

ANÁLISIS DE LA NORMATIVA UNE VIGENTE PARA LA EVALUACIÓN DE DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO EN CARRETERAS

Autora: Peiró-Torres, M.P.

Empresa: BECSA, S.A.U.; Dirección: Ciudad del Transporte II. C/ Grecia, 31, Castellón (Spain)

Alumna doctorado. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, Valencia (Spain)

Palabras Clave: Barreras acústicas, dispositivos reductores de ruido, campo sonoro directo, campo sonoro difuso, características intrínsecas.

RESUMEN.

Los dispositivos reductores de ruido, son una medida de control de ruido comúnmente utilizada sobre todo en el ámbito del transporte (tanto por carretera como ferroviario) para tratar de paliar las molestias producidas por este tipo de infraestructuras en las viviendas adyacentes a las mismas.

Para la catalogación de este tipo de dispositivos, AENOR dispone de una serie de normativas publicadas, donde se describen los métodos de ensayo de las distintas características acústicas de este tipo de dispositivos, tanto para los instalados en carreteras como otra serie para aquellos dispositivos reductores de ruido que se instalan en adyacentes a las vías ferroviarias. Esta normativa, no sólo describe los ensayos de caracterización acústica, sino que además, aportan las clasificaciones en función de los valores de dichos parámetros de caracterización, que permiten a los actores implicados (fabricantes, titulares de carreteras, laboratorios acreditados...) poder clasificar y comparar los distintos diseños de dispositivos que se instalan actualmente en nuestras infraestructuras.

Esta normativa es fundamental para estandarizar los métodos de ensayos y poder evaluar, bajo un mismo criterio, todos los dispositivos que se instalan para tratar minimizar el impacto sonoro ambiental que las infraestructuras de transporte generan en las zonas urbanas por las que discurren, tratando así de encontrar medidas de reducción de la molestia auditiva que el transporte produce en la población.

Pese a que las condiciones reales de funcionamiento de la mayor parte de los dispositivos de control de ruido instalados en las carreteras de nuestro país, son de campo no reverberado, sin embargo hasta la fecha, se emplea tradicionalmente la norma UNE 1793-2 donde se describe la metodología de ensayo para determinar la característica intrínseca de aislamiento a ruido aéreo de los dispositivos en condiciones de campo reverberado. Con la publicación en español de la norma UNE 1793-6 que regula la caracterización acústica de los dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras en condiciones de campo sonoro directo (para condiciones no reverberadas), se ha dado un vuelco a la metodología de homologación de estos dispositivos. En este Ensayo se realiza un detallado análisis comparativo de ambas metodologías de caracterización definidas en las normas UNE.

INTRODUCCIÓN.

El ruido generado por las infraestructuras de transporte, fundamentalmente tráfico en carreteras o tráfico ferroviario, puede ser minimizado actuando en una (o más) de sus fases de propagación. Es decir, actuando en su fase de emisión, en su fase de transmisión, o en su fase de recepción.

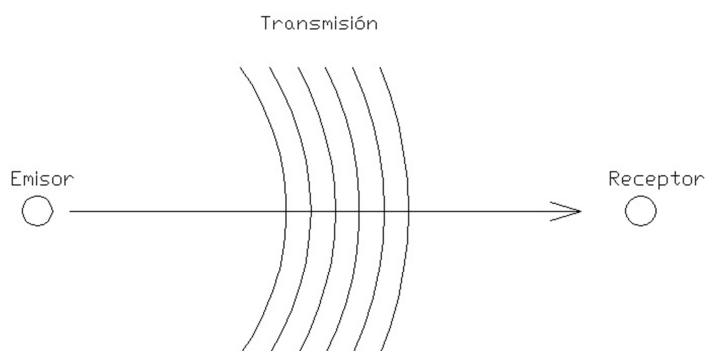


Figura 1. Distintas fases de propagación del ruido

La medida de protección más comúnmente utilizada para tratar de minimizar los efectos del ruido generado por estas infraestructuras en las poblaciones adyacentes es actuar en la fase de transmisión, instalando barreras acústicas o como comúnmente se les denomina en la normativa, dispositivos reductores de ruido. Estos dispositivos se instalan interponiéndose entre la fuente de sonido (infraestructura de transporte) y el receptor (viviendas adyacentes), y funcionan fundamentalmente

reflejando de nuevo el ruido hacia las infraestructuras viarias, o absorbiendo parte del sonido si estos dispositivos disponen de materiales que posibiliten la utilización de dicho mecanismo de control de ruido, tal y como se grafía en la figura 2.

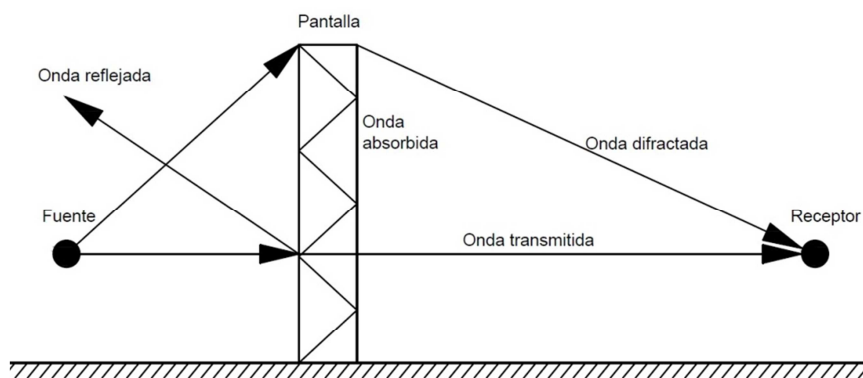


Figura 2. Esquema de actuación de pantallas acústicas

Así, los factores intrínsecos y extrínsecos de dicho dispositivo de control de ruido determinarán la eficacia del mismo. Estos son: i) la capacidad de aislamiento acústico de la pantalla (aislamiento a ruido aéreo y absorción); ii) las dimensiones de la pantalla; iii) otros factores, como pueden ser la ubicación de la misma, la topografía adyacente y las características del terreno donde es instalada. [1].

Por ello, no bastará con asegurar unos parámetros intrínsecos elevados, como el aislamiento a ruido aéreo del orden de 25 a 26 dBA, puesto que la efectividad de las pantallas acústicas depende de otros factores, y raramente es superior a 15 o 16 dBA, cuando el dispositivo está situado en condiciones reales [1].

Según los estudios llevados a cabo por Maekawa para pantallas acústicas, su efectividad no superó en ningún caso los 25dB de atenuación [2], pese a que su masa y sus medidas geométricas aumentarían.

Por ello, es necesario evaluar y considerar no sólo aspectos intrínsecos, sino también parámetros extrínsecos a la hora de diseñar un proyecto de apantallamiento acústico [1]. El diseño de una pantalla acústica precisará primeramente cuantificar el problema acústico a resolver. Una vez definido, será

necesario establecer qué características geométricas debe presentar la pantalla acústica a instalar y, por último, determinar la eficacia acústica que deberá presentar la misma. Esta eficacia acústica vendrá definida por una serie de características acústicas intrínsecas cuyos ensayos de determinación se encuentran definidos detalladamente en la normativa existente.

Esta regulación normativa comenzó a redactarse en 1989 para dispositivos reductores de ruido de carreteras por el CEN/TC226/WG6 de equipamiento de carreteras. La misma ha sido sistemáticamente sometida a múltiples revisiones, tal y como se recogen en las publicaciones sobre el estado del arte de esta normativa específica [3], [4], lo cual ha contribuido a su mejora progresiva.

Todos los análisis definidos en la normativa recogida en el presente Ensayo tienen como finalidad evaluar y clasificar los productos que se instalan en las carreteras para reducir el ruido de tráfico provocado por los vehículos en dichas infraestructuras, así como verificar el cumplimiento de las especificaciones de diseño.

En este Ensayo no se pretende realizar un Estado del Arte de dicha normativa aplicable a los dispositivos de control de ruido en las infraestructuras viarias, sino que trata de realizar un análisis crítico de la misma y de la aplicación que de ésta se está realizando por parte de los actores involucrados en el sector, es decir, fabricantes de dispositivos reductores de ruido (pantallas acústicas básicamente), laboratorios acreditados y las distintas administraciones que poseen la titularidad de las carreteras.

Para ello primeramente se realizará una recopilación de la normativa vigente aplicable y se realizará una exposición sobre la diferenciación en cuanto a distintos los ámbitos de instalación considerados (campos reverberados y no reverberados), así como un análisis crítico del uso que el sector realiza de la amplia normativa existente. Finalmente, en el Ensayo se expondrán unas conclusiones.

RECOPIACIÓN DE LA NORMATIVA VIGENTE APLICABLE A LOS DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO EN CARRETERAS.

En primer lugar, realizaremos una recopilación de la normativa que resulta aplicable a los dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. En la norma UNE-EN 14388:2016 se recogen dichos requisitos necesarios para la obtención del Mercado CE para la instalación de un dispositivo

reductor de ruido de tráfico en carreteras y recoge la normativa descriptiva de los métodos de ensayo a aplicar a este tipo de dispositivos.

Toda la normativa relativa a los métodos de ensayo podría dividirse en dos grandes bloques: i) la relativa a las características acústicas que presentan dichos dispositivos reductores de ruido, y ii) la relativa a las características no acústicas que presentan.

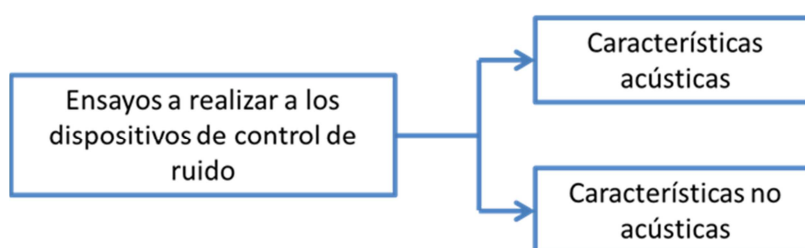


Figura 3. Esquema características a ensayar recogidas en la normativa vigente.

A su vez, dentro de dichos grandes grupos normativos, existirían dos subdivisiones, que consistirían en la evaluación del comportamiento a corto y largo plazo, puesto que estos dispositivos deberán cumplir los requerimientos referentes a su función acústica y estructural durante toda su vida útil.

Así, para la obtención de la homologación de los dispositivos por parte de un laboratorio independiente acreditado, se deberán realizar los ensayos descritos en la normativa siguiente:

- UNE-EN 1793-1. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 1: Características intrínsecas. Absorción sonora. [5]
- UNE-EN 1793-2. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 2: Características intrínsecas. Aislamiento a ruido aéreo. [6]
- UNE-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. [7]

- UNE-EN 1793-4. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 4: Características intrínsecas. Valores in situ de la difracción sonora. [8]
- UNE-EN 1793-5. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 5: Características intrínsecas. Valores in situ de la reflexión sonora en condiciones de campo sonoro directo. [9]
- UNE-EN 1793-6. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 6: Características intrínsecas. Valores in situ del aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo sonoro directo. [10]
- UNE-EN 14389-1. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Procedimientos para evaluar el comportamiento a largo plazo. Características acústicas. [11]

Por lo que respecta a las características no acústicas, la normativa publicada al respecto que deberán cumplir los dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras será la siguiente:

- UNE-EN 1794-1. Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 1: Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad. [12]
- UNE-EN 1794-2. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 2: Consideraciones en relación con la seguridad general y el medio ambiente. [13]
- UNE-EN 1794-3: 2016. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 3: Reacción al fuego. Comportamiento frente al fuego de los dispositivos reductores de ruido y clasificación. [14]
- UNE-EN 14389-2. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Procedimientos para evaluar el comportamiento a largo plazo. Características no acústicas. [15]

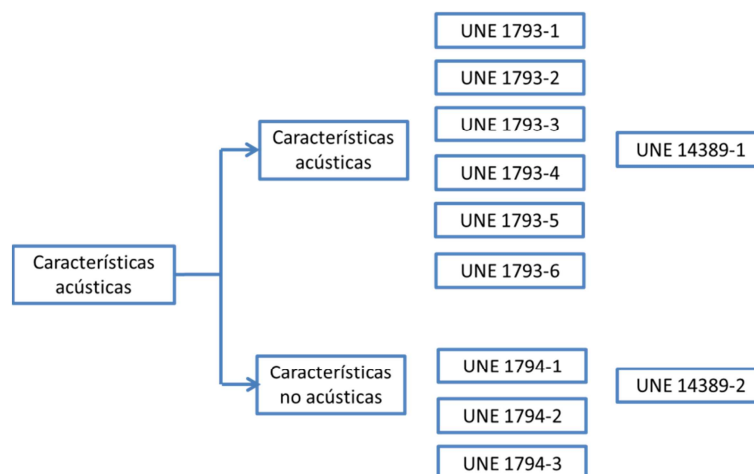


Figura 4. Esquema Normativo relativo a dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras.

En el presente Ensayo, abordaremos un análisis comparativo de aquella normativa que afecta a las características acústicas y de la diferenciación que realiza dicha normativa en cuanto a los ensayos relativos a campo difuso y campo directo.

Por lo que respecta a los ensayos que determinan las pérdidas por inserción de los dispositivos, éstos analizan una característica determinada por un comportamiento extrínseco, es decir, que depende de factores que no están relacionados con el producto en sí mismo, sino de otros elementos como las dimensiones de la pantalla, su adecuado emplazamiento, su correcta instalación, el terreno donde se instala y la geometría del lugar. El grupo de trabajo que desarrolla la normativa relativa a dispositivos de control de ruido para carreteras no ha considerado necesario el desarrollo de normativa que describa los métodos de ensayo para determinar dicha característica; sin embargo, en el caso de barreras acústicas para aplicaciones ferroviarias, sí existe una normativa ratificada por AENOR en febrero de 2016, donde se recoge el método de ensayo para determinar las características extrínsecas, los valores in situ de la pérdida por inserción. (UNE-CEN/TS 16272-7:2015) [16].

DIFERENCIACIÓN CAMPO SONORO DIFUSO Y CAMPO SONORO DIRECTO. ENTORNOS DE INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

La normativa vigente que define los ensayos a realizar en los dispositivos de control de ruido que se instalan en carreteras es muy clara en cuanto a la división de los ensayos realizados en campo sonoro

difuso (en el que todos los ángulos de incidencia son igualmente probables) y en campo sonoro directo. Así, aunque la normativa que define el espectro de referencia de ruido de tráfico es común a ambas, el resto de normativa se encuentra dividida entre los métodos que definen ensayos en condiciones de campo difuso y los que definen ensayos en condiciones de campo directo. En este sentido, nos gustaría aclarar que, aunque se ha comenzado a trabajar sobre la posibilidad de diferenciar también el espectro tipo de ruido de tráfico para ambas condiciones de ensayo, lo cierto es que hasta el momento los estudios realizados no han determinado diferencias significativas en los resultados obtenidos que justifiquen una utilización diferenciada para cada caso [3], por lo que se emplea el mismo espectro de ruido de tráfico normalizado para ambas condiciones de ensayo [7]. No ocurre lo mismo en la normativa relacionada con el tráfico ferroviario, la cual posee dos espectros de ruido de tráfico normalizado para cada una de las condiciones de instalación, campo difuso o directo. [17] [18]

Las características acústicas principales a determinar, cuyos ensayos de determinación describe la normativa son la capacidad de aislamiento a ruido aéreo que presenta la pantalla definida por el parámetro DL_R (índice de evaluación del comportamiento de aislamiento al ruido aéreo), y la capacidad de absorción acústica determinada por el parámetro DL_α (índice de evaluación de la absorción acústica), ambos calculados como la diferencia de niveles de presión sonora ponderados A, en decibelios. Adicionalmente, en el caso de los ensayos realizados en condiciones de campo sonoro directo, existe también una normativa que define los ensayos a realizar para cuantificar la efectividad de dispositivos que pudieran instalarse en la cumbrera de las pantallas acústicas para minimizar el efecto de la difracción de borde, evaluando, por lo tanto la difracción sonora por el borde superior del dispositivo.

La diferenciación de la normativa respecto a las condiciones de ensayo estuvo separada desde los inicios de su redacción, ya que, de hecho, fue redactada por dos grupos de trabajo diferenciados. Así, la normativa correspondiente a campo difuso se basa fundamentalmente en la normativa vigente que define los ensayos de laboratorio que se realizan para comprobar el aislamiento en tabiquería. Sin embargo, fue necesario un desarrollo específico para definir los ensayos “in situ” de dichas características para dispositivos de control de ruido de tráfico en infraestructuras. El desarrollo de esta normativa, y la investigación necesaria para su determinación, ha dilatado en el tiempo su publicación, por lo que inicialmente, tan sólo se disponía de la normativa correspondiente a la definición de los ensayos

realizados en campo sonoro difuso. No obstante, con la aparición de las normas UNE-EN 1793-4 [8], la norma UNE-EN1793-5 [9], y la norma UNE-EN 1793-6 [10], se definieron por fin las condiciones de ensayos para poder determinar dichas características acústicas en condiciones de campo sonoro directo, donde se definen los ensayos para la determinación de las mismas “in situ”.

Una vez aclarada la existencia de los dos métodos de ensayo en las condiciones de campo sonoro directo y difuso, cabría determinar las condiciones en que se aplicarían unas condiciones de ensayo u otras.

La normativa al respecto es clara. Define que se deberán ensayar en condiciones de campo sonoro difuso aquellos dispositivos que estén destinados a ser instalados en condiciones de reverberación. Dichas condiciones de reverberación, a su vez, también se encuentran definidas en la norma, y dependen de la geometría del entorno en el que estaría instalado el dispositivo. Básicamente se resumen en que se consideran unas condiciones de reverberación a aquellas en las que el espacio abierto en el contorno de instalación sea menor o igual al 25%, esto es, por ejemplo, en el caso de pantallas acústicas que se instalen en el interior de túneles, o entre taludes de desmonte profundos.

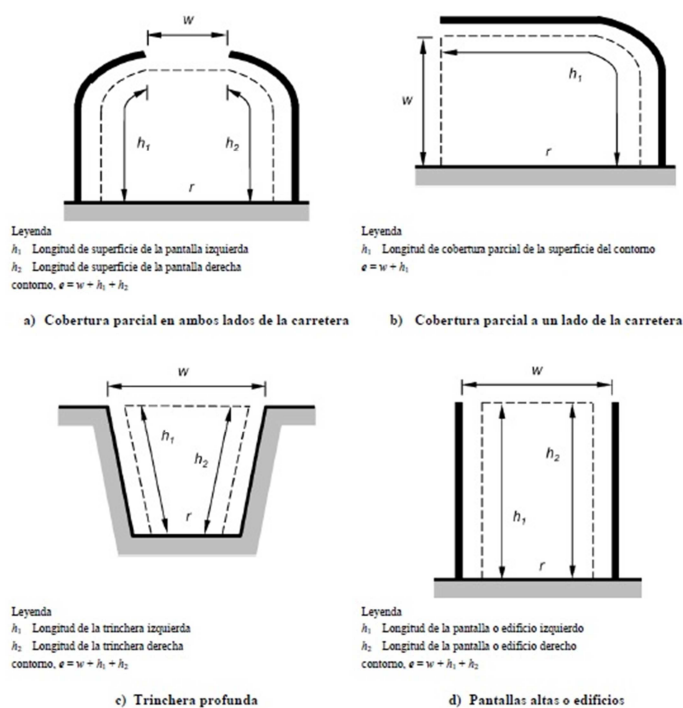


Figura 5. Esquema comprobación condiciones de reverberación (Fuente: Normas UNE [5] [6] [9] [10])

Pese a que los resultados de los ensayos realizados en condiciones de campo sonoro difuso son comparables a los resultados de los ensayos realizados a los mismos dispositivos en condiciones de campo sonoro directo, no son idénticos. Así, los resultados obtenidos por la norma UNE-EN 1793-1 [5] son comparables con los resultados obtenidos por la norma UNE 1793-5 [9] realizando los correspondientes cálculos puesto que en el primer caso se obtienen datos de las características intrínsecas del dispositivo en cuanto a absorción, y en el segundo caso se obtienen datos de las características intrínsecas del dispositivo en cuanto a reflexión. De la misma manera, los resultados obtenidos mediante el método definido en la norma UNE-EN 1793-2 [6] son comparables con los resultados obtenidos por la norma UNE 1793-6 [10], en cuanto a las características intrínsecas de aislamiento a ruido aéreo que presente el dispositivo a ensayar.

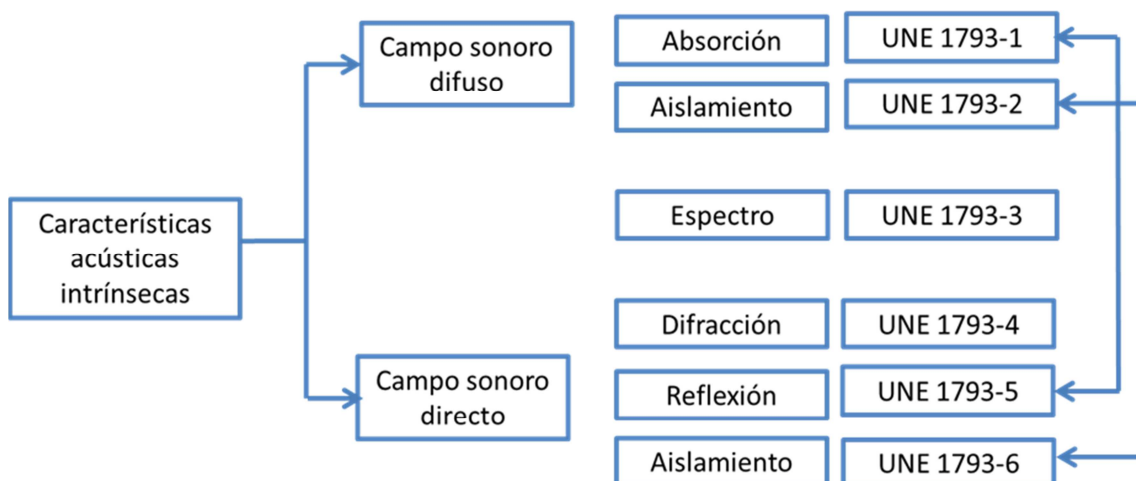


Figura 6. Esquema normativo de las características acústicas intrínsecas de las pantallas para carreteras.

Una de las diferencias más notables en cuanto a la aplicación de uno u otro método de ensayo (en cuanto a campo de sonido difuso o directo) es que, en el caso de campo de sonido difuso, los ensayos se realizan en un laboratorio, bien en una cámara de transmisión o bien en una cámara de reverberación, dependiendo de si la característica a ensayar es el aislamiento a ruido aéreo que presenta o la absorción. Por el contrario, en los métodos de ensayos definidos en la normativa diseñada para campo sonoro directo se pueden aplicar in situ, es decir, donde se instalen los dispositivos reductores de ruido.

Otra de las diferencias existentes entre ambas metodologías es la utilización, en el caso de ensayos realizados “in situ”, de ventanas temporales de Adrienne para la captación de la componente del

sonido directo, tratando así de discriminar el sonido que provengan de reflexiones en el suelo en el lado del receptor o en el lado de la fuente y de difracciones producidas por los límites del dispositivo reductor de ruido. Esta discriminación no es necesaria en los ensayos realizados en el entorno controlado del laboratorio. Dicha ventana temporal de Adrienne, determinará asimismo el límite de baja frecuencia de la medición de las características intrínsecas del dispositivo reductor de ruido.

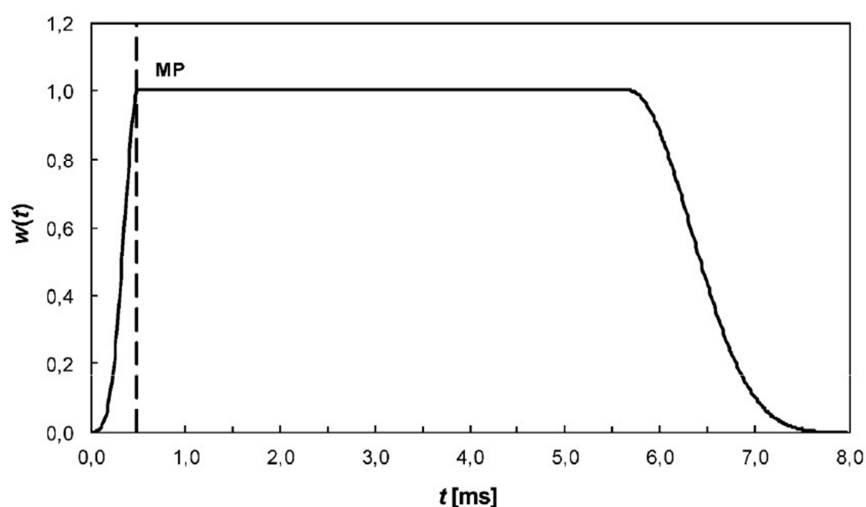


Figura 7. Ventana temporal de Adrienne [10]

ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE LA NORMATIVA VIGENTE

En la actualidad, existe una amplia normativa ya revisada y aprobada, que define claramente la metodología de ensayos a realizar para determinar con garantías las características intrínsecas principales de los distintos dispositivos reductores de ruido de tráfico por carreteras. Las características acústicas que definen la efectividad de un dispositivo de control de ruido a instalar en una carretera han de ser medidas y determinadas bajo un campo de sonido similar al que después será instalado dicho dispositivo. Es decir, para determinar las características acústicas de los dispositivos que vayan a ser instalados bajo condiciones de reverberación se deberán emplear la metodología de ensayo definida en la normativa desarrollada para condiciones de campo difuso. No obstante, en el caso de la determinación de las características acústicas de aquellos dispositivos que vayan a ser instalados en condiciones de no reverberación, será necesario realizar ensayos en condiciones de campo sonoro directo.

Dichas características intrínsecas definen la capacidad de aislamiento de estos dispositivos y sus prestaciones, y permiten distinguir y clasificar los diversos dispositivos de control de ruido que puedan salir al mercado. Por todo ello, es importante que tanto fabricantes como laboratorios de ensayo apliquen correctamente la normativa existente, fruto de más de 25 años de trabajo, como herramienta para mejorar y garantizar diseños efectivos que consigan efectivamente minimizar el problema del ruido generado por las infraestructuras de transporte.

En la práctica, la mayor parte de los fabricantes de barreras acústicas poseen certificaciones de las características acústicas de sus pantallas realizadas por un laboratorio acreditado en condiciones de campo difuso, pese a que las condiciones de instalación de la inmensa mayoría de las barreras acústicas en las carreteras se realizan en condiciones de no reverberación.

De hecho, resulta difícil encontrar laboratorios que dispongan de la capacidad de realizar los ensayos en condiciones de campo sonoro directo descritos en la normativa para dispositivos de control de ruido de carreteras, debido al complicado procesado de los datos, y mucho menos que éstos se encuentren acreditados para homologar estos dispositivos en condiciones de ensayo “in situ”.

Las pantallas acústicas existentes en el mercado, poseen certificaciones de niveles de DL_R de 24 dB, e incluso alcanzan niveles superiores a 34 dB, obteniendo así las mayores clasificaciones de B3 y B4 respectivamente recogidas en la normativa [6]. No obstante, cabría preguntarse si efectivamente dichos niveles de aislamiento a ruido aéreo son necesarios.

Para comprobar la efectividad de altos niveles de aislamiento a ruido aéreo, se realizaron unas simulaciones de una pantalla acústica tipo, de 3 metros de altura, a la cual se le hacía incidir una onda plana (figura 8) mediante el método FDTD (Finite Differences Time Domain, FDTD) [19], calculando los valores del parámetro “pérdidas por inserción” (Insertion Loss en inglés, IL) para diferentes pantallas acústicas con idénticas dimensiones pero diferentes índices de aislamiento a ruido aéreo (DL_R).

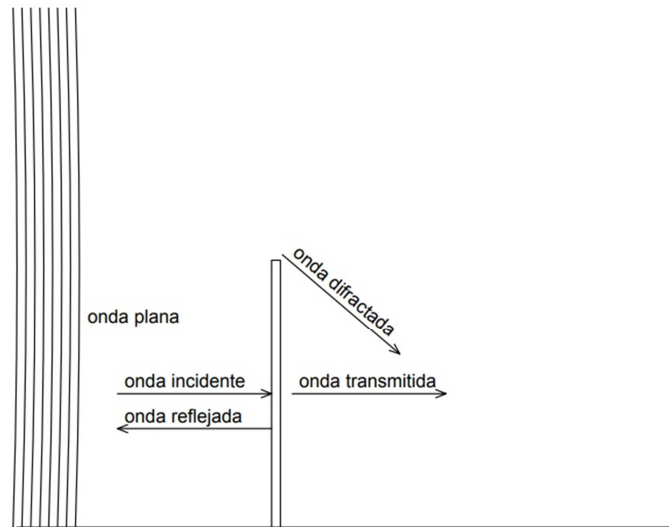


Figura 8. Esquema de simulación realizada para la obtención de IL de una pantalla tipo

Se observó comparando los resultados obtenidos que, a pesar de aumentar dicho aislamiento, el apantallamiento acústico medido en la zona a proteger no lograba obtener valores por encima de los 15 dB. En otras palabras, el IL sufre una saturación a alrededor de los 15 dB por las características geométricas del dispositivo. Este valor no puede ser superado pese a que la pantalla acústica presente un aislamiento a ruido aéreo más elevado.

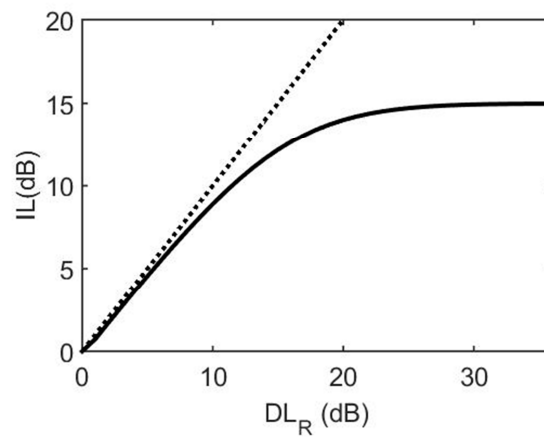


Figura 9. Resultados de IL obtenidos en simulación para distintos valores de DL_R

CONCLUSIONES.

En este Ensayo se ha presentado y descrito la normativa vigente que describe los métodos de ensayo necesarios para determinar las características acústicas intrínsecas de los dispositivos de control de ruido por carretera. Asimismo, se ha realizado un análisis de la utilización que se está realizando en la actualidad de dicha normativa, y si ésta está siendo utilizada correctamente.

Tal y como se ha expuesto, la normativa al respecto es clara. Los resultados de los métodos para la valoración tanto de aislamiento como de absorción realizados en campo sonoro difuso son comparables pero no idénticos a los obtenidos por el método de ensayo de campo sonoro directo, y los primeros sólo se deberían usarse para determinar las características intrínsecas de los dispositivos que se instalen bajo condiciones de reverberación (túneles, trincheras profundas, bajo cubiertas), es decir, en una mínima cantidad de ocasiones reales. Pese a ello, la práctica totalidad de las barreras acústicas que se encuentran instaladas actualmente en las carreteras han sido sometidas a ensayos realizados en campo sonoro difuso, independientemente de la ubicación que vayan a ocupar finalmente, pese a que su instalación no se realiza en condiciones de reverberación.

Por todo ello, se puede concluir, que es necesaria la advertencia a todos los actores del sector, en especial a las administraciones que poseen la titularidad de las carreteras, que las características que definen la capacidad acústica de los dispositivos de control de ruido que se encuentran instalando en la actualidad, no están ensayadas en base a las normas adecuadas, y que es necesario realizar una campaña de ensayos en condiciones de campo sonoro directo a los distintos productos que los fabricantes de pantallas acústicas ofrecen. Para ello, será necesario que laboratorios tramiten la acreditación correspondiente para poder verificar los resultados de dichos ensayos.

En cualquier caso, también queremos destacar que la efectividad en la instalación de un dispositivo de control de ruido varía notablemente en función no sólo de las características intrínsecas del propio dispositivo, sino tal y como hemos comentado anteriormente, de distintos factores como la ubicación del mismo, la geometría que presente, e incluso el entorno donde es instalado, es decir, de otras características extrínsecas.

Por ello, finalmente recomendamos la comprobación de la efectividad de las mismas mediante simulaciones previas que contemplen la ubicación de las mismas, o ensayos in situ de pérdidas por inserción tras la instalación del dispositivo, para poder verificar adecuadamente la efectividad de la medida correctora implantada. Asimismo, cabría replantear el desarrollo de una norma específica que describa el ensayo para determinar las pérdidas por inserción para dispositivos de carreteras, tal y como existe para infraestructuras ferroviarias, estandarizando así la metodología de medida.

REFERENCIAS.

- [1] Alegre, D.M., 2008. Dispositivos reductores de ruido y pantallas acústicas. Generalidades coeficientes y tipologías. Asociación Nacional de Industriales de Pantallas y Dispositivos Anti-Ruido.
- [2] Maekawa, Z., 1968. Noise reduction by screens. *Applied acoustics*, 1(3), 157-173.
- [3] Clairbois, J. P., Garai, M., 2013. EN standards for road traffic Noise Reducing Devices and railway Noise Barriers: State of the Art. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 247, No. 4, pp. 4230-4237). Institute of Noise Control Engineering.
- [4] Clairbois, J. P., Garai, M., 2015. The European standards for roads and railways noise barriers: state of the art 2015. In *Proc Euronoise*.
- [5] UNE-EN 1793-1: 1998. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 1: Características intrínsecas. Absorción sonora.
- [6] UNE-EN 1793-2: 1998. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 2: Características intrínsecas. Aislamiento a ruido aéreo.
- [7] UNE-EN 1793-3: 1998. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 3: Espectro normalizado de ruido de tráfico.
- [8] UNE-EN 1793-4: 2015. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 4: Características intrínsecas. Valores in situ de la difracción sonora.
- [9] UNE-EN 1793-5: 2016. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 5: Características intrínsecas. Valores in situ de la reflexión sonora en condiciones de campo sonoro directo.

[10] UNE-EN 1793-6: 2014. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 6: Características intrínsecas. Valores in situ del aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo sonoro directo.

[11] UNE-EN 14389-1: 2015. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Procedimientos para evaluar el comportamiento a largo plazo. Características acústicas.

[12] UNE-EN 1794-1: 2011. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 1: Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad.

[13] UNE-EN 1794-2: 2011. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 2: Consideraciones en relación con la seguridad general y el medio ambiente.

[14] UNE-EN 1794-3: 2016. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Comportamiento no acústico. Parte 3: Reacción al fuego. Comportamiento frente al fuego de los dispositivos reductores de ruido y clasificación.

[15] UNE-EN 14389-2: 2015. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Procedimientos para evaluar el comportamiento a largo plazo. Características no acústicas.

[16] UNE-CEN/TS 16272-7: 2015. Aplicaciones ferroviarias. Vía. Barreras acústicas y dispositivos relacionados que actúan sobre la propagación aérea del sonido. Método de ensayo para determinar el rendimiento acústico. Parte 7: Características extrínsecas. Valores in situ de la pérdida por inserción.

[17] UNE-EN 16272-3-1: 2013. Aplicaciones ferroviarias. Vía. Barreras acústicas y dispositivos relacionados que actúan sobre la propagación aérea del sonido. Método de ensayo para determinar el rendimiento acústico. Parte 3-1: Espectro de ruido ferroviario normalizado y número único de clasificación para aplicaciones de campo difuso.

[18] UNE-EN 16272-3-2: 2014. Aplicaciones ferroviarias. Vía. Barreras acústicas y dispositivos relacionados que actúan sobre la propagación aérea del sonido. Método de ensayo para determinar el rendimiento acústico. Parte 3-2: Espectro de ruido ferroviario normalizado y número único de clasificación para aplicaciones de campo directo.

[19] Redondo, J., Picó, R., Roig, B., Avis, M.R., 2007. Time domain simulation of sound diffusers using finite-difference schemes. Acta acústica united with Acustica, 93(4) 611-622.