

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

Estudio de pantallas acústicas “in situ”.

TÉSIS DE MASTER

Autor:

Carlos García Quintero

Director/es:

D. Jesús Alba Fernández

D. Romina del Rey Tormos

GANDIA, 11/09/2003

Estudio de pantallas acústicas “in situ”.

Autor: Carlos García Quintero

Director 1: Jesús Alba Fernández

Director 2: Romina del Rey Tormos

RESUMEN

El ruido ambiental es una consecuencia directa no deseada de las propias actividades que se desarrollan en las grandes ciudades y que incide de forma principal en la calidad de vida de la población. Una medida importante de la corrección del ruido es la pantalla acústica. Las normas y usos que a menudo se dan a estos dispositivos se basan en el aislamiento y ocasionalmente en la absorción. El índice de reflexión sonora de barreras no se especifica, sin embargo, este índice es importante desde el punto de vista acústico ya que los niveles de ruido finales dependen directamente de él. Las reflexiones en la barrera aumentarán el ruido de fondo existente en la zona.

El comité europeo para la estandarización en la norma voluntaria o especificación técnica CEN/TS 1793-5:2003, introdujo un índice de reflexión in situ de las pantallas y la utilización de la respuesta al impulso en medidas in situ. La premisa de la que parte esta tesina fin de master se basa en que índice de reflexión de la pantalla nos da un criterio del ruido final que puede existir en las cercanías de la pantalla y que puede producir molestias a los usuarios. En este trabajo se obtiene el índice de reflexión global, en función del ángulo y en función de la frecuencia de diferentes pantallas acústicas basadas en materiales reciclados utilizando MLS (Maximum Length Sequences). La importancia de mejorar los índices de reflexión debe encaminar el uso de estos dispositivos de un modo más eficiente.

ABSTRACT

Environmental noise is a direct consequence of one's unwanted activities taking place in major cities and main shape affects the people quality of life. Barriers are important elements to the noise correction. The rules and practices often give these devices are based on the isolation and occasionally in absorption. Reflectivity noise barriers is not specified, however, this ratio is important from an acoustic point of view because the final noise directly to him. Reflections on the barrier will increase the background noise in the area.

The European committee for standardization in the voluntary standard or technical specification CEN / TS 1793-5:2003, introduced in situ reflectivity of the screens and the use of impulse response in situ measurements. The premise on which part to master this thesis is based on reflectivity of the screen gives an ultimate noise criteria that can exist in the vicinity of the screen and can cause discomfort to users. In this paper we obtain the overall reflectivity, depending on the angle and depending on the frequency of different speakers using recycled materials based on MLS (Maximum Length Sequences). The importance of improving reflection indexes must direct the use of these devices more efficiently.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 ANTECEDENTES	5
1.2 OBJETIVOS	9
1.3 ESTRUCTURA DE LA TESINA.....	9
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
2.1 PANTALLAS ACÚSTICAS	10
2.2 LA NORMA CEN/TS 1793-5:2003.....	10
DESARROLLO DE LA TESINA	20
4.1 CONCLUSIONES	31
4.2 LÍNEAS FUTURAS	31
AGRADECIMIENTOS	33
REFERENCIAS	34

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La contaminación acústica es actualmente una de las mayores fuentes de molestia de las sociedades modernas, especialmente en los medios urbanos. Afecta a la salud de las personas, produciendo una amplia serie de efectos fisiológicos y psicológicos de naturaleza muy diversa como nerviosismo, estrés, problemas cardiovasculares, desordenes del sueño, etc. [1, 2]. La fuerte demanda de viviendas acompañada con el crecimiento de la población a nivel mundial, así como el aumento vertiginoso del parque de vehículos a motor y con demasiada frecuencia la inexistencia de una adecuada planificación urbanística que ha generado la presencia de inmensos bloques de hormigón, sin que exista una delimitación clara entre las zonas de tipo residencial e industrial, junto a la escasez de espacios abiertos verdes, la poca anchura de las calles y la abundancia de edificios de baja calidad constructiva, empeoran la situación acústica de nuestro entorno cotidiano. El uso generalizado de vehículos privados ha aumentado considerablemente en los últimos años lo que ha provocado un mayor aumento del ruido producido por el tráfico rodado, que es la fuente sonora más importante y generalizada en las zonas urbanas de los países desarrollados. Las pantallas acústicas suponen soluciones inmediatas a muchos problemas de contaminación acústica sobretodo de carreteras y zonas industriales.

Una pantalla acústica es un elemento que puede proporcionar una reducción de los niveles de ruido en una zona determinada al interponerse en el camino de la onda sonora. Este efecto de reducción sonora de la pantalla dependerá de las dimensiones de la pantalla, de la situación relativa fuente-receptor, del espectro sonoro y del material de la pantalla. Las barreras de sonido convencionales generalmente reflejan una gran proporción del sonido que incide sobre ellas, lo cual produce un impacto sonoro en las edificaciones cercanas a la carretera además de un impacto en los ecosistemas.

Los usuarios finales de estas pantallas, opinan que mejora la calidad acústica en general, sobre todo de noche. Sin embargo sienten cierta molestia por la reducción de luz y su impacto visual [3].

El presente trabajo nace con la intención de estudiar problemas generados de la reflexión en las barreras acústicas. Sobre todo cuando estas se sitúan a ambos lados de una carretera y se genera un ruido reverberante excesivo localmente. Parte por tanto de la idea de que si estas barreras se realizan con materiales absorbentes el resulta puede ser mucho mejor para el entorno donde se emplacen. Así mismo pueden utilizarse las barreras para reorientar el ruido hacia regiones menos sensibles.

Una barrera absorbente de ruido debe tener un coeficiente de absorción alto en el rango de frecuencias de 250 a 5000 Hz. Además, debería ser lo suficientemente pesada para ser eficaz también como una pantalla, y ser resistente a la exposición a fenómenos meteorológicos, parásitos, roedores y vándalos. Todo esto con el coste más bajo posible [4].

Actualmente nos podemos encontrar pantallas reflectantes opacas (de madera, de hormigón, metálicas, etc.), pantallas reflectantes transparentes (vidrio, metacrilato, policarbonato, etc.) y pantallas absorbentes acústicas (hormigón con tratamiento superficial, metálicas perforadas, de madera con ranuras, todas incluyendo materiales absorbentes acústicos) [5]. Éstas últimas, son de gran interés, dado que permiten la absorción del sonido y requieren el uso de materiales absorbentes acústicos.

Existe un gran interés en utilizar materiales absorbentes acústicos para reducir el ruido reflejado por las barreras. Los modelos de predicción tienden a sobreestimar el efecto de las barreras absorbentes y por tanto sobreestiman los beneficios acústicos debidos a la barrera en los receptores [6]. Makarewick y Jarz evaluaron la exposición sonora ponderada A para intentar considerar estos efectos [7]. Por ello se hace necesario estudiar el índice de reflexión.

En relación a las normas referentes a las características acústicas de los dispositivos reductores de ruido, la norma EN 1793:1998, Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico, en sus partes 1 a 3 [8-10], propone los métodos para determinar la absorción sonora y el aislamiento acústico al ruido aéreo de estos dispositivos teniendo en cuenta un espectro normalizado de ruido de tráfico.

Según la parte 1 de la norma el coeficiente de absorción acústica, α_{si} , de pantallas acústicas o dispositivos reductores del ruido de tráfico en carreteras se evalúa en cámara reverberante según el método descrito en la ISO 354 [11]. Según la parte 3, conocidos los coeficientes de absorción acústica individuales y ponderados según el espectro normalizado de ruido de tráfico rodado, se determina el índice de evaluación de la absorción acústica para indicar el comportamiento acústico de la barrera, $\Delta L\alpha$, para clasificar el comportamiento de la absorción acústica.

El índice de evaluación del aislamiento al ruido aéreo, DL_R , se determina según la norma EN 1793-2:1997 y se basa en determinar el índice de aislamiento acústico, R_i , utilizando el método de medida en laboratorio descrito en la norma ISO 140-3:1995 [12].

En la norma EN 14388: 2006 [13, 14] se especifican las características relevantes de los distintos dispositivos reductores de ruido, entre ellas la absorción sonora, el peso propio, el impacto de piedras, protección del medio ambiente, reflexión de la luz, y la mejora del índice de

difracción sólo si hay un dispositivo añadido. Las únicas magnitudes acústicas que contempla son la absorción sonora y el aislamiento al ruido aéreo.

En ninguna de las normas citadas se trata el índice de reflexión sonora de barreras, que puede ser de interés para ver el efecto del aumento de las reflexiones y por tanto del posible incremento del ruido ambiente. Este aspecto se trata, a nivel de medida “in situ” en la norma voluntaria europea CEN/TS 1793-5 [15], donde se describe un método de caracterización acústica de dispositivos reductores de ruido de tráfico usando la técnica de medida de la respuesta al impulso y Maximum Length Sequences (MLS signals) [16], método validado para evaluar altos aislamientos a ruido aéreo con elevados niveles de ruido de fondo [17] [18].

El método de medida combina el método MLS para la medida de la reflexión con la técnica de substracción de señal para separar la señal directa de la señal reflejada en la muestra [19]. Para obtener la máxima resolución en baja frecuencia conviene que la ventana Adrienne tenga la máxima longitud, el micrófono ha de estar lo más próximo posible a la muestra y el altavoz lo más alejado posible de ambos. P.Cobo propone una ecuación que da la separación óptima entre altavoz y micrófono, dadas las separación micrófono-muestra y la semi-altura de la barrera [20].

El método es válido para barreras construidas principalmente de metal u hormigón [21]. El método no se ha validado para barreras con un aislamiento a ruido aéreo relativamente bajo. En el caso de barreras de madera con un aislamiento a ruido aéreo relativamente bajo no está claro que los resultados sean comparables [22].

El método de medida combina el método MLS para la medida de la reflexión con la técnica de substracción de señal para separar la señal directa de la señal reflejada en la muestra [19]. Para obtener la máxima resolución en baja frecuencia conviene que la ventana Adrienne tenga la máxima longitud, el micrófono ha de estar lo más próximo posible a la muestra y el altavoz lo más alejado posible de ambos. En la este método se propone una ecuación que proporciona la separación óptima entre altavoz y micrófono, dadas las separación micrófono-muestra y la semi-altura de la barrera.

El método es válido para barreras construidas principalmente de metal u hormigón. El método no se ha validado para barreras con un aislamiento a ruido aéreo relativamente bajo. En el caso de barreras de madera con un aislamiento a ruido aéreo relativamente bajo no está claro que los resultados sean comparables.

Otra técnica utilizada para determinar las pérdidas por transmisión de barreras acústicas in situ se basaba en medidas de intensidad sonora utilizando una sonda intensiométrica [23]. También se ha aplicado control activo del ruido para aumentar las pérdidas por inserción de las barreras acústicas “active noise barriers”, obteniendo una atenuación sonora extra en bajas frecuencias,

disminuyendo la intensidad sonora en campo cercano se consigue disminuir también en campo lejano [24-26].

En este trabajo, se estudia el índice de reflexión sonora y el coeficiente de absorción de prototipos de barreras acústicas de diferentes barreras, entre ellas algunas construidas con materiales reciclados de desechos de la industria plástica. Las mediciones se han realizado en las cámaras acústicas de la Escuela Politécnica Superior de Gandia de la Universitat Politècnica de Valencia. Algunas de las pantallas diseñadas están realizadas a partir de nuevos materiales, resistentes a las inclemencias meteorológicas, no contaminantes y reciclables. Las materias primas utilizadas actualmente tienen base de sobrantes de la producción petroquímica, producto que se halla en la naturaleza y en los desechos de la quema industrial de carbón. Se han desarrollado prototipos de pantallas acústicas, con excelentes resultados, concebidas además para integrarse armónicamente en el entorno. Se determina el índice de reflexión de distintas configuraciones en una cámara anecoica a partir de la generación de secuencias pseudo aleatorias MLS, con el fin de minimizar el efecto del ruido de fondo. Se obtienen diseños de pantallas con el mínimo índice de reflexión para reducir las molestias ocasionadas en las cercanías de la pantalla a los usuarios de estas.

Vivimos en una época en la cual se empieza a tomar conciencia del daño que le causamos a nuestro planeta, por esta razón muchas empresas y sociedad en general empiezan a buscar la forma de reducir la contaminación que conlleva nuestro estilo de vida.

Aunque existen datos de la preocupación por la contaminación acústica desde la antigua Grecia, es un problema que se ha empezado a tratar desde hace poco y aún existen muchos países donde esto no es considerado un problema grave. Tan grave que la OMS (Organización Mundial de la Salud) la ha llegado a presentar en firme como una amenaza para la salud pública. Dentro de las diferentes fuentes de contaminación acústica, la que más molestia ocasiona es el ruido generado por el tráfico de vehículos a motor, siendo las pantallas acústicas el principal método de control y por tanto un centro neurálgico para investigadores y estudiosos que pretendan mejorar las características de estos dispositivos y con ello la calidad de vida de las personas.

La Unión Europea ha exigido planes de acción que tienen por objeto afrontar las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos. Dentro de estos planes de acción están la de colocar pantallas acústicas en las carreteras con un total de 534 km, de modo que el correcto uso de este dispositivo debe ser una premisa de interés en investigación.

Debido a este gran desarrollo en pantallas acústicas, surge el interés de poder utilizar materiales reciclados o ecológicos para su construcción. Así podríamos reducir la contaminación acústica, con materiales que a su vez, reducen la contaminación ambiental, esto mejora sustancialmente la idea de usar este tipo de dispositivos. Por esto, el objetivo de esta tesina es conocer el

comportamiento de cuantos mas tipos de paneles o barreras, que además se compongan de este tipo de materiales reciclados dotando así a las pantallas acústicas un doble valor medioambiental. Esta Tesina se ubica dentro del proyecto I+D para Grupos de Investigación Emergentes de la Generalitat Valenciana, “Soluciones al ruido del tráfico rodado a partir de eco-materiales de bajo coste”.

1.2 OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es concluir si la norma voluntaria CEN/TS 1793-5:2003 proporciona resultados válidos en cuanto al índice de reflexión acústica de barreras ya instaladas. De ser válido el método, podría suponer este estudio un gran avance en la mejora de las instalaciones existentes y en la detección de sus errores más frecuentes. Pero la aportación más interesante del estudio pasa por conocer el índice de reflexión, hasta ahora no estudiado en barreras acústicas, de modo que se inicie un nuevo campo de investigación en la focalización del ruido que incide en dichas barreras. Además, la obtención de resultados favorables en el cálculo de la reflexión abre un campo enorme en el estudio de materiales absorbentes aplicados a estos dispositivos.

1.3 ESTRUCTURA DE LA TESINA

La tesina cuenta con cuatro apartados:

1. INTRODUCCIÓN; se enuncia la importancia del trabajo de investigación, los objetivos a cumplir y la estructura de la tesina así como el porque del estudio.
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS; Descripción del concepto de barrera, fundamentos en el cálculo de la caracterización de barreras, normativas que acompañan este tipo de estudios, fundamentos o métodos de cálculo empleados para la caracterización de barreras.
3. DESARROLLO DE LA TESINA: Se explican los estudios realizados y sus resultados, se compara los resultados obtenidos para diferentes composiciones de materiales. Se aplica el método de la norma CEN/TS 1793-5:2003 en laboratorio dado que lo que nos interesa es conocer el índice de reflexión de diferentes barreras, parámetro que no se ha estudiado hasta el momento.
4. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS; por último, se especifican las conclusiones a las cuales se ha llegado tras el estudio y se proponen líneas futuras de investigación así como posibles cualidades o fallos detectados a lo largo del trabajo y que puedan suponer nuevas áreas de investigación.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 PANTALLAS ACÚSTICAS

El concepto de barrera acústica comenzó a estudiarse en los estados unidos, donde el auge del ferrocarril y los vehículos de motor aumentó en consideración en los años setenta. El concepto de barrera es simple como idea primitiva, reflejar parte de la señal que incide y difractar aquella que la barrera no alcance a totalizar en sus bordes. La barrera acústica es una estructura colocada entre la fuente y receptor que genera una zona donde la fuente no es percibida. Generalmente a esta zona se la conoce como sombra acústica. En su diseño se debe tener en cuenta los efectos de difracción. Con estas barreras acústicas generalmente se consigue una atenuación en el rango de los 1 – 10 dB.

Debido a su simplicidad, con el tiempo han aparecido problemas con el apantallamiento, dado que el sonido reflejado a terminado por afectar en lugares diferentes a los de origen, hecho por el cual es interesante poder estudiar las barreas ya instaladas y extraer conclusiones acerca de su funcionalidad.

Es importante conocer, que las barreras acústicas proporcionan mayor atenuación a mayor frecuencia. La atenuación sonora proporcionada por las barreras acústicas para una fuente sonora de una potencia determinada es función de cinco parámetros fundamentales:

- Dimensiones de la barrera.
- Situación relativa receptor-emisor.
- Espectro sonoro del ruido.
- Material de construcción de la barrera.
- Características acústicas del lugar donde se instala.

2.2 LA NORMA CEN/TS 1793-5:2003

La norma CEN/TS 1793-5:2003 pertenece a la familia de normas CEN 1793 que tratan diferentes cuestiones acústicas de las pantallas. Esta normativa sólo está publicada en algunos países europeos y está pendiente de publicación en España. En ella se trata el problema de valorar la pantalla “in situ”, analizando la reflexión sonora y el aislamiento acústico de pantallas ya instaladas. Para el estudio de esta tesina se estudia solo la parte del índice de reflexión. El presente documento describe un método de test para medir los valores relacionados intrínsecamente con las pantallas acústicas: el índice de reflexión del sonido y el índice de aislamiento a ruido aéreo.

El método de test empleado pretende solventar temas tales como:

- Determinar de las características intrínsecas de la reflexión del sonido u del aislamiento a ruido aéreo de dispositivos instalados a lo largo de las carreteras, tanto medidos ‘in situ’ como en laboratorio.
- Determinar las características intrínsecas de la reflexión del sonido y el aislamiento a ruido aéreo en pantallas acústicas instaladas actualmente.
- Comparativa de las especificaciones de diseño acorde a su rendimiento con la de los nuevos diseños construidos.
- Verificación del rendimiento de dispositivos instalados a largo plazo, por el método de repetitividad de las medidas en el tiempo.

El método de test puede ser aplicado para medir tanto dispositivos ‘in situ’ como para la caracterización de nuevas pantallas. En el segundo caso la muestra debería ser construida de la siguiente manera:

- Una parte, compuesta de elementos acústicos, con dimensiones de 4m por 4m de alto.
- Un poste de 4m de alto.
- Una parte, compuesta de elementos acústicos, con dimensiones de 2m por 4 metros de alto.

A continuación se presenta de modo resumido el contenido de la norma objeto de este estudio de modo que sirva para comprender el funcionamiento de los ensayos realizados.

Medidas del índice de reflexión

La fuente emite un sonido transitorio que viaja pasando la posición de micrófono hasta incidir en el objeto a medir donde refleja la onda. Ver figura 1a. El micrófono emplazado entre la fuente de sonido y el dispositivo bajo test recibe ambos sonidos, directo y reflejado, incluyendo la dispersión. El espectro de potencia de los sonidos directo y reflejado corregido para tener en cuenta los recorridos de ambas señales, es la base para el cálculo del índice de reflexión.

La medida debe llevarse a cabo en un campo libre de reflexiones en los alrededores del dispositivo. Es decir no queremos recibir señales reflejadas más allá de las propias de la pantalla que estamos estudiando. Por esta razón, La adquisición de una respuesta al impulso debe tener los picos tan pronunciados como sea posible, siendo identificables el resto de reflexiones por el tiempo de retardo y su amplitud. En el caso de la caracterización de nueva pantallas, se practicará el ensayo en cámara anecoica para evitar este inconveniente.

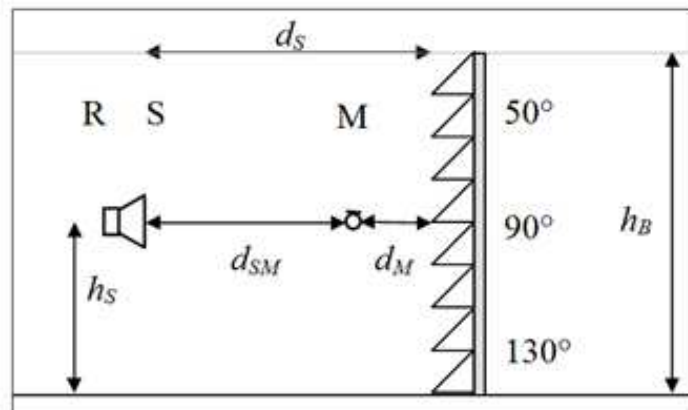


Figura. 1a.

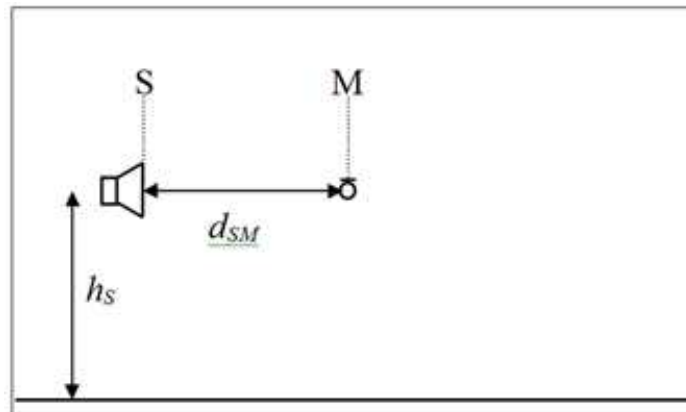


Figura. 1b.

Figura. 1.- Representa el set necesario para obtener medidas del índice de reflexión (ejemplo para rotación del eje vertical) – R: Eje de rotación. – S: Altavoz enfrentado al panel. – M: Micrófono – (a): Medidas del sonido reflejado entre los 50° y los 130° en pasos de 10° en el mismo plano de rotación, enfrente de un dispositivo de reducción de ruido NO plano (La pantalla).. (b): Referencias de la medición del sonido en libre.

Cantidad medida

La expresión usada para calcular la medida del índice de reflexión RI en función de la frecuencia en bandas de un tercio de octava, es:

$$RI_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \frac{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_{r,k}(t) \cdot w_r(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_i(t) \cdot w_i(t)]|^2 df} \quad (1)$$

donde:

$h_i(t)$ es la componte de incidencia en campo libre de la respuesta al impulso.

$h_{rk}(t)$ es la componente de reflexión de la respuesta al impulso k-th ángulo.

$w_i(t)$ es la componente en campo libre para una ventana temporal tipo Adrienne.

$w_r(t)$ es la componente reflejada dentro de la citada ventana.

F es el símbolo de la Transformada de Fourier.

j es el índice de las bandas de frecuencia de 1/3 de octava (entre 100Hz y 5 KHz)

Δf_j es el ancho de los incrementos de bandas de tercio de octava.

n_j es el número de ángulos en cual se promedia ($n \leq 9$ para rotación; (ver 4.5.2 y Tabla 1 del Anexo 1).

T es el tiempo en el cual se adquiere la respuesta al impulso en el origen para la serie de medidas.

NOTA: Las reflexiones desde diferentes partes de la superficie bajo test llegan al micrófono en diferentes intervalos de tiempo, dependiendo de la trayectoria que adoptan desde el altavoz a las diferentes partes de la superficie y su camino de regreso. La trayectoria más larga desde el altavoz a cada parte de la superficie en concreto y su regreso suponen el retraso temporal mas elevado. Como consecuencia de esto, las ondas de sonido captadas por los micrófonos son atenuadas de manera inversamente proporcional al tiempo de retraso que sufren. Para poder compensar este efecto, la variable t es incluida en el numerador y denominador de la fórmula (1)

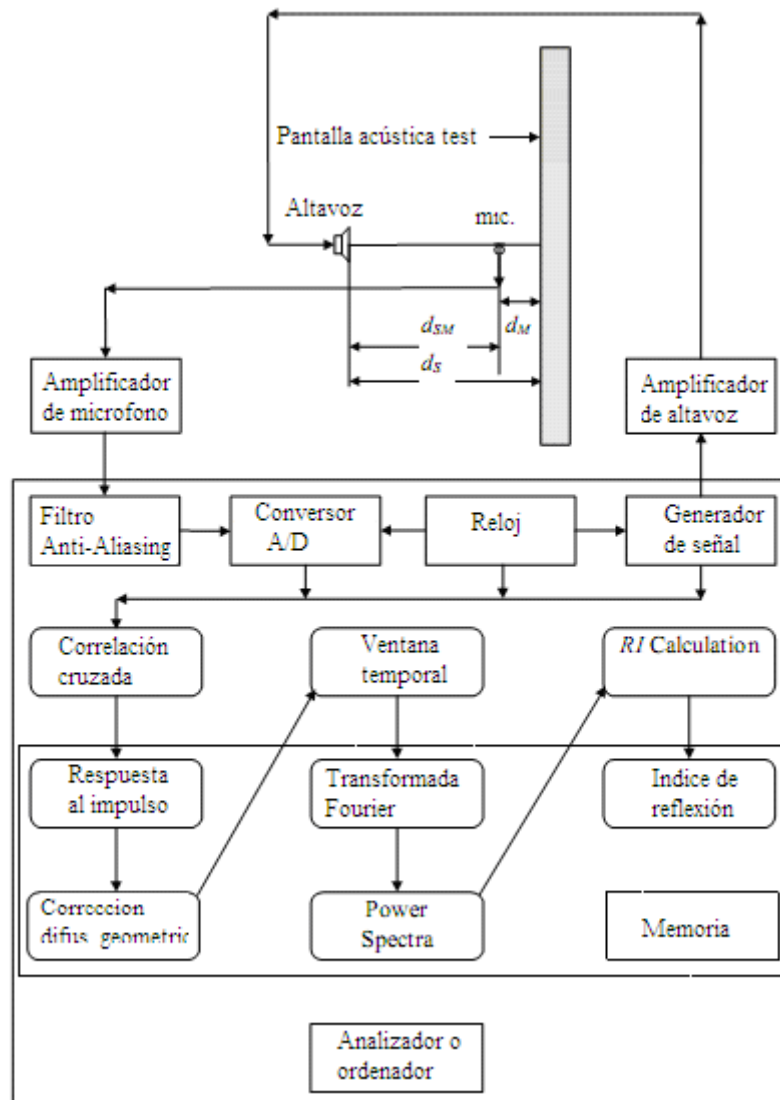


Figura 2. El dibujo representa los bloques básicos del sistema de medida.

Sistema de medida.

Componentes del sistema de medidas.

El sistema de medida comprenderá: un sistema electro-acústico, basado en un generador eléctrico de señales, un amplificador de potencia y un altavoz, un micrófono con su amplificación y un analizador de señales capaz de realizar transformaciones entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia.

NOTA Parte de estos dispositivos pueden ser integrados en un único analizador de frecuencia o en un ordenador equipado con los diferentes módulos de procesado.

En la figura 2 se puede observar con detalle el diagrama de bloques de funcionalidad del sistema.

El sistema de medidas, en su totalidad cumplirá con las especificaciones de instrumental tipo 1 de acuerdo la EN 60651, excepto el micrófono que podrá ser de tipo 1 y de ½ pulgada como máximo.

NOTA El procedimiento de medida que se describe esta definido en los rangos de potencia determinados extraídos de las muestras de respuesta al impulso siempre con el mismo instrumental, en el mismo escenario y bajo unas mismas condiciones que implican un periodo de tiempo que admita las mínimas variaciones. De otro lado, no es necesaria una precisión muy elevada. No es necesaria una extremada precisión en las medidas. Se mantiene por tanto el instrumental de Tipo 1 por compatibilidad con los otros estándares o normas europeas. El micrófono debería ser tan grande o pesado de modo que no sufra desplazamientos respecto al altavoz: la técnica de obtención de la señal requiere que altavoz y micrófono mantengan una alineación estricta y constante en todo el proceso de medida. Es difícil encontrar en el mercado micrófonos que cumplan el requisito anterior de ahí que este permitido el uso de micros tipo 2.

Fuente de sonido.

La fuente de sonido electro-acústica reunirá las siguientes características:

- Disponer un sencillo altavoz emisor.
- Debe estar fabricado de manera que permita una buena respuesta en baja frecuencia.
- Estará fabricado sin incluir componentes activos o pasivos (por ejemplo filtros crossover) los cuales pueden afectar ala respuesta de la totalidad del sistema.
- Tendrá una respuesta en frecuencia suave, es decir sin irregularidades en el rango de frecuencia de interés, obteniendo resultados de la respuesta al impulso no superiores a 3ms.

NOTA Como los índices de reflexión calculados desde las rangos de energía propuestos se obtienen para un montaje fijo entre altavoz-micrófono y en un corto periodo de tiempo, bastará con seguir las indicaciones propuestas arriba para obtener un resultado óptimo.

Analizador de señal.

La fuente electro-acústica se alimentará de una entrada eléctrica basada en una señal MLS (Ver anexo A de la norma CEN/TS 1793-5:2003). Debe admitir al menos 16 promedios. (Ver 4.8.h. en Anexo 1)

NOTA Esta especificación técnica recomienda el uso de señal MLS para realizar el test ensayo. Sin embargo podría utilizarse alguna otra señal obteniendo idénticos resultados. Esto significa que debe quedar claramente demostrado que:

La generación del ensayo es determinístico y claramente repetitivo, además:

- Las respuestas al impulso son muestreadas con precisión (sin distorsiones) en la totalidad del rango frecuencial de interés (100Hz a 5KHz en bandas de 1/3 de octava);
- El ensayo mantiene una buena inmunidad al ruido de fondo, i.e. la S/N efectiva puede ser más alto de 10 dB en el rango frecuencial de interés dentro de un corto espacio de tiempo (no más de 5 minutos por respuesta al impulso);
- El rango de muestreo puede ser elegido lo suficientemente alto para una precisa corrección de los periodos de las respuestas al impulso entre la medida enfrente de la muestra y la medida en campo libre debido a los cambios de temperatura en periodos de tiempo largos (Ver 4.2.2 en Anexo 1);
- El equipo de test será de uso sencillo, i.e. debe alimentar a la fuente solo con equipos disponibles en el mercado.

Procesador de datos.

Calibrado.

El procedimiento de medida aquí descrito se basa en rangos del espectro de frecuencia desde respuestas al impulso obtenidas siempre con el mismo equipo, en el mismo emplazamiento y en idénticas condiciones del entorno. Por ese motivo, un perfecto y absoluto calibrado de todo el sistema se hace innecesario. Obviamente, si es necesario comprobar que todos los componentes del sistema funcionan normalmente antes y después de las medidas.

Frecuencia de muestreo.

La frecuencia a la cual la respuesta del micrófono debe ser óptima depende de la frecuencia máxima exigida en el rango de interés y del tipo y características específicas del filtro anti-aliasing. La frecuencia de muestreo debe ser superior a 43 KHz.

NOTA Aunque la señal esté ya claramente definida cuando encontremos se encuentra el criterio de Nyquist, si la frecuencia de muestreo es la mas alta se facilitará una clara reproducción de la señal. Este documento prescribe el uso de la técnica de sustracción de la señal (Ver 4.4.4 en el Anexo 1), lo cual implica el conocimiento previo de la forma de onda de la señal. De este modo, con la frecuencia de muestre prescrita se detectarán los errores más fácilmente, tales como los debidos a los intervalos de tiempo obtenidos en la respuesta al

impulso entre la medida en frente de la muestra y la medida en campo libre causados por cambios de temperatura.

La frecuencia de muestreo debería ser igual a la frecuencia de reloj de generador de señal.

La frecuencia de corte del filtro anti-aliasing, f_{co} , debe tener un valor:

$$f_{co} \leq f_s$$

donde $k=1/3$ para filtros de Chebyshev y $k=1/4$ para filtros de Butterworth y Bessel.

Para cada medida, la frecuencia de muestreo, el tipo y características del filtro anti-aliasing empleado deben estar claramente detalladas en el informe del ensayo.

Ruido de fondo.

La relación señal ruido S/N, teniendo en cuenta el promedio de muestras, debe ser mayor de 10 dB para todo el rango de frecuencias de medida.

NOTA: Las técnicas de detección de la coherencia, tal como la correlación cruzada MLS, proporcionarán elevados ratios de la S/N (Ver anexo A en Anexo 1).

Técnica de sustracción de la señal.

Una vez posicionados altavoz y micrófono de acuerdo al montaje descrito en el punto 3.9 (Anexo 1), la respuesta al impulso total tiene que ser medida. Esto consiste en una componente directa, la señal reflejada desde la superficie bajo test y las reflexiones espúreas. La componente directa y la reflejada deben poder ser separadas.

Este método requiere que esta separación se realice mediante técnicas de sustracción de la señal: la componente reflejada se obtendrá por sustracción de la respuesta al impulso total restándole una señal idéntica la original. (Figuras 3.c y 3.d). Esto significa que el sonido directo debe ser perfectamente conocido así como su amplitud y su tiempo de retardo. Esto se puede obtener por la realización de una medida en campo libre utilizando la misma configuración geométrica de altavoz y micro. Es necesario que se conserve el posicionamiento entre ambos estrictamente constante. Este requisito se puede obtener usando una conexión fija y estable entre la fuente y el micro. La componente directa se extrae desde la medida en campo libre.

Esta técnica permite ampliar el tiempo del inventariado, permitiendo así un límite bajísimo de frecuencia en el rango de frecuencia propuesto, cuando tenemos largos recorridos entre altavoz, micrófono y dispositivo bajo test. El principio de la técnica de sustracción de la señal está esquemáticamente ilustrada en la figura 3.

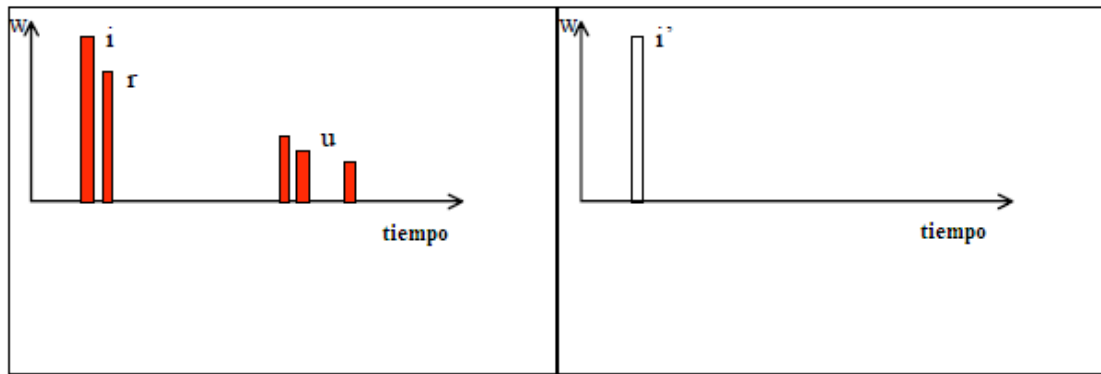


Figura 3(a)

Figura 3(b)

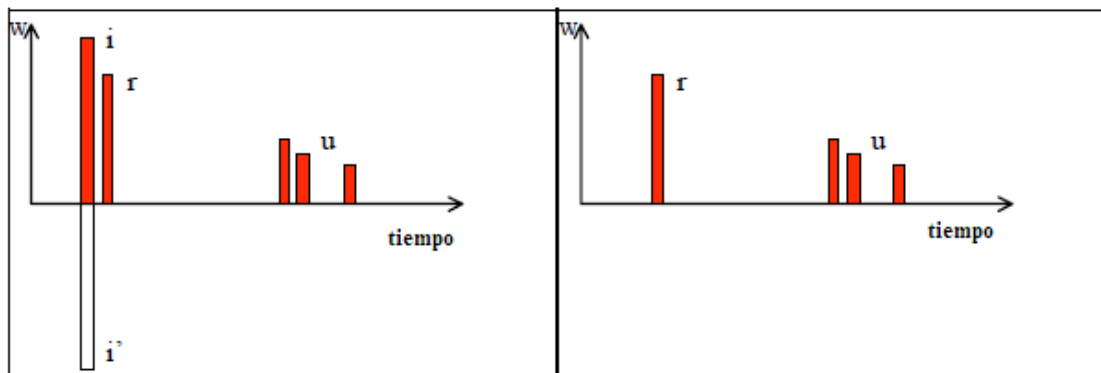


Figura 3(c)

Figura 3(d)

Figura 8 – Principio de la técnica de sustracción de la señal – (a): La respuesta al impulso total incluye: la componente incidente directa (i), la componente reflejada (r), las componentes parásitas no deseadas (u) – (b): La componente directa en campo libre (i') – (c): La cancelación de la componente directa desde la respuesta al impulso total usando la componente directa en campo libre (i') – (d) : Resultado

La medida debe tener lugar en un plano sonoro libre de reflexiones procedentes de otros objetos que no sean el dispositivo bajo test. Sin embargo, el uso del enventanado temporal cancela las reflexiones después de un determinado tiempo de retardo, eliminando aquellas que se producen a cierta distancia.

Ventana temporal Adrienne.

Puede verse como se realiza el enventanado temporal en el Anexo 1 correspondiente a esta tesina.

Selección de las posiciones de medida.

El equipo de mediciones debería disponerse en frente del dispositivo reductor de ruido bajo test en las posiciones determinadas de acuerdo a las reglas que veremos a continuación.

En cualquier caso las medidas deben ser medidas con una incertidumbre no superior al 1% de los valores nominales.

Tipos de pantallas que contempla la norma para poder evaluar:

- Muestra plana homogénea.
- Muestras no planas y no homogéneas en una dirección.
- Muestras no planas y no homogéneas en dos direcciones.

Se recomienda leer cuidadosamente la traducción de la norma que se presenta en el Anexo 1 de este documento para resolver matices técnicos aplicados a cada tipo de muestra, así como el procedimiento de medida empleado.

DESARROLLO DE LA TESINA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS

De acuerdo a los fundamentos técnicos que se exponen en apartados anteriores y partiendo de la elección de 6 tipos de barreras diferentes (que se denominan de P1 a P6 sucesivamente), se realizan ensayos del índice de reflexión para cada una de ellas para obtener su diagrama de reflexión y comprobar de este modo las diferencias que se aprecian así como la fiabilidad del método.

Las barreras estudiadas se muestran en las figuras 4 a 9 instaladas en la cámara anecoica, hay una Barrera P1: Realizada con madera y en su interior lana de roca y cámara de aire, Barrera P2: Panel verde perforado, Barrera P3: Panel de rejilla con lana mineral en el interior, Barrera P4: Panel de material reciclado con borde metálico, Barrera P5: Con material reciclado en forma de Zig-Zag y por último una Barrera P6: Pantalla de metacrilato de referencia.

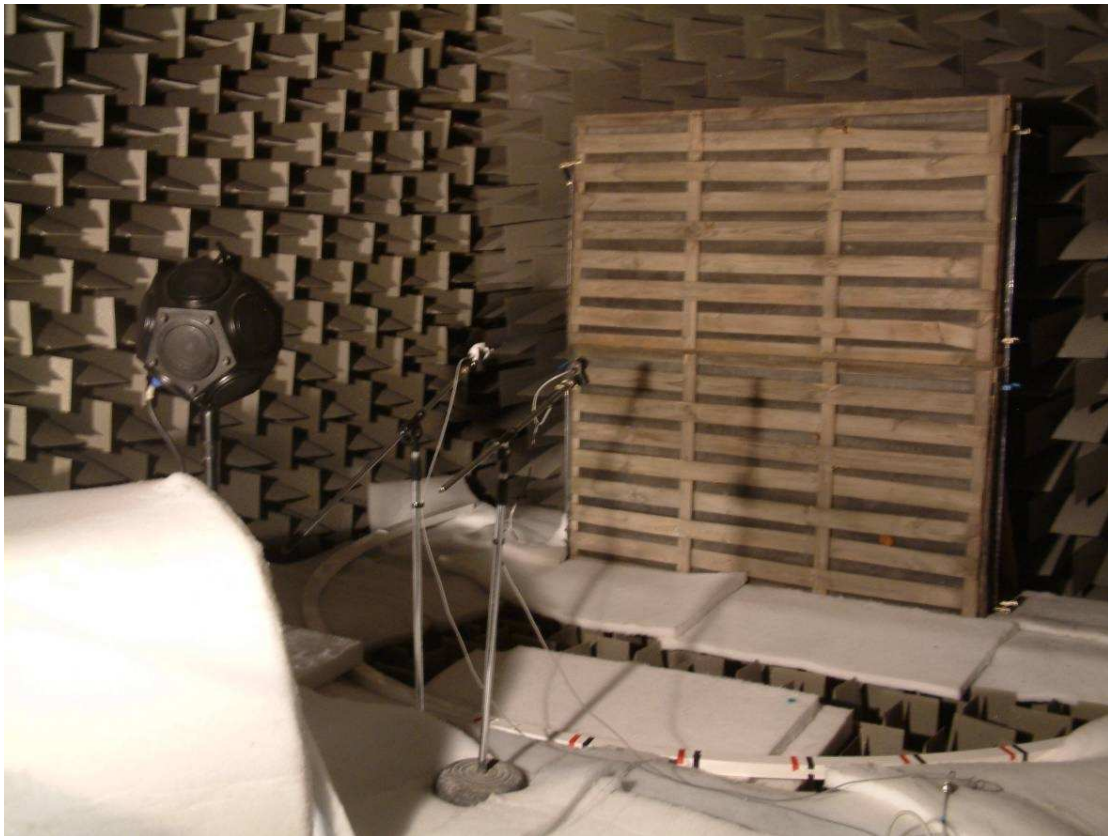


Figura.4. Barrera P1: Realizada madera y en su interior lana de roca, cámara aire. Profundidad= 14.5 cm



Figura.5. Barrera P2: Panel verde perforado. Profundidad= 13+7 cm



Figura.6. Barrera P3: Panel de rejilla con lana mineral en el interior. Profundidad= 7,5 cm



Figura.7. Barrera P4: Panel de material reciclado con borde metálico. Profundidad= 13+7 cm.



Figura.8. Barrera P5: Con material reciclado en forma de Zig-Zag. Width = 13 + 7 (cm)

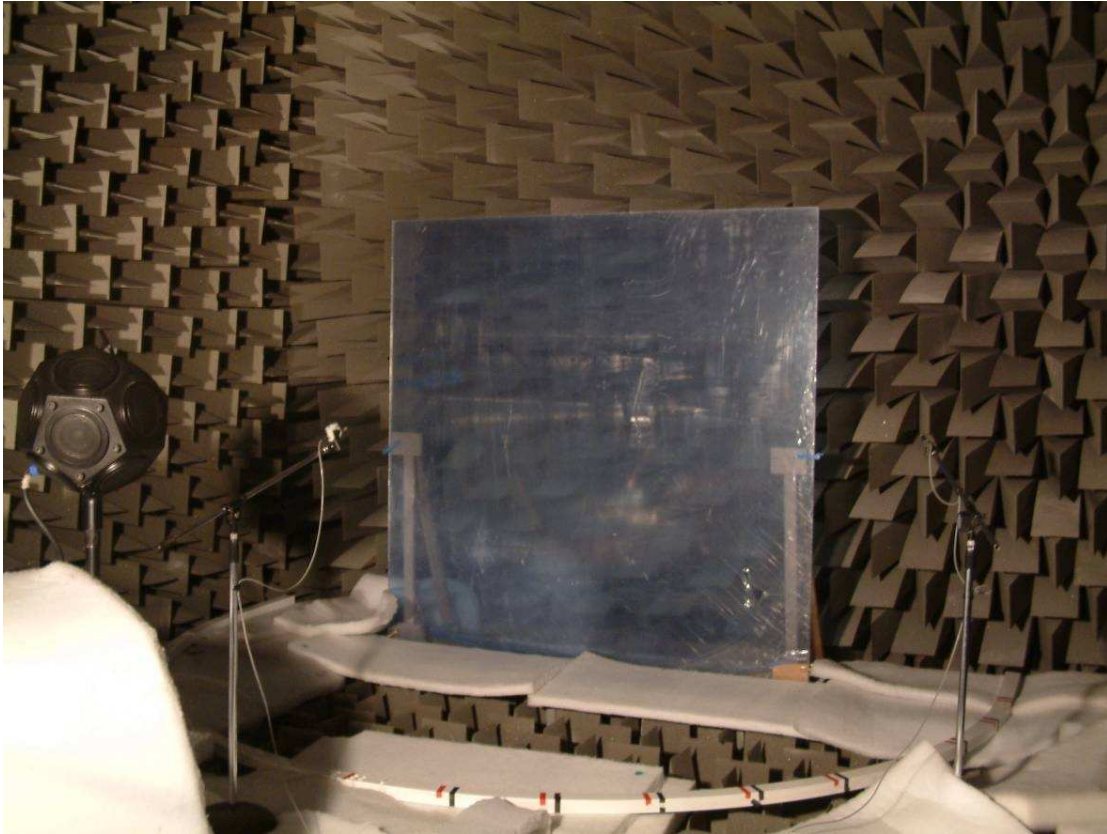


Figura.9. Barrera P6: Pantalla de metacrilato de referencia. Superficie = 2*2 (m²). Profundidad = 3 cm.

A continuación se estudian la absorción sonora y el índice de reflexión sonora de las pantallas descritas obteniendo los siguientes resultados.

3.2. CÁLCULO DE LA ABSORCIÓN.

El estudio de los coeficientes de absorción para las distintas barreras propuestas se calcula a partir el tiempo de reverberación calculado en cámara anecoica de acuerdo a la ISO 354. En la Figura 19 se representan los resultados obtenidos.

La barrera de madera (P1. Figura 4) es la que muestra un coeficiente de absorción menor al resto, con valores inferiores a 0.5 en todas sus bandas de frecuencia. El panel verde perforado (Barrera P2. Figura 5) presenta valores de 1 en medias frecuencias y valores más bajos en bajas y medias frecuencias. El panel con rejilla con lana mineral (Barrera P3. Figura 6) presenta una absorción alta en medias frecuencias, sobre 1,2. Las barreras que se basan en materiales reciclados plásticos P4 y P5 (Figuras 7 y 8 respectivamente), son las que presentan un alto coeficiente de absorción en el mayor rango de frecuencias.

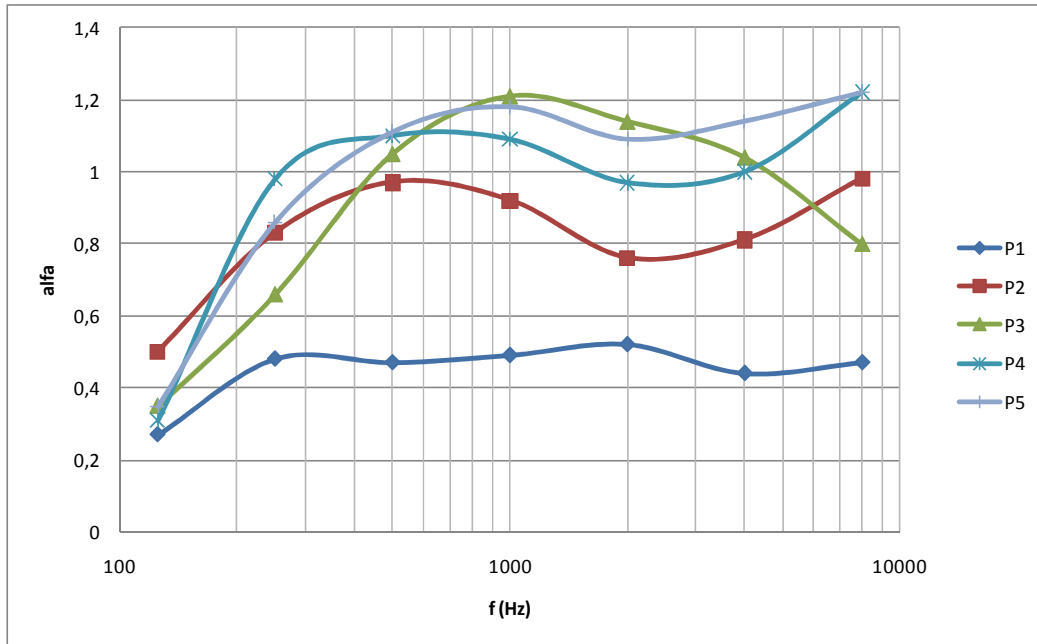


Figura 19. Representación de los coeficientes de absorción obtenidos para las barreras propuestas

3.3. CÁLCULO DE LA REFLEXIÓN SONORA.

El procedimiento de medida se basa en la obtención de la presión reflejada a partir de la presión incidente sobre la barrera a estudiar. Se emite desde una fuente dodecaédrica la señal de referencia descrita en el apartado 3. Un micrófono colocado a 1 m, en dirección perpendicular a la barrera, capta esta señal, véase figura 20. El nivel captado es el nivel de referencia. Desde el micrófono hasta la barrera hay una distancia de 2 m. El mismo micrófono capta la señal reflejada de la pantalla en la dirección perpendicular a la barrera (0°). Una vez obtenidas las señales temporales, a partir del análisis frecuencial correspondiente y las correcciones asociadas a la atenuación de onda en campo libre, se obtiene el índice de reflexión como el cociente para la frecuencia considerada, de la presión reflejada respecto a la incidente en el micrófono. Esta operación se repite en un semicírculo de radio 2 m, manteniendo un micrófono fijo y otro micrófono en la posición angular a considerar. Un ejemplo de señal registrada se puede ver en la figura 21.

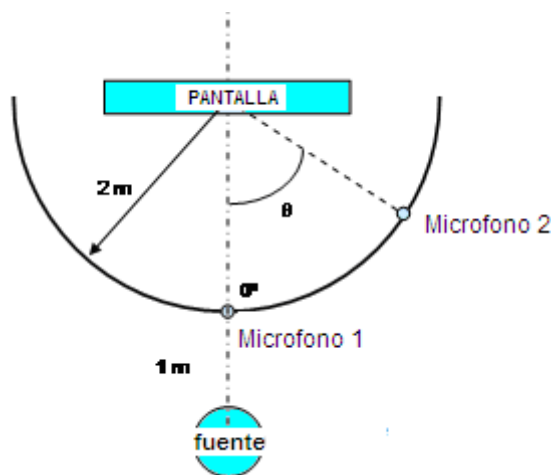


Fig. 20. Configuración de medida

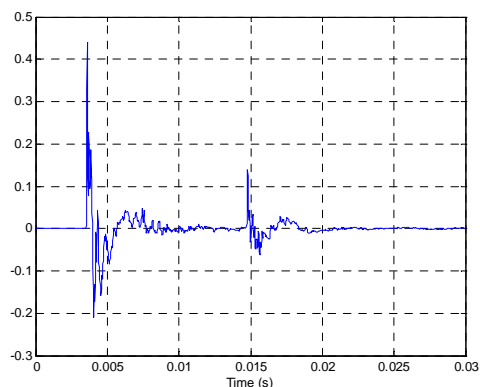


Fig. 21. Ejemplo de señal registrada

Tomando como referencia 25° C de temperatura, la velocidad de propagación del sonido en el aire es de 346 m/s, lo que se corresponde con 2.9 ms de tiempo para 1 m. La posición temporal de retorno de la reflexión es de 14.5 ms (5 m). Estos valores son claramente detectables en la figura anterior y marcan el comienzo de la señal de referencia y el comienzo de la señal proveniente de la reflexión. Combinando ambos procedimientos, se obtienen diagramas para el índice de reflexión como el de la Figura 22.

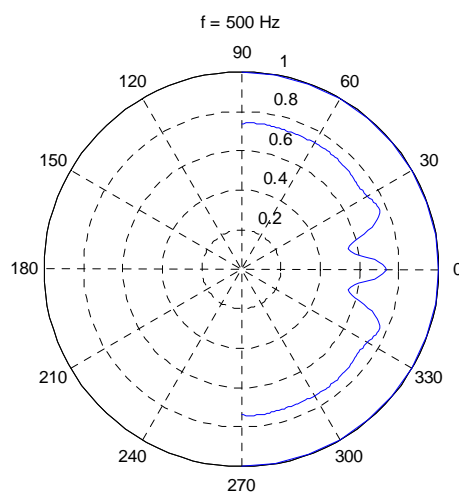


Figura 22. Diagrama del índice de reflexión

En nuestro caso se han elegido secuencias con periodo de 19.5 μ s, que permiten tener suficiente resolución en el rango de frecuencias válido.

Se muestran algunos de resultados obtenidos en el margen de validez de cada barrera, en función de su tamaño y limitación por condiciones de medida: señal de referencia, índice de reflexión en función del ángulo y en función de la frecuencia. En la Figura 10 se presentan la

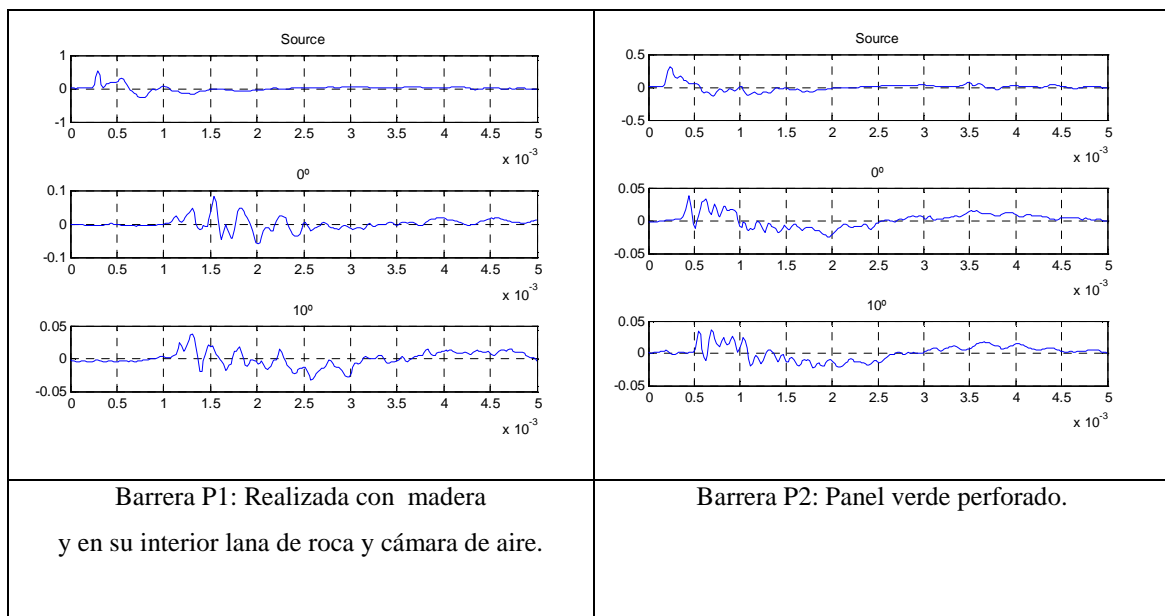
señal de referencia (Source), la señal a un ángulo de 0° y a 10° para cada una de las barreras. Se observa que las barreras de material reciclado con borde metálico (P4), y recubierta con material absorbente el borde metálico (Barrera P4), y la de material reciclado en forma de zig-zag (Barrera P5) la señal a 0° y 10° es menor si la comparamos con la señal captada por la barrera de madera.

En la Figura 11, se presentan las diferentes curvas del índice de reflexión a 250 Hz, 500 Hz y 1 kHz de cada una de las barreras estudiadas, se ha marcado una curva comparativa de índice de reflexión en función del ángulo para una frecuencia constante. Se observa que en el caso de utilizar materiales reciclados el índice de reflexión es menor para todo el rango de frecuencias estudiado, si se utilizan bordes metálicos o rejilla se aprecia que el índice de reflexión es más directivo.

En la figura 12 se muestra el índice de reflexión en función de la frecuencia considerando un ángulo constante de 10°. Se observa que el índice de reflexión es en general más bajo con diferencia en el caso de las pantallas formadas por material reciclado plástico (P4, P4B y P5) respecto al resto.

A continuación se muestran las figuras citadas donde se recopila toda la información asociada al ensayo, señales de referencia y diagramas de reflexión obtenidos.

Figura 10. Señal de referencia, fuente, a 0° y 10°.



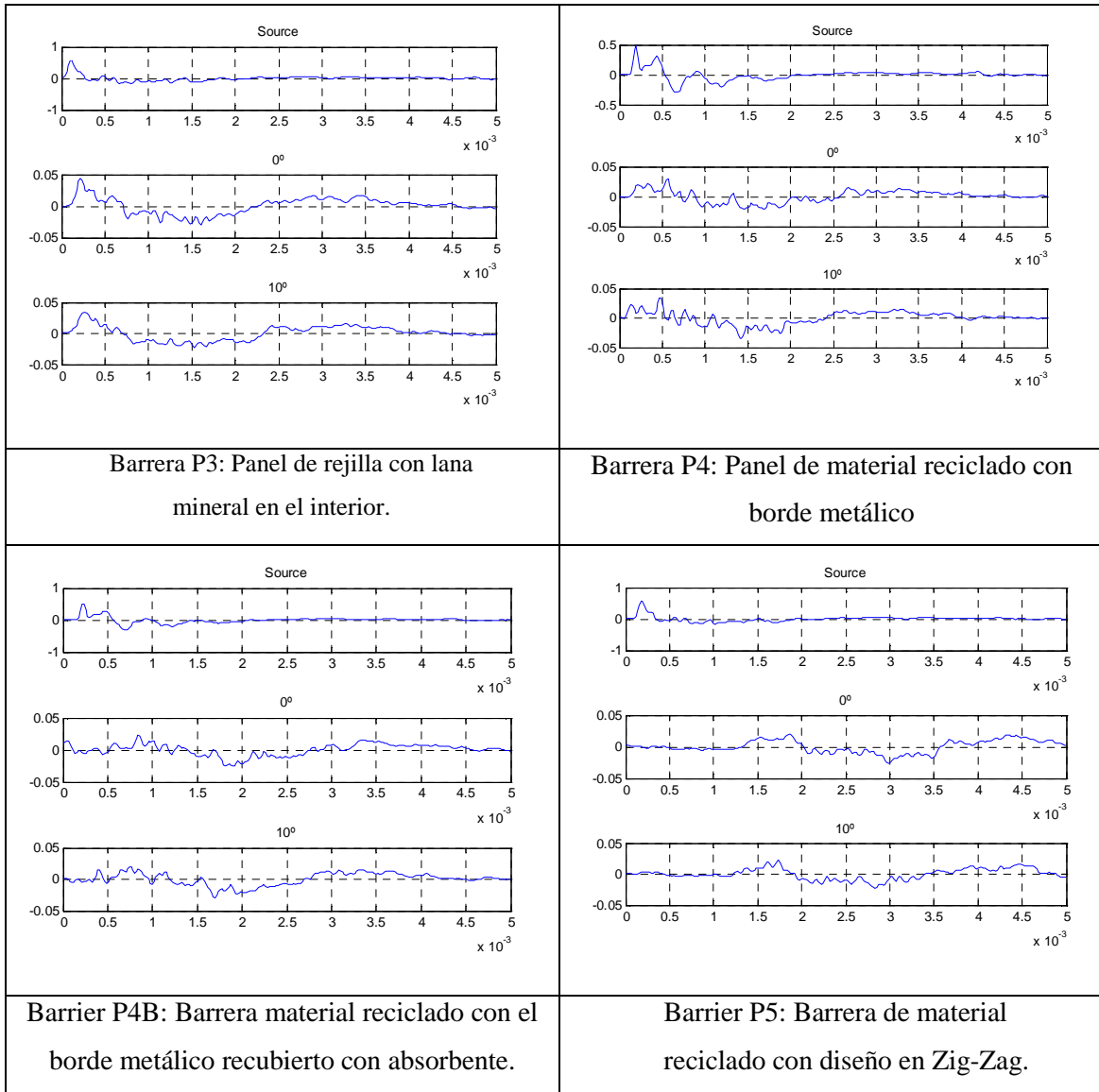
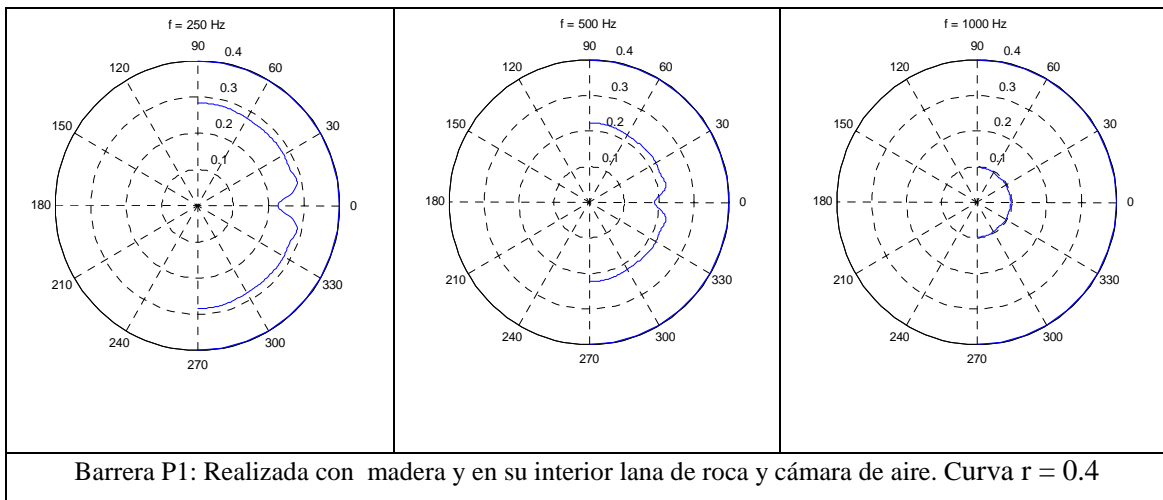
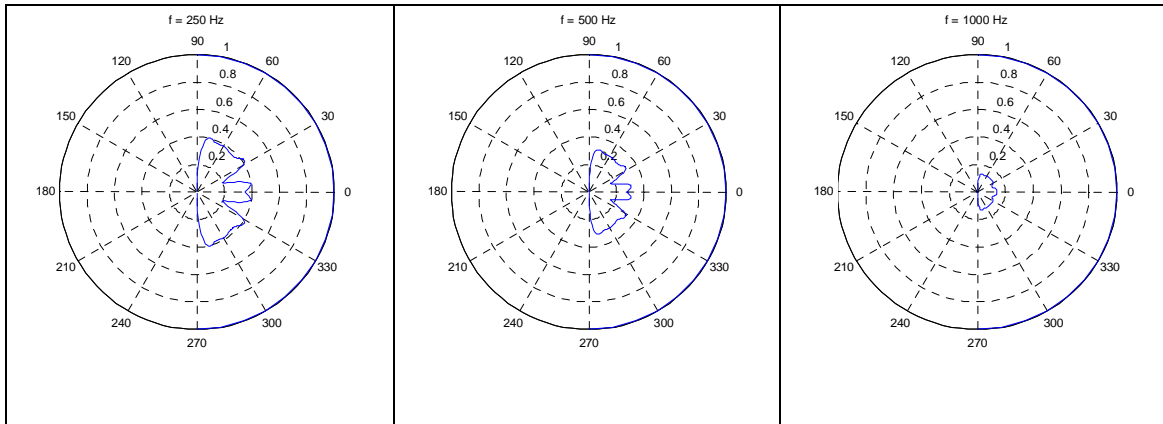
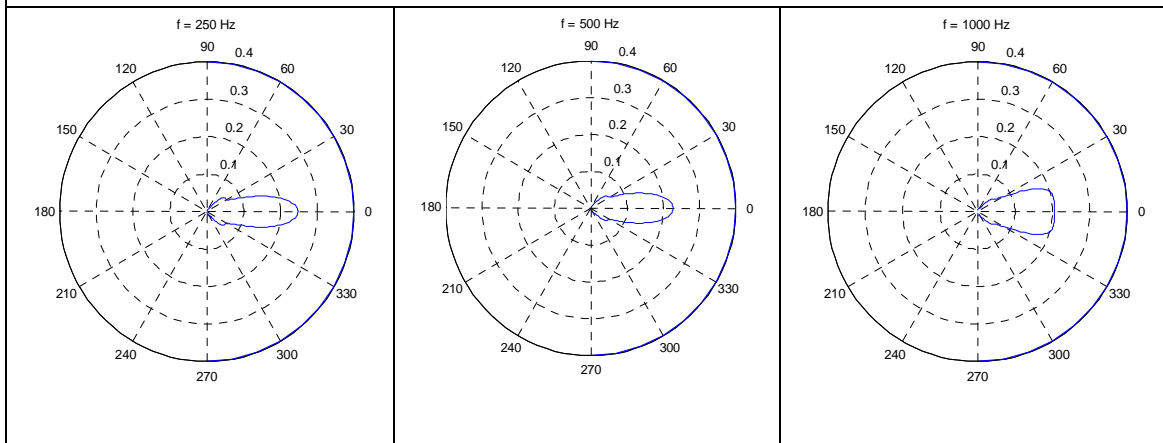


Figura 11. Índices de reflexión.

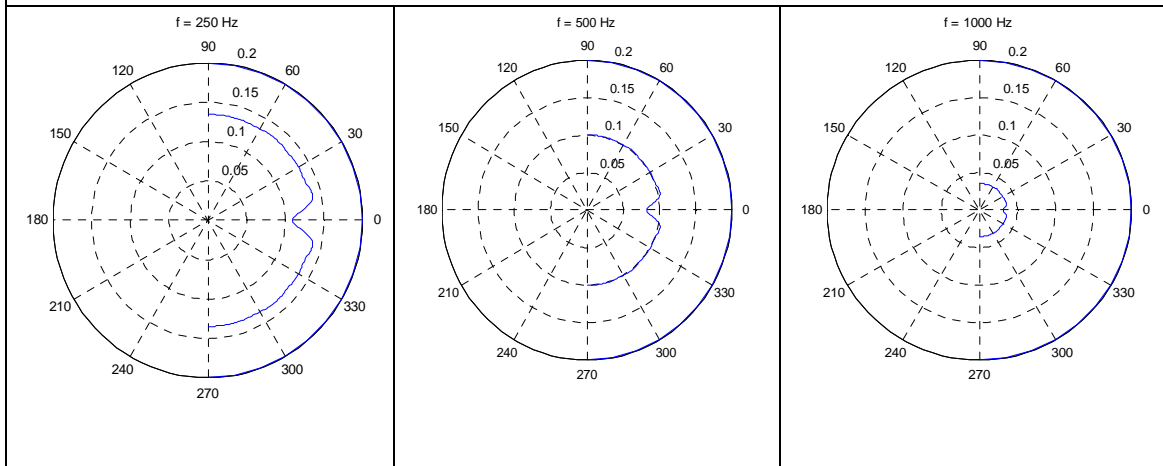




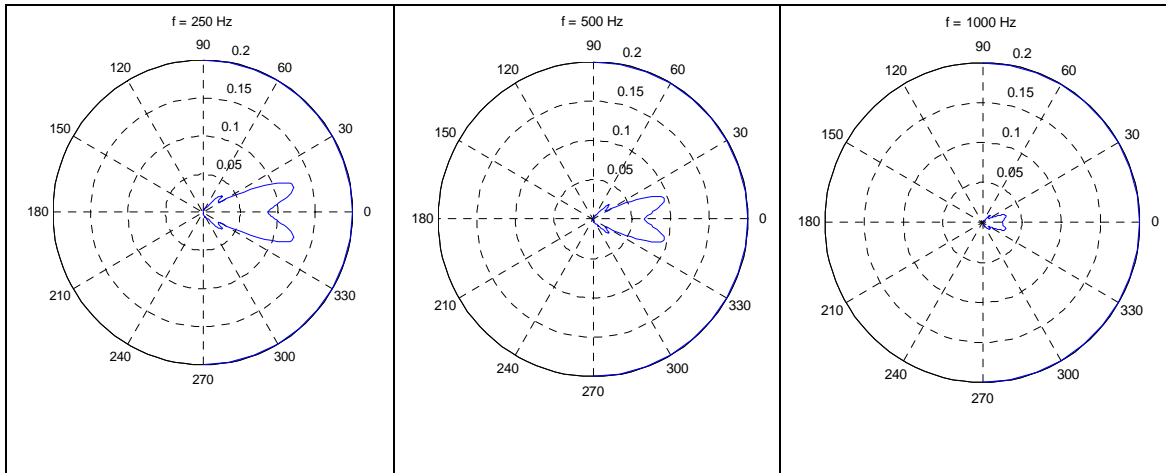
Barrera P2: Panel verde perforado. Curva $r = 1$



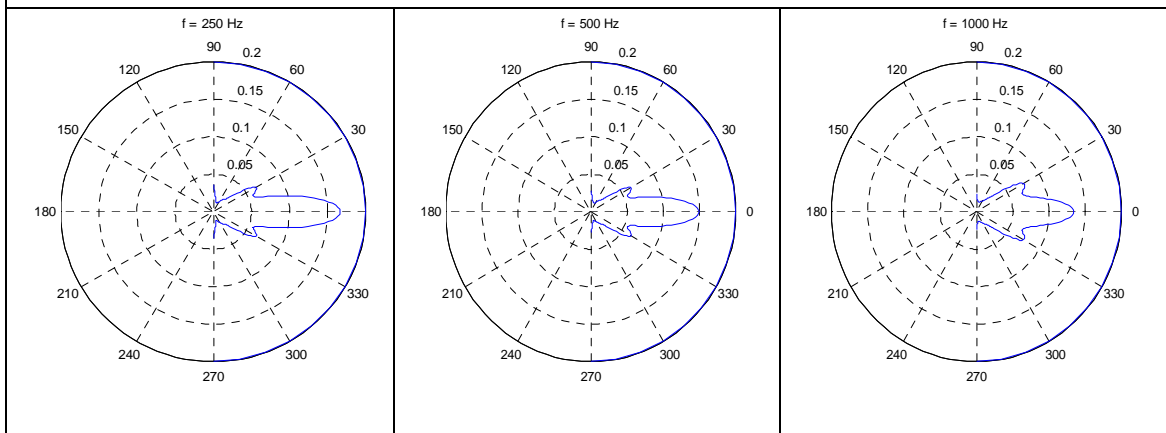
Barrera P3: Panel de rejilla con lana mineral en el interior. Curva $r = 0.4$



Barrera P4: Material reciclado con borde metálico. Curva $r = 0.2$

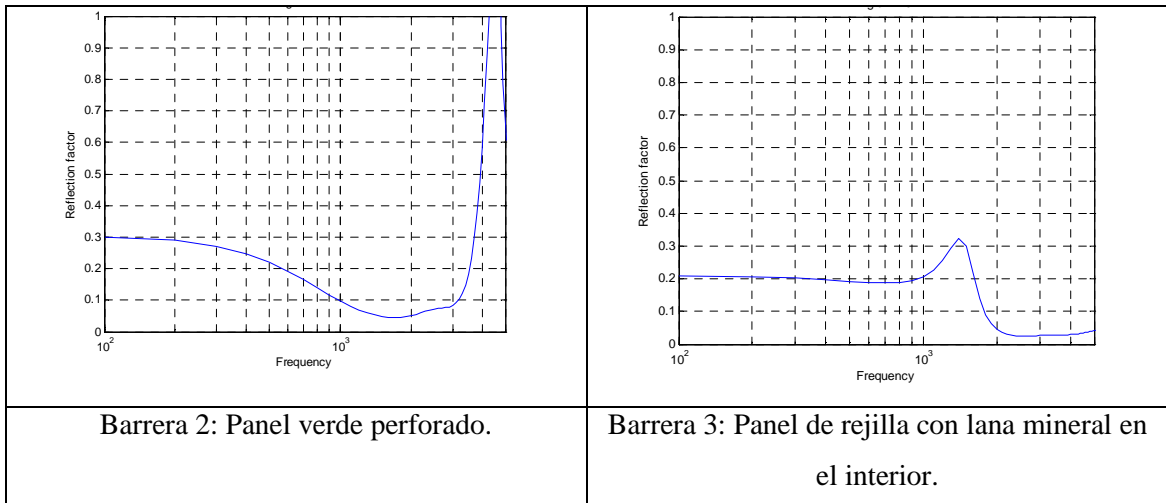


Barrera P4B: Material reciclado con el borde metálico recubierto con absorbente. Curva $r = 0.2$



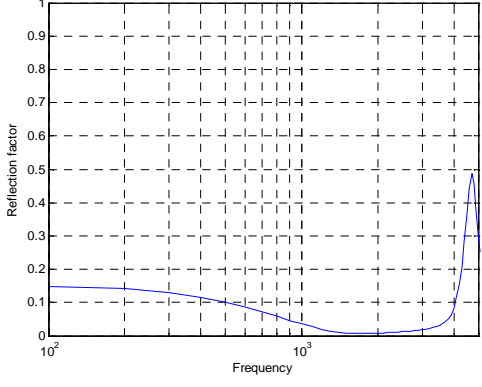
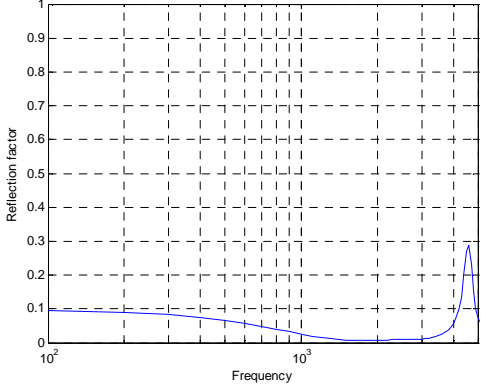
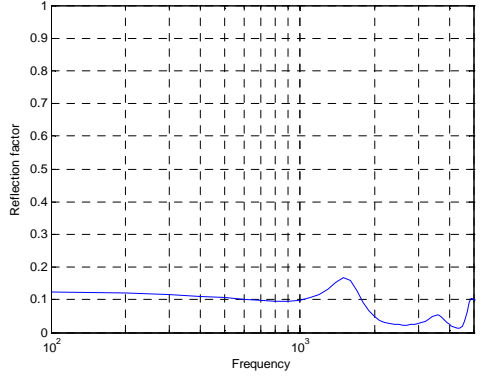
Barrera P5: Material reciclado en forma de Zig-Zag. Curva $r = 0.2$

Figura 12. Índices de reflexión en función de la frecuencia, $\alpha = \text{cte}$, 10°



Barrera 2: Panel verde perforado.

Barrera 3: Panel de rejilla con lana mineral en el interior.

	
<p>Barrera 4: Material reciclado con borde metálico</p>	<p>Barrera 4B: Material reciclado con el borde metálico recubierto con absorbente</p>
	
<p>Barrera 5: Material reciclado en forma de Zig-Zag</p>	

4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

4.1 CONCLUSIONES

Se ha determinado el índice de reflexión de diferentes barreras acústicas basadas en materiales reciclados plásticos y otros materiales en laboratorio, en función del ángulo de incidencia y en función de la frecuencia.

Respecto a la reflexión sonora, las barreras de material reciclado estudiadas, la barrera de material reciclado con borde metálico, la barrera de material reciclado con el borde metálico recubierto de absorbente, y la de material reciclado en forma de zig-zag, presentan un índice de reflexión sonora a 0° y 10° menor al resto de barreras estudiadas incluyendo la barrera de madera. Las barreras de materiales reciclados, presentan un índice de reflexión sonora menor respecto al resto para todo el rango de frecuencias estudiado, si se utilizan bordes metálicos o rejilla se aprecia que el índice de reflexión es más directivo. Si se examina la frecuencia de 500 Hz, central para ruido de tráfico, la barrera de material reciclado con el borde metálico cubierto de material absorbente y la pantalla de material reciclado con diseño en zig-zag son las que presentan un índice de reflexión más bajo.

Respecto a la absorción acústica, las pantallas que se basan en materiales reciclados plásticos, son las que presentan un coeficiente de absorción más alto en el mayor rango de frecuencias en torno a 1.

Por último destacar que esta técnica de medida del índice de reflexión en cámara anecoica permite obtener mucha más información acústica de las barreras, viendo el efecto no sólo de la absorción y las pérdidas por inserción, sino también de la difusión posible que pueda producir y con la ventaja de la medida en laboratorio.

4.2 LÍNEAS FUTURAS

1. Simulación numérica. Simular mediante Comsol el coeficiente de absorción de los paneles perforados para poder así realizar diferentes diseños y poder elegir el mejor sin la necesidad de tenerlos físicamente.

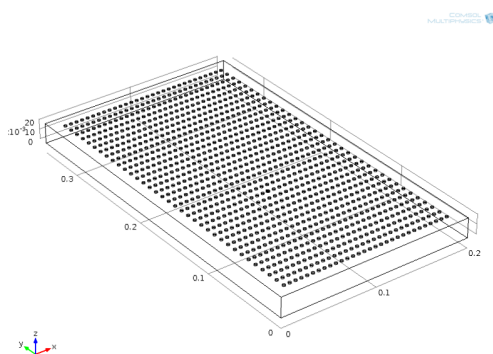


Fig.31. Detalle del panel perforado en Comsol

2. Estudio de nuevos materiales reciclados, con y sin bordes metálicos con el propósito de extraer las mejores configuraciones en relaciones calidad-precio-durabilidad.
3. Estudio de la durabilidad de las pantallas y la eficacia con el deterioro de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a La Universitat Politècnica de Valencia, a la que considero mi hogar y mi fuente de aprendizaje tanto en lo personal como a nivel formativo.

Debo agradecer también de manera especial a mis directores de tesis, Jesús Alba Fernández y Romina del Rey Tormos, por su generosidad y apoyo durante tantos años de estudio en materia de acústica. Grandes profesionales, mejores personas.

A todos los profesores del master por su dedicación y compromiso.

Y como no, a mi familia, a mis padres y hermana, a mi esposa e hijo, quienes con su ánimo y apoyo incondicional han permitido que finalice este trabajo.

Donde estés, va por ti papá.

REFERENCIAS

- [1] L. Sobotova , J. Jurkovicova, Z. Stefanikova, L. Sevcikova, L. Aghova, Community response to environmental noise and the impact on cardiovascular risk score, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 1264–1270
- [2] K. Paunović, B. Jakovljević, G. Belojević, Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets, *Science of the Total Environment* 407 (2009) 3707–3711
- [3] Jorge P. Arenas, Potential problems with environmental sound barriers when used in mitigating surface transportation noise, *science of the total environment* 405 (2008) 173 – 179
- [4] F. J. Fahy, D. G. Ramble, J. G. Walker, M. Sugiura, Development of a novel modular form of sound absorbent facing for traffic noise barriers, *Applied Acoustics*, 44 (1) (1995) 39-51
- [5] *Environmental Acoustics: analysis, legislation and solutions*, Spanish Acoustical Society, Ed. Sociedad Española de Acústica (SEA), 2009 ISBN: 978-84-87985-18-8
- [6] Watts GR., Effects of sound leakage through noise barriers on screening performance. *Proc Sixth Int Congress Sound Vibrat* (1999) 2501–8.
- [7] Rufin Makarewicz, Jan Jarz, Barrier attenuation of traffic noise, *Applied Acoustics*, 32 (1) (1991) 3-11
- [8] EN 1793-1, Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 1: Características intrínsecas relativas a la absorción sonora., 1997
- [9] EN 1793-2, Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 2: Características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo, 1997
- [10] EN 1793-3, Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 3: Espectro normalizado de ruido de tráfico., 1997
- [11] ISO 354:2003, Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room
- [12] ISO 140-3: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. ISO, Geneva. 1995.
- [13] EN 14388, Dispositivos de reducción de ruido de tráfico en carreteras. Especificaciones., 2005

- [14] EN 14388:2005/AC, Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Especificaciones., 2005
- [15] Committee for European Standardisation. CEN/TS 1793-5: Road traffic noise reducing devices: Test method for determining the acoustic performance. Part 5: Intrinsic characteristics. In situ values of sound reflection and airborne sound insulation. CEN, Brussels, 2003.
- [16] European Commission. Test methods for the acoustic performance of road traffic noise reducing devices, SMT Project MAT1CT94049 Adrienne. Final report 1-95/12-97, 1998
- [17] G. Watts, P. Morgan, The use of MLS based methods for characterising the effectiveness of noise barriers and absorptive road surfaces, INTERNOISE 2003, Korea
- [18] G. R. Watts, P. A. Morgan and M. Sorgan, “Assessment of noise barrier diffraction using an MLS technique”, Proceedings of the Institute of Acoustics Spring conference, Institute of Acoustics, St Albans (2002)
- [19] P. Cobo, M. Garai, J.S. Santiago, Reflection Loss measurements on flat and non-flat samples using MLS method with the subtraction technique, *Tecnicustica* 97, Oviedo, Spain, 1997
- [20] P. Cobo; C.Ranz. Cualificación in situ de dispositivos antirruido por el método Adrienne, *Tecnicustica* 1999,Ávila, Spain., 1999
- [21] Garai M, Guidorzi P. European methodology for testing the airborne sound insulation characteristics of noise barriers in situ: Experimental verification and comparison with laboratory data. *J Acoust Soc Am* 2000;108(3):1054–67.
- [22] Greg Watts , Phil Morgan, Measurement of airborne sound insulation of timber noise barriers: Comparison of in situ method CEN/TS 1793-5 with laboratory method EN 1793-2, *Applied Acoustics* 68 (2007) 421–436
- [23] Watts GR. In situ method for determining the transmission loss of noise barriers., *Appl Acoust* 51(4) (1997) 421–38.
- [24] Omoto A, Fujiwara K. A study of an actively controlled noise barrier. *J Acoust Soc Am* 94 (1993) 2173–80.
- [25] Omoto A, Takashima K, Fujiwara K., Active suppression of sound diffracted by a barrier: an outdoor experiment, *J Acoust Soc Am* 102 (1997) 1671–9.
- [26] Ning Han, Xiaojun Qiu, A study of sound intensity control for active noise barriers, *Applied Acoustics* 68 (2007) 1297–1306
- [27] ISO 11654:1997, Acoustics. Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption

[28] ASTM C423 - 09 Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method

[29] M. R. Schroeder, .New Method for Measuring Reverberation Time., Journal of the Acoustical Society of America (1965), 409-412.

[30] M.R.Schroeder, Integrated impulse method measuring sound decay without using impulses, Acoustical Society of America 1979

[31] T.A. Busch*, R.E. Nugent, , A reduced-scale railwaynoise barrier’s insertion loss and absorption coefficients: comparison of field measurements and predictions, Journal of Sound and Vibration 267 (2003) 749–759

ANEXOS

ANEXO 1

Traducción literal de inglés al español de la norma cen/ts 1793-5:2003

1. Alcance del documento.

El presente documento describe un método de test para medir los valores relacionados intrínsecamente con las pantallas acústicas: el índice de reflexión del sonido y el índice de aislamiento a ruido aéreo.

El método de test empleado pretende solventar temas tales como:

- Determinar de las características intrínsecas de la reflexión del sonido u del aislamiento a ruido aéreo de dispositivos instalados a lo largo de las carreteras, tanto medidos 'in situ' como en laboratorio.
- Determinar las características intrínsecas de la reflexión del sonido y el aislamiento a ruido aéreo en pantallas acústicas instaladas actualmente.
- Comparativa de las especificaciones de diseño acorde a su rendimiento con la de los nuevos diseños construidos.
- Verificación del rendimiento de dispositivos instalados a largo plazo, por el método de repetitividad de las medidas en el tiempo.

El método de test puede ser aplicado para medir tanto dispositivos 'in situ' como para la caracterización de nuevas pantallas. En el segundo caso la muestra debería ser construida de la siguiente manera:

- Una parte, compuesta de elementos acústicos, con dimensiones de 4m por 4m de alto.
- Un poste de 4m de alto.
- Una parte, compuesta de elementos acústicos, con dimensiones de 2m por 4 metros de alto.

NOTE: Para determinar el índice de reflexión del sonido solamente, es necesario tener elementos acústicos que se extiendan 4 metros o más.

NOTE: Para determinar el índice de aislamiento a ruido aéreo sólo, se necesita únicamente tener elementos que se extiendan dos metros a cada lado del poste.

Los resultados se expresan en función de la frecuencia, en bandas de un tercio de octava desde 100Hz a 5 KHz. Si no es posible obtener resultados válidos en todo el rango señalado, se reflejarán en el rango más oportuno y se justificará debidamente el resultado obtenido.

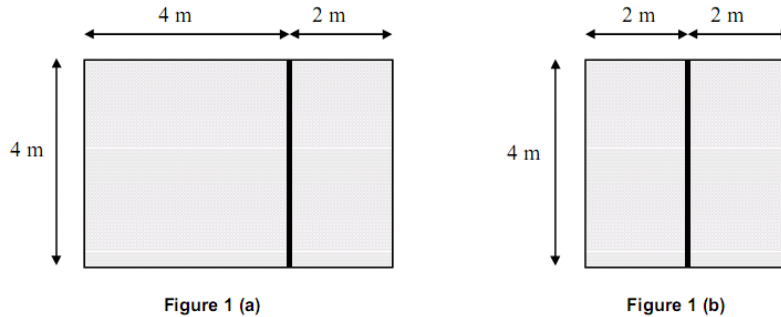


Figure 1 — Sketch of the sample required for measurements in laboratory conditions - (a) : Reflection index and sound insulation index measurements (elements and posts) - (b) : sound insulation index measurements in front of a post only

2. Normativas de referencia.

Como toda normativa tiene referencia fundadas y no fundadas a otras normas. Si tenemos que marcar dos normas, que son de especial referencia, estas son:

EN 1793-3 Dispositivos de reducción de l ruido de tráfico. Método de test para obtener el rendimiento acústico. Parte 3: Espectro normalizado del ruido de trafico.

EN 60651. Sonómetros.

3. Términos y definiciones.

Se aplican en el siguiente documento los siguientes términos y definiciones. La comprensión de estos facilita la asimilación de la norma:

3.1 Elementos estructurales

Aquellos elementos cuya función principal es soportar y fijar las pantallas acústicas.

3.2 Elementos acústicos

Son aquellos elementos que proporcionan rendimiento acústico al dispositivo.

3.3 Exposición en el borde de la carretera

El uso de este producto es de reducción de sonido en carreteras.

3.4 Índice de reflexión

Resultado del test de reflexión descrito en la formula (1).

3.5 Altura de referencia

La altura h_S es igual a la mitad de h_B del dispositivo reductor de ruido bajo test: $h_S=h_B/2$ (Ver figura 2)

3.6 Referencia entre el eje de rotación frontal y la distancia de los altavoces

Distancia entre el centro de rotación del altavoz y el frontal del panel: es igual a $d_{RS}=0,15$ m. (Ver figura 2)

NOTE: Las actuales dimensiones del altavoz usado en el ensayo de estas Especificaciones Técnicas son: 0,40 x 0,285 x 0,285 m (length x width x height).

3.7 Referencia distancia micrófono altavoz

Distancia entre el panel frontal de el altavoz y el microfono; esto es igual a : $d_{SM}=1,25$ m (ver figura 2)

3.8 Referencia círculo para medidas del índice de reflexión

Círculo de radio igual 1,65 m ($=d_{RS} + d_{SM} + d_M$) con centro en la altura de referencia, se dibuja de forma que este toca justo la zona de reducción de ruido bajo test). El centro del círculo se encuentra en el eje de rotación de la fuente de sonido (ver figura 2).

3.9 Referencia de la posición del micrófono para medidas del índice de reflexión

Punto donde el micrófono se emplaza cuando altavoz y micrófono están dispuestos perpendicularmente a la pantalla acústica y a la referencia de altura (ver figura 2), y tan lejos como sea posible de los bordes de la muestra; Pueden plantearse medidas adicionales para muestras no homogéneas o no planas. (ver 4.5.2.2 y 4.5.2.3)

3.10 Rotación del montaje altavoz-micrófono.

Relación de 9 posiciones de medida, incluyendo la posición de referencia, rotando el montaje altavoz-micrófono, alrededor del eje de rotación R (Ver figura 2), en el mismo plano en pasos de 10°. (Figura 4.a, 5, 6).

3.11 Medidas en campo libre del índice de reflexión

Medidas tomadas por movimiento o rotación del montaje altavoz-micrófono con el objetivo de evitar hacer frente a algún objeto cercano, incluido el suelo.

3.12 Máxima área de muestra

Área de superficie, proyectada en la vista frontral de la pantalla acústica bajo test de medida del índice de reflexión, el cual debe permanecer libre de objetos reflectantes susceptibles de aportar reflexiones parásitas.

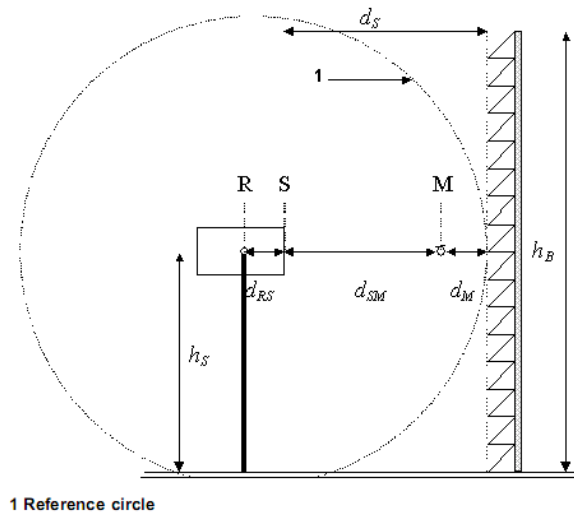


Figure 2 — (not to scale) Sketch of the loudspeaker-microphone assembly in front of the noise reducing device under test for reflection index measurements - R : axis of rotation. S : loudspeaker front panel. M : microphone

13

Figura 1

3.13 Índice de aislamiento de ruido

Resultado del test de aislamiento a ruido aéreo descrito en la fórmula (7).

3.14 Medida mediante mallado del índice aislamiento del ruido.

Medidas en una malla vertical compuesta de 9 puntos equiespaciados. Este grid de medidas debe ser cuadrado, con caras de 0,8 m. El centro de la malla debe estar situado a la altura de referencia.

3.15 Posición de la fuente de referencia para medidas de aislamiento de sonido.

-No proceden esta tesina.

3.16 Medidas en campo libre del índice de aislamiento a ruido aéreo

Medidas obtenidas por desplazamiento del altavoz y el micrófono en campo libre con el objetivo de evitar coincidir con algún objeto cercano, incluido el suelo. (Figura 13.b)

3.17 Ventana temporal de Adrienne

Ventana temporal compuesta descrita en 4.4.5.

3.18 Ruido de fondo.

Ruido proveniente de otras fuentes diferentes a la fuente de test.

3.19 Relación señal/ruido

Diferencia en dB entre la señal de test y el ruido de fondo en el momento útil del ensayo (dentro de la Ventana temporal de Adrienne).

3.20 Respuesta al impulso

Señal obtenida a la salida cuando una señal Delta de Dirac es aplicada a la entrada. La función de Dirac, también llamada DELTA de Dirac, es la idealización matemática de una señal infinitamente corta que lleva asociada una unidad de energía “1”.

4. Medidas del índice de reflexión

4.1 Propósito general

La fuente emite un sonido transitorio que viaja pasando la posición de micrófono hasta incidir en el objeto a medir donde refleja la onda. Ver figura 4.a, 5, 6). El micrófono emplazado entre la fuente de sonido y el dispositivo bajo test recibe ambos sonidos, directo y reflejado, incluyendo la dispersión. El espectro de potencia de los sonidos directo y reflejado corregido para tener en cuenta los recorridos de ambas señales, es la base para el cálculo del índice de reflexión.

La medida debe llevarse a cabo en un campo libre de reflexiones en los alrededores del dispositivo. Es decir no queremos recibir señales reflejadas más allá de las propias de la pantalla que estamos estudiando. Por esta razón, La adquisición de una respuesta al impulso debe tener los picos tan pronunciados como sea posible, siendo identificables el resto de reflexiones por el tiempo de retardo y su amplitud.

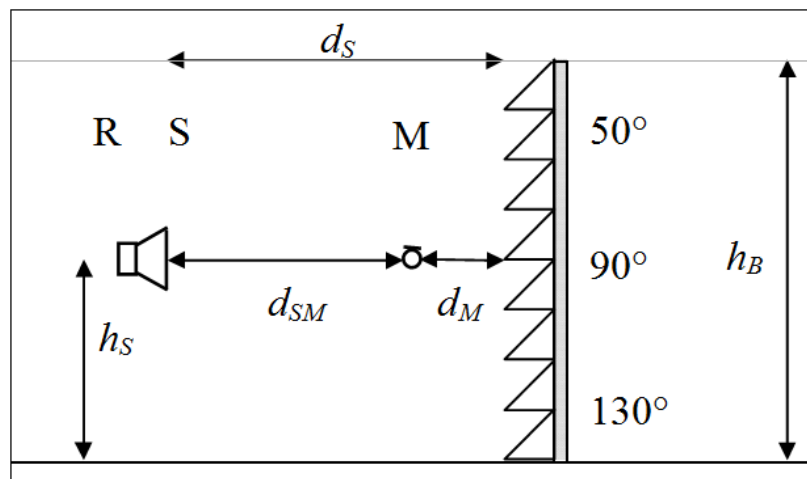


Figure 4 (a)

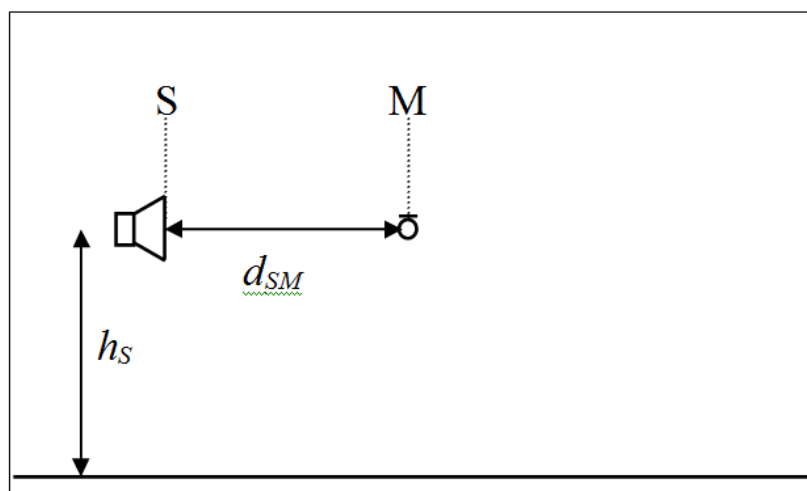


Figure 4 (b)

Figure 4.- Representa el set necesario para obtener medidas del índice de reflexión (ejemplo para rotación del eje vertical) – R: Eje de rotación. – S: Altavoz enfrentado al panel. – M: Micrófono – (a): Medidas del sonido reflejado entre los 50° y los 130° en pasos de 10° en el mismo plano de rotación, enfrente de un dispositivo de reducción de ruido NO plano (La pantalla).. (b): Referencias de la medición del sonido en libre.

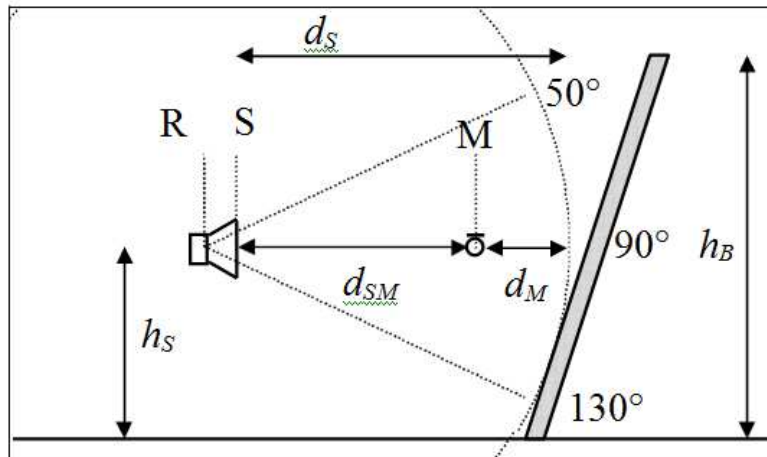


Figure 5 (a)

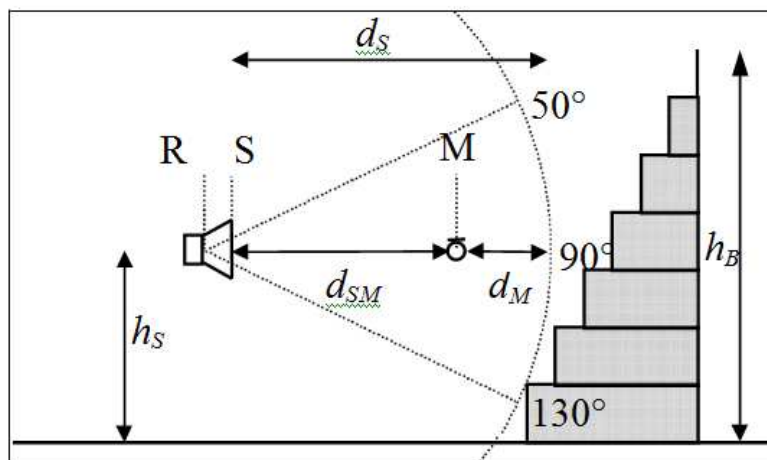


Figure 5 (b)

Figure 5 – Representación del ensayo de medida del índice de reflexión (ejemplo para el eje de rotación vertical). Eje de rotación – S: Altavoz enfrentado al panel. – M: Micrófono – (a): Medida del sonido reflejado desde 50° a 130° en el mismo plano de rotación en pasos de 10° , para un plano de flexión inclinado. - (b): Medida del sonido reflejado, desde 50° a 130° en pasos de 10° , para medición sobre un panel no plano e inclinado.

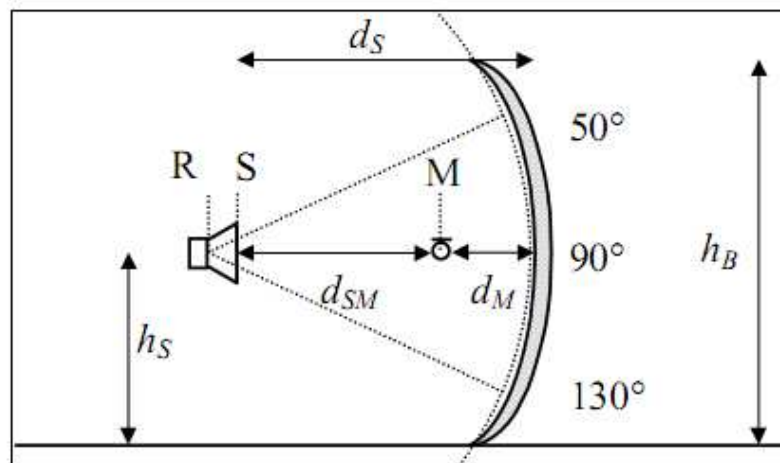


Figure 6 (a)

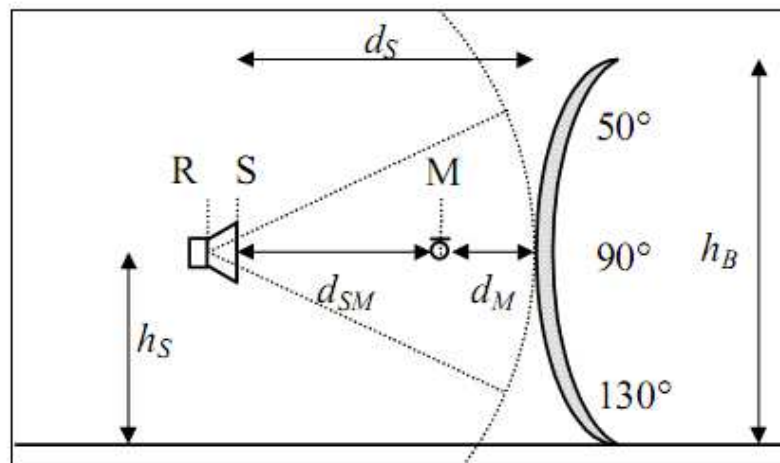


Figure 6 (b)

Figure 6 – Representación del ensayo de medida del índice de reflexión (ejemplo para el eje de rotación vertical). Eje de rotación – S: Altavoz enfrenteado al panel. – M: Micrófono – (a): Medida del sonido reflejado desde 50° a 130° en el mismo plano de rotación en pasos de 10°, para un plano de reflexión cóncavo. - (b): Medida del sonido reflejado, desde 50° a 130° en pasos de 10°, para medición sobre un panel convexo.

4.2 Cantidad medida

La expresión usada para calcular la medida del índice de reflexión RI en función de la frecuencia en bandas de un tercio de octava, es:

$$RI_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \frac{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_{r,k}(t) \cdot w_r(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_i(t) \cdot w_i(t)]|^2 df}$$

donde:

$h_i(t)$ es la componente de incidencia en campo libre de la respuesta al impulso.

$h_{rk}(t)$ es la componente de reflexión de la respuesta al impulso k-th angle.

$w_i(t)$ es la componente en campo libre para una ventana temporal tipo Adrienne.

$w_r(t)$ es la componente reflejada dentro de la citada ventana.

F es el símbolo de la Transformada de Fourier.

j es el índice de las bandas de frecuencia de 1/3 de octava (entre 100Hz y 5 KHz)

Δf_j es el ancho de los incrementos de bandas de tercio de octava.

n_j es el número de ángulos en cual se promedia ($n \leq 9$ para rotación; ver 4.5.2 y Tabla 1).

T es el tiempo en el cual se adquiere la respuesta al impulso en el origen para la serie de medidas.

NOTE: Las reflexiones desde diferentes partes de la superficie bajo test llegan al micrófono en diferentes intervalos de tiempo, dependiendo de la trayectoria que adoptan desde el altavoz a las diferentes partes de la superficie y su camino de regreso. La trayectoria más larga desde el altavoz a cada parte de la superficie en concreto y su regreso suponen el retraso temporal mas elevado. Como consecuencia de esto, las ondas de sonido captadas por el micrófono son atenuadas de manera inversamente proporcional al tiempo de retraso que sufren. Para poder compensar este efecto, la variable t es incluida en el numerador y denominador de la fórmula (1).

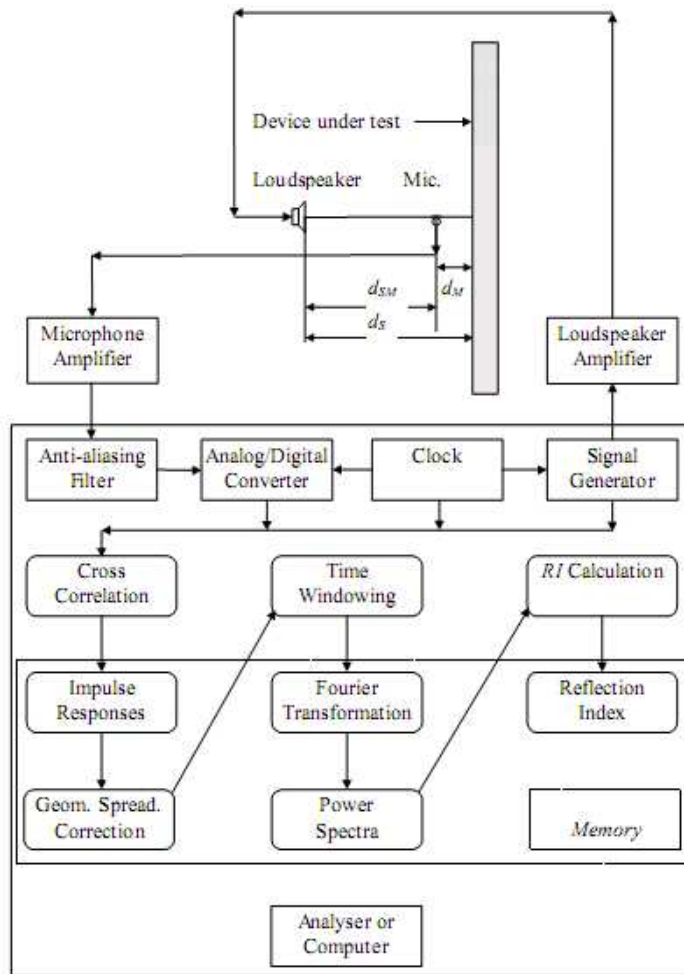


Figura 7. El dibujo representa los bloques básicos del sistema de medida.

4.3 Sistema de medida.

4.3.1 Componentes del sistema de medidas.

El sistema de medida comprenderá: un sistema electro-acústico, basado en un generador eléctrico de señales, un amplificador de potencia y un altavoz, un micrófono con su amplificación y un analizador de señales capaz de realizar transformaciones entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia.

NOTA Parte de estos dispositivos pueden ser integrados en un único analizador de frecuencia o en un ordenador equipado con los diferentes módulos de procesado.

En la figura 7 se puede observar con detalle el diagrama de bloques de funcionalidad del sistema.

El sistema de medidas, en su totalidad cumplirá con las especificaciones de instrumental tipo 1 de acuerdo la EN 60651, excepto el micrófono que podrá ser de tipo 1 y de ½ pulgada como máximo.

NOTA El procedimiento de medida que se describe esta definido en los rangos de potencia determinados extraídos de las muestras de respuesta al impulso siempre con el mismo instrumental, en el mismo escenario y bajo unas mismas condiciones que implican un periodo de tiempo que admita las mínimas variaciones. De otro lado, no es necesaria una precisión muy elevada. No es necesaria una extremada precisión en las medidas. Se mantiene por tanto el instrumental de Tipo 1 por compatibilidad con los otros estándares o normas europeas. El micrófono debería ser tan grande o pesado de modo que no sufra desplazamientos respecto al altavoz: la técnica de obtención de la señal requiere que altavoz y micrófono mantengan una alineación estricta y constante en todo el proceso de medida. Es difícil encontrar en el mercado micrófonos que cumplan el requisito anterior de ahí que este permitido el uso de micros tipo 2.

4.3.2 Fuente de sonido.

La fuente de sonido electro-acústica reunirá las siguientes características:

- Disponer un sencillo altavoz emisor.
- Debe estar fabricado de manera que permita una buena respuesta en baja frecuencia.
- Estará fabricado sin incluir componentes activos o pasivos (por ejemplo filtros crossover) los cuales pueden afectar ala respuesta de la totalidad del sistema.
- Tendrá una respuesta en frecuencia suave, es decir sin irregularidades en el rango de frecuencia de interés, obteniendo resultados de la respuesta al impulso no superiores a 3ms.

NOTA Como los índices de reflexión calculados desde las rangos de energía propuestos se obtienen para un montaje fijo entre altavoz-micrófono y en un corto periodo de tiempo, bastará con seguir las indicaciones propuestas arriba para obtener un resultado óptimo.

4.3.3 Analizador de señal.

La fuente electro-acústica se alimentará de una entrada eléctrica basada en una señal MLS (Ver anexo A). Debe admitir al menos 16 promedios. (Ver 4.8.h.)

NOTA Esta especificación técnica recomienda el uso de señal MLS para realizar el test ensayo. Sin embargo podría utilizarse alguna otra señal obteniendo idénticos resultados. Esto significa que debe quedar claramente demostrado que:

- La generación del ensayo es determinístico y claramente repetitivo.
- Las respuestas al impuso son muestreadas con precisión (sin distorsiones) en la totalidad del rango frecuencial de interés (100Hz a 5KHz en bandas de1/3 de octava);

- El ensayo mantiene una buena inmunidad al ruido de fondo, i.e. la S/N efectiva puede ser más alto de 10 dB en el rango frecuencial de interés dentro de un corto espacio de tiempo (no más de 5 minutos por respuesta al impulso):
- El rango de muestreo puede ser elegido lo suficientemente alto para una precisa corrección de los periodos de las respuestas al impulso entre la medida enfrente de la muestra y la medida en campo libre debido a los cambios de temperatura en periodos de tiempo largos (Ver 4.2.2);
- El equipo de test será de uso sencillo, i.e. debe alimentar a la fuente solo con equipos disponibles en el mercado.

4.4 Procesador de datos.

4.4.1. Calibrado.

El procedimiento de medida aquí descrito se basa en rangos del espectro de frecuencia desde respuestas al impulso obtenidas siempre con el mismo equipo, en el mismo emplazamiento y en idénticas condiciones del entorno. Por ese motivo, un perfecto y absoluto calibrado de todo el sistema se hace innecesario. Obviamente, si es necesario comprobar que todos los componentes del sistema funcionan normalmente antes y después de las medidas.

4.4.2. Frecuencia de muestreo.

La frecuencia a la cual la respuesta del micrófono debe ser óptima depende de la frecuencia máxima exigida en el rango de interés y del tipo y características específicas del filtro anti-aliasing. La frecuencia de muestreo debe ser superior a 43 KHz.

NOTA Aunque la señal esté ya claramente definida cuando encontremos se encuentra el criterio de Nyquist, si la frecuencia de muestreo es la mas alta se facilitará una clara reproducción de la señal. Este documento prescribe el uso de la técnica de sustracción de la señal (Ver 4.4.4), lo cual implica el conocimiento previo de la forma de onda de la señal. De este modo, con la frecuencia de muestre prescrita se detectarán los errores más fácilmente, tales como los debidos a los intervalos de tiempo obtenidos en la respuesta al impulso entre la medida en frente de la muestra y la medida en campo libre causados por cambios de temperatura.

La frecuencia de muestreo debería ser igual a la frecuencia de reloj de generador de señal.

La frecuencia de corte del filtro anti-aliasing, f_{co} , debe tener un valor:

$$f_{co} \leq f_s$$

donde $k=1/3$ para filtros de Chebyshev y $k=1/4$ para filtros de Butterworth y Bessel.

Para cada medida, la frecuencia de muestreo, el tipo y características del filtro anti-aliasing empleado deben estar claramente detallados en el informe del ensayo.

4.4.3 Ruido de fondo.

La relación señal ruido S/N, teniendo en cuenta el promedio de muestras, debe ser mayor de 10 dB para todo el rango de frecuencias de medida.

NOTA: Las técnicas de detección de la coherencia, tal como la correlación cruzada MLS, proporcionarán elevados ratios de la S/N (Ver anexo A).

4.4.4. Técnica de sustracción de la señal.

Una vez posicionados altavoz y micrófono de acuerdo al montaje descrito en el punto 3.9, la respuesta al impulso total tiene que ser medida.

Esto consiste en una componente directa, la señal reflejada desde la superficie bajo test y las reflexiones espúreas (Figura 8.a). La componente directa y la reflejada deben poder ser separadas.

Esta Especificación Técnica requiere que esta separación se realice mediante técnicas de sustracción de la señal: la componente reflejada se obtendrá por sustracción de la respuesta al impulso total restándole una señal idéntica la original. (Figuras 8.c y 8.d). Esto significa que el sonido directo debe ser perfectamente conocido así como su amplitud y su tiempo de retardo. Esto se puede obtener por la realización de una medida en campo libre utilizando la misma configuración geométrica de altavoz y micro. Es necesario que se conserve el posicionamiento entre ambos estrictamente constante. Este requisito se puede obtener usando una conexión fija y estable entre la fuente y el micro. La componente directa se extrae desde la medida en campo libre (Figura 8.b).

Esta técnica permite ampliar el tiempo del enventanado, permitiendo así un límite bajísimo de frecuencia en el rango de frecuencia propuesto, cuando tenemos largos recorridos entre altavoz, micrófono y dispositivo bajo test.

El principio de la técnica de sustracción de la señal está esquemáticamente ilustrada en la figura 8.

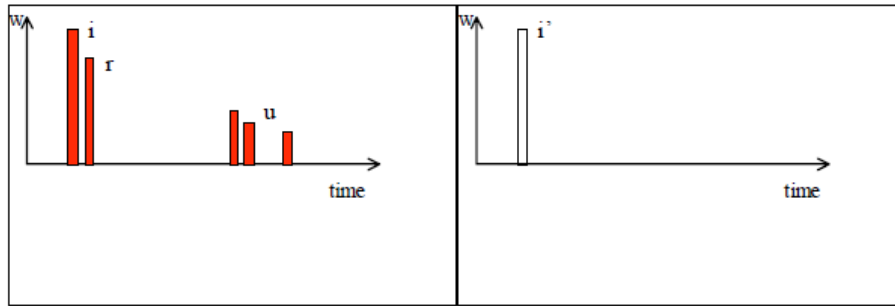


Figure 8 (a)

Figure 8 (b)

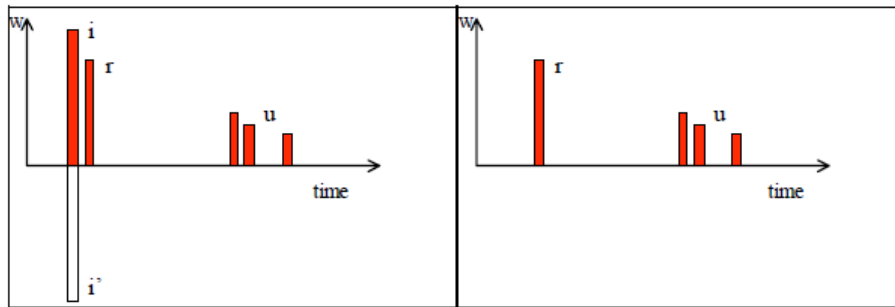


Figure 8 (c)

Figure 8 (d)

Figura 8 – Principio de la técnica de sustracción de la señal – (a): La respuesta al impulso total incluye: la componente incidente directa (i), la componente reflejada (r), las componentes parásitas no deseadas (u) – (b): La componente directa en campo libre (i') – (c): La cancelación de la componente directa desde la respuesta al impulso total usando la componente directa en campo libre (i') – (d) : Resultado

La medida debe tener lugar en un plano sonoro libre de reflexiones procedentes de otros objetos que no sean el dispositivo bajo test. Sin embargo, el uso del enventanado temporal cancela las reflexiones después de un determinado tiempo de retardo, eliminando aquellas que se producen a cierta distancia.

4.4.5 Ventana temporal Adrienne.

Para el propósito de esta Especificación Técnica, las operaciones de enventanado en el dominio del tiempo deberían realizarse usando una ventana temporal, con las siguientes especificaciones (Ver figura 9):

- La forma del ataque es como la mitad izquierda de Blackman-Harris y tiene una longitud total de 0.5 ms (pre-ventana);
- Un tramo deberá tener una longitud total de de 5,18 ms (“cuerpo principal”).
- El borde de salida es como la mitad derecha de Blackman-Harris y tiene una longitud total de 2,22 ms.

La longitud total de la ventana temporal Adrienne es 7,9 ms.

NOTA:

$$w(t) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{T_{W,BH}}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi t}{T_{W,BH}}\right) - a_3 \cos\left(\frac{6\pi t}{T_{W,BH}}\right)$$

Donde

$$a_0 = 0.35875;$$

$$a_1 = 0.48829;$$

$$a_2 = 0,14128;$$

$$a_3 = 0,01168;$$

$$0 \leq t \leq T_{W,BH}$$

NOTA: Si la longitud de la ventana $T_{W,ADR}$ ha variado (lo cual es algo excepcional) la longitud del plano de la parte derecha de Blackman Harris debería tener una proporcionalidad de 7/3. Supongamos un ejemplo, cuando testeemos muestras muy largas la longitud de la ventana puede ser ampliada para lograr mejores resultados en el límite de la baja frecuencia.

El punto exacto donde el flanco de la ventana de Adrienne comienza lo llamaremos MP (del inglés MARKER POINT).

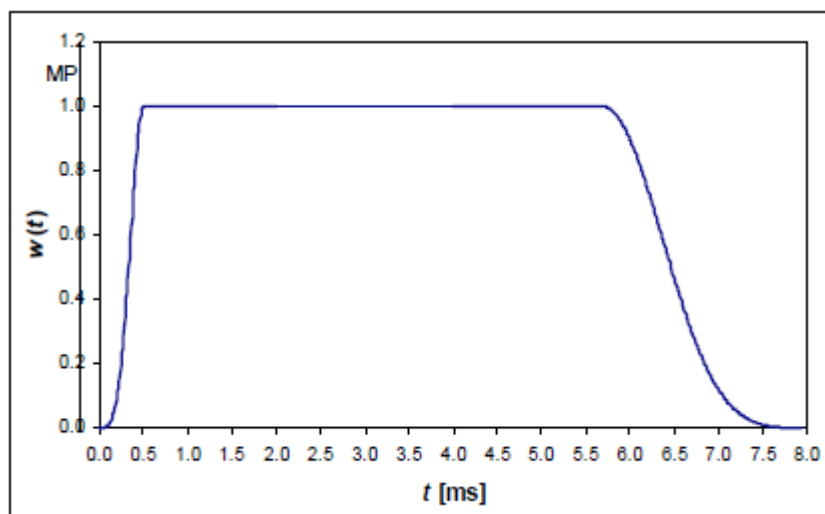


Figura 9 – Ventana temporal Adrienne, con el Marker Point (MP)

4.4.6 Situación de la ventana temporal Adrienne.

Para la componente directa en campo libre, la ventana temporal Adrienne debería situarse del siguiente modo:

- Se detecta el primer pico de la respuesta al impulso de la componente directa.
- Un instante antes el pico de la componente directa de 0.2ms se localiza el MP.

- La ventana temporal Adrienne se localiza justo en el instante de tiempo correspondiente al MP.

En otras palabras, la componente directa en la ventana temporal Adrienne esta situada justo 0.2 ms antes del pico de componente directa.

Para la componente reflejada, la venta temporal Adrienne se sitúa como sigue:

- Se localiza el instante de tiempo MP en la ventana temporal Adrienne.
- El tiempo de retardo se suma a este instante de tiempo; El instante de tiempo resultante es asumido como el MP de la componente reflejada.
- La componente reflejada de la ventana temporal Adrienne esta ubicada de forma que el Marker Point coincide con ese instante de tiempo.

En otras palabras, la componente reflejada de la ventana temporal Adrienne esta situada de modo que comience 0,2 ms antes del primer pico de componente reflejada.

En el cálculo de resultados debe tenerse en cuenta que la velocidad del sonido depende de la temperatura.

4.4.7 Límite de baja frecuencia y tamaño de la muestra.

El método descrito en el presente documento puede ser usado para diferentes tamaños de muestra.

El límite de baja frecuencia f_{\min} o la medida del índice de reflexión depende de la forma y del ancho de la ventana temporal Adrienne. La anchura a su vez de la dimensión más pequeña (Alto o largo) del dispositivo de reducción de ruido bajo test y del ángulo de rotación del montaje altavoz micrófono. (Ver figura 4.5.2 y figura 2.4.a, 5.6). En efecto, las siguientes componentes no deseadas deberían mantenerse fuera de la ventana temporal Adriene:

- Las componentes de difracción producidas por los bordes del dispositivo bajo test.
- Las componentes reflejadas en el suelo procedentes de la fuente que se dirigen al dispositivo bajo test.

Para los dispositivos de reducción de ruido que tienen una altura mayor a su longitud, la componente crítica es la reflexión en el suelo dado que la dimensión crítica es la altura.

Para los dispositivos que tienen menos altura que longitud, el límite de baja frecuencia para incidencia normal está en función de la altura del dispositivo y se aprecia su respuesta en la figura10.

Para barreras bajitas y formas específicas será más apropiado llevar la rotación en el plano horizontal que en el vertical.

Para ensayos de calidad, la muestra debería tener unas dimensiones mínimas de 4m en altura por 4 m de longitud (ver también Figura 1). Estas condiciones dan un límite de baja frecuencia para el índice de reflexión de 173 Hz. Esto quiere decir que las medidas son válidas a partir de los 200 Hz en bandas de 1/3 de octava. Las medidas inferiores a 173 Hz se conservarán como información adicional.

Figura 10

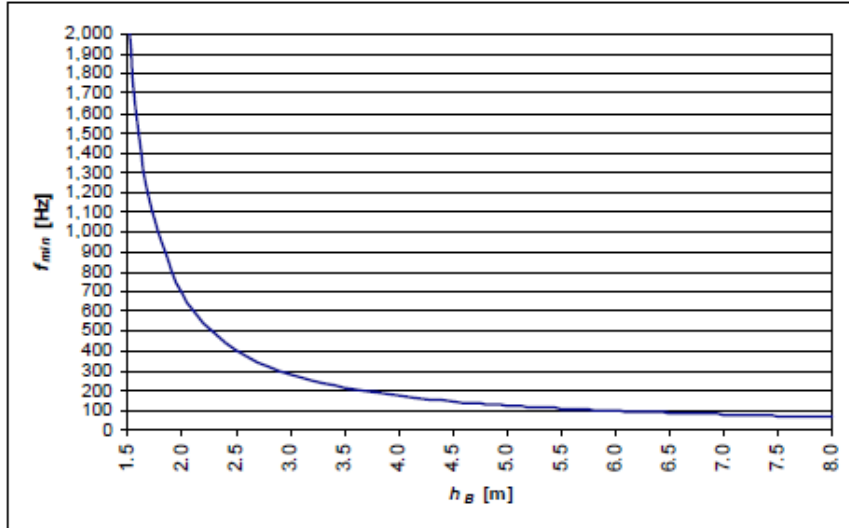


Figura 10 – Límite en baja frecuencia de las medidas del índice de reflexión en función de la altura del dispositivo bajo test para incidencia normal.

4.5 Disposición del equipamiento de medida.

4.5.1 Máxima área muestreada.

El tamaño de la máxima área muestreada está definida por la mínima distancia al altavoz frente al panel y el micrófono de referencia circular de medida del índice de reflexión del dispositivo bajo test conjuntamente con el ancho de la ventana temporal Adviene.

Para medidas en incidencia normal, el máximo área de muestra se marcará con un círculo centrado en el punto de incidencia. Referente a la misma longitud de la ventana temporal de Adrienne usada para calcular el límite en baja frecuencia (ver 4.4.5 and 4.4.7 y figuras 4.a, 5.6), el radio r del citado círculo es:

$$r = \frac{1}{d_s + d_M + cT_w} \sqrt{\left(d_s + d_M + \frac{cT_w}{2} \right) \left(d_s + \frac{cT_w}{2} \right) (2d_M + cT_w) cT_w}$$

donde:

d_s distancia del panel frontal del altavoz al círculo de referencia (m);

d_M distancia desde el micrófono al círculo de referencia (m);

c velocidad del sonido en el aire (m/s);

T_w ancho de la ventana temporal de componente reflejada (s).

NOTE Como ejemplo, con los valores de d_s , d_M , T_w , especificados en la Especificación Técnica, dimensiones de la muestra de 4 x 4 (Altura x Anchura) y $c=340$ m/s el máximo radio r será 1.96m.

NOTE El radio que contribuye realmente a la medida del índice de reflexión varía en función de la frecuencia y por tanto no es exactamente igual al definido.

NOTE Para incidencia oblicua, la máxima área muestreada es la figura geométrica definida por la intersección entre un plano vertical, emplazado entre el micrófono y el dispositivo de reducción de ruido bajo test, tangencial al círculo de referencia cuando el montaje micrófono-altavoz está horizontal y el elipsoide de revolución cuyos focos son la posición del sonido y de la posición del micrófono y cuyo eje mayor está dada por:

$$a = cT_w + \sqrt{(d_s + d'_M)^2 + d_p^2}$$

y con los mismos símbolos usados antes:

d'_M distancia desde el micrófono al círculo de referencia para medidas del índice de reflexión, dependientes del ángulo de rotación (m).

d_p distancia desde el panel frontal del altavoz al micrófono proyectado en un plano vertical, situado entre el microfono y el dispositivo reductor de ruido bajo test, tangencial al círculo de referencia cuando el montaje altavoz micrófono es horizontal (m).

4.5.2 Selección de las posiciones de medida.

El equipo de mediciones debería disponerse en frente del dispositivo reductor de ruido bajo test en las posiciones determinadas de acuerdo a las reglas que veremos a continuación.

En cualquier caso las medidas deben ser medidas con una incertidumbre no su superior al 1% de los valores nominales.

4.5.2.1 Muestra plana homogénea.

El montaje altavoz micrófono esta dispuesto de modo que el micrófono esta en una posición de referencia (ver 3.9).

La distancia desde el micrófono al altavoz se debería conservar estrictamente constante, tanto para la medida de la componente reflejada enfrente de la muestra como para la medida en el campo libre. Esto se puede conseguir utilizando un montaje altavoz micrófono muy próximos (ver 4.4.4).

Se define alrededor de la posición de referencia, también incluida, un conjunto total de 9 medidas;

Estos puntos se consiguen rotando el montaje altavoz micrófono alrededor de su eje de rotación, siempre en el mismo plano y en pasos de 10° (Figura 2, 4.a). Si el plano que contiene el citado montaje es vertical, los nueve pasos son computados en vertical. Si el plano que contiene el micrófono de medidas es el horizontal, los nueve pasos son elegidos de acuerdo a la línea de base del elemento a medir. Se recomienda la rotación vertical para muestras más pequeñas a 4m y en otros casos se recomienda la rotación horizontal.

50°, 60°, 70°, 80°, 90° (referente), 100°, 110°, 120°, 130°

Este conjunto de 9 graduaciones equivale a una rotación completa del montaje.

Obtendremos respuestas al impulso en cada una de las 9 posiciones. En mediciones en campo libre se desplazará o rotará en montaje micrófono-altavoz de modo que se obtenga la cara más próxima al objeto, incluida la tierra.

Las medidas obtenidas enfrente de la muestra más las correspondientes al campo libre deberán ser procesadas y calculadas de acuerdo a la fórmula del índice de reflexión (1).

Para cada banda de tercio de octava, las medidas se obtendrán y seleccionarán de acuerdo a la tabla 1.

4.5.2.2 Muestras no planas y no homogéneas en una dirección.

Para el propósito de esta Especificación Técnica, el dispositivo reductor de ruido se considera no plano si la profundidad de la estructura de su superficie es menor de 85mm, ver figura 11.a.

NOTE Una superficie con una profundidad en su estructura de 85mm tiene una correspondencia de $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda en campo libre para la frecuencia nominal en la banda de $\frac{1}{3}$ de octava predominante del espectro de ruido de tráfico normalizado de acuerdo a EN 1793-3.

Para el propósito de esta Especificación Técnica, un dispositivo reductor de ruido se considera no homogéneo, referido al espectro de ruido de tráfico, siempre que este compuesto de diferentes materiales, ya que se entiende que tienen diferentes características acústicas.

El montaje altavoz micrófono, se dispondrá de manera que el micrófono se sitúe en la posición de referencia "A" (ver 3.9 y figura 11.a) enfrente de la parte más protuberante de la superficie del dispositivo reductor de ruido bajo test y lo más cerca posible del medio de la muestra.

Una o más posiciones de referencia "B", "C", que estén tan cerca como sea posible a la posición de referencia "A", serán localizadas, de acuerdo a los ejemplos que se muestran en la figura 11 (ver también figuras 4, 5, 6). Cuando pasan de la primera posición de referencia a las otras, el montaje altavoz micrófono deberá remplazarse de modo que el eje de rotación sea fiel al mismo plano vertical.

Alrededor de cada posición se plantea una rotación completa, i.e, se realizan 9 medidas.

El plano de rotación debe intersectar la superficie del dispositivo bajo test a lo largo de una línea que se orienta en la dirección de los cambios (cambios en la orientación de la superficie o en el material) en la muestra.

Las medidas de la respuesta al impulso se obtendrán en cada una de las nueve posiciones indicadas.

NOTE Las nueve medidas, las de rotación y las de campo libre, serán realizadas en un corto periodo de tiempo (normalmente menos de 20 minutos). Esto ayuda a eliminar diferencias notables de temperatura que pudieran producirse entre las medidas realizadas enfrente de la muestra y en campo libre.

Para cada rotación, las medidas que se obtendrán enfrente de la muestra mas las correspondientes en campo libre deben procesarse de acuerdo a la fórmula del índice de reflexión (1).

Para cada banda de tercio de octava, el número de medidas n_j se tendrá en cuenta en el proceso de cálculo de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1 – Las medidas para cada banda de 1/3 de octava se obtendrán en función de la siguiente tabla. En ella se marca con una X las frecuencias de interés en función del ángulo de rotación.

	50 °	60 °	70 °	80 °	90 °	100 °	110 °	120 °	130 °
100 Hz					X				
125 Hz					X				
160 Hz					X				
200 Hz					X				
250 Hz				X	X	X			
315 Hz		X	X	X	X	X	X	X	
400 Hz		X	X	X	X	X	X	X	
500 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
630 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
800 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1 000 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1 250 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1 600 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2 000 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2 500 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3 150 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4 000 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5 000 Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Para las muestras que dan una respuesta diferente cuando el sonido incide desde arriba en vez de desde abajo, o desde la derecha en vez de desde la izquierda, en la misma rotación, es posible calcular promedios parciales y globales para cada rotación (de acuerdo a la selección de frecuencias dada en la tabla 1):

- R^a Promedio de las medidas en 50°, 60°, 70°, 80°, 90°.
- R^b Promedio de las medidas en 90°, 100°, 110°, 120°, 130°.
- R^c Promedio todas las medidas de la rotación desde 50°-130°.

En cualquier caso, el índice de reflexión final en función de la frecuencia deberá calcularse como el promedio general de cada ángulo de medida seleccionado de acuerdo a la tabla 1. Por ejemplo, a 5 kHz ($n=18$) el número de medidas para 2 rotaciones será de $n_{18} = 18$ y $n_{18}=27$ para 3 rotaciones. Ver fórmula (1) y tabla 1.

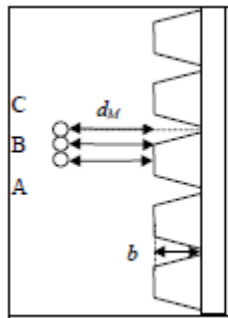


Figura 11 (a)

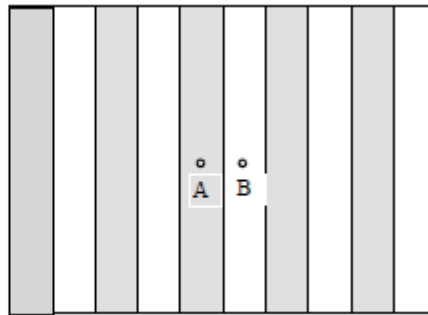


Figura 11(b)

Figura 11 - (a): Posiciones de referencia de los micrófonos A, B y C para una muestra plana (vista lateral). – b es la profundidad de la estructura de la superficie. – (b) **Posiciones de micrófono A y B en una muestra plana que combina 2 materiales diferentes (vista frontal).**

4.5.2.3 Muestras no planas y no homogéneas en dos direcciones.

El montaje altavoz micrófono se dispone de manera que el micrófono se encuentre en la posición de referencia “A” (ver 3.9 y figura 12) en frente de la parte más protuberante de la superficie del dispositivo reductor de ruido bajo test y tan cerca como sea posible del medio de la muestra.

Se localizarán dos o mas posiciones de referencia “B”, “C”,..., tan cerca como sea posible de la posición de referencia “A”, de acuerdo a los ejemplos que se muestran en la figura 12(ver también figuras 4ª y 5b). Cuando pasemos de la primera posición de referencia a las otras, el montaje altavoz micrófono tanto como se pueda al eje de rotación fiel al mismo plano vertical que había. Alrededor de cada posición se plantea una rotación completa, i.e, se realizan 9 medidas.

El plano de rotación debe intersectar la superficie del dispositivo bajo test a lo largo de una línea que se orienta en la dirección de los cambios (cambios en la orientación de la superficie o en el material) en la muestra.

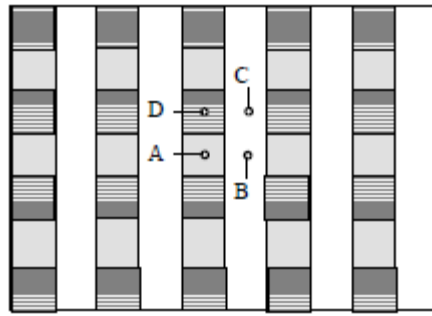


Figura 12 – Posiciones de referencia A (primera), B, C y D para una muestra plana que combina tres materiales diferentes en dos dimensiones (vista frontal).

Las medidas de la respuesta al impulso se obtendrán en cada una de las nueve posiciones indicadas.

NOTE Las nueve medidas, las de rotación y las de campo libre, serán realizadas en un corto periodo de tiempo (normalmente menos de 20 minutos). Esto ayuda a eliminar diferencias notables de temperatura que pudieran producirse entre las medidas realizadas enfrente de la muestra y en campo libre.

Para cada rotación, las medidas que se obtendrán enfrente de la muestra mas las correspondientes en campo libre deben procesarse de acuerdo a la fórmula del índice de reflexión (1).

Para cada banda de tercio de octava, el número de medidas n_j se tendrá en cuenta en el proceso de cálculo de acuerdo a la tabla 1.

Para las muestras que dan una respuesta diferente cuando el sonido incide desde arriba en vez de desde abajo, o desde la derecha en vez de desde la izquierda, en la misma rotación, es posible calcular promedios parciales y globales para cada rotación (de acuerdo a la selección de frecuencias dada en la tabla 1):

- R^a Promedio de las medidas en 50°, 60°, 70°, 80°, 90°.
- R^b Promedio de las medidas en 90°, 100°, 110°, 120°, 130°.
- R^c Promedio todas las medidas de la rotación desde 50°-130°.

En cualquier caso, el índice de reflexión final en función de la frecuencia deberá calcularse como el promedio general de cada ángulo de medida seleccionado de acuerdo a la tabla 1.

Por ejemplo, a 5 kHz ($n=18$) el número de medidas para 2 rotaciones será de $n_{18} = 18$ y $n_{18}=27$ para 3 rotaciones. Ver fórmula (1) y tabla 1.

4.5.3 Objetos reflectantes

Cualquier objeto que no sea el dispositivo bajo test deberá ser considerado como un reflectante el cual puede producir reflexiones parásitas (por ejemplo, guardarailes, vallas, piedras, vehículos aparcados, etc. Estos objetos deben permanecer fuera del área de muestreo y a una distancia del micrófono mayor que el área de muestreo.

Se debe tener precaución de que el micrófono no tenga influencias no deseadas durante el ensayo.

4.5.4 Consideraciones de seguridad

Este método de test puede implicar operaciones peligrosas cuando las medias se realizan en carreteras con tráfico rodado. Este documento no da solución a estos problemas pero advierte de que es responsabilidad el tener en cuenta estos peligros.

4.6 Superficie de muestreo y condiciones meteorológicas.

4.6.1 Condiciones de la superficie de muestreo.

A menos que el ensayo específico solicite que se tenga en cuenta la influencia del tiempo, lo único que se tendrá en cuenta es que el dispositivo esté seco a la hora de medir. Si la superficie se presenta de alguna manera que pueda anular la validez del ensayo se tendrá que esperar a que la superficie esté seca. La superficie de muestra deberá estar entre 0-70 °C durante las medidas.

4.6.2 Viento

La velocidad del viento no excederá los 5m/s durante las medidas.

4.6.3 Temperatura del aire

La temperatura ambiente del aire debe ser entre 0-40 °C durante las medidas. En cálculos en los que aparezca la velocidad del sonido se calculará de acuerdo a la temperatura que haga en el entorno de trabajo.

4.7 Valor único de la reflexión del sonido DL_{RI}

Un solo valor nos proporcionará un indicador de la calidad del producto. Los valores individuales del índice de reflexión del sonido deben ser ponderados de acuerdo a la norma del espectro de tráfico normalizado EN 1793-3.

El valor único de la reflexión del sonido DL_{RI} , en decibelios, viene dado por:

$$DL_{RI} = -10.1g \left[\frac{\sum_{i=m}^{18} RI_i \cdot 10^{0.1L_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0.1L_i}} \right]$$

donde

m 4 (número de 200 Hz en las bandas de 1/3 de octava)

L Relativo al espectro de ruido de tráfico ponderado en decibelios A (dBA), tal y como define 1793-3, en la i-n banda de tercio de octava.

El valor único DL_{RI} deberá ser calculado para muestras de dimensiones mínimas 4x4 m. Y sólo para los ángulos indicados en la tabla 1

NOTE El anexo Ay B de la EN 1793-3 provee de una guía de uso del ratio valor único.

4.8 Procedimiento de medida

La medida se realizará del siguiente modo:

- a) La superficie de medida se revisará así como las condiciones meteorológicas se comprobaran, para que se ajusten a lo especificado 4.6 de la presente norma. De no ajustarse a esta la medición se abortará.
- b) El equipo de medida se dispondrá de acuerdo a lo especificado en el apartado 4.5. Se tendrá en cuenta las condiciones de seguridad del apartado 4.5.4.
- c) Se comprobará que en el radio de medidas de la muestra no se interpongan objetos reflectantes que afecten a las medidas. Si no se cumple esto las medidas no se llevaran a cabo.
- d) Se seleccionará el orden del filtro de corte y en la frecuencia que vaya a utilizarse.
- e) Se generará una señal de test.
- f) El total de las señales recibidas en el micrófono se muestrearán con una frecuencia de muestreo acorde a 4.4.2.
- g) La señal que alcanza el micrófono se correla periódicamente con la entrada MLS que alimenta continuamente al altavoz para poder obtener la respuesta al impulso total en el punto de medida seleccionado.
- h) Si se tiene la sospecha de que la medida ha sido afectada por ruido de fondo, la respuesta al impulso total será promediada con M ciclos de señal MLS, hasta que se obtenga un grado de exactitud aceptable en la banda de 1/3 de octava de interés (ver anexo A). Por lo menos 16 promedios deben conservarse (ver 4.3.3);
- i) Para cada rotación de la respuesta al impulso en campo libre se obtendrá una medida con el equipo de medida dispuesto hacia el campo abierto.
- j) La técnica de sustracción de la señal (4.4.4) se aplica a cada medida de cada rotación. La componente directa de la fuente de sonido se aísla de la medida de campo libre usando la ventana temporal Adrienne (4.4.5); La componente reflejada para la máxima área de muestra se aísla, usando la ventana temporal Adrienne, para medidas enfrente de la muestra bajo test. (ver 4.4.6);
- k) Las señales de potencia enventanadas irán procesándose.
- l) El índice de reflexión se calculará a partir de la fórmula (1).
- m) El valor único se calcula de acuerdo a la sección 4.7, si esta es aplicable claro.
- n) Escribir el informe de resultados.

4.9 Informe de resultados

El informe de resultado debe incluir la siguiente información:

- a) referencias a esta norma.
- b) Nombre y dirección de la empresa que realiza el ensayo.
- c) Fecha y lugar del ensayo.
- d) Descripción del lugar del ensayo: dibujos o imágenes que muestren el dispositivo de reducción de ruido bajo test, equipos de medidas, posibles objetos reflectantes próximos al área de muestra (si los hay).
- e) Descripción de dispositivo de reducción de sonido bajo test: marca, tipo, dimensiones, fecha de fabricación, estado actual, composición (número de capas, espesor, especificaciones del material, etc).
- f) Condiciones del dispositivo bajo test en cuanto a humedad y temperatura.
- g) Condiciones meteorológicas que prevalecen durante el ensayo.
- h) Descripción del ensayo con dibujo a escala que indique claramente las posiciones de medida, el número de medidas y la posición de la fuente.
- i) Equipo utilizado para medidas y análisis, incluyendo nombre, tipo, número de serie y fabricante.
- j) Características y tipo del filtro anti-aliasing. Frecuencia de muestreo y dispositivo de análisis utilizado.
- k) Ancho y largo de la ventana temporal Adrienne usada para el análisis.
- l) Límite en baja frecuencia de la medida y su relación con la dimensión más pequeña del dispositivo de reducción de ruido bajo test.
- m) Resultado de las medidas, incluyendo los resultados parciales RI^a , RI^b and RI^c ;
- n) Resultado del cálculo del valor único (si es de aplicación la fórmula).
- o) Firma del responsable de las medidas.

Los resultados deben darse en forma de gráficos y tablas, donde se muestren los valores del índice de reflexión para el rango entre 50 Hz y 5 KHz en pasos de 1/3 de octava. Si no es posible obtener buenos resultados en el rango anterior, se detallará en que rango se han realizado justificando claramente el porque.

Los valores del índice de reflexión deberán aportar dos valores decimales.

El valor único será calculadote acuerdo a la fórmula del apartado 4.7 y el resultado se redondeará al número entero más próximo.