

Diseño y Construcción de una cámara de ensayo de aislación acústica de materiales de construcción

Alessandra Eichelberger P. da Silva

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

e-mail: alessichel@gmail.com

Resumen

Durante el desarrollo del Proyecto de Investigación “Diseño y Construcción de una cámara de ensayo de aislación acústica de materiales de construcción”, se realizaron distintas actividades de revisión bibliográfica, lectura, estudio de normas implicadas, diseño y conceptualización de un modelo de cámara de transmisión acústica a escala. Entre los temas abordados se encuentran la elección de factor de escala, tipos de diseño y equipamiento utilizado, materiales utilizados en el prototipo, ensayos y metodologías, instrumentos de medición, normas utilizadas, artículos relevantes y otras informaciones de interés. Se definieron los métodos necesarios para definir la factibilidad de una cámara de tamaño reducido, como el análisis a través del método de elementos finitos (F.E.M), y Análisis Estadístico de la Energía (SEA). Todas las búsquedas se efectuaron utilizando bases de datos científicas, como Google Académico y otras plataformas, estas informaciones sirvieron de guía para la toma de decisiones y el avance del presente proyecto. El estudio de las normas que intervienen al momento de construir una cámara acústica es de vital importancia, ya que aseguran los lineamientos a seguir para desarrollar y cumplir correctamente con los objetivos del proyecto en cuestión. Después de realizada la revisión bibliográfica inicial, se determinó que las principales normas a evaluar eran las de la familia UNE-EN ISO 10140 (Acústica). Luego de la obtención y lectura de dichas normas se conocieron las indicaciones necesarias para la construcción de la cámara, factores que intervienen en la misma y técnicas de medición, así como los parámetros que influyen en la validación de este tipo de dispositivo. Al finalizar la etapa de revisión de bibliografía y normas, se definieron las dimensiones y características de la cámara de transmisión acústica a escala, que consta de dos recintos independientes, que se unen a través del material a ensayar. Se realiza el diseño del prototipo utilizando la herramienta de diseño SolidWorks ®.

Palabras Clave – Acústica, cámara, escala, validación.

*Autor en correspondencia.

ABSTRACT

During the development of the Research Project "Design and Construction of a test chamber for acoustic insulation of construction materials", various activities were carried out to review the literature, read, study the standards involved, design and conceptualize a transmission chamber model scale acoustics. Among the topics addressed are the choice of scale factor, types of design and equipment used, materials used in the prototype, tests and methodologies, measurement instruments, standards used, relevant articles and other information of interest. The necessary methods were defined to define the feasibility of a reduced-size chamber, such as analysis through the finite element method (F.E.M), and Statistical Analysis of Energy (SEA). All searches were made using scientific databases, such as Google Scholar and other platforms, this information served as a guide for decision-making and the progress of this project. The study of the norms that intervene when building an acoustic chamber is of vital importance, since they ensure the guidelines to be followed to correctly develop and comply with the objectives of the project in question. After the initial bibliographic review was carried out, it was determined that the main standards to be evaluated were those of the UNE-EN ISO 10140 (Acoustics) family. After obtaining and reading these standards, the necessary indications for the construction of the camera, factors involved in it and measurement techniques, as well as the parameters that influence the validation of this type of device were known. At the end of the bibliography and standards review stage, the dimensions and characteristics of the scale acoustic transmission chamber were defined, consisting of two independent rooms, which are joined through the material to be tested. Prototype design is performed using the SolidWorks ® design tool.

1. Introducción

El incremento de los niveles de ruido en las ciudades es un tema que viene tomando creciente importancia debido a sus consecuencias en la salud de las personas. En la ciudad de Oberá existe un alto número de industrias de todo tipo, localizadas dentro de zonas urbanas, y que ocasionan altos niveles de ruido, pudiendo causar molestias a los ciudadanos que residen en sus cercanías. Es por esto que se propone el diseño y construcción de una cámara de ensayo para determinar las propiedades de aislación acústica de los materiales de construcción que se utilizan en la región, así como cualquier otro material que se desee.

La utilización de una cámara para prueba de aislación acústica de materiales de tamaño reducido brinda la posibilidad de realizar estos ensayos de una manera rápida y económica, por eso se considera que es de extrema importancia que se realice correctamente, siguiendo los parámetros establecidos en las reglamentaciones correspondientes, a modo de mantener sus propiedades intactas.

2. Desarrollo

2.1 Métodos y materiales

La cámara que se desea construir será utilizada para la medición de aislamiento acústico al ruido aéreo, y será construida en un tamaño reducido. La reducción de sus dimensiones permite abaratar costos de construcción y mantenimiento de la cámara, a su vez conlleva a un menor costo de materiales para ensayar, evita la necesidad de grandes espacios, optimiza los tiempos de ensayo y facilita el transporte de la muestra a analizar. Esta cámara consiste en dos recintos, uno emisor y otro receptor, que se unen mediante un portamuestra que permite ubicar el material a ensayar, siendo establecido por norma que el recinto emisor es el de mayor tamaño.

Tomando como base las validaciones mediante los métodos SEA y FEM, expuestos y validados por Torres J.V. et al., (2011) [1] y Bertó L. et al (2015) [2] se determina que la escala más adecuada para la construcción de la cámara de transmisión acústica es la escala 1:5, respecto al tamaño normalizado. La escala seleccionada corresponde a un cumplimiento de relación entre el tamaño final de la cámara y el margen de frecuencias que esta permite evaluar.

Es importante resaltar que el escalado de la cámara supone algunas limitaciones y adaptaciones en cuanto a sus dimensiones y a los resultados que permite obtener, en la tabla a continuación se resumen los factores más importantes que requieren modificaciones:

Factor	Requerimientos para modelo a escala
Volumen	Adaptación
Difusión	Adaptación y Limitación
Tiempo de reverberación	Adaptación y Limitación
Transmisión por flancos	Adaptación y Limitación
Tamaño de muestra de material	Adaptación
Posiciones de fuente y micrófono	Adaptación
Rango de frecuencias utilizadas	Limitación

Tabla 1-Limitaciones y adaptaciones requeridas. Fuente:

Siguiendo las recomendaciones de las normas UNE-EN ISO 10140 junto al escalado correspondiente, se obtienen los valores de dimensiones equivalentes.

Dimensiones consideradas	Original [1:1]	Prototipo [1:5]
Volumen cámara emisora	60 m ³	0,48 m ³
Volumen cámara receptora	50 m ³	0,40 m ³
Superficie pared y área de muestra	10 m ²	0,40 m ²
Longitud mínima de borde más corto	2,3 m	0,46 m

Tabla 2-Equivalencias de dimensiones en escala. Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que la geometría de la cámara toma la forma de un paralelepípedo irregular, es decir las paredes no son totalmente paralelas, ya que de esta forma se disminuyen las ondas estacionarias que se forman dentro de la cámara.

Otro elemento importante que se debe rediseñar son los marcos de adaptación para muestras, en otras palabras, el porta-muestras. Este será realizado en un marco de madera recubierto con material viscoelástico, permitiendo ubicar una muestra de material de hasta 10 cm de espesor.

Ambos recintos y el marco porta-muestras se unirán mediante encaje. El marco también contará con ruedas y un soporte para ser fácilmente transportado, así como permitir el fácil acceso tanto a recinto emisor como receptor.

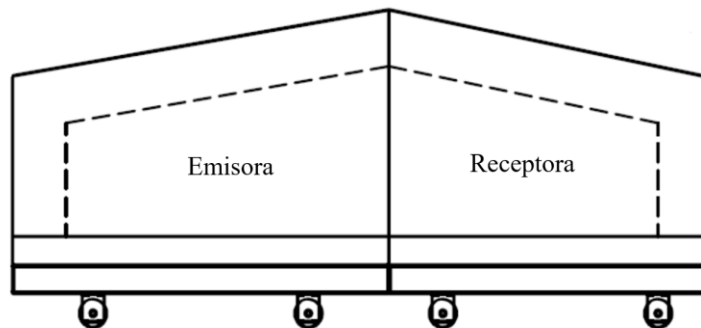


Ilustración 1-Representación de prototipo de cámara acústica. Fuente: elaboración propia.

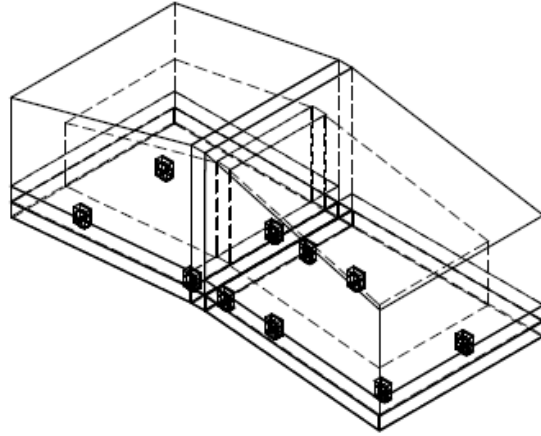


Ilustración 2-Prototipo de cámara y porta-muestras en perspectiva. Fuente: elaboración propia.

Los planos detallados de los recintos y el porta-muestra se adjuntan como anexos.

Especificaciones de materiales y costos estimados

Material	Componente de la cámara	Costo total
MDF de 15 mm de espesor	Base estructural de los recintos	\$2.800
Placa de aluminio compuesto (alucobond)	Recubrimiento interior de ambos recintos	\$3.200
Placa de yeso de 15 mm	Paredes exteriores sistema constructivo	\$1.750
Placa de yeso 12,5 mm	Paredes interiores sistema constructivo	\$1.114
Lana de poliéster (material absorbente)	Colocada entre placas de yeso junto a lámina viscoelástica	\$1.250
Lámina viscoelástica de 10 mm de espesor	Colocado entre placas de yeso para evitar resonancia	\$3.200
Rueditas	Superficie inferior cámara	\$700
Mano de obra	-	-
TOTAL		\$14.014

Tabla 3-Lista de materiales. Fuente: elaboración propia.

Elementos de medición necesarios: instrumentación empleada

Así como las dimensiones de la cámara, existen también recomendaciones de dispositivos y distancias mínimas que se deben cumplir entre los elementos de medición y los recintos, a modo de mantener los parámetros establecidos en las normas UNE-EN ISO 10140.

ELEMENTOS QUE REQUIEREN DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEPARACIÓN	Distancia de acuerdo con Norma UNE EN ISO 10140-4:2011	Distancias escaladas en prototipo
Entre posiciones de micrófono fijas	0,7 m	0,14 m
Entre cualquier posición de micrófono y límites del recinto	0,7 m	0,14 m
Entre cualquier posición de micrófono y cualquier difusor	0,7 m	0,14 m
Entre cualquier posición de micrófono y elemento a ensayar	1,0 m	0,2 m
Entre cualquier posición de micrófono y fuente sonora	1,0 m	0,2 m

Tabla 4-Equivalencias de distancias entre elementos. Fuente: elaboración propia.

Para realizar las evaluaciones acústicas de la muestra que se monta entre los dos recintos de la cámara, son esenciales los elementos que se describen a continuación:

- 1-Sonómetros.
- 2-Micrófonos.
- 3-Cámara IP (opcional, no influye en las mediciones).
- 4-Altavoces, pudiendo utilizar o no filtrado de señal de la fuente.
- 5-Cables para conexión a red.
- 6-Computadora para control de cámara IP, en caso de que se utilice.

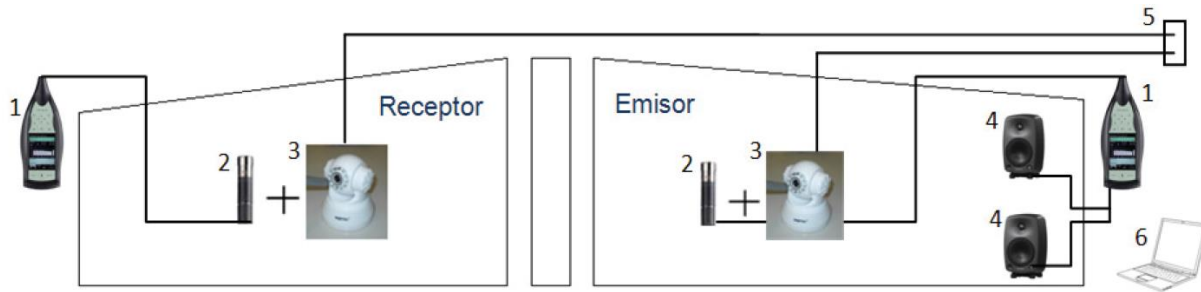


Figura 1-Elementos para ensayo. Fuente: Bertó L. et al (2015). Nuevos materiales, modelos y técnicas de caracterización en acústica de la edificación y acústica medioambiental

La utilización de una cámara IP es una propuesta realizada en la Tesis Doctoral de Bertó Laura, donde se tiene la alternativa de utilizar una cámara IP con motor rotatorio con el objetivo de rotar el micrófono a las distintas posiciones de medición necesarias. Al girar la cámara, el micrófono que se encuentra acoplado a la misma mediante un tubo de PVC, gira en el mismo sentido. Esta solución se traduce en un ahorro de tiempo ya que evita tener que abrir los recintos y modificar las posiciones de micrófono manualmente a cada medición que se realice.

El equipo utilizado debe cumplir con los requisitos mencionados en la norma UNE-EN ISO 10140-5: 2011, la cual especifica que el sistema de instrumentación, micrófonos y cables debe cumplir con las exigencias de un instrumento de clase 1, de acuerdo con la Norma IEC 61672-1. Además intervienen otras normas como la IEC 60942:2003 e IEC 61672-2, que detallan la conformidad necesaria de los dispositivos de calibración acústica, y los procedimientos de ensayo para evaluación de estos instrumentos.

Evaluación acústica previa

Se siguen los lineamientos establecidos en el trabajo de Bertó (2015), donde se realiza una validación acústica de la cámara a escala. Constantemente se hace referencia hacia otras normas a las cuales no se tuvo acceso, por lo cual se dificulta la información precisa de la metodología a seguir. Dicho esto, se mencionan de forma sintetizada los principales factores que se midieron y analizaron por los autores, los cuales aseguran la validez de la cámara, antes de proceder con los ensayos de los materiales propiamente dichos.

- Difusividad del campo sonoro, mediante colocación de 4 paneles difusores en el recinto emisor y 5 paneles en el recinto receptor, los cuales están especificados en la Norma UNE EN ISO 354:2004. La medición consiste en registrar el nivel de presión sonora en ambos recintos, valorando los valores en el caso de no contar con difusores, y comparando resultados obtenidos utilizando los difusores.

- Transmisiones laterales, es decir la transmisión de potencia vibratoria por medio del acople de elementos estructurales, lo cual interfiere en la absorción acústica de la cámara. Estas transmisiones deben ser mínimas, y se debe comprobar su influencia realizando mediciones del índice de reducción vibracional, siguiendo procedimientos establecidos en Norma UNE EN 12354-1:2000.
- Determinación de frecuencia de corte del recinto, la cual define el límite de la zona de bajas frecuencias de la cámara, siendo que los resultados de mediciones obtenidos debajo de esta frecuencia quedan influenciados por la región de modos propios del recinto, lo cual se traduce en una pérdida de la calidad del sonido que se transmite, ya que se comprometen las mediciones de ciertas regiones del recinto.
- Tiempo de reverberación estructural, es el tiempo requerido para que el nivel de presión sonora en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la fuente sonora ha cesado. Se ve influenciado por la temperatura ambiente, la presión estática y la humedad. Se determina con mediciones puntuales, generando vibraciones con un martillo dentro del recinto, la metodología se detalla en la Norma UNE EN ISO 10848-1:2007. Es importante comprobar si el índice de reducción acústica depende del tiempo de reverberación.

Procedimientos generales de medición

- En el recinto emisor se genera un campo acústico difuso mediante un altavoz móvil o distintos altavoces situados en varias posiciones, o un altavoz en continuo movimiento.
- Las mediciones se realizan en ambos recintos, emisor y receptor, siendo que se relacionan ambas mediciones para determinar el nivel de aislamiento acústico del material ensayado.
- Se realiza el promedio del nivel de presión sonora, utilizando un único micrófono movido de posición en posición, o bien un micrófono en continuo movimiento.
- Se realizan cálculos de índices de reducción acústica, para esto además interviene información guía que se encuentra en la Norma ISO 717-1.
- Se realizan tablas y gráficos expresando los resultados obtenidos.

Las mediciones de aislamiento acústico descritas por Bertó (2015), se respaldan en un software de simulación y predicción de aislamiento acústico, denominado AISLA 3.01, corroborando que se mantiene el comportamiento deseado en cámaras de tamaño reducido.

Es importante aclarar que además de las Normas ISO 10140, muchas indicaciones de mediciones se encuentran en otras normas como la UNE EN ISO 3382-2:2008, a las cuales no se pudo tener acceso de manera completa, por lo cual se desconocen los procedimientos de medición de parámetros como por ejemplo, tiempo de reverberación en el recinto.

Rango de frecuencias

Los procedimientos de ensayo se detallan en la norma UNE-EN ISO 10140-5:2011 y consisten evaluar un rango de frecuencias de 100 Hz a 5000 Hz. No obstante, como se mencionad, alguna frecuencias presentan limitaciones en el comportamiento de la cámara de tamaño reducido.

Procedimientos para determinar niveles de presión acústica medios, corregidos para el ruido de fondo y el tiempo de reverberación se especifican en la norma ISO 10140-4

Métodos utilizados

Como se mencionó anteriormente, los métodos que se utilizan en el presente trabajo se basan en una serie de comprobaciones y validaciones realizadas en 2 trabajos que están relacionados entre sí, siendo el diseño y construcción de la cámara propuestos en Torres J.V. et al., (2011) y Alba, J. et al., (2012). Asimismo, la evaluación de la cámara se desarrolla en la Tesis Doctoral de Bertó L. et al (2015) .

Dichos métodos son necesarios para corroborar la validez del escalado de la cámara acústica, en otras palabras, asegurar que el tamaño del prototipo que se desea construir esté en acuerdo a las recomendaciones dadas en las normas, y que cumpla con los objetivos de permitir medir la absorción acústica de los materiales que se ensayen en la misma, sin causar modificaciones significantes en los resultados.

Al tener definidas las dimensiones y geometría de la cámara, en base a recomendaciones establecidas en las normas UNE-EN ISO 10140, se deben realizar una serie de pruebas para comprobar si existe alguna influencia significativa de las ondas estacionarias o modos de resonancia. Dichas ondas causan vibraciones máximas y mínimas, variando para distintos puntos dentro de un recinto. El efecto de estas ondas es que en ciertos puntos de un recinto no llega ningún sonido, y en otros la amplitud se dobla, causando altos niveles de sonido, lo que conlleva a una pérdida de la calidad de este, pudiendo afectar a las mediciones que se deseen realizar con los materiales de prueba. La teoría de modos propios, que explica este fenómeno, se presenta posteriormente en el presente informe.

La primera prueba que se debe realizar consiste en una verificación de la validez de la geometría mediante el método de elementos finitos (F.E.M.). Lo que se logra a través de esto es comprobar que la densidad modal en la sala sea homogénea en todo el rango de frecuencias que se van a experimentar.

La segunda prueba radica en utilizar el método SEA de Análisis Estadístico de la Energía (*Statistical Energy Analysis*), para predecir la resonancia de sonido y vibración en la transmisión de los sistemas dinámicos formados por recintos acústicos acoplados y sistemas estructurales, con varias fuentes y trayectorias de ruido. Allí el comportamiento acústico del sistema se define en términos de energía o potencia. Este método

permite de manera analítica caracterizar el diseño propuesto y verificar el no acoplamiento entre las cámaras, es decir, que no existan conexiones estructurales que interfieran en los resultados de los ensayos. Los recintos son divididos en subsistemas, con el fin de representar la energía modal, y se relacionan factores como la densidad del material, el módulo de Young, la velocidad de propagación del sonido, módulo de elasticidad y tipo de onda que se desea analizar.

3. Resultados y discusión

Debido a complicaciones en la obtención de información sobre cámaras de este tipo, así como percances económicos, sumados a la crisis pública desencadenada por la pandemia de COVID-19 durante el transcurso de las actividades en el 2020, se dificultó la conclusión del proyecto de investigación en cuestión, Al no poder concretar la construcción de la cámara de transmisión acústica de tamaño reducido, para utilización en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de Oberá, no se pudieron realizar ensayos de materiales, como propuesto en los objetivos iniciales.

Siendo así, se optó por presentar de manera sintetizada los datos más relevantes de las validaciones realizadas por Torres (2011), a través de los métodos SEA y FEM, detallados en la sección anterior. Los análisis provenientes de dicha investigación son suficientes para demostrar la validez de la cámara acústica a escala.

Para entender la elección de escala, se parten de las dimensiones recomendadas por las normas, se realizan extrapolaciones para obtener las dimensiones correspondientes en el rango de escalas que se desea analizar. Además, se sabe mediante estudios previos que determinadas relaciones de escalas pueden resultar en prototipos de tamaños muy pequeños, en los cuales solo se podrían analizar frecuencias muy altas, así como existe determinada limitación al momento de realizar modelos en escala no tan reducida, debido al espacio que requerirían.

Los principales datos provenientes de normas que se deben considerar son: diferencia de al menos 10% entre los volúmenes de ambas cámaras, siendo el recinto emisor el de mayor volumen. Realizando las conversiones entre una escala 1:2 a 1:6, se obtienen los siguientes datos:

Dimensiones consideradas	Original [1:1]	[1:2]	[1:3]	[1:4]	[1:5]	[1:6]
Volumen cámara emisora	60 m ³	7,50 m ³	2,22 m ³	0,94 m ³	0,48 m ³	0,28 m ³
Volumen cámara receptora	50 m ³	6,25 m ³	1,85 m ³	0,78 m ³	0,40 m ³	0,23 m ³
Superficie pared y área de muestra	10 m ²	2,50 m ²	1,11 m ²	0,63 m ²	0,40 m ²	0,28 m ²
Longitud mínima de borde más corto	2,3 m	1,15 m	0,77 m	0,58 m	0,46 m	0,38 m

Tabla 5-Equivalencias de dimensiones en escala. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla, algunas relaciones de escala no resultan cómodas en lo que se refiere al tamaño necesario de la cámara, como es el caso de las escalas 1:2, 1:3 y 1:4. Debido a esto, se pueden considerar como viables las alternativas de escala 1:5 y 1:6, sin embargo se realiza la validación solamente de la primera opción, descartando a la escala 1:6 por representar medidas muy pequeñas que pueden afectar el tiempo de reverberación.

Teniendo definido este factor, se procede a validar la geometría y dimensiones propuestas de la cámara, y posteriormente definir los materiales necesarios para garantizar que esta cumpla el objetivo para el cual se diseña.

Verificación de geometría

Se realizó la evaluación de la eficacia de la geometría propuesta, a través del método de elementos finitos, F.E.M., utilizando la herramienta de modelado COMSOL®. Se lleva a cabo el análisis modal representando el esquema de la geometría de cada recinto en 3D en dicho software.

El análisis modal consiste en determinar los niveles de presión sonora, en decibeles, en este caso en 3 posiciones distintas dentro de cada recinto.

Al concluir el análisis se observa que a la frecuencia de 170 Hz se tiene una diferencia de presión sonora de 40 dB entre la parte central y los dos extremos de cada recinto, por lo que se debe ser cauteloso con las posiciones en las cuales se ubican los receptores de sonido al momento de realizar las mediciones a dicha frecuencia.

A modo de visualización del comportamiento examinado, se adjunta gráfico con las mediciones efectuadas en el recinto emisor, por Torres (2011):

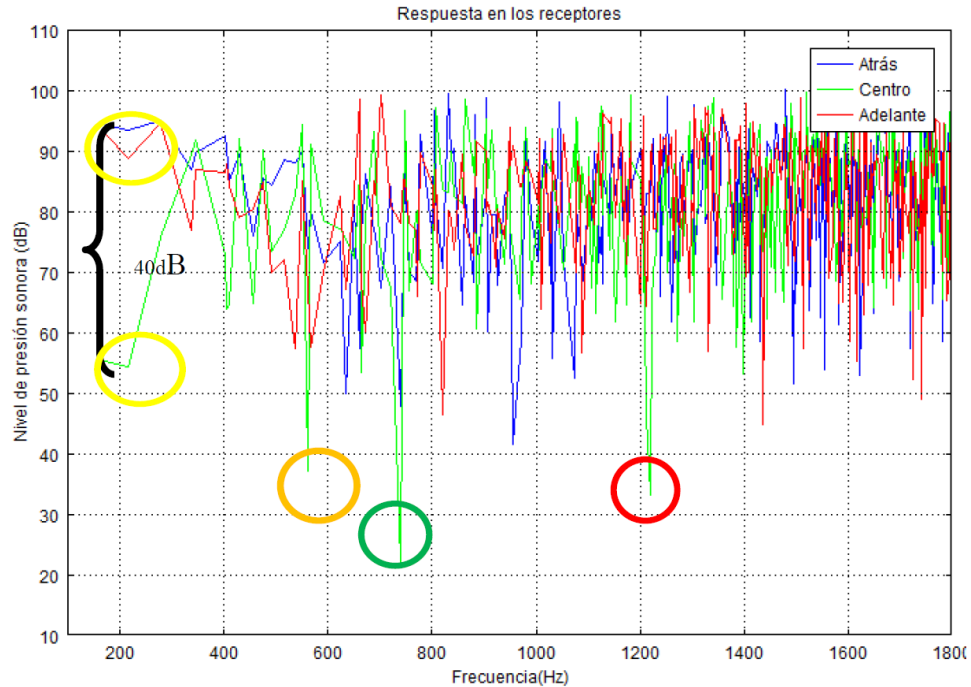


Figura 2-Variación de presión sonora en tres posiciones distintas del recinto emisor. Fuente: Torres J. et al (2011). Diseño y construcción de una cámara de transmisión acústica a escala.

A su vez se comprobó que al aumentar la frecuencia, la densidad modal aumenta, haciendo que las pérdidas de presión sonora sean cada vez menores, por lo que se verifica que la geometría propuesta para la cámara es válida.

Evaluación de aislamiento acústico

Por medio del Análisis Estadístico de Energía SEA, se evalúa la transmisión de energía sonora entre ambos recintos, agregando un cambio de medio entre estos, es decir, una placa que simula una muestra a analizar. Este método permite caracterizar el diseño propuesto y verificar el no acoplamiento del sistema constructivo propuesto.

De acuerdo con los autores, “se parte de la premisa de garantizar por encima de los 50 dB el nivel de aislamiento de cada tabique que conforma el sistema constructivo”, por lo tanto se evalúa el índice de reducción sonora de los elementos constructivos, utilizando el software de cálculo de aislamiento AISLA.

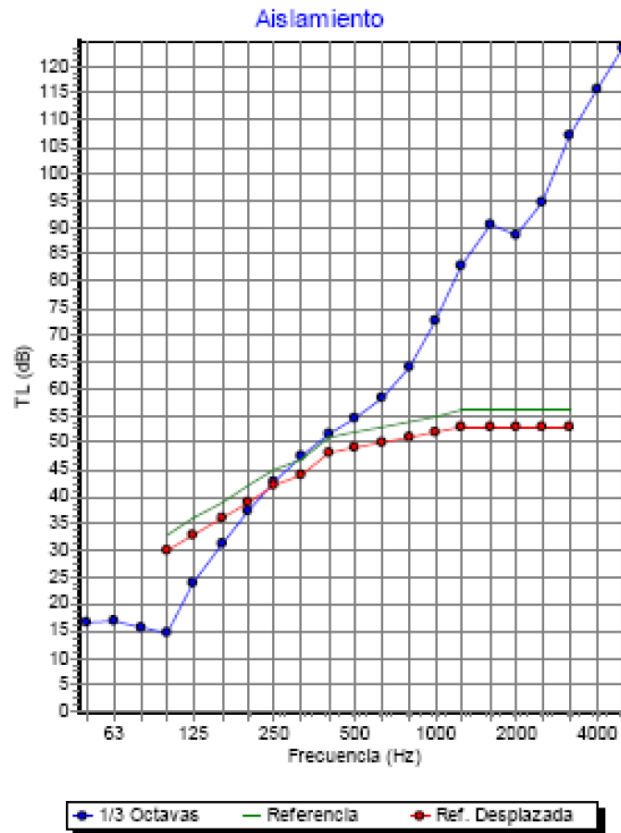


Figura 3-Simulación del aislamiento acústico. Fuente: Torres J. et al (2011). Diseño y construcción de una cámara de transmisión acústica a escala.

Como se puede observar, por encima de los 500 Hz, el sistema presenta más de 50 dB de aislamiento acústico.

A partir de estos resultados se valida la propuesta constructiva de la cámara acústica a escala.

A pesar de que se comprueba la validez de la cámara, existen diversos factores que pueden ejercer influencia sobre los resultados de los ensayos, considerando además de que una determinación experimental tampoco está exenta de problemas. Las condiciones de construcción real de la cámara pueden hacer con que difieran los resultados, y de alguna forma se perjudiquen las mediciones y ensayos posteriores de los materiales.

Cabe mencionar que existe una limitación en cuanto a tipos de paredes que se pueden medir en cámaras de tamaño reducido. En las Normas ISO 10140 constan 3 posibles tipos de paredes para conformar la cámara, siendo que solo se tiene en cuenta las de tipo "A", que es una pared ligera, ya que los demás tipos, B y C, no se pueden aplicar a un modelo en escala, por ser paredes de mampostería y ladrillo. Además, se limita

la medición en la cámara a ruidos aéreos, ya que para ruidos de impacto se requieren otras validaciones que no se consideran en el presente trabajo.

Algunas premisas y suposiciones iniciales que incluyen comportamientos de materiales, teorías y conceptos acústicos particulares, parten de conocimientos previos por parte de los autores de los trabajos a los que se hace alusión, por lo que se deduce que es necesario un entendimiento más profundo de acústica al momento de diseñar y utilizar una cámara de transmisión de este tipo.

Una dificultad eminente que se tuvo fue la necesidad de acceder a distintas normas para el desarrollo de la investigación, siendo que muchas de estas hacen referencia a procesos de evaluación y medición esenciales para la construcción y puesta en práctica de cámaras acústicas. Asimismo, las propias normas ISO 10140 que se adquirieron para el proyecto, se refieren constantemente a otras normas de aplicación, lo que dificulta las tareas del investigador.

Cabe destacar también que todos los softwares necesarios para la validación de los elementos en tamaño reducido representan un gasto adicional ya que se requiere la compra de la licencia de los mismos.

Las condiciones del ambiente en las que se realicen las mediciones acústicas de los materiales deben ser controladas. Factores como humedad, temperatura y ruido ambiente pueden afectar los resultados de los ensayos.

Sería interesante evaluar alternativas distintas de materiales para la construcción de los recintos, considerando opciones más baratas o incluso provenientes de procesos de la zona, a modo de conocer el desempeño para conformación de cámaras acústicas.

4. Conclusión

Se concluye satisfactoriamente la factibilidad de la construcción de una cámara para evaluación acústica de materiales en tamaño reducido, siendo que se valida el cumplimiento de los parámetros establecidos en las normas correspondientes, entre estos el aislamiento acústico y la incidencia de modos propios en la geometría de los recintos. Al comprobarse que una cámara acústica a escala se comporta de igual manera que una cámara en tamaño real, se abre un abanico de posibilidades para el ensayo y testeo de materiales de una forma más fácil y económica que en un modelo en tamaño real.

Se logró el cumplimiento parcial de los objetivos del proyecto, considerando que muchos aspectos dificultaron el desarrollo de este en tiempo y forma, principalmente el proceso de revisión y búsqueda bibliográfica que se hizo más extenso de lo que se esperaba, pudiendo ser concluido una vez que se logró el conocimiento necesario para definir los factores que intervienen en el diseño y construcción de la cámara acústica.

A pesar del entendimiento de las validaciones realizadas por otros autores, es necesario tener un mayor nivel de conocimiento en acústica para realizar este tipo de experimentaciones. Esto significa que un mínimo cambio de dimensiones o geometría al momento de la construcción real en relación al diseño planteado, supone una reevaluación de la validez de los recintos, por lo que se recomienda que se siga el diseño planteado lo más estrictamente posible.

A nivel académico, la posibilidad de construir una cámara de este tipo, teniendo los materiales y recursos necesarios, se traduce en una posibilidad inigualable de realizar ensayos de materiales que en otras condiciones resultarían muy complejos.

Referencias bibliográficas

- [1] Jeniffer Victoria Torres Romero. (2011, septiembre). TESIS DE MASTER-*Diseño y construcción de una cámara de transmisión acústica a escala*. Universitat Politècnica de València.
- [2] Jesús Alba, Del Rey, R., Torres, J. V., Bertó, L., & Hervás, C. (2012, octubre). *Cámara de transmisión acústica a escala para el estudio de pantallas acústicas*. Universitat Politècnica de València.
- [3] Jesús Alba, Bertó, L., & Del Rey, R. (2014). *Validación de una cámara de transmisión a escala para medidas de elementos ligeros*. TECNI ACUSTICA.
- [4] José DE AVIZ TOUTONGE. (2006). *Projeto e construção de câmaras reverberantes em escala reduzida para o estudo das características de perda de transmissão de divisórias confeccionadas a partir de materiais regionais*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ.
- [5] Laura Bertó Carbó. (2015, noviembre). TESIS DOCTORAL-*Nuevos materiales, modelos y técnicas de caracterización en acústica de la edificación y acústica medioambiental*. Universitat Politècnica de València.
- [6] UNE-EN ISO 10140 Acústica. *Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los materiales de construcción*. (2010). UNE Normalización Española.

Agradecimientos

Primeramente quiero agradecer a los docentes que formaron parte del proyecto de investigación, quienes brindaron su tiempo y apoyo durante todas las tareas realizadas, así como sus conocimientos y guía a lo largo del desarrollo de este.

Finalmente quiero destacar el agradecimiento hacia el Sr. Jesús Alba Fernández, director, investigador y miembro de la Universidad Politécnica de Valencia y de la Escuela Politécnica Superior de Gandía, el mismo es autor y director de diversos trabajos que sirvieron como referencia y guía para el progreso del presente proyecto, y se mencionaron en los apartados previos. Fernández atendió diversas consultas que se realizaron vía e-mail y facilitó material esencial para la comprensión de los métodos utilizados para la validación y construcción del modelo a escala.