

PROYECTO EUROPEO QUIESST: DISEÑO Y UTILIZACIÓN ÓPTIMA DE PANTALLAS ACÚSTICAS

Miguel Angel Morcillo, Beatriz Bragado, Antonio Hidalgo, Roberto Cordero
Fundación CIDAUT
47151 Valladolid. España
migmor@cidaut.es
<http://www.cidaut.es>

ABSTRACT

Este artículo resume los resultados más importantes del proyecto europeo QUIESST (QUIetening the Environment for a Sustainable Surface Transport) que ha sido cofinanciado por la Comunidad Europea dentro del Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo. QUIESST comenzó en 2010, se desarrolló durante 3 años y en él han participado 13 socios de 8 países, entre los que se encuentran Universidades, centros de investigación especializados en acústica y asociaciones industriales de fabricantes de pantallas. Siguiendo las directrices marcadas por la Directiva Europea 2002/49/EC sobre la evaluación y gestión de la Contaminación Acústica, el objetivo fundamental del proyecto fue sido reducir el impacto medioambiental del transporte por superficie –carretera y ferrocarril- , y en particular la contaminación acústica mediante el diseño y utilización óptima de pantallas acústicas.

Introducción

El modelado de propagación de ruido comenzó a principios de los 80. A comienzos de los 90 se empezó a normalizar cómo medir las características intrínsecas de las barreras acústicas: fue en 1997 cuando el proyecto ADRIENNE, financiado por la UE dio los primeros pasos, pero aún quedaron muchos aspectos que mejorar. Desde hace años los códigos comerciales para simulación de propagación acústica modelan las barreras acústicas, sin embargo lo hacen de forma muy simple, ya sea respecto de sus características de absorción acústica, aislamiento o difracción. La investigación financiada por la UE en QUIESST tiene como objetivo mejorar el grado de entendimiento del comportamiento de las pantallas acústicas en función de sus características intrínsecas y del entorno en el que están instaladas.



Figura 1 Proyecto QUIESST

La Comisión Europea a través de la Directiva 2002/49 promueve la reducción de la contaminación acústica, siendo el ruido relacionado con el transporte uno de los principales objetivos. Sin embargo, con el objetivo de alcanzar una reducción de entre 10 y 20 dB, es evidente que ninguna solución individual puede resultar efectiva. Se debe actuar a todos los niveles, como siempre se dice a nivel de la generación, propagación y recepción del ruido. Los elementos reductores de ruido (en QUIESST incluye pantallas acústicas, revestimientos acústicos, cubrimientos y cubreras) actuando en la propagación del ruido pueden jugar un papel importante en esta reducción. Si bien su efectividad depende de numerosos factores, pueden ofrecer reducciones de hasta 20dB. Hoy en día estos dispositivos han sido mejorados tanto como producto (definido por sus características intrínsecas, principalmente absorción y aislamiento), como en su instalación (característica extrínseca que afecta la eficacia total). Sin embargo aunque el resultado final depende de las dos partes, hasta ahora el trabajo para integrar ambos aspectos, si de verdad se aborda el problema de forma holística, ha sido escaso. El mejor ejemplo de esta carencia es cómo los códigos comerciales modelan las pantallas acústicas; prácticamente todos los códigos aplican una propiedad de absorción acústica genérica, y en casi todos los casos no se considera el aislamiento acústico. En aquellos que tienen en cuenta las propiedades del producto, lo hacen en base a los parámetros que se obtienen con los métodos de caracterización para productos de construcción que son instalados en campo cerrado, siendo el uso más extendido de las pantallas acústicas en campo libre. Además, ningún código para propagación de ruido está preparado para modelar dispositivos no planos o volumétricos, y menos aún con características acústicas heterogéneas a lo largo de su superficie. Como parte de la tendencia promovida desde la UE a la hora de valorar el comportamiento de los productos, también la sostenibilidad de las pantallas acústicas ha sido tenida en cuenta.

La efectividad de las pantallas acústicas depende de:

- Las características intrínsecas del producto (materiales y su disposición), sin olvidar su durabilidad desde el punto de vista acústico
- El diseño, que también es un factor intrínseco del producto, como la forma, que puede ser plana, curvada, con disposición homogénea o heterogénea de los materiales, tamaño..., y que puede variar en función del tipo de vía donde se instala, el tipo de vehículos (altura) que son la mayor fuente de ruido, en función del entorno donde se instala...
- La propagación del sonido. En particular a través de las propiedades intrínsecas de las pantallas, que influyen en la propagación del ruido en el campo cercano, y por lo tanto puede afectar al comportamiento de la pantalla en campo lejano. Este aspecto puede ser importante en el futuro cercano si a través de la Directiva 2002/49 se aplican criterios más exigentes para el control del ruido, que puedan tener en cuenta áreas de afectamiento más amplias.

QUIESST plantea el control de todos estos factores de una forma holística. El principal resultado del proyecto es una guía en la que se explica el mejor uso de las pantallas acústicas, en base a amplias bases de datos de métodos de caracterización, métodos de simulación apropiados, métodos de medida específicos para caracterización de los productos y otras recomendaciones sobre su sostenibilidad. En los siguientes apartados se describe parte del trabajo y resultados obtenidos. Más información y resultados se encuentran en <http://www.quiesst.eu/>

Relación entre el campo próximo y el campo lejano

En 30 años utilizando pantallas acústicas en carreteras y vías de ferrocarril, el debate sobre la efectividad de utilizar pantallas con absorción y/o con geometrías específicas para mejorar la reducción de ruido en el campo lejano, sigue abierto, con opiniones enfrentadas a favor y en contra, pero sin datos específicos para valorar el efecto real de las pantallas. El uso de materiales absorbentes así como la forma de la pantalla son herramientas para mejorar el comportamiento de las pantallas en campo lejano, pero no hay referencias que simulen adecuadamente las pantallas curvadas o el efecto del material absorbente en el campo lejano. En QUIESST se ha trabajado para descubrir cuál es la relación entre las propiedades de campo próximo y las de campo lejano.

A pesar de que sería más realista medir los efectos de las pantallas en un entorno más amplio (lo que denominamos campo lejano, hasta 20m, 30m o más), la razón por la que los métodos de caracterización acústica de pantallas se centran en el campo próximo, (situando los micrófonos a apenas 25 cm de la superficie a medir), es porque la menor potencia de las ondas reflejadas, junto con la dificultad de discernir entre sonido emitido y reflejado, unido a la influencia del ruido de fondo, hace imposible técnicamente obtener resultados significativos a más distancia. Por este motivo se ha desarrollado un método indirecto, basado en extrapolar los datos de reflectividad medidos en campo próximo hacia el efecto en el campo lejano. Este método de cálculo es considerado "ingenieril", ya que puede ser empleado con una simple hoja de cálculo, y da como resultado dos indicadores del comportamiento en campo lejano, que pretenden distinguir entre el efecto que se percibiría en edificios bajos y altos.

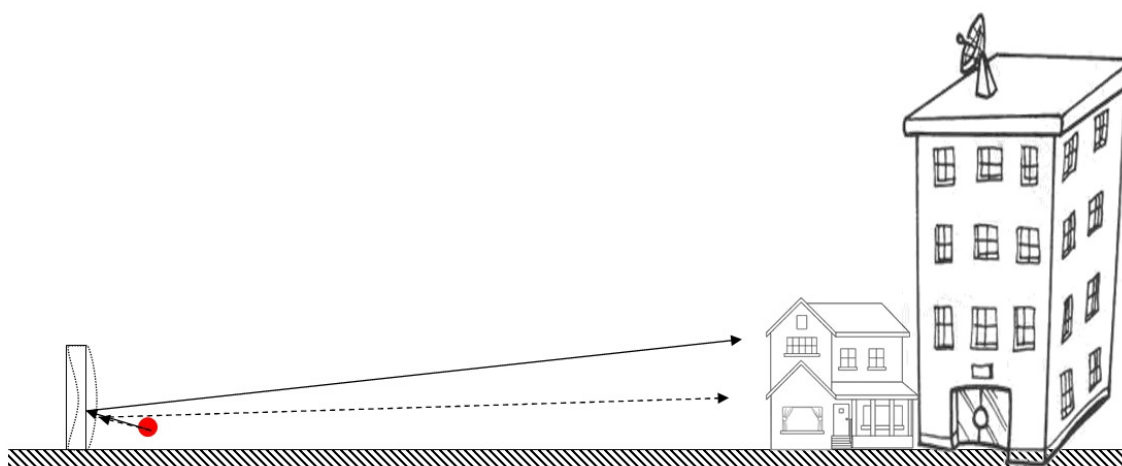


Figura 2 Aplicación del método a edificios altos y bajos

Las entradas al método son:

- Resultado de la medida de reflexión en campo próximo, R_{inf} , según el método de medida mejorado desarrollado también en el proyecto (espectro promediado en tercios de octava)
- Tipo de barrera y características geométricas

Como resultado se obtiene una estimación de la contribución del sonido reflejado en el nivel total en campo lejano, y se expresa como un único valor indicador del índice de reflexión en campo lejano: $DLR_{i,ff}$. Este indicador se expresa en dB(A) y se calcula en 5 posiciones de

receptor, situadas a 100 metros de distancia desde la pantalla, y 1.5m, 5m, 10m, 20m, y 40m de altura. La reflexión en campo lejano Riff es la relación entre la energía acústica reflejada por la pantalla, y la que se refleja por una pantalla referencia, que es una pantalla plana totalmente reflectante de la misma altura que la pantalla que se desea evaluar, normalmente 4 metros. Para tener una descripción más compacta del efecto de reflexión, los cinco indicadores antes citados se agrupan en dos valores globales (Figura 2):

- Uno es un promedio de los valores de las tres posiciones más bajas, representativo de viviendas de baja altura: DLRI,ff,LR
- El otro es el promedio de los dos más altos: DLRI,ff,HR para edificios más elevados

Este método se apoya en el uso de dos bases de datos que han sido completadas con los resultados de cálculos numéricos:

- Base de datos de campo próximo: formada por la simulación del ensayo de reflexión en campo próximo para un conjunto de modelos de pantallas que son representativas del mercado en Europa. Combinando 5 familias genéricas de geometrías y 3 tipos de materiales acústicos, se calcularon 1196 pantallas.
- Base de datos de campo lejano: formada por resultados del índice de reflexión Riff obtenidos mediante cálculos con el método de los elementos de contorno para los mismos modelos de pantallas. A partir de estos valores también se calculan los valores globales DLRI,ff.

A partir de las bases de datos, el comportamiento de la pantalla real se calcula a partir de una extrapolación en dos pasos (Figura 3):

1. El dato real conocido de la pantalla, su reflexión en campo próximo, es comparada con los datos de la base de datos de campo próximo para seleccionar el modelo virtual de pantalla más semejante. Este proceso se hace a su vez en dos pasos, ajustando la geometría y los materiales.
2. Una vez encontrado el modelo virtual más parecido acústicamente, se utilizan los datos de los materiales acústicos (tipo de material absorbente, resistividad al flujo, espesor de capa porosa) para calcular el efecto en el campo lejano. En este caso, se utiliza un método de aproximación polinómica aplicado a los datos calculados previamente con el método BEM de campo lejano.

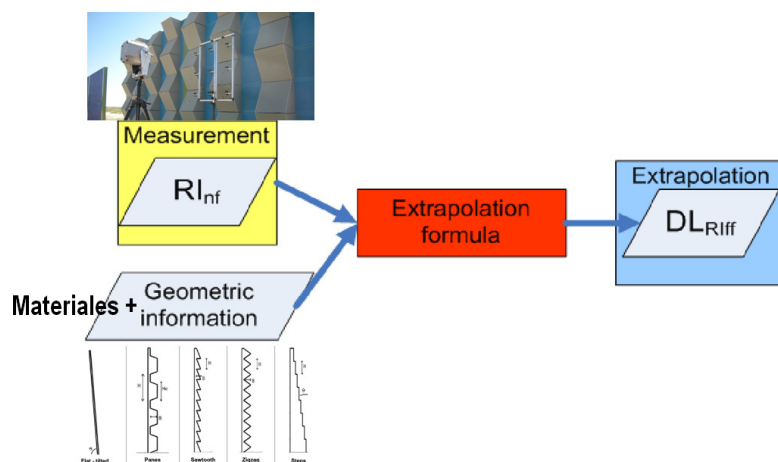


Figura 3 Diagrama de flujo del método de extrapolación

La ventaja principal es que este método de extrapolación permite calcular rápidamente un valor aproximado del comportamiento en campo lejano, sin necesidad de realizar nuevos cálculos con elementos finitos. El ámbito de aplicación del método está limitado a las familias de pantallas acústicas incluidas en la base de datos. Para el cálculo de aquellas que difieren significativamente, habría que realizar su modelo BEM correspondiente para poder dar una estimación. Una descripción más detallada de este método está disponible con formato de borrador de un futuro anejo informativo que se pretende incluir en la próxima revisión de la norma de ensayo de reflexión/absorción de pantallas acústicas (EN 1793-5). La hoja de cálculo que incluye el método ya programado y las bases de datos está disponible a través de la página web del proyecto.

Mejora del método de medida in-situ de aislamiento/absorción de pantallas acústicas

Desde el principio se han caracterizado las propiedades acústicas intrínsecas de las pantallas en campo reverberante (salas cerradas de laboratorio), como si fueran productos destinados al uso en interior (EN 1793-1 and EN 1793-2), pero lógicamente esta no es la forma adecuada. Además los ensayos en laboratorio no permiten controlar la durabilidad acústica que está afectada tras años de uso de las pantallas. A su vez esto va en detrimento de poder conocer la sostenibilidad del producto. Para paliar este problema, a raíz del proyecto ADRIENNE se desarrolló el método de medida in-situ CEN/TS 1793-5, pero tras su utilización en varios estados de la UE, se comprobó que es inapropiado para la caracterización de pantallas no planas. Por este motivo fue rechazado como norma de medida. QUIESST trabajó para mejorar el método de medida y corregir su debilidad.

Método de medida in-situ de reflexión acústica de pantallas

Se basa en el uso de un altavoz como fuente acústica y una matriz de nueve micrófonos (0,80 x 0,80 m), que pueden ser conectados a un sistema de adquisición multicanal. Los micrófonos se colocan entre la pantalla y el altavoz (Figura 4), y éste emite señales transitorias que son recogidas por los micrófonos en su propagación hacia la pantalla (señal directa), y después la onda acústica reflejada (señal reflejada) es también registrada, incluyendo el efecto de múltiples reflexiones. A esta señal, se le resta otra en la que se mantiene la posición relativa de altavoz y micrófonos, pero que se realiza en condiciones de campo libre, lejos de cualquier objeto que puede afectar la propagación de las ondas. De la diferencia de señales, una vez eliminada la onda incidente, se obtiene la componente reflejada por la pantalla. Esta operación una parte crítica para obtener buenos resultados, por ello se han desarrollado varias técnicas que permiten garantizar que se realiza correctamente, como definir el tipo de filtro a utilizar en las ventanas temporales, un algoritmo de detección del pico de la onda reflejada para indicar el periodo de tiempo que debe ser procesado, un criterio cuantitativo para valorar la calidad de la diferencia de señales,...). A partir de la relación entre la potencia emitida y la potencia reflejada, promediado a las nueve micrófonos, se calcula un parámetro ó indicador denominado índice de reflexión (RI). Se trata de un parámetro adimensional que se expresa en tercios de octava entre 100 Hz y 5KHz. Y de los valores del espectro se obtiene un valor global

denominado DLRI y que se expresa en dB. Dentro del cálculo del parámetro se incluyen además tres factores de corrección:

- Factor de corrección de divergencia geométrica, que compensa la diferencia de recorrido entre la onda directa y la onda reflejada que llega al micrófono.
- Factor de corrección para compensar la directividad no homogénea del altavoz, que hace que la potencia acústica que llega a cada micrófono no sea exactamente la misma
- Factor de corrección para compensar cualquier diferencia entre los niveles de las señales medidas en campo libre y enfrente de la pantalla

Aplicando estas correcciones se consiguen valores de RI que son físicamente interpretables y cuyo resultado es independiente de la fuente acústica empleada.



Figura 4 Antiguo método de medida de absorción/reflexión Adrienne (izquierda) y nuevo método Quesst (derecha)

Método de medida in-situ de aislamiento acústico de pantallas

En este caso se desea conocer qué cantidad de energía acústica no es reflejada ni absorbida por la pantalla, y alcanza la parte opuesta de la pantalla filtrándose por posibles aperturas, atravesando los materiales no reflectantes, transmitiéndose estructuralmente y radiando por la parte opuesta, o bien siendo difractada por los bordes. En este caso es la pantalla la que está situada entre la matriz de micrófonos y la fuente acústica (Figura 5). También se registra una medida de referencia en campo libre, reproduciendo la posición relativa de fuente y micrófonos en una zona de similar suelo pero sin pantalla. De esta forma se registra la señal de directa en campo libre. Se calcula el cociente entre la potencia acústica registrada con y sin pantalla, habiendo previamente promediado energéticamente el valor registrado en los nueve micrófonos. De esta forma se obtiene un indicador característico del aislamiento denominado índice de aislamiento acústico (SI). Al igual que el anterior indicador es adimensional, se expresa en dB y cubre el rango de tercios de octava entre 100Hz y 5KHz, y se puede reducir a un indicador global denominado DLSI que se expresa también en dB.



Figura 5 Antiguo método de medida de aislamiento Adrienne (izquierda) y nuevo método Quesst (derecha)

Evaluación de la repetibilidad y reproducibilidad

Los métodos de ensayo desarrollados han sido puestos a prueba por ocho laboratorios independientes, sobre 13 muestras de pantallas acústicas en dos emplazamientos, Grenoble y Valladolid. Los ensayos fueron llevados a cabo de acuerdo al procedimiento de ensayos de comparación entre laboratorios, también denominado Round Robin Test (RRT), con el fin de valorar la repetibilidad y reproducibilidad de los métodos de ensayo. En Valladolid se realizaron ensayos acústicos de las pantallas in situ o al aire libre, que son más representativos de las condiciones de uso reales de las pantallas. Precisamente Cidaut fue el socio encargado de organizar y coordinar el desarrollo de la campaña de medidas que tuvo lugar en las instalaciones de la Fundación en Mojados (Figura 6), donde además del grupo de acústica de Cidaut, otros siete laboratorios europeos de referencia se desplazaron durante tres meses por periodos de una semana, para poner a prueba el nuevo método de medida. Precisamente, la mayor parte de los 13 socios que integran el consorcio, pertenecientes a ocho países, son también miembros del grupo de trabajo del Comité Técnico de Normalización 226 del CEN, encargado por mandato de la Comisión Europea para desarrollar esta normativa. Además de Cidaut, está compuesto por A-Tech Technologies, ERF y La Universidad de Lovaina (Bélgica), ACAI y UNIBO (Italia), TNO de Holanda, AIT de Austria, Bast y RWTH de Alemania, CSTB y LRPC de Francia. En la campaña que se realizó en Cidaut, diferentes expertos siguieron el mismo procedimiento de medida sobre las mismas muestras con el objetivo de valorar la robustez del mismo. Cuando la dispersión entre los resultados obtenidos por cada uno de los técnicos es despreciable, el método puede ser propuesto para norma europea de medida.



Figura 6 Instalaciones específicamente ejecutadas en CIDAUT para el estudio Round Robin Test

La repetibilidad es la variación aleatoria en el resultado de ensayo cuando las condiciones del mismo son constantes, mientras que la reproducibilidad es la variación aleatoria de los resultados de medida cuando cambian las condiciones de medida. La reproducibilidad se utiliza directamente utilizada para declarar la fiabilidad del método según la guía ISO sobre incertidumbre de medida. En otras palabras, si M es el valor de una medida y R su reproducibilidad, hay una probabilidad del 95% de que el verdadero valor de una medida esté dentro del intervalo $[M-R, M+R]$

Para cada tercio de octava los valores de repetibilidad y reproducibilidad varían, como se muestra en la Figura 7 Hay que destacar que estos resultados fueron obtenidos sobre muestras de pantallas realistas, en el sentido de que estuvieron durante meses expuestas a la intemperie, fueron instaladas de la misma forma a como lo serían en un uso habitual, por los propios operarios de los fabricantes, y por lo tanto con el mismo nivel de acabado. Es decir, no

son muestras de laboratorio perfectamente instaladas. Por lo tanto el resultado de repetibilidad y reproducibilidad incluye el efecto de variabilidad entre muestras. De esta forma los resultados que se obtuvieron, aún siendo satisfactorios, pueden considerarse como una estimación obtenida en las condiciones más desfavorables.

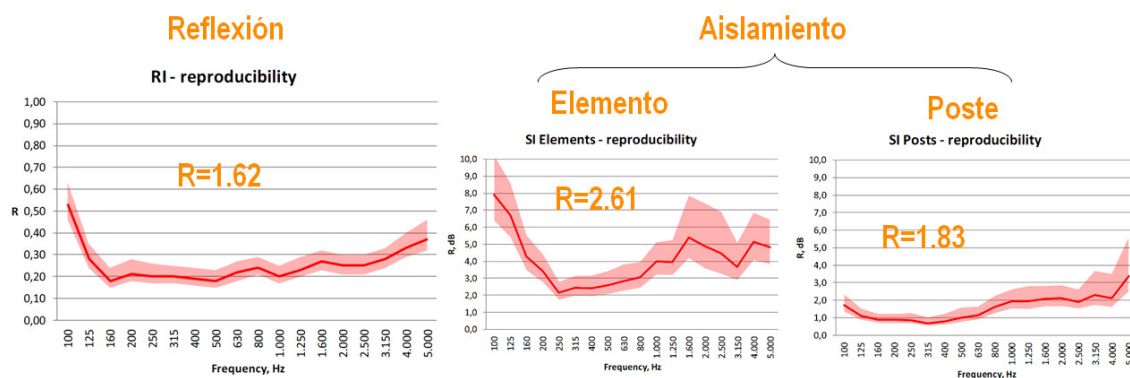


Figura 7 Valores de reproducibilidad de los ensayos de reflexión y aislamiento

Base de datos Europea del comportamiento acústico de pantallas

El mercado Europeo de pantallas acústicas ofrece muchos productos ya aprobados (ensayados según diferentes métodos en función del estado miembro), y más productos continúan apareciendo. Sin embargo, a pesar de que la norma europea de producto EN 14388 fue publicada en 2005, no existe una base de datos sobre el comportamiento acústico de las pantallas. Una base de datos de ese tipo permitiría una comparación justa entre productos en base a los mismos métodos de ensayo, y ofrecería a la administración plúbrica o cualquier usuario la información necesaria para utilizar correctamente las pantallas.

Por otro lado, debido a la coexistencia de resultados de ensayo según los métodos de laboratorio e in-situ, existe la necesidad de establecer un método que permita, cuando sea apropiado y técnicamente posible, relacionar los resultados del método in-situ con el correspondiente de laboratorio, que son los que se han venido utilizando desde hace años. Para desarrollar la base de datos se siguieron los siguientes pasos:

- Recopilar y analizar resultados de ensayos tanto de laboratorio como in-situ, de absorción y de aislamiento (según los métodos EN 1793-1 y 1793-2, CEN/TS 1793-5 CEN/TS 1793-5, prEN 1793-6, el nuevo método definido en QUIESST y el método francés para medida de absorción y aislamiento in situ NFS 31089).
- Organizar la información para construir la base de datos, agrupando los productos por familias
- Estudiar los datos para intentar establecer una relación entre los ensayos in-situ y de laboratorio
- Crear un manual de apoyo a fabricantes y gestores de infraestructuras de transporte públicas sobre como evaluar el comportamiento de las pantallas, y utilizando los métodos in-situ, hacer una correcta caracterización de la durabilidad acústica

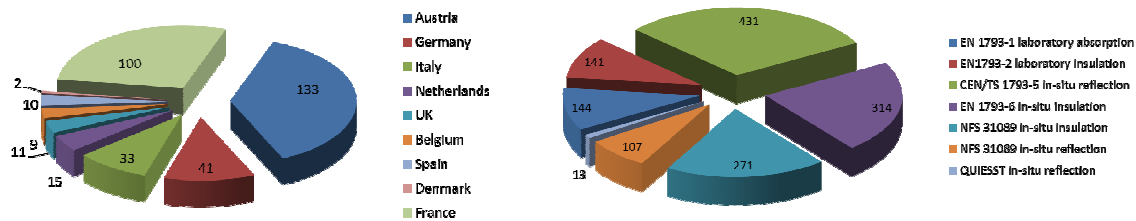


Figura 8 Descripción del contenido de la base de datos europea de pantallas acústicas

Como se describe gráficamente en la Figura 8, la base de datos contiene información en tercios de octava y en valores globales, y está formada por datos recopilados de 414 productos fabricados por 40 empresas, de los cuales hay un total de 1421 resultados de ensayo, que fueron llevados a cabo por 25 laboratorios de 9 estados miembro. Del total, más de 400 datos corresponden a medidas de reflexión in-situ, 120 son de absorción acústica medida en laboratorio, mientras que 250 datos son de aislamiento in-situ y 100 de aislamiento en laboratorio.

Agradecimientos

La investigación y los resultados descritos en este artículo han sido obtenidos gracias a la colaboración de los socios del consorcio QUIESST, y el trabajo ha sido cofinanciado por el Séptimo Programa Marco (FP7/2007-2013) de acuerdo al contrato n° SCP8-GA-2009-233730.

Referencias

- [1] Adrienne Research Team. Test methods for the acoustic performance of road traffic noise reducing devices - Final report, European Commission - DGXII - SMT Project MAT1-CT94049, Belgium, 1998.
- [2] Clairbois, J-P.; Beaumont, J.; Garai, M.; Schupp, G. A new in situ method for the acoustics performance of road traffic noise reducing devices. ICA/ASA 98, Seattle, USA, 1998, pp. 471-472.
- [3] CEN, European Standard EN 14388: Road traffic noise reducing devices – Specifications, Belgium, 2005.
- [4] The European Parliament and the Council, Directive 2002/49/EC of 25 June 2002 relating to the Assessment and Management of Environmental Noise, Belgium, 2002. (also named as the “Environmental Noise Directive” or “END”)
- [5] CEN, European Standard EN 1793-1: Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption, Belgium, 1997.
- [6] CEN, European Standard EN 1793-2: Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance - Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation, Belgium, 1997.

- [7] CEN, European Standard EN 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, Belgium, 2002.
- [8] Commission of the European Communities, White paper on European Transport Policy
- [9] Guidebook to Noise Reducing Devices optimisation, Resultado de QUIESST disponible en <http://www.quiestt.eu/>