporcionan una base sólida para la interpretación de los datos y la elaboración de las conclusiones del estudio. Cabe destacar que estas conclusiones son específicas para el contexto y las condiciones de la investigación realizada, y se sugiere considerar las limitaciones y recomendaciones mencionadas con anterioridad al generalizar los resultados a otros estudios o situaciones.

4.2.2. Ensayo de repetibilidad

4.2.2.1. Generalidades

En el análisis de repetibilidad realizado, se observa que a nivel global de la población de operarios evaluados, no se encontraron diferencias significativas al considerar el parámetro LAeq o LAFmáx en términos del cumplimiento de los requisitos de repetibilidad. Aunque puede haber algunas diferencias mínimas debido a las particularidades de cada parámetro.

Es importante destacar que los rangos de cumplimiento establecidos son estrechos, lo que significa que incluso una ligera variación en la elección del parámetro puede llevar a que algunos operarios se encuentren en un rango de cumplimiento superior o inferior. Sin embargo, al evaluar los resultados, se observa que el cambio de parámetro no convierte un cumplimiento puro en un incumplimiento, ni viceversa. Esto indica que, en términos generales, el resultado de la evaluación de la Clapeta no se ve afectado por la elección del parámetro utilizado.

Se identifican diferencias específicas en los operarios 8 y 15, donde se observa variación en los rangos de cumplimiento. El operario 8 presenta cambios entre cumplimiento y cumplimiento medio, mientras que el operario 15 muestra cambios entre cumplimiento medio y no cumplimiento.

En resumen, aunque se pueden observar algunas diferencias en los resultados al considerar diferentes parámetros, se concluye que el parámetro utilizado para la evaluación de la Clapeta (ya sea LAeq o LAFmáx) no tiene un impacto significativo en los resultados globales de repetibilidad. Es importante tener en cuenta estas diferencias individuales al analizar los resultados para cada operario, pero a nivel general, el parámetro elegido no afecta de manera sustancial las conclusiones sobre la repetibilidad de la Clapeta para esta situación en la que el ensayo se encuentra modelizado e invariable para los distintos operarios.

Para que esta similitud tenga lugar, se tiene que dar el caso en el que la Clapeta sea la que genera el mayor impulso en todas las bandas de frecuencia, así como no tener sonidos ajenos que distorsionen los resultados. Por ello, se recomienda realizar las mediciones en ambientes tranquilos con ruidos de fondo bajos. Se recomienda, al igual que en los ensayos de tiempo de reverberación, una diferencia de, como mínimo, 30 dBA con respecto al ruido de fondo. Es necesario comentar que la existencia de componentes de baja frecuencia y componentes tonales en el ruido de fondo pueden ser muy influyentes en las mediciones realizadas pudiendo así generar diferencias notables entre los parámetros evaluados.

Además de esto, puesto que los ensayos se realizan en cámara semireverberante y se tienen buenos resultados, se puede asegurar que no es necesario realizar este ensayo en campo libre o cámara anecoica. Esto

permite realizar los ensayos en una cámara semireverberante, lo cual es más accesible y práctico que utilizar un entorno en campo libre o una cámara anecoica.

Se puede ver que los ensayos no se ven afectados por la diferencia de elección de parámetros acústicos ni por las características acústicas de la sala en la que se realice el ensayo. Siempre y cuando se asegure unas condiciones de ruido de fondo concretas de silencio y no existencia de componentes de baja frecuencia o tonales.

En cuanto al número de cumplimientos de los operarios evaluados, se observa un equilibrio entre los cumplimientos y los incumplimientos. Se destaca que los operarios con menos experiencia en el uso de la Clapeta pueden requerir un mayor entrenamiento para cumplir con los requisitos de repetibilidad. Sin embargo, los resultados indican que es posible que cualquier operario cumpla con los requerimientos de repetibilidad si se les proporciona el entrenamiento adecuado.

En resumen, se concluye que, mediante el cumplimiento de las recomendaciones de condiciones de ensayo y el entrenamiento adecuado de los operarios, se puede lograr una repetibilidad satisfactoria en la evaluación de la Clapeta. Esto demuestra la viabilidad de su uso como herramienta en ensayos acústicos y abre la posibilidad de su aplicación en diferentes contextos y con diferentes usuarios. Se sugiere realizar estudios adicionales para evaluar la repetibilidad en otros escenarios y con diferentes condiciones para ampliar el conocimiento sobre el desempeño de la Clapeta en distintas situaciones acústicas.

Basándonos en los resultados obtenidos y considerando una diferencia salvable de 5 dBA como una desviación aceptable con un entrenamiento mínimo, se concluye que el 72% de los operarios evaluados puede utilizar la Clapeta de manera efectiva sin necesidad de un entrenamiento exhaustivo. Esto indica que la Clapeta es un instrumento de fácil uso y ofrece niveles de repetibilidad superiores al nivel de confiabilidad del 68% para la mayoría de los usuarios.

Estos hallazgos son prometedores, ya que demuestran que la Clapeta puede ser utilizada de manera confiable por la mayoría de los usuarios, incluso aquellos sin experiencia previa en su uso. Esto facilita su implementación en diversos escenarios y aumenta su accesibilidad como herramienta en ensayos acústicos.

No obstante, es importante tener en cuenta que se ha realizado el estudio en condiciones específicas y con un número limitado de operarios. Por lo tanto, es recomendable realizar investigaciones adicionales con un tamaño de muestra más amplio y evaluar la repetibilidad en diferentes situaciones y con usuarios con distintos niveles de experiencia. Esto permitirá obtener una

visión más completa y generalizable de las capacidades de repetibilidad de la Clapeta.

En conclusión, los resultados obtenidos respaldan la viabilidad y facilidad de uso de la Clapeta como instrumento en ensayos acústicos, brindando altos niveles de repetibilidad para la mayoría de los usuarios. Sin embargo, se recomienda continuar investigando y explorando su desempeño en diversas condiciones para obtener una comprensión más completa de su potencial y limitaciones.

Efectivamente, los valores de repetibilidad de nuevos operarios que utilicen la Clapeta pueden ser evaluados en diferentes recintos y lugares, siempre y cuando se cumplan ciertos requisitos. Es importante asegurarse de que los valores de ruido de fondo se mantengan dentro de los márgenes establecidos para evitar que enmascaren la acción de la Clapeta. Además, es importante tener en cuenta la ausencia de componentes de baja frecuencia y tonales, ya que pueden afectar los resultados de las mediciones.

Es interesante destacar que no se observan diferencias significativas entre los valores de repetibilidad obtenidos utilizando el parámetro LAeq y LAFmáx. Esto indica que ambos parámetros pueden ser utilizados de manera indistinta para evaluar la repetibilidad de la Clapeta. Esto brinda flexibilidad al usuario al momento de seleccionar el parámetro que mejor se ajuste a sus necesidades o a las especificaciones de los ensayos.

No obstante, es importante realizar un análisis detallado de las características acústicas del entorno de medición, incluyendo el nivel de ruido de fondo y la presencia de componentes específicos, para garantizar mediciones precisas y confiables. Además, se recomienda seguir las pautas establecidas en normativas y estándares relevantes para garantizar la consistencia y comparabilidad de los resultados obtenidos en diferentes situaciones.

4.2.2.2. Particularidades

En este apartado se analizarán los resultados de repetibilidad obtenidos para cada uno de los operarios utilizando el parámetro LAFmáx. Cabe mencionar que los resultados del operario 1 se presentaron previamente como ejemplo del proceso de procesado de datos y no se incluirán en este análisis individualizado.

Se procede de la misma manera para cada uno de los operarios restantes, analizando los valores de repetibilidad antes y después del procesado de las muestras.

Este análisis individualizado permite identificar las características de repetibilidad de cada operario y determinar si cumplen con los criterios establecidos. Se observa que, en general, el procesado de los datos mejora

los valores de repetibilidad, lo que indica la efectividad del método utilizado. Sin embargo, algunos operarios aún presentan valores de repetibilidad que se encuentran fuera del rango de cumplimiento.

Es importante tener en cuenta que estos resultados son específicos para el parámetro LAF_{máx} y que los valores de repetibilidad podrían variar si se utilizara el parámetro LA_{eq}. No obstante, dado que se ha demostrado previamente la similitud entre ambos parámetros, se puede inferir que los resultados de repetibilidad serían consistentes independientemente del parámetro utilizado.

En los siguientes apartados se presentan los resultados de repetibilidad para cada operario, tanto antes como después del procesado de las muestras.

4.2.2.2.1. Operario 2

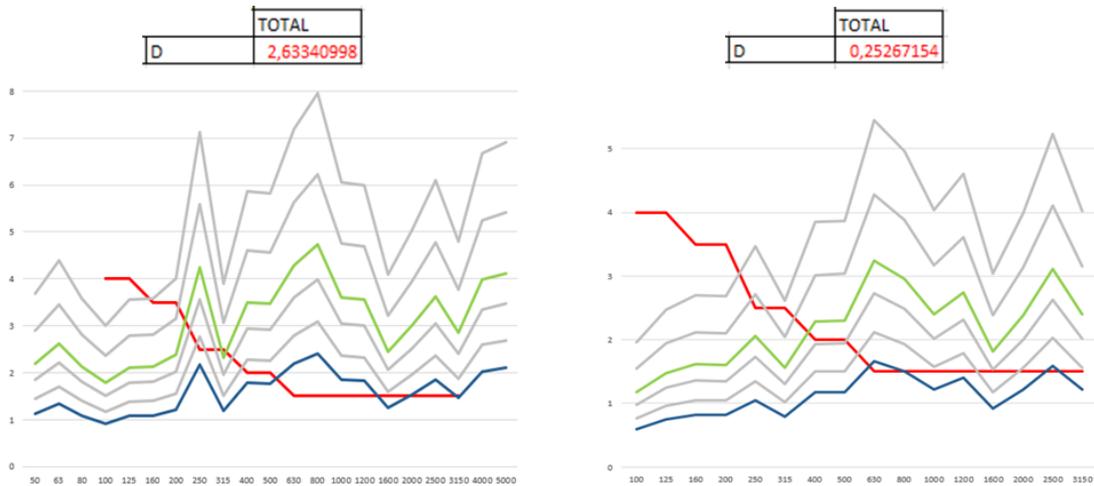


Ilustración 23 Resultados repetibilidad Operario 2

Para el operario 2, se aprecian 3 picos de inestabilidad. Uno a 250 Hz, un segundo más ancho entre los 630 y 1000 Hz y un tercero en zonas de altas frecuencias a 2500 Hz.

Después del procesado, el pico a bajas frecuencias queda mitigado por completo quedan presentes los picos en medias y altas frecuencias. Esto se puede atribuir a que la anomalía de las bajas frecuencias se encontraba en un número de muestras concretas, mientras que en las medias y altas se tiene una desviación constante a lo largo de todo el ensayo de repetibilidad.

4.2.2.2.2. Operario 3

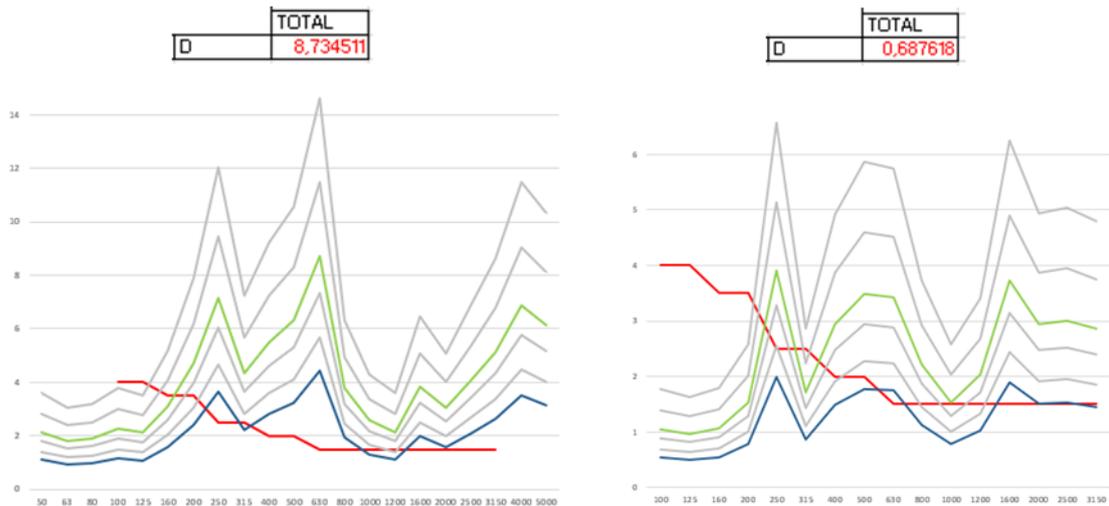


Ilustración 24 Resultados repetibilidad Operario 3

En el operario 3 se obtiene una geometría bastante similar a la que se obtiene con el operario 2. Sin embargo, se puede apreciar que los picos están ligeramente desplazados hacia frecuencias más bajas con respecto al operario 2. Se ha postulado la hipótesis de que este desplazamiento se deba a una diferencia en la velocidad de abertura de la Clapeta al momento de su uso, de forma que se vean atenuadas las altas frecuencias y por tanto se tenga una mayor percepción de las bajas frecuencias.

Esta hipótesis, queda postergada para investigaciones posteriores.

4.2.2.2.3. Operario 4

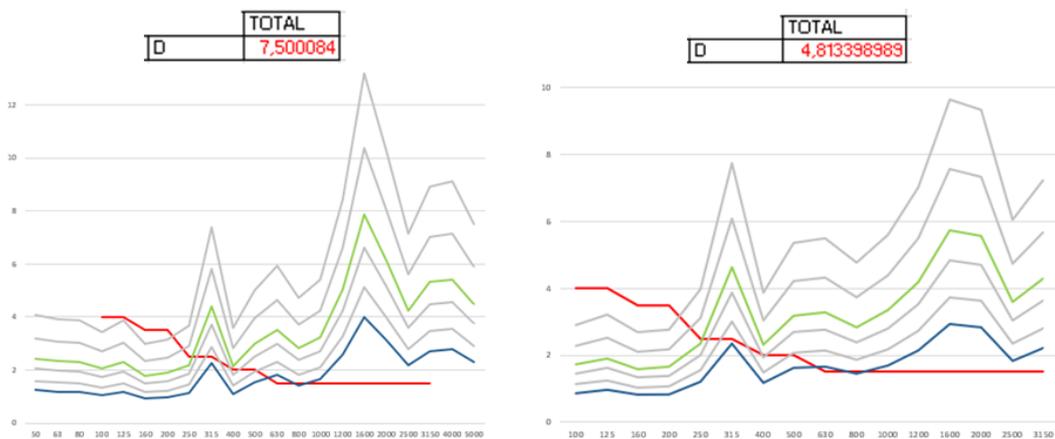


Ilustración 25 Resultados repetibilidad Operario 4

Lo ocurrido con el operario 3 tiene un opuesto en el operario 4. En este caso tenemos picos en bajas y altas frecuencias desplazados hacia frecuencias más elevadas.

Cabe destacar que para este operario concreto se tiene una atenuación en la desviación de las frecuencias medias.

4.2.2.2.4. Operario 5

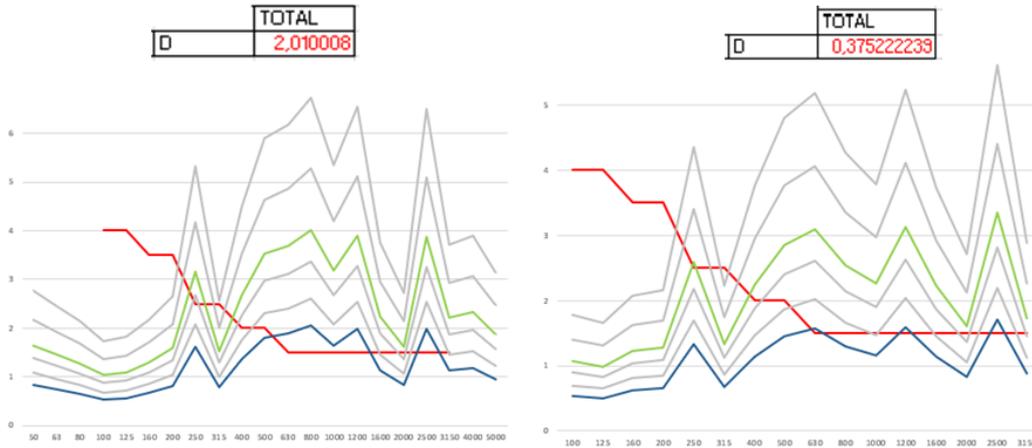


Ilustración 26 Resultados repetibilidad operario 5

Con el operario 5 se tiene la misma geometría de desviaciones que para el operario 2. No se aprecia ningún fenómeno nuevo.

4.2.2.2.5. Operario 6

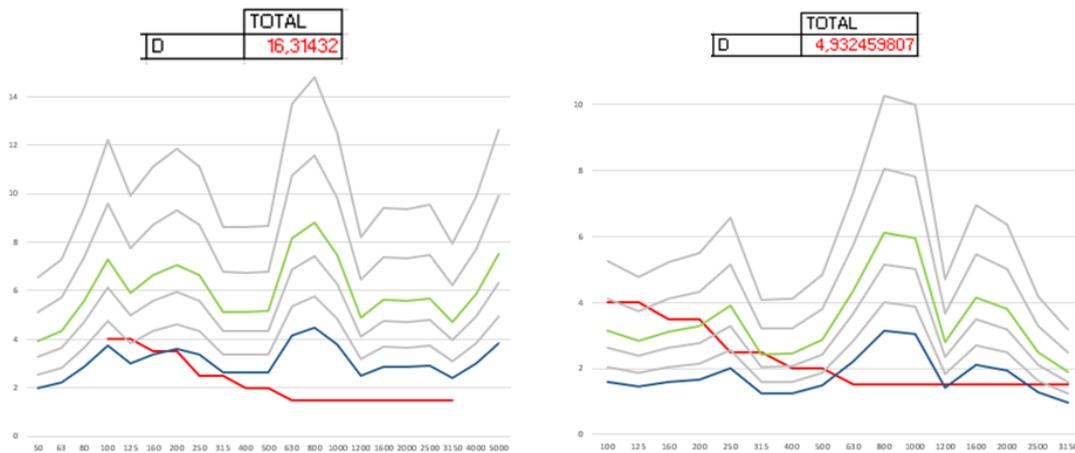


Ilustración 27 Resultados repetibilidad operario 6

Para el operario 6 se tiene la misma geometría que para el operario 2. Sin embargo, se aprecia que la desviación en bajas frecuencias es muy ancha, abarcando muchas bandas de frecuencia. Esta desviación se ve estrechada en el procesado, resultado en una geometría idéntica a la del operario 2.

4.2.2.2.6. Operario 7

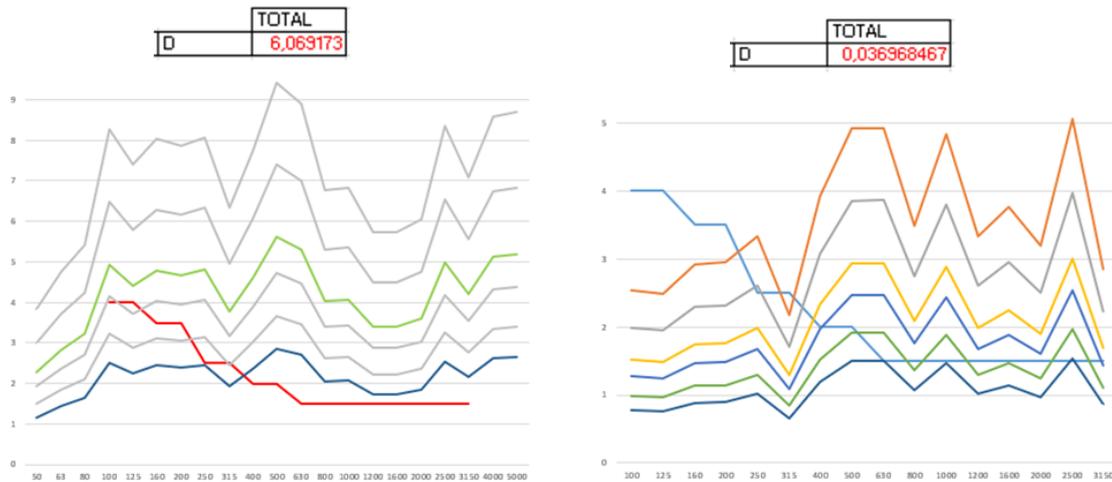


Ilustración 28 Resultados repetibilidad operario 7

Con el operario 7 se tiene una tipología similar a la del operario 6. Lo interesante de este operario en particular es la velocidad con la que se llega al cumplimiento de los valores establecidos por norma.

Los valores resultado (D) expuestos en la imagen [ilustración 30] muestran los resultados obtenidos en la segunda iteración del procesado de muestras. Es decir, este operario concreto está cerca de cumplir con los valores de repetibilidad por norma para un valor de confiabilidad del 90%. Con esto se probaría que, con un entrenamiento suficiente, se pueden obtener valores de repetibilidad superiores a muchos otros instrumentos utilizados en el mercado, acercándonos incluso a los valores de repetibilidad del dodecaedro.

4.2.2.2.7. Operario 8

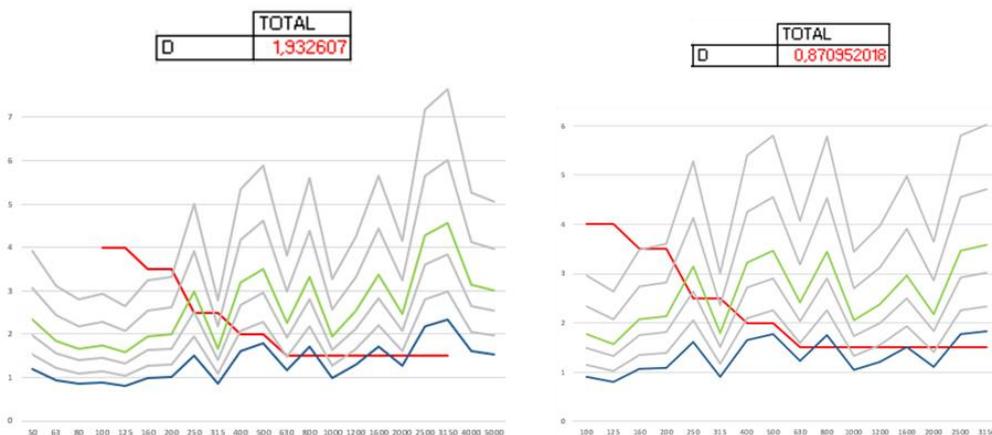


Ilustración 29 Resultados repetibilidad operario 8

En este operario se tiene una geometría similar a las anteriores, pero con más picos puntuales. Sin embargo, lo que resulta interesante en este operario es

la poca atenuación que se tiene después del procesado. Esto se debe a que todas las muestras se encuentran desplazadas del centro, al contrario que en casos anteriores donde se observaba muchas muestras similares y unas pocas que generaban las desviaciones.

4.2.2.2.8. Operario 9

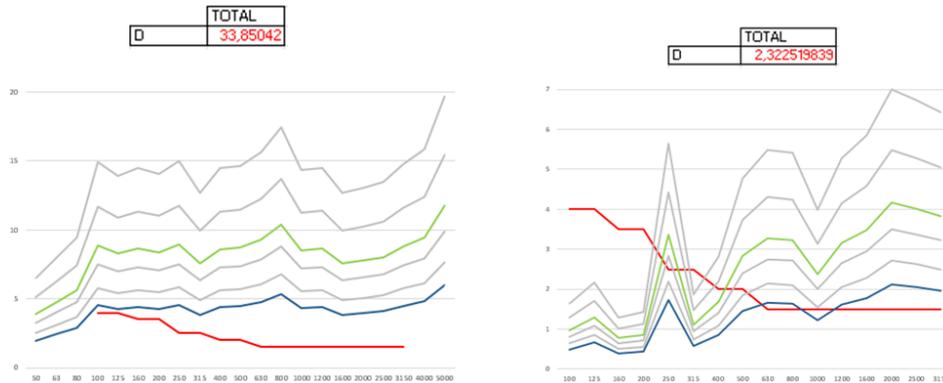


Ilustración 30 Resultados repetibilidad operario 9

El operario 9 en un primer momento parece que sea imposible que cumpla con la norma. Pero después del procesado, se ve que queda bastante cerca de cumplir. Se trata de otro ejemplo de muestras similares, donde unas pocas despuntan por completo y generan desviaciones.

4.2.2.2.9. Operario 10

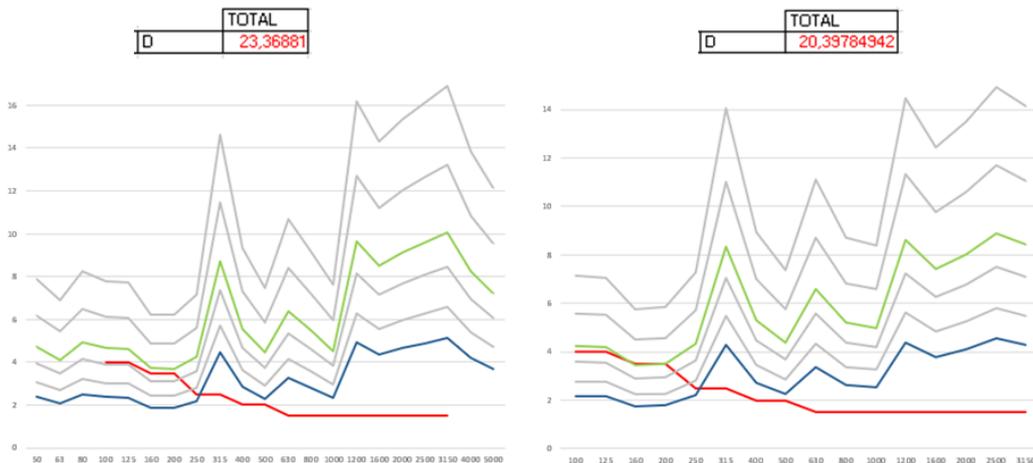


Ilustración 31 Resultados repetibilidad operario 10

En es te caso, se tiene la misma geometría que ya se ha visto en casos anteriores. También se tiene la poca atenuación del procesado que en el operario 8.

4.2.2.2.10. Operario 11

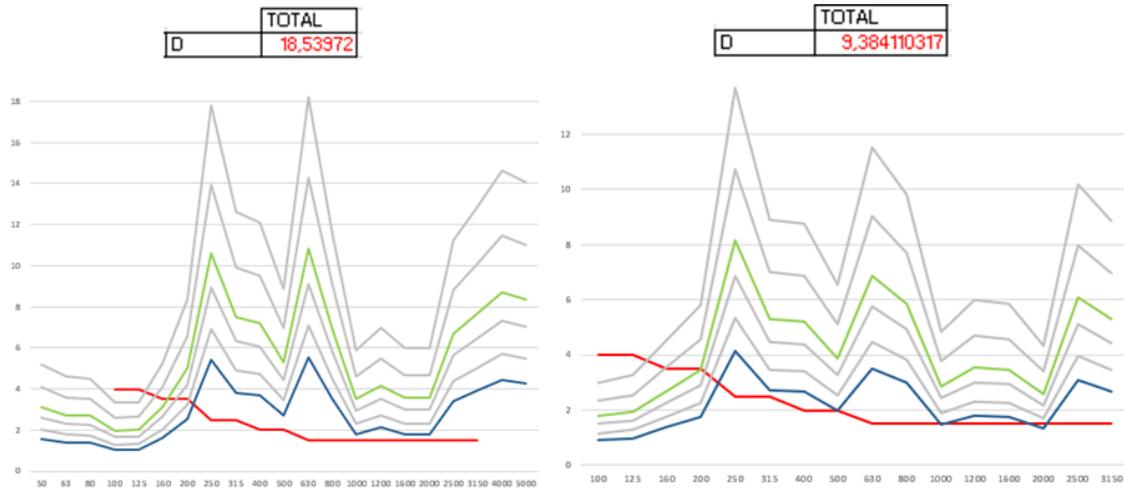


Ilustración 32 Resultados repetibilidad operario 11

Misma casuística que con el operario 10 pero con mayor acentuación de las bajas frecuencias en lugar de las altas.

4.2.2.2.11. Operario 12

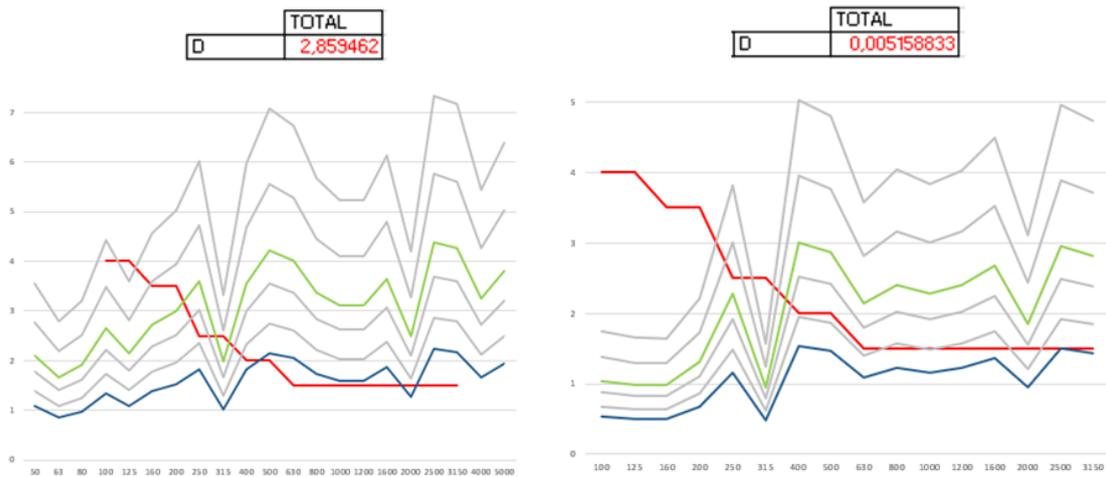


Ilustración 33 Resultados repetibilidad operario 12

Misma casuística que las ya observadas, pero con una desviación en medias frecuencias que abarca muchas bandas de frecuencia.

4.2.2.2.12. Operario 13

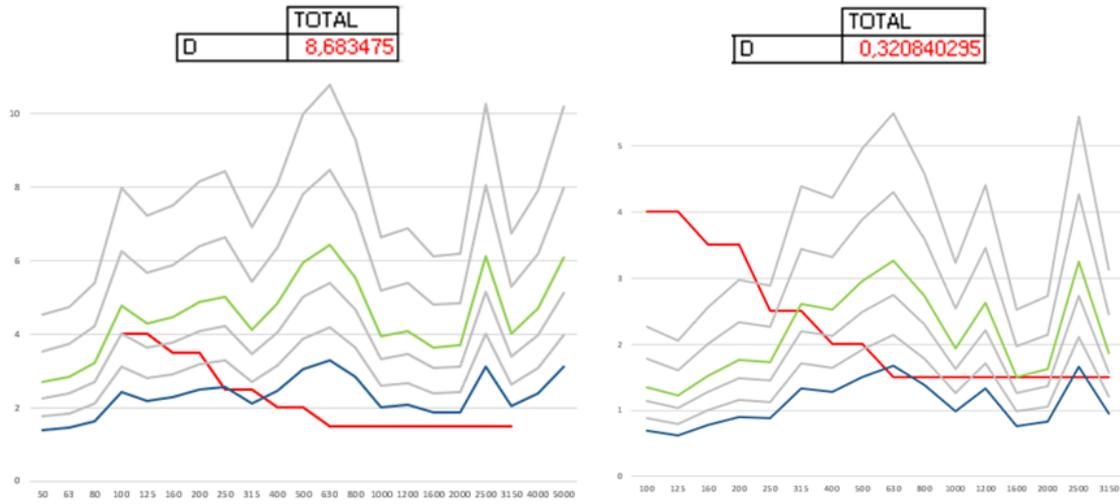


Ilustración 34 Resultados repetibilidad operario 13

Misma casuística que las ya observadas.

4.2.2.2.13. Operario 14

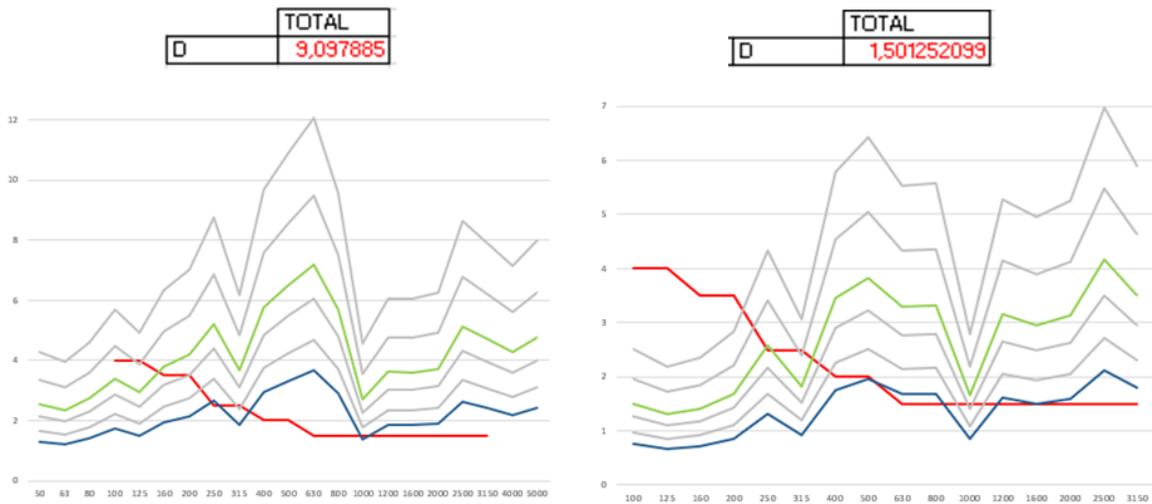


Ilustración 35 Resultados repetibilidad operario 14

Misma casuística que las ya observadas.

4.2.2.2.14. Operario 15

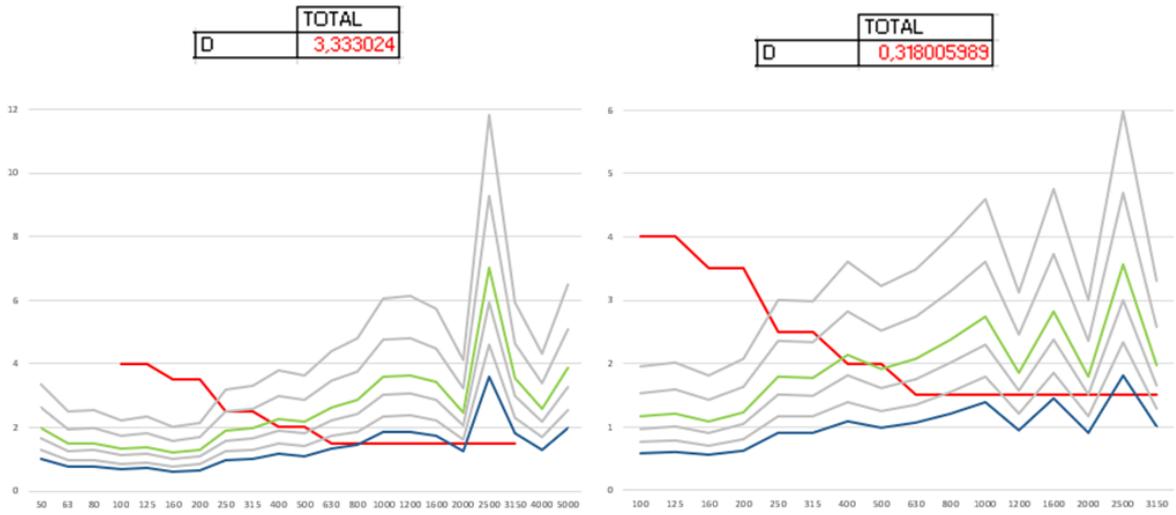


Ilustración 36 Resultados repetibilidad operario 15

Misma casuística que las ya observadas.

4.2.2.2.15. Operario 16

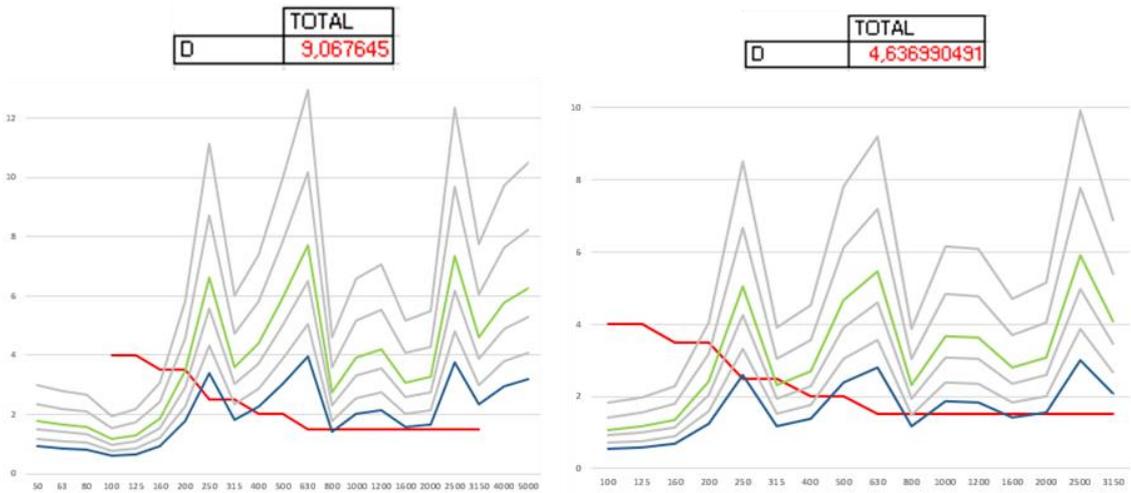


Ilustración 37 Resultados repetibilidad operario 16

Misma casuística que las ya observadas.

4.2.2.2.16. Operario 17

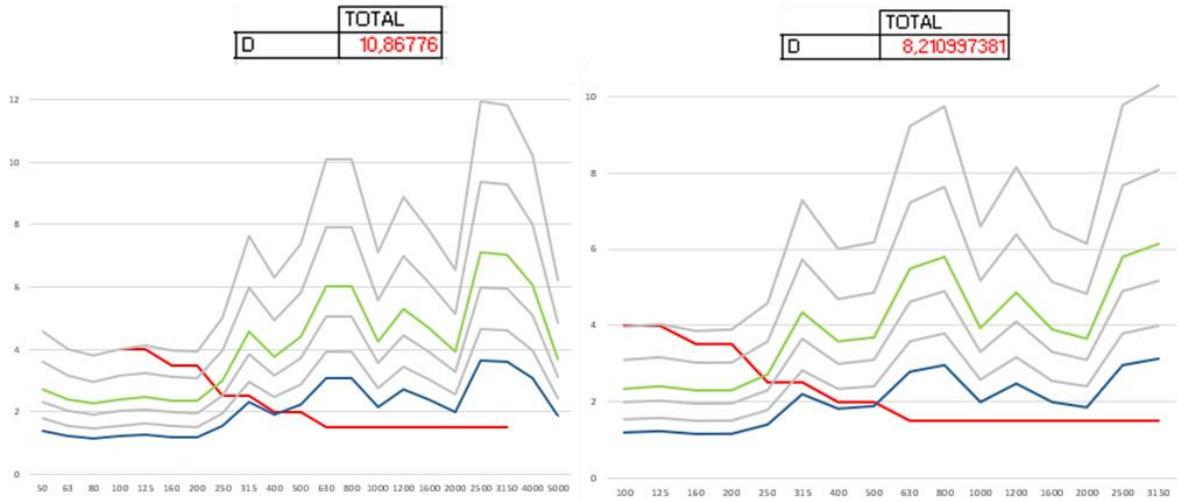


Ilustración 38 Resultados repetibilidad operario 17

Misma casuística que las ya observadas.

4.2.2.2.17. Operario 18

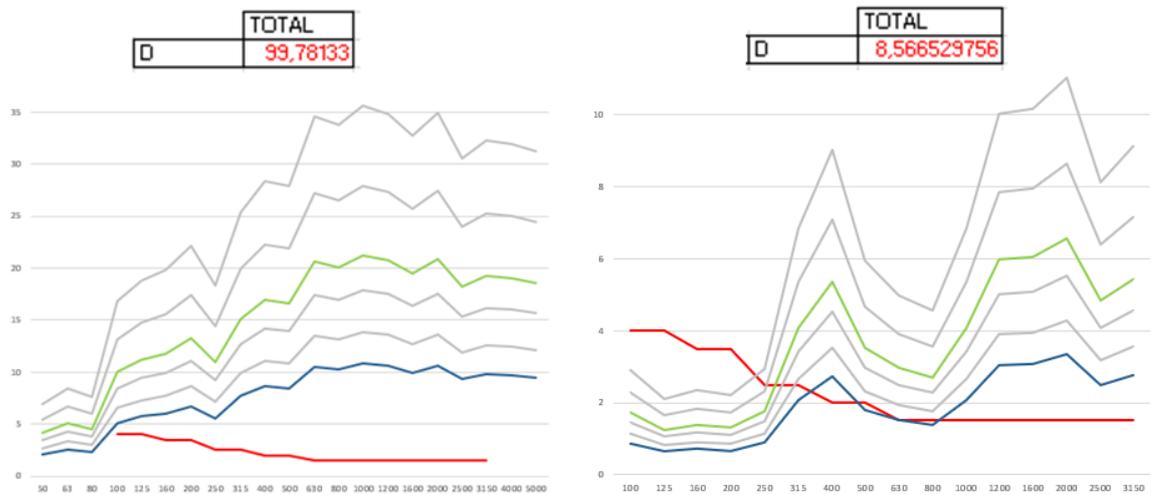


Ilustración 39 Resultados repetibilidad operario 18

Misma casuística que las ya observadas.

4.2.2.2.18. Conclusiones de los operadores

Habiendo visto los resultados de todos los operarios examinados, es interesante destacar que estas desviaciones se mantienen consistentes en la mayoría de los operarios, lo que sugiere que pueden ser atribuidas a características inherentes de la Clapeta en sí misma y no necesariamente al desempeño individual del operario.

Estas desviaciones podrían estar relacionadas con las propiedades acústicas de la Clapeta, como la geometría de la fuente sonora, la respuesta en frecuencia de sus componentes y su velocidad en apertura en el momento de la generación del impulso sonoro. Además, factores externos como las interacciones con el entorno y la propagación del sonido en el espacio de medición pueden contribuir a estas desviaciones.

Es importante destacar que, a pesar de estas desviaciones, el procesado de los datos y la eliminación de valores desfavorables permiten mejorar la repetibilidad en general. Sin embargo, es necesario tener en cuenta estas desviaciones inherentes al interpretar y comparar los resultados obtenidos con la Clapeta.

Estos hallazgos pueden ser útiles para futuras investigaciones y mejoras en el diseño y desarrollo de la Clapeta, así como en la optimización de los procedimientos de medición y entrenamiento de los operarios. Se podrían explorar estrategias para minimizar estas desviaciones y lograr una repetibilidad aún más alta en todas las frecuencias.

En resumen, se han identificado tres focos principales de desviación en las mediciones de repetibilidad de la Clapeta, que se encuentran en las bandas de 200-250 Hz, 800-1000 Hz y 1600-2000 Hz. Estas desviaciones pueden ser consideradas características inherentes de la Clapeta y deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados de las mediciones. El procesado de los datos y la eliminación de valores desfavorables permiten mejorar la repetibilidad en general, pero se requieren más investigaciones para comprender completamente estas desviaciones y explorar formas de minimizarlas.

4.2.3. Cámara acústica

La utilización de la cámara acústica en el estudio de la Clapeta tiene como objetivo principal corroborar y complementar los resultados obtenidos a partir de otras mediciones y análisis. A través de la visualización gráfica de la radiación acústica, se busca confirmar las conclusiones obtenidas previamente y obtener una representación más intuitiva de la distribución espacial del sonido generado por la Clapeta. Al comparar los resultados

obtenidos con investigaciones previas, es posible identificar patrones comunes y establecer consistencia en los hallazgos.

Es importante recordar que la cámara acústica no se utiliza como instrumento principal de medición en este proyecto, sino como una herramienta complementaria para corroborar y visualizar los resultados obtenidos a partir de otras técnicas de medición. Su uso se limita a la caracterización y verificación de la radiación de la Clapeta, basándose en investigaciones anteriores.

4.2.3.1. Omnidireccionalidad

El análisis de la omnidireccionalidad de la Clapeta es un aspecto relevante en el estudio de su comportamiento acústico. Los resultados obtenidos a partir de la cámara acústica bidimensional confirman la hipótesis de que la Clapeta puede considerarse omnidireccional en campo lejano, especialmente a distancias superiores a 2 metros en las condiciones de ensayo actuales.

En cuanto a los ejes transversal y horizontal, se observa una consistencia entre las mediciones realizadas con la cámara acústica y los resultados de investigaciones anteriores. Esto indica que la Clapeta mantiene su omnidireccionalidad en estos planos de radiación, lo cual es un resultado importante y coherente con los conocimientos previos.

Sin embargo, se detecta una anomalía acústica en el eje de contacto, especialmente en campo cercano (menos de 1 metro). Esta anomalía puede estar relacionada con las reflexiones generadas por el propio cuerpo del operario que utiliza la Clapeta. Es importante destacar que esta hipótesis requiere de investigaciones posteriores para ser demostrada y entender mejor su origen y efecto.

A pesar de esta anomalía, se destaca que en campo lejano (a distancias superiores a 1 metro en este caso específico) la Clapeta muestra una estabilización en su comportamiento acústico, lo que confirma su omnidireccionalidad en todos los planos de radiación. Estos resultados respaldan la viabilidad de la Clapeta para su uso en ensayos acústicos normalizados en edificaciones y reafirman los hallazgos previos en investigaciones anteriores.

4.2.3.2. Interior de vehículos

Los resultados obtenidos del uso de la Clapeta en el interior de vehículos son consistentes con investigaciones previas, confirmando que se genera un impulso acústico lo suficientemente intenso como para excitar todo el espacio

de la cabina del vehículo [2]. Este pico alcanza para el operario en cuestión que hace uso de la Clapeta en estas mediciones de 104 dBA

Es interesante destacar que la generación y propagación del impulso acústico en el interior del vehículo se muestra de forma simétrica, incluso considerando las diferencias geométricas en la zona del volante. Esto permite simplificar el modelo de simulación y diseño acústico del interior del vehículo, asumiendo una superficie lisa similar a la del copiloto. Esta simplificación reduce los costos de diseño y computacionales, facilitando el análisis y optimización del interior del vehículo en términos acústicos.

Además, se observa una atenuación del impulso acústico en la zona de los asientos traseros del vehículo en comparación con los asientos delanteros. Esta atenuación representa aproximadamente un 50% de energía acústica (3 dBA). Esta diferencia en la intensidad del impulso permite considerar dos subespacios independientes dentro de la cabina del vehículo para el diseño acústico. Esto brinda la posibilidad de analizar y buscar soluciones específicas para cada uno de estos subespacios, lo que puede resultar en un diseño acústico más eficiente y personalizado para cada zona del vehículo.

En resumen, los resultados obtenidos en el uso de la Clapeta en el interior de vehículos proporcionan información valiosa para el diseño acústico de los mismos. Estos resultados permiten simplificar el modelado y análisis acústico, así como considerar dos subespacios independientes dentro de la cabina para buscar soluciones específicas. Esto contribuye a la mejora de la calidad acústica del interior del vehículo y a la optimización de su diseño.

4.2.4. Futuras investigaciones

Como futuros objetivos de investigación en el campo de la Clapeta, ya que con el presente informe queda confirmada su viabilidad tanto en características puntuales (omnidireccionalidad, repetibilidad y nivel sonoro) como en ensayos in situ (aislamiento), se estudia la posibilidad de la mejora de esta.

Para ello, se plantea estudiar la anomalía acústica vista con la cámara acústica en el ensayo de omnidireccionalidad en el eje de contacto. Además de esto, se pretende estudiar la viabilidad de nuevos materiales y mecanismos que aseguren una emisión frecuencial más constante entre operarios. Aunque para este estudio concreto, se recomienda primero realizar un estudio de las velocidades de accionamiento de la Clapeta con cada uno de los operarios estudiados por medio de la instalación de acelerómetros en el sistema de la Clapeta. De esta forma, se puede intentar establecer una relación entre las velocidades de cierre y abertura de la Clapeta con la radiación acústica emitida por bandas de frecuencia.

5. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo de la Clapeta, se han abarcado varios temas de estudio, llegando a conclusiones muy favorables para la implementación de la Clapeta en ensayos acústicos normativos reales.

Se ha confirmado su capacidad para generar impulsos omnidireccionales y su idoneidad para excitar recintos en pruebas de repetibilidad. Los resultados obtenidos han mostrado niveles de repetibilidad superiores a los globos de H-O y se ha comprobado que nuevos operarios pueden ser evaluados con éxito utilizando este instrumento.

Se ha demostrado la versatilidad de la Clapeta al poder utilizar diferentes parámetros acústicos en la evaluación de repetibilidad y su aplicabilidad en distintos entornos, incluyendo recintos reverberantes. Además, se ha confirmado su eficacia en la excitación sonora del interior de vehículos por medio tanto de sonómetros como de cámaras acústicas de diversas tipologías en función del tipo de ensayo realizado.

Las conclusiones de esta investigación respaldan la utilización de la Clapeta en ensayos acústicos normativos. Su facilidad de uso, portabilidad y seguridad, junto con sus características acústicas favorables, la convierten en una herramienta valiosa para la medición y evaluación en el campo de la acústica.

En futuras investigaciones, se puede explorar la optimización de los parámetros estudiados, así como la mejora de la precisión y la calibración de la Clapeta. También se puede profundizar en el estudio de la interacción de la Clapeta con diferentes materiales y velocidades de propagación del sonido.

En resumen, la Clapeta se ha mostrado como una herramienta efectiva y prometedora en el ámbito de los estudios acústicos, y se espera que su uso y desarrollo continúen avanzando en futuras investigaciones.

6. REFERENCIAS

- [1] Arenas-González, J.L., Trabajo Final de Grado “La Clapeta como Nuevo Instrumental para Ensayos Acústicos”
- [2] Cervantes-Madrid, G., Peral-Orts, R., & Campillo-Davó, N. CLAPETA COMO FUENTE ACUSTICA PARA INTERIOR DE VEHICULOS.
- [3] Cervantes-Madrid, G., Peral-Orts, R., Campillo-Davó, N., & Campello-Vicente, H. Acoustics in Practice®.
- [4] Eyring, C. F. (1930). Reverberation time in “dead” rooms. The Journal of the Acoustical Society of America, 1(2A), 217-241.
- [5] CODIGO TÉCNICO EDIFICACIÓN. CTE
- [6] ISO 12999-1
- [7] ISO 16283-1
- [8] ISO 717-1
- [9] Vernon, J. A., Gee, K. L., & Macedone, J. H. (2012). Acoustical characterization of exploding hydrogen-oxygen balloons. The Journal of the Acoustical Society of America, 131(3), EL243-EL249.
- [10] Pätynen, J., Katz, B. F., & Lokki, T. (2011). Investigations on the balloon as an impulse source. The Journal of the Acoustical Society of America, 129(1), EL27-EL33.
- [11] ISO 140-2
- [12] Real Decreto 176/2009
- [13] ISO 3382-2