

Propuesta de Diseño de una Cámara de Ensayo de Aislación Acústica de Materiales

Eichelberger P. da Silva Alessandra*, Kolodziej Sebastián Federico, Cruz Eugenio Rubén
LABAM, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: alessichel@gmail.com, kolodz@fio.unam.edu.ar, cruz@fio.unam.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presenta el proceso de diseño de una cámara para medición de propiedades acústicas de diversos materiales. 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 establecer 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 científicas. 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). A partir de las normas se determinan 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. Finalmente se establecen 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 realizó el diseño del prototipo utilizando la herramienta de diseño SolidWorks®.

Palabras Clave – Cámara Acústica, Ensayos, Materiales, Sonido

1. Introducción

El uso de materiales aislantes acústicos en la construcción de edificios para mejorar la protección del ruido exterior, se viene estudiando con mayor intensidad debido al incremento de los niveles de ruido en las ciudades, principalmente por el creciente tráfico vehicular.

En este sentido, los receptores sensibles (Establecimientos educativos, hospitales, clínicas), son los mayormente afectados. Estas edificaciones normalmente están localizadas en zonas urbanas de alta densidad poblacional. Una situación diferente se da con los centros deportivos, cuyos niveles de ruido, muchas veces elevados, afecta a los vecinos linderos y cercanos al local, generando reclamos y movilización del personal de la municipalidad para atender estos reclamos, verificando las instalaciones, realizando mediciones y clausurando los locales en algunos casos críticos.

Por otra parte, en la ciudad de Oberá existen varias industrias, tanto de servicios como de producción, que están localizadas en zonas urbanas, y ocasionan molestias a los vecinos por el ruido que genera el funcionamiento de sus máquinas y equipos durante el desarrollo de sus actividades.

El Código de Edificación de la ciudad establece para medianeras un espesor de la pared de 30 cm y para las fachadas de frente 20 cm de espesor. Mientras en paredes de cierre se puede realizar de cualquier espesor siempre y cuando el material permita conseguir una óptima aislación acústica, pero no recomienda valores de aislación que se deben alcanzar [1].

Los materiales comunes de construcción empleados normalmente no tienen especificaciones respecto al grado de aislación que pueden alcanzar. Además, algunos materiales son fabricados en la región en forma artesanal, como el ladrillo que es muy utilizado en la construcción de viviendas familiares.

En nuestro país, los productos que se utilizan como aislantes para la construcción son de origen mineral y sintético, como la lana de vidrio, espumas poliuretanas, roca de yeso, cuya fabricación genera un importante impacto ambiental, además, la utilización de estos materiales implica un costo importante.

Existen otros materiales, como los desperdicios de la industrialización de la madera y residuos plásticos, que podrían ser utilizados como aislantes acústicos en la construcción. Estos nuevos materiales, así como aquellos fabricados en la región como el ladrillo, no están estudiados y ensayados en un laboratorio, debido a que no se dispone de uno en la región.

El objetivo del presente trabajo es, proponer el diseño de una cámara de ensayo para la determinación de las propiedades de aislación acústica de los materiales de construcción que se utilizan en la región y de otros materiales que se puedan fabricar a partir de los residuos o subproductos de escaso valor comercial.

El diseño que se proponga será realizado en el Laboratorio Ambiental de acuerdo a las normas ISO 10140 e IRAM sobre acústica.

La utilización de una cámara para prueba de aislación acústica de materiales 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. Metodología

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. [2] y Alba, J. [3]. Asimismo, la evaluación de la cámara se desarrolla en la Tesis Doctoral de Bertó L. [4].

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 [5], 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.

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

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 porta-muestra que permite ubicar el material a ensayar, siendo establecido por norma que el recinto emisor es el de mayor tamaño.

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 es la diferencia de al menos 10% entre los volúmenes de ambas cámaras, siendo el recinto emisor el de mayor volumen. Realizando las conversiones entre un intervalo de escalas de 1:2 a 1:6, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 1: Equivalencias de dimensiones en escala. Fuente: elaboración propia.

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

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.

Tomando como base las validaciones mediante los métodos SEA y FEM, expuestos y validados por Torres J.V. [2] y Bertó L. [3] 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.

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.

3.1. 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):

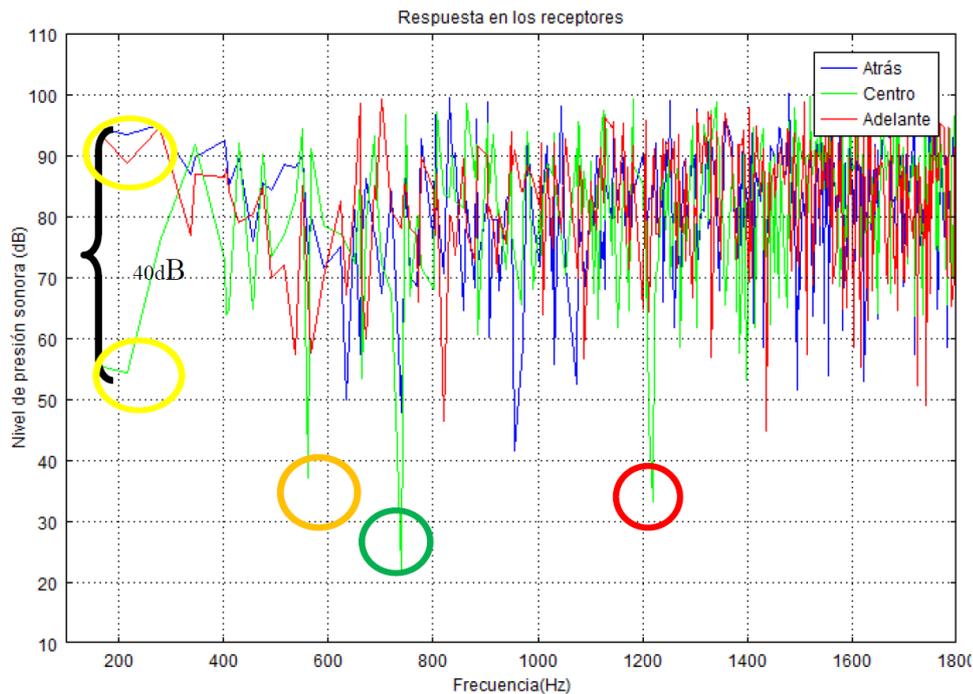


Fig. 1: Variación de presión sonora en tres posiciones distintas del recinto emisor. Fuente: Torres J. et al (2011).

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.

3.2. 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.

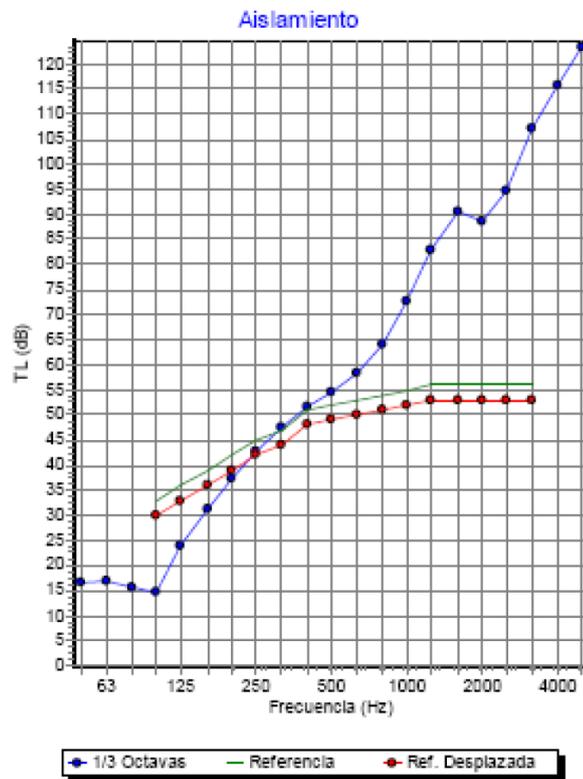


Fig. 2: Simulación del aislamiento acústico. Fuente: Torres J. et al (2011).

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 diseñar y utilizar una cámara de transmisión de este tipo.

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 contará con ruedas y un soporte para ser fácilmente transportado, así como permitir el fácil acceso tanto al recinto emisor como al receptor.

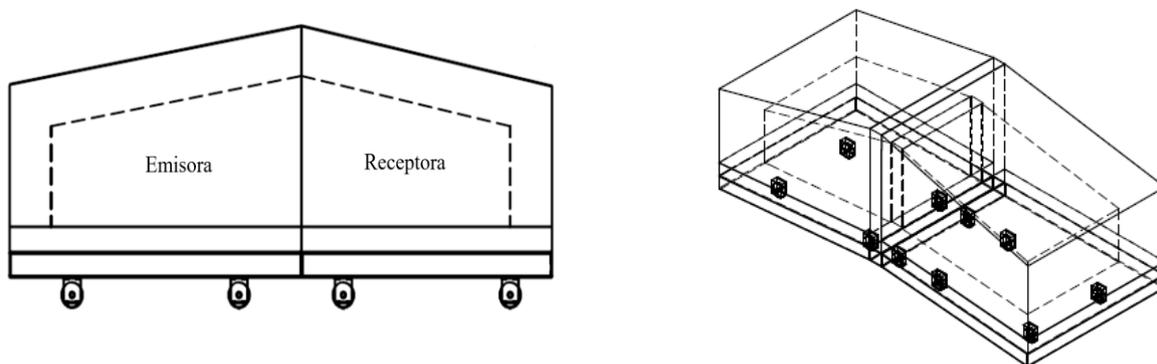


Fig. 3: Representación de prototipo de cámara acústica. Fuente: elaboración propia.

3.3. Especificaciones de materiales y costos estimados

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.

A continuación, se mencionan algunos de los materiales que pueden utilizarse.

Tabla 2: Lista de materiales para construcción de la cámara. Fuente: elaboración propia.

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
TOTAL		\$14.014

3.4. 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.

Tabla 3: Equivalencias de distancias entre elementos. Fuente: elaboración propia.

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

Para realizar las evaluaciones acústicas de la muestra que se monta entre los dos recintos de la cámara, son esenciales los siguientes elementos: Sonómetros; Micrófonos; Cámara IP (opcional, no influye en las mediciones); Altavoces, pudiendo utilizar o no filtrado de señal de la fuente; Cables para conexión a red; Computadora para control de cámara IP, en caso de que se utilice.

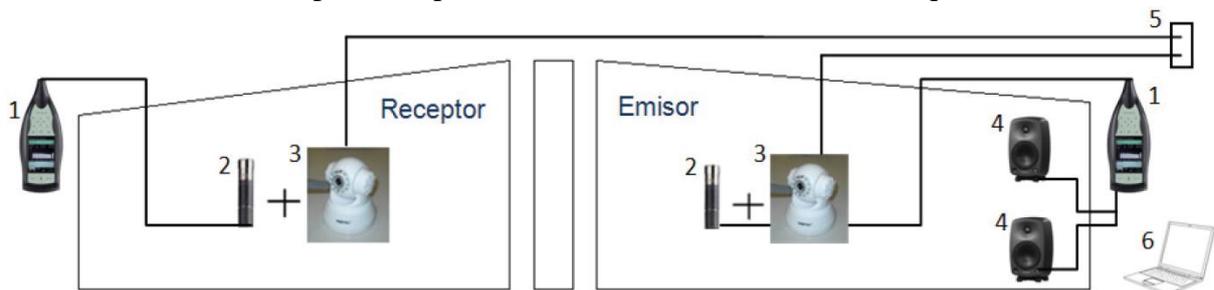


Figura 4: Elementos para ensayo. Fuente: Bertó L. et al (2015).

La utilización de una cámara IP es una propuesta realizada en la Tesis Doctoral de Bertó Laura [6], 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.

4. Conclusiones

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.

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.

Agradecimientos

Se agradece al 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.

Referencias

- [1] Secretaría de Desarrollo Urbano DdP. Código de Planeamiento Urbano Ambiental del Municipio de Oberá. 2010.
- [2] Jeniffer Victoria Torres Romero. (2011, septiembre). TESIS DE MASTER-*Diseño y construcción de una cámara de transmisión acústica a escala*. Universitat Politècnica de València.
- [3] 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.
- [4] Jesús Alba, Bertó, L., & Del Rey, R. (2014). *Validación de una cámara de transmisión a escala para medidas de elementos ligeros*. TECNI ACUSTICA.

- [5] *UNE-EN ISO 10140 Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los materiales de construcción.* (2010). UNE Normalización Española.
- [6] 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.
- [7] 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.