

Enero 2001

TÍTULO

Acústica de la edificación

Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos

Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra ruido del exterior

Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.

Acoustique du bâtiment. Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments. Partie 3: Isolement aux bruits aériens venus de l'extérieur.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12354-3 de marzo 2000.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 74 *Acústica* cuya Secretaría desempeña AENOR.

ICS 91.120.20

Versión en español

Acústica de la edificación
Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las
características de sus elementos
Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra ruido del exterior

Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements.
Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.

Acoustique du bâtiment. Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments.
Partie 3: Isolement aux bruits aériens venus de l'extérieur.

Bauakustik. Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 3: Luftschalldämmung von Außenbauteilen gegen Außenlärm.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2000-01-22. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES.....	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	6
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	6
3 MAGNITUDES RELEVANTES	7
3.1 Magnitudes que expresan las características del edificio.....	7
3.1.1 Índice de reducción acústica aparente R'_{45°	7
3.1.2 Índice de reducción acústica aparente $R'_{tr,s}$	7
3.1.3 Diferencia de nivel estandarizada $D_{2m,nT}$	7
3.1.4 Diferencia de nivel normalizada $D_{2m,n}$	8
3.1.5 Relaciones entre las magnitudes	8
3.2 Magnitudes que expresan las características de los elementos.....	8
3.2.1 Índice de reducción acústica R	8
3.2.2 Diferencia de nivel normalizada del elemento, $D_{n,e}$	9
3.2.3 Otros datos relevantes	9
3.3 Otros términos y magnitudes	9
4 MODELOS DE CÁLCULO.....	10
4.1 Principios generales	10
4.2 Determinación de las transmisiones directas a partir de los datos acústicos de los elementos.....	11
4.2.1 Elementos pequeños.....	12
4.2.2 Otros elementos	12
4.3 Determinación de las transmisiones indirectas.....	12
4.4 Interpretaciones	13
4.5 Limitaciones.....	13
5 PRECISIÓN	13
ANEXO A (Normativo) – LISTA DE SÍMBOLOS	15
ANEXO B (Informativo) – DETERMINACIÓN DE LA TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE LAS PARTES COMPONENTES.....	17
ANEXO C (Informativo) – INFLUENCIA DE LA FORMA DE LA FACHADA	20
ANEXO D (Informativo) – ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA DE ELEMENTOS	24
ANEXO E (Informativo) – ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES EN EL INTERIOR	28
ANEXO F (Informativo) – EJEMPLOS DE CÁLCULO.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	32

ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 126 “Propiedades acústicas de los edificios y sus elementos de construcción”, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de septiembre de 2000, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de septiembre de 2000.

Esta es la primera versión de esta norma, que forma parte de una serie de normas que especifican modelos de cálculo en la acústica de las edificaciones.

- Parte 1: Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento del ruido aéreo entre recintos.
- Parte 2: Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos.
- Parte 3: Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo frente al ruido del exterior.
- Parte 4: Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 4: Transmisión de ruido interior al exterior.
- Parte 5: Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 5: Ruido de instalaciones técnicas y equipo.
- Parte 6: Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 6: Absorción acústica en espacios cerrados.

La precisión de esta norma sólo se puede especificar en detalle después de una amplia comparación con datos de campo, éstos sólo pueden obtenerse hasta que pase un período de tiempo después de establecerse el modelo de predicción. Como ayuda al usuario, a medio plazo, se han dado indicaciones de precisión, basándose en primeras comparaciones con modelos de predicción comparables. Es responsabilidad del usuario (es decir, una persona, una organización, las autoridades y dirigir las consecuencias de la precisión, inherente para todas las medidas y métodos de predicción, mediante la especificación de los requisitos de los datos de entrada y/o aplicando en margen de seguridad a los resultados o aplicando alguna otra corrección.

El anexo A forma parte integral de esta parte de la Norma 12354, los anexos B, C, D, E y F son informativos.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

1 OBJETO Y ALCANCE DE APLICACIÓN

Esta norma europea especifica un modelo de cálculo para estimar el aislamiento acústico o la diferencia de nivel de presión acústica de una fachada o de cualquier otra superficie externa de un edificio. El cálculo se basa en el índice de reducción acústica de los distintos elementos que componen la fachada e incluye las transmisiones tanto directas como indirectas. De los cálculos se obtienen resultados que se corresponden aproximadamente con los resultados de las mediciones *in situ* según la Norma EN ISO 140-5. Los cálculos se pueden realizar por bandas de frecuencia o por índices globales.

Los resultados del cálculo pueden ser utilizados también para el cálculo de nivel de presión acústica de inmisión debido a, por ejemplo, tráfico rodado; este uso se trata en el anexo informativo D.

Este documento describe los principios del modelo de cálculo, enumera las magnitudes relevantes y define sus aplicaciones y restricciones. Está orientado a expertos en acústica y establece un marco para el desarrollo de documentos de aplicación y herramientas para otros usuarios en el campo de la construcción de edificios, teniendo en cuenta situaciones locales.

El modelo está basado en la experiencia en la predicción para viviendas; También podría aplicarse a otros tipos de edificios siempre que las dimensiones de las construcciones no sean muy diferentes a las que se encuentran en los edificios de viviendas.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

prEN 12354-1:1999 – *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos.*

EN 20140-10 – *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 10: Medición en laboratorio del aislamiento al ruido aéreo de elementos de construcción pequeños (ISO 140-10:1991).*

EN ISO 140-1 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisión por flancos. (ISO 140-1:1997).*

EN ISO 140-3 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de los elementos de construcción (ISO 140-3:1995)*

EN ISO 140-5 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas (ISO 140-5:1998)*

EN ISO 717-1 – *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo. (ISO 717-1:1996).*

EN ISO 11654 – *Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica (ISO 11654:1997).*

3 MAGNITUDES RELEVANTES

3.1 Magnitudes que expresan las características del edificio

El aislamiento acústico de fachadas según la Norma EN ISO 140-5 se puede expresar con varias magnitudes. Estas magnitudes vienen determinadas en bandas de frecuencia (bandas de tercio de octava o de octava) y a partir de ellas se puede obtener el índice global para las características de la edificación según la Norma EN ISO 717-1, por ejemplo R'_{w} , $D_{1s,2m,nT,w}$ o $(R'_{w} + C_{tr})$.

3.1.1 Índice de reducción acústica aparente R'_{45° . Es el aislamiento acústico a ruido aéreo de un elemento de construcción cuando la fuente acústica es un altavoz y el ángulo de incidencia es de 45° . Este índice de reducción acústica aparente se evalúa a partir de:

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} - 1,5 \text{ dB} \quad (1)$$

donde

$L_{1,s}$ es el nivel de presión acústica medio que incide sobre la superficie externa del elemento de construcción, incluyendo los efectos de la reflexión sobre la fachada, en decibelios;

L_2 es el nivel de presión acústica medio en el recinto receptor, en decibelios;

S es el área del elemento de construcción, en metros cuadrados;

A es el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor, en metros cuadrados.

3.1.2 Índice de reducción acústica aparente $R'_{tr,s}$. Es el aislamiento acústico a ruido aéreo de un elemento de construcción cuando la fuente acústica es ruido de tráfico. Este índice de reducción acústica aparente se evalúa a partir de:

$$R'_{tr,s} = L_{eq,1,s} - L_{eq,2} + 10 \lg \frac{S}{A} - 3 \text{ dB} \quad (2)$$

donde

$L_{eq,1,s}$ es el nivel de presión acústica medio que incide sobre la superficie exterior del elemento de construcción, incluyendo los efectos de la reflexión sobre la fachada, en decibelios;

$L_{eq,2}$ es el nivel de presión acústica medio en el recinto receptor, en decibelios.

3.1.3 Diferencia de nivel estandarizada $D_{2m,nT}$. Es la diferencia entre el nivel de presión acústica en el exterior a 2 m de la fachada y el nivel de presión acústica en el recinto receptor, relativa a un valor de referencia del tiempo de reverberación. La diferencia de nivel estandarizada se evalúa a partir de:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (3)$$

donde

$L_{1,2m}$ es el nivel de presión acústica medio a 2 m de la fachada, en decibelios;

T es el tiempo de reverberación del recinto receptor, en segundos;

L_2 es el nivel de presión acústica medio del recinto receptor, en decibelios;

T_0 es el tiempo de reverberación de referencia, en segundos; para viviendas es $T_0 = 0.5$ s.

La diferencia de nivel estandarizada se puede determinar con ruido de tráfico o con el ruido de un altavoz. Esto se indicará mediante la adición del subíndice tr o ls respectivamente, es decir. $D_{tr,2m,nT}$, $D_{ls,2m,nT}$.

3.1.4 Diferencia de nivel normalizada $D_{2m,n}$. Es la diferencia entre el nivel de presión acústica en el exterior a 2 m de la fachada y el nivel de presión acústica en el recinto receptor, relativa a un valor de referencia del área de absorción. La diferencia de nivel normalizada se evalúa a partir de:

$$D_{2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (4)$$

donde

A_0 es el área de absorción acústica equivalente de referencia, en metros cuadrados, para viviendas es 10 m^2 .

La diferencia de nivel normalizada se puede determinar con ruido de tráfico o con el ruido de un altavoz. Esto se indicará mediante la adición del subíndice "tr" o "ls" respectivamente, es decir $D_{tr,2m,n}$, $D_{ls,2m,n}$.

3.1.5 Relaciones entre las magnitudes. Los dos índices de reducción acústica, R'_{45° y $R'_{tr,s}$, tienden a dar resultados con una diferencia sistemática sobre un intervalo de frecuencias grande. Tanto para el índice global como para las bajas frecuencias, el índice de reducción acústica aparente R'_{45° , da resultados que son de 0 a 2 dB más altos que los resultados para $R'_{tr,s}$. $R'_{tr,s}$ que dan valores que son comparables a los obtenidos en condiciones de laboratorio. Estas diferencias se tendrán en cuenta en el modelo de cálculo.

Las dos diferencias de nivel acústico, $D_{2m,nT}$ y $D_{2m,n}$ están directamente relacionadas por:

$$D_{2m,n} = D_{2m,nT} - 10 \lg 0,16 \frac{V}{T_0 A_0} = D_{2m,nT} - 10 \lg 0,32V \text{ dB} \quad (5)$$

donde

V es el volumen del recinto receptor, en metros cúbicos.

Por tanto es suficiente estimar una de estas magnitudes para deducir la otra. En lo que respecta a las diferencias de nivel, en este documento se escoge la diferencia de nivel estandarizada como magnitud primaria a ser estimada.

Las mediciones que utilizan como fuente de ruido el tráfico o un altavoz tienden a dar resultados iguales sin ninguna desviación sistemática, por tanto:

$$D_{tr,2m,nT} \approx D_{ls,2m,nT} \text{ dB} \quad (6)$$

La diferencia de nivel de una fachada está relacionada con el índice de reducción acústica. Por tanto el modelo para la diferencia de nivel está relacionado con el modelo para el índice de reducción acústica.

3.2 Magnitudes que expresan las características de los elementos

Las magnitudes que expresan las características de los distintos elementos se utilizan como parte de los datos de entrada para estimar las características de la edificación. Estas magnitudes se determinan en bandas de tercio de octava y también se pueden expresar en bandas de octava. En los casos en que sea relevante, se puede obtener un índice global para el elemento considerado a partir de los valores por bandas de frecuencia, según la Norma EN ISO 717-1:1996, por ejemplo $R_w(C;C_{tr})$ y $D_{n,e,w}(C;C_{tr})$.

3.2.1 Índice de reducción acústica R . Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la potencia acústica W_1 , incidente sobre la muestra de ensayo y la potencia acústica W_2 transmitida a través de la misma:

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \text{ dB} \quad (7)$$

Esta magnitud debe determinarse según la Norma EN ISO 140-3.

3.2.2 Diferencia de nivel normalizada del elemento, $D_{n,e}$. Es la diferencia de nivel de presión acústica, promediada espacial y temporalmente, producida entre dos recintos, con una fuente en uno de ellos, y debiéndose la transmisión acústica sólo a un elemento de construcción pequeño (por ejemplo dispositivos de ventilación). $D_{n,e}$ se normaliza a un área de absorción equivalente (A_0) en el recinto receptor; $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 - 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (8)$$

Esta magnitud debe determinarse según la Norma EN 20140-10.

3.2.3 Otros datos relevantes. Para los cálculos podría ser necesaria información adicional sobre las construcciones, por ejemplo:

- la forma de la fachada;
- tipo de sellado y calidad de las rendijas y las conexiones;
- área total de la fachada.

3.3 Otros términos y magnitudes

Índice de reducción acústica de fachada para campo incidente difuso R'

Es el índice de reducción acústica de la fachada como si hipotéticamente pueda medirse con un campo acústico incidente difuso en una situación real. Esta cantidad se utiliza como una magnitud de cálculo a partir de la cual se pueden obtener diversas magnitudes de las características del edificio.

NOTA – En algunos países las características del edificio no se expresan a través de una de las magnitudes medibles sino con R' .

Diferencia de nivel debida a la forma de fachadas con un relieve ΔL_{fs}

Es la diferencia de nivel acústico entre el campo incidente, $L_{1,in}$, sobre una fachada con relieve y el nivel acústico sobre la superficie de una fachada plana, $L_{1,s}$, más 6 dB. Esta magnitud puede determinarse según:

$$\Delta L_{fs} = L_{1,in} - L_{1,s} + 6 \text{ dB} \quad (9)$$

donde

$L_{1,in}$ es el nivel de presión acústica medio en el plano de la fachada, sin estar presente la fachada, en decibelios;

$L_{1,s}$ es el nivel de presión acústica medio sobre la superficie exterior del plano de la fachada real, en decibelios.

NOTA – En el anexo C se da información sobre la diferencia de nivel debida a la forma de la fachada y del método para determinar sus valores.

4 MODELOS DE CÁLCULO

4.1 Principios generales

Por fachada se entiende toda la superficie de un recinto que da al exterior. La fachada puede constar de diferentes elementos, por ejemplo ventanas, puertas, paredes, tejados, equipos de ventilación; la transmisión acústica a través de la fachada es debida a la transmisión a través de cada uno de sus elementos. Se asume que la transmisión en cada elemento es independiente de la transmisión de los otros elementos. Los distintos tipos de campos acústicos exteriores utilizados en las distintas situaciones de medida, definidos para la determinación de las magnitudes que expresan las características de la edificación conducen a valores diferentes. Sin embargo, que la transmisión para un campo acústico incidente difuso sea suficientemente representativa para todos estos tipos de campos acústicos exteriores, es una suposición razonablemente comprobada. En consecuencia primero se calcula el índice de reducción acústica aparente de la fachada para campo incidente difuso, y a partir de él se deducen todas las demás magnitudes.

El índice de reducción acústica aparente R' de la fachada para campo incidente difuso se calcula mediante la adición de la potencia acústica transmitida directamente por cada uno de los elementos y la potencia acústica transmitida de forma indirecta.

$$R' = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \tau_{e,i} + \sum_{f=1}^m \tau_f \right) \text{ dB} \quad (10)$$

donde

$\tau_{e,i}$ es el cociente entre la potencia acústica radiada por el elemento de fachada i , debida a la transmisión directa del campo incidente en este elemento, y la potencia acústica incidente sobre toda la fachada;

τ_f es el cociente entre la potencia acústica radiada por el elemento de la fachada o de flanco f , en el recinto receptor debido a una transmisión indirecta, y la potencia acústica incidente sobre toda la fachada;

n es el número de elementos de la fachada para las transmisiones directas;

m es el número de elementos de flanco de la fachada.

NOTA 1 –La fracción de potencia acústica τ_e indica directamente la contribución del elemento a la transmisión total; por esta razón $R_p = -10 \lg \tau_e$ podría designarse como índice de reducción acústica parcial.

NOTA 2 –Sólo para las transmisiones directas las ecuaciones (14) y (15) podrían integrarse en la ecuación (10), con lo que obtendríamos la expresión que se utiliza a menudo para el índice de reducción acústica de elementos compuestos.

Para las transmisiones directas la fracción de potencia acústica τ_e puede determinarse para cada elemento de la fachada de forma directa a partir de los datos acústicos de ese elemento, incluyendo la contribución de cada parte componente; véase el apartado 4.2. Alternativamente esta fracción de potencia acústica para uno o más elementos podría estimarse a partir de los datos acústicos de cada una de las partes que lo componen; véase el anexo B. La elección depende de las regulaciones y de los datos acústicos disponibles.

Para las transmisiones indirectas la fracción de potencia acústica τ_f puede determinarse según el apartado 4.3.

El índice de reducción acústica aparente de la fachada se determina a partir de:

$$R'_{45^\circ} = R' + 1 \text{ dB} \quad (11)$$

$$R'_{tr,s} = R' \text{ dB} \quad (12)$$

NOTA 3 –Estas ecuaciones representan una relación media entre las magnitudes. Para el índice global la variación alrededor de la media es típicamente de ± 1 dB. Para bandas de frecuencia el intervalo es típicamente de ± 2 dB; para fachadas compuestas de varios elementos. Sin embargo, en algunos casos especiales, por ejemplo cuando la transmisión esté completamente dominada por vidrios simples, la diferencia entre las dos magnitudes a frecuencias alrededor y por debajo de la frecuencia coincidente es menos sistemática y puede ser mucho mayor.

La diferencia de nivel normalizada de una fachada depende de su índice de reducción acústica vista desde el interior, la influencia de la forma exterior de la fachada, como balconadas, y las dimensiones del recinto. De todo ello:

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \lg \frac{V}{6T_0S} \text{ dB} \quad (13)$$

donde

V es el volumen del recinto receptor, en metros cúbicos;

S es el área total de la fachada vista desde el interior (es decir la suma del área de todos los elementos de la fachada), en metros cuadrados;

ΔL_{fs} es la diferencia de nivel debida al relieve de la fachada, en decibelios.

NOTA 4 – La diferencia de nivel normalizado puede utilizarse para estimar el nivel de presión acústica en el interior, véase el anexo E.

En el anexo C se da información sobre la diferencia de nivel debida a la forma de la fachada.

El modelo puede usarse para calcular las características de la edificación en bandas de frecuencia, basándose en los datos acústicos de los elementos de construcción por bandas de frecuencia (bandas de tercio de octava o de octava). El cálculo se realiza, al menos para las bandas de octava comprendidas entre 125 Hz y 2 000 Hz o para las bandas de tercio de octava comprendidas entre 100 Hz y 3 150 Hz. A partir de estos resultados se puede deducir el índice global para las características de la edificación según la Norma EN ISO 717-1.

NOTA 5 – Los cálculos se pueden extender a frecuencias superiores o inferiores si se dispone de los datos acústicos necesarios. Sin embargo en la actualidad no se dispone de información sobre la precisión de los cálculos para estas bandas de frecuencia, especialmente para las bajas frecuencias.

El modelo también se puede utilizar para calcular directamente el índice global de la edificación, basado en los índices globales de los elementos involucrados. Esto significa ponderar según la Norma EN ISO 717-1. La estimación resultante de las características del edificio se da mediante un índice global que es del mismo tipo que el utilizado para cada uno de los elementos, es decir utilizando R_w y $D_{n,e,w}$ para los elementos se obtiene $R'_{45^\circ,w}$ para la fachada, utilizando $(R_w + C_{tr})$ y $(D_{n,e,w} + C_{tr})$ para los elementos se obtiene $(D_{2m,nT,w} + C_{tr})$ para la fachada. Estos términos de adaptación espectral se refieren al intervalo de frecuencias cubierto por bandas de octava de 125 Hz a 2 000 Hz o a las bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3 150 Hz. Si se considera un intervalo de frecuencias mayor se deberían usar los términos de adaptación espectral adecuados.

NOTA 6 – Por conveniencia las sumas con los términos de adaptación espectral para edificaciones pueden representarse con un símbolo, por ejemplo $R'_w + C_{tr} = R'_{Atr}$ y $D_{2m,nT,w} + C_{tr} = D_{2m,nT,Atr}$.

NOTA 7 – la suma energética involucrada en este modelo es exacta para $(R_w + C_{tr})$ y una aproximación razonable para R_w .

4.2 Determinación de las transmisiones directas a partir de los datos acústicos de los elementos

En los cálculos se deben incluir todos los elementos que componen la fachada. La fracción de potencia acústica se calcula según lo siguiente, donde la distinción entre elementos pequeños y otros se hace según la Norma EN 20140-10.

4.2.1 Elementos pequeños

$$t_{e,i} = \frac{A_0}{S} 10^{-D_{n,e,i}/10} \quad (14)$$

$A_0 = 10 \text{ m}^2$.

donde

$D_{n,e,i}$ es la diferencia de nivel normalizada del elemento i , en decibelios;

S es el área total de la fachada vista desde dentro (es decir la suma del área de todos los elementos), en metros cuadrados.

4.2.2 Otros elementos

$$t_{e,i} = \frac{S_i}{S} 10^{-R_i/10} \quad (15)$$

donde

R_i es el índice de reducción acústica del elemento i , en decibelios;

S_i es el área del elemento i , en metros cuadrados.

Se considera que la transmisión acústica a través de las conexiones y el sellado entre los elementos están incluidas en los datos de uno de los elementos conectados.

NOTA – Normalmente la conexión entre elementos está suficientemente representada mediante el montaje del elemento tal y como se hizo durante el ensayo en laboratorio y por tanto está incluido en los datos acústicos de los elementos. Aparte de esto, se puede añadir como un “elemento” separado, véase anexo B.

Los datos acústicos de los elementos involucrados deberían tomarse en primera instancia de mediciones normalizadas en laboratorio. Sin embargo pueden deducirse de otras formas, utilizando cálculos teóricos, estimaciones empíricas, o resultados de mediciones in situ. En el anexo D se da alguna información al respecto.

La fuente de los datos utilizados debe ser claramente expuesta.

4.3 Determinación de las transmisiones indirectas

La fracción de potencia acústica τ_f de las transmisiones indirectas a través del elemento f procede de la suma de los factores de transmisión por flancos de todos los caminos de transmisión por flancos para ese elemento. Estos factores de transmisión por flancos se pueden determinar según el proyecto de Norma prEN 12354-1:1999, tomando el área S_s como área total S de la fachada. Para todos los elementos de flanco esto afecta a τ_{Ff} y τ_{Df} según la notación de el proyecto de Norma prEN 12354-1:1999, donde D designa los elementos de la fachada y F designa las partes de la fachada que no son parte del recinto receptor considerado. Para todos los elementos de la fachada esto concierne a τ_{Fd} en la notación del proyecto de Norma prEN 12354-1:1999, donde d designa los elementos de la fachada.

La contribución de las transmisiones indirectas normalmente es despreciable. Sin embargo, si hay elementos rígidos, tales como hormigón o ladrillos conectados a otros elementos rígidos del recinto receptor, tales como suelos o particiones, las transmisiones indirectas pueden contribuir a la transmisión global. Esto puede ser importante cuando los requerimientos sean elevados.

NOTA – En la mayoría de los casos no es necesario calcular la contribución de las transmisiones indirectas. Para asegurarse, en los casos con elementos rígidos, de incorporar las transmisiones indirectas de forma global sería normalmente suficiente reducir el índice de reducción acústica para este tipo de elemento de fachada rígido y pesado, sustraer 2 dB.

4.4 Interpretaciones

- para vidrieras y ventanas con cristales vítreos la transmisión acústica está influida por su área y los nichos. Para las áreas y los nichos más habituales en situaciones de campo estos efectos no se desvían mucho de las mediciones en laboratorio y pueden ignorarse con fines prácticos;
- para varios tipos de elementos, especialmente los que pueden abrirse, la calidad del sellado es muy importante en la obtención del índice de reducción acústica. En consecuencia, es importante asegurarse de que la calidad *in situ* sea por lo menos igual a la correspondiente a las mediciones en laboratorio. En caso de duda el efecto de la transmisión a través de huecos y sellados puede estimarse como en el anexo B;
- para elementos dobles ligeros, tales como paneles, el índice de reducción acústica real puede ser más pequeño que el obtenido en laboratorio para elementos completos, debido a las diferencias en el área y a que normalmente hay un mayor número de conexiones;
- la transmisión acústica a través de pequeños elementos, tales como entradas de aire, puede estar influida por su posición relativa a paredes reflectantes y/o techos. Esto se tiene en cuenta mediante la posición de montaje en el laboratorio según la Norma EN 20140-10 o se puede estimar su efecto; véase anexo D. El efecto de la posición de montaje para pequeños elementos también depende de la parte externa de paredes y techos. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de calcular R' , véase el anexo D;
- si la fachada no es plana, se tomará como área la total de todas las partes tal y como se ven desde dentro, siempre que el sonido incidente sobre todas ellas sea el mismo. Si esto no se cumple, cada parte de la fachada con un sonido incidente homogéneo debe tratarse de forma separada. Si las diferentes partes de la fachada total pueden tener diferentes niveles acústicos, como ventanas con grandes vanos, una habitación que hace esquina o una habitación bajo el tejado, es posible considerar estas partes separadamente o combinadas como la envolvente total del recinto receptor, dependiendo de los requisitos y de la situación de medición prescrita (tipo de fuente, posición de la fuente, posición del micrófono exterior). En el último caso los resultados de los cálculos para cada parte deben combinarse teniendo en cuenta los niveles acústicos en el exterior de cada parte, relativos a una posición (de micrófono) de referencia definidas para mediciones *in situ*.

4.5 Limitaciones

- las diferencias en el campo acústico entre las diferentes situaciones que se pueden encontrar *in situ* y la suposición de campo difuso para la predicción, como en laboratorio, producen algunas desviaciones sistemáticas. Se tiene en cuenta el promedio de estas desviaciones disminuyendo de esta forma el error sistemático, dejando un aumento en la imprecisión de la predicción debido al error aleatorio;
- se supone que con la distancia de 2 m para el micrófono exterior el efecto de la posible interferencia producida por la fachada es suficientemente pequeño, y por ello no se tiene en cuenta en el modelo de cálculo. Esto será generalmente correcto para el caso de niveles por bandas de octava, pero no para niveles por bandas de tercio de octava en que el efecto de la interferencia podría no ser despreciable.

5 PRECISIÓN

El modelo de cálculo predice las características de las edificaciones tal como se obtendrían al medirlas, suponiendo una buena ejecución de la obra y una alta precisión en la medida.

La precisión de la predicción según el presente modelo depende de muchos factores: la precisión de los datos de entrada, la adecuación de la situación al modelo, el tipo de elementos involucrados, la geometría de la situación y el tipo de magnitud a predecir. En consecuencia no es posible especificar la precisión en general para todos los tipos de situaciones y aplicaciones. En el futuro se recogerán datos sobre la precisión mediante la comparación de los resultados del modelo con un conjunto de resultados obtenidos en situaciones reales. Sin embargo, se pueden dar algunas indicaciones.

La estimación de la diferencia de nivel normalizada a partir de las partes componentes de la fachada es correcta en promedio; el índice global ($D_{ls,2m,nT,w} + C_{tr}$) muestra una desviación estándar de 1,5 dB aproximadamente, mientras que para bandas de octava individuales la desviación estándar puede llegar a 3 dB.

La estimación del índice de reducción acústica aparente de una fachada a partir de los elementos componentes se espera que sea al menos igual de precisa.

NOTA – Todo esto está basado en la comparación de la diferencia de nivel normalizado en más de 70 situaciones que cubren una gran variedad de diseños de fachada; los datos acústicos usados para las partes componentes estaban dentro del nivel de seguridad, es decir eran 1 dB inferiores a los resultados de su medición en laboratorio.

Al aplicar las predicciones es aconsejable variar los datos de entrada, especialmente en situaciones complicadas y con elementos atípicos cuyos datos de entrada sean poco fiables. La variación resultante de los resultados dará una idea de la precisión que se puede esperar para estas situaciones, suponiendo una buena ejecución.

ANEXO A (Normativo)

LISTA DE SÍMBOLOS

Tabla A.1
Lista de símbolos

Símbolo	Magnitud física	Unidad
A	Área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor	[m ²]
A_o	Área de absorción acústica equivalente de referencia; para viviendas es 10 m ²	[m ²]
c_o	velocidad del sonido en el aire	[m/s]
C	Término de adaptación espectral 1 según la Norma EN ISO 717-1	[dB]
C_{tr}	Término de adaptación espectral 2 según la Norma EN ISO 717-1	[dB]
$D_{2m,nT}$	Diferencia de nivel normalizado de una fachada (incluye el subíndice “tr” si se mide con ruido de tráfico o “ls” si se mide con altavoces)	[dB]
$D_{2m,n}$	Diferencia de nivel normalizada de una fachada (incluye es subíndice “tr” si se mide con ruido de tráfico o “ls” si se mide con altavoces)	[dB]
$D_{2m,nT,w}$	Diferencia de nivel normalizada ponderada de una fachada según la Norma EN ISO 717-1	[dB]
$D_{2m,n,w}$	Diferencia de nivel normalizada ponderada de una fachada según la Norma EN ISO 717-1	[dB]
$D_{n,e}$	Diferencia de nivel normalizada de un elemento para un elemento de construcción pequeño	[dB]
$D_{n,e,lab}$	Diferencia de nivel normalizada de un elemento para un elemento de construcción pequeño, determinada en laboratorio	[dB]
$D_{n,e,situ}$	Diferencia de nivel normalizada de un elemento para un elemento de construcción pequeño, determinada <i>in situ</i>	[dB]
f	Frecuencia	[Hz]
i	Índice para los elementos de la fachada	[-]
j	Índice para las partes componentes de un elemento de fachada	[-]
k	Índice para los huecos sellados y las juntas	[-]
k_o	número de onda ($= 2 \pi f/c_o$)	[m ⁻¹]
$l_{s,k}$	Longitud del hueco sellado o la junta k	[m]
l_o	Longitud de referencia; es 1 m	[m]
l_{lab}	Longitud de un elemento de construcción pequeño para la medición en laboratorio de $D_{n,e,lab}$	[m]
l_{situ}	Longitud de un elemento de construcción pequeño <i>in situ</i>	[m]
L_1	Nivel de presión acústica medio en el recinto emisor	[dB re 20 µPa]
$L_{1,s}$	Nivel de presión acústica medio sobre la superficie exterior de la fachada	[dB re 20 µPa]
$L_{1,in}$	Nivel de presión acústica medio del campo acústico incidente	[dB re 20 µPa]
$L_{1,2m}$	Nivel de presión acústica medio a 2 m de la fachada	[dB re 20 µPa]
$L_{eq,1,s}$	Nivel de presión acústica equivalente medio sobre la superficie exterior de la fachada	[dB re 20 µPa]
L_2	Nivel de presión acústica medio en el recinto receptor	[dB re 20 µPa]
$L_{eq,2}$	Nivel de presión acústica equivalente medio en el recinto receptor	[dB re 20 µPa]
$L_{2,n}$	Nivel de presión acústica medio en el recinto receptor, normalizado a A_o	[dB re 20 µPa]
$L_{2,nT}$	Nivel de presión acústica medio en el recinto receptor, normalizado a T_o	[dB re 20 µPa]
		(Continúa)

Tabla A.1 (Fin)
Lista de símbolos

Símbolo	Magnitud física	Unidad
m	número de elementos de flanco o número de huecos sellados o juntas entre las partes	[-]
n	número de elementos en una fachada o partes de un elemento	[-]
n_e	número de elementos de construcción pequeños	[-]
R	Índice de reducción acústica de un elemento según la Norma EN ISO 140-3	[dB]
R'	Índice de reducción acústica aparente de una fachada para campo incidente difuso	[dB]
R'_{45°	Índice de reducción acústica aparente de una fachada para campo incidente con un ángulo de incidencia de 45°	[dB]
$R'_{tr,s}$	Índice de reducción acústica aparente de una fachada para ruido de tráfico	[dB]
R_i	Índice de reducción acústica del elemento i de la fachada	[dB]
R_j	Índice de reducción acústica de la parte componente j de un elemento de fachada	[dB]
$R_{s,k}$	Índice de reducción acústica del hueco sellado o junta k entre partes de una fachada, por unidad de longitud	[dB]
$R'_{45^\circ,w}$	Índice ponderado de reducción acústica global aparente de una fachada para ruido incidente con una inclinación de 45° , según la Norma EN ISO 717-1	[dB]
$R'_{tr,w}$	Índice ponderado de reducción acústica global aparente para ruido de tráfico según la Norma EN ISO 717-1	[dB]
S	Área total de la fachada vista desde el interior	[m ²]
S_i	Área del elemento i de la fachada	[m ²]
S_j	Área de la parte j de un elemento	[m ²]
S_{open}	Área de la apertura de una entrada de aire	[m ²]
T	Tiempo de reverberación del recinto receptor	[s]
T_o	Tiempo de reverberación de referencia; para viviendas es 0.5 s	[s]
V	Volumen del recinto receptor	[m ³]
W_1	Potencia acústica incidente sobre una muestra de ensayo en el recinto emisor	[W]
W_2	Potencia acústica radiada por una muestra de ensayo al recinto receptor debida al sonido incidente sobre esa muestra en el recinto emisor	[W]
w	Índice que identifica a los índices ponderados de reducción acústica global según la Norma EN ISO 717-1	[-]
x, y, r	Distancias de los elementos pequeños a los planos reflectantes	[m]
ΔL_{fs}	Diferencia de nivel de la forma de fachada	[dB]
$\Delta D_{n,e}$	Reducción de la diferencia de nivel normalizada de un elemento debida a la proximidad de planos reflectantes	[dB]
$\tau_{e,i}$	Fracción de potencia acústica radiada por el elemento i de la fachada debida a la transmisión directa del campo incidente, relativa a la potencia acústica incidente sobre toda la fachada	[-]
τ_f	Fracción de potencia acústica radiada por una fachada o el elemento de flanco f en el recinto receptor debida a la transmisión indirecta, relativa a la potencia acústica incidente sobre toda la fachada	[-]

ANEXO B (Informativo)

DETERMINACIÓN DE LA TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE LAS PARTES COMPONENTES

B.1 Fracción de potencia acústica para elementos compuestos

Si no se disponen de datos de las características acústicas de un elemento, la fracción de potencia acústica para ese elemento se puede estimar globalmente a partir de los datos de las partes que lo componen.

Para elementos típicos, como un tipo específico de ventana, esto se podría hacer ajustando el índice de reducción acústica de su parte principal, es decir, el vidrio, para tener en cuenta el marco de la ventana y el sellado. Tales ajustes deberían basarse en los resultados de una investigación general sobre los efectos considerados.

Otra aproximación consiste en utilizar el índice de reducción acústica de cada una de las partes que forman el elemento, teniendo en cuenta el área relativa de cada una de ellas. A este respecto el sellado de las juntas y huecos entre las partes forma una parte especial que a menudo debe tenerse en cuenta. Para esta parte se pueden expresar mejor sus características acústicas mediante el índice de reducción acústica por unidad de longitud, teniendo en cuenta la longitud real.

Despreciando la interacción que puede existir en la transmisión acústica con elementos pequeños combinados, la fracción de potencia acústica para un elemento compuesto de varias partes j y sellamientos k entre las partes ha de ser estimado según:

$$\tau_e = \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{S} 10^{-R_j/10} + \frac{l_0}{S} \sum_{k=1}^m l_{s,k} 10^{-R_{s,k}/10} \quad (\text{B.1})$$

donde

R_j es el índice de reducción acústica de la parte j del elemento, en decibelios;

S_j es el área de la parte j del elemento, en metros cuadrados;

$R_{s,k}$ es el índice de reducción acústica del hueco sellado o junta k por unidad de longitud, en decibelios;

$l_{s,k}$ es la longitud del hueco sellado o junta k , en metros, con $l_0 = 1$ m como referencia;

n es el número de partes componentes;

m es el número de huecos sellados o juntas entre partes.

NOTA – Esto no debe usarse para formular las características acústicas de elementos compuestos de varias partes. Sin embargo, se puede utilizar para estimar la influencia de un sellado de diferente calidad que el aplicado para la medición en laboratorio del índice de reducción acústica de ese elemento.

En el capítulo B.2 se da alguna información acerca del índice de reducción acústica de partes típicas de elementos de fachada.

En el capítulo B.3 se da alguna información acerca del índice de reducción acústica de huecos (sellados) y juntas.

B.2 Índice de reducción acústica de las partes componentes de los elementos de fachada

En este capítulo se ofrece información sobre el índice de reducción acústica de algunas partes típicas utilizadas como elementos de fachadas, tales como ventanas y puertas compuestas de vidrios, hojas de puerta, marcos y sellamientos.

B.2.1 Vidrios

El índice de reducción acústica de vidrios presentado aquí se deduce de los resultados de mediciones teniendo en cuenta la dispersión de los resultados para elementos nominalmente idénticos y pueden ser por tanto considerados como valores con un buen margen de confianza. Estos valores se pueden utilizar en casos en los que no se disponga de otra información y sirven como indicación de lo que es típico para algunos tipos de productos.

El índice de reducción acústica se da en bandas de octava con el índice global calculado según la Norma EN ISO 717-1. Los datos representan el resultado medio menos una desviación estándar de 1 dB a 2 dB aproximadamente.

Tabla B.1
Ejemplos del índice de reducción acústica de vidrios

Tipo de vidrio	Índice de reducción acústica (dB)						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	$R_w(C;C_{tr})$ dB
Vidrios simples (mm)							
3	14	19	25	29	33	25	28 (-1;-4)
4	17	20	26	32	33	26	29 (-2;-3)
5	19	22	29	33	29	31	30 (-1;-2)
6	18	23	30	35	27	32	31 (-2;-3)
8	20	24	29	34	29	37	32 (-2;-3)
10	23	26	32	31	32	39	33 (-2;-3)
12	27	29	31	32	38	47	34 (0;-2)
Vidrios laminados (mm) + laminado plástico (0,5-1) mm							
6+	20	23	29	34	32	38	32 (-1;-3)
8+	20	25	32	35	34	42	33 (-1;-3)
10+	24	26	33	33	35	44	34 (-1;-3)
Vidrios dobles con vidrios simples o laminados (mm); cavidad de aire (6-16) mm							
4-(6-16)-4	21	17	25	35	37	31	29 (-1;-4)
6-(6-16)-4	21	20	26	38	37	39	32 (-2;-4)
6-(6-16)-6	20	18	28	38	34	38	31 (-1;-4)
8-(6-16)-4	22	21	28	38	40	47	33 (-1;-4)
8-(6-16)-6	20	21	33	40	36	48	35 (-2;-6)
10-(6-16)-4	24	21	32	37	42	43	35 (-2;-5)
10-(6-16)-6	24	24	32	37	37	44	35 (-1;-3)
6-(6-16)-6+	20	19	30	39	37	46	33 (-2;-5)
6-(6-16)-10+	24	25	33	39	40	49	37 (-1;-5)
<p>NOTA 1 –Esta selección y los valores están de acuerdo con el proyecto de Norma prEN 12758-1. Los índices globales están deducidos a partir de los resultados por bandas de tercio de octava y en consecuencia los índices globales deducidos a partir de los datos por banda de octava dados pueden diferir en no más de 1dB</p> <p>NOTA 2 –Aunque se sabe que para un vidrio doble dado la reducción acústica aumenta según aumenta el ancho de la cavidad, se ha encontrado que este efecto es demasiado pequeño para tenerlo en cuenta aquí para cavidades llenas de aire, a la luz de la dispersión inherente de los resultados para unidades nominalmente iguales.</p>							

Para determinar el índice de reducción acústica de una ventana acristalada con estos datos, la transmisión acústica a través del marco de la ventana y a través del sellamiento debe tenerse en cuenta.

Para gran cantidad de vidrios, los que tienen R_w inferior a 37 dB, la transmisión acústica a través del marco de la ventana puede ignorarse, si se toma como área del elemento la del vidrio más la del marco.

B.2.2 Puertas

Para determinar el índice de reducción acústica de una puerta, se ha de tener en cuenta la transmisión acústica a través de las hojas de la puerta, del vidrio –si tiene– del marco de la puerta y del sellamiento.

El índice de reducción acústica de las hojas de la puerta o de las hojas de la puerta con el marco debe relacionarse con el área de la construcción considerada. El método más práctico para determinarlo es a partir de mediciones de puertas completas con un sellado perfecto de los huecos y de las uniones entre las distintas partes. A menudo será suficiente deducir de esta forma valores para algunos tipos comunes de puertas ya que para situaciones específicas y construcciones las predicciones deberían estar basadas en resultados de mediciones del elemento completo.

B.2.3 Marcos de ventana

El índice de reducción acústica de marcos de ventanas ha de relacionarse con el área del marco. El método más práctico para determinarlo es a partir de mediciones de ventanas completas con un sellamiento perfecto de los huecos y las uniones entre las partes, donde la transmisión a través del vidrio es abstraída por cálculo o cegada durante las mediciones. A menudo será suficiente deducir de esta forma valores de algunos tipos comunes de marcos de ventanas, ya que para situaciones específicas y construcciones las predicciones deberían estar basadas en resultados de mediciones para el elemento completo.

B.3 Calidad del sellamiento de huecos y juntas

La calidad del sellado de huecos y juntas entre elementos y partes puede expresarse por el índice de reducción acústica R_s por unidad de longitud del hueco. Todavía no está disponible un método de medida normalizado para determinar esta magnitud. Éste se puede desarrollar a partir de mediciones de aislamiento acústico según la Norma EN 140-3 o la Norma EN 20140-10, especificando el método de montaje y la evaluación de los resultados. La forma más práctica es deducir el índice de reducción acústica a partir de mediciones de un elemento típico con huecos y/o juntas, con y sin sellamiento en los huecos y juntas consideradas.

ANEXO C (Informativo)

INFLUENCIA DE LA FORMA DE LA FACHADA

El efecto de la forma exterior de las fachadas puede ser tanto positivo (menor transmisión acústica) como negativo (mayor transmisión acústica). El efecto positivo se debe al apantallamiento total o parcial del plano de la fachada mediante balconadas u otros objetos. El efecto negativo se debe a reflexiones adicionales y a un campo acústico que podría considerarse reverberante si la balconada forma un encapsulamiento parcial alrededor del plano de la fachada. El cálculo de estos efectos sobre la base de una geometría dada muestra una concordancia razonable con las mediciones (ensayos *in situ*, o con modelos a escala).

Se define ΔL_{fs} como la diferencia entre el nivel de presión acústica del campo incidente y el del sonido sobre la superficie de la fachada más 6 dB, Por lo que es 0 dB para una fachada plana reflectante. Se puede medir con una precisión razonable según:

$$\Delta L_{fs} = L_{1,2m} - L_{1,s} + 3 \text{ dB} \quad (\text{C.1})$$

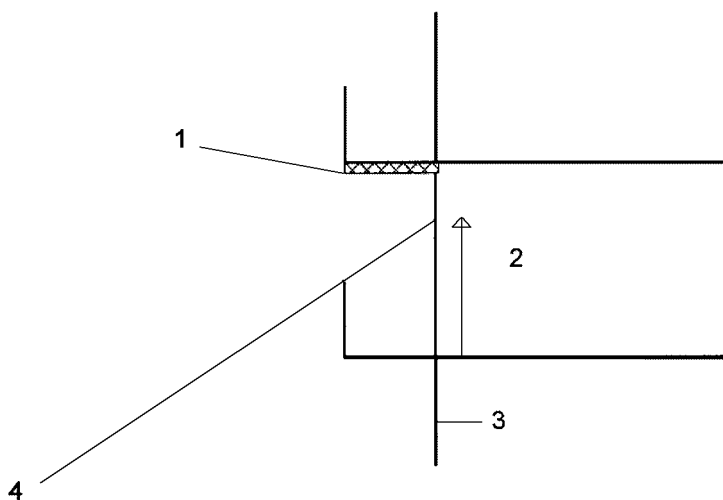
donde

$L_{1,2m}$ es nivel de presión acústica medio a 2 m de la fachada (con relieve), en decibelios;

$L_{1,s}$ es el nivel de presión acústica medio sobre la superficie exterior del plano de la fachada, incluyendo el efecto reflectante de ese plano, en decibelios.

En la figura C.2 se presentan algunos ejemplos de la diferencia de nivel debida a la forma de la fachada, ΔL_{fs} , El valor depende de la forma de fachada, la absorción de la parte inferior de cada balconada y en la dirección general del sonido incidente.

La forma de la fachada se indica mediante una sección vertical de la galería balconada o terraza. Si éstas pueden cerrarse, es decir si no hay una abertura importante, ésto se reflejará en la sección transversal, en caso contrario no. La absorción se indica mediante el coeficiente ponderado de absorción acústica global α_w según la Norma EN ISO 11654 como $\leq 0,3$; $0,6 \geq 0,9$. El efecto para valores intermedios se puede deducir por interpolación; $\alpha_w \geq 0,9$ se aplica también si no hay ninguna superficie reflectante sobre la fachada considerada. La dirección del sonido incidente se caracteriza por la altura de la línea de mira desde la fuente hasta el plano de la fachada; la posición de la fuente que es relevante es la que se traduce en una menor altura (véase la figura C.1).

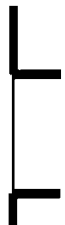
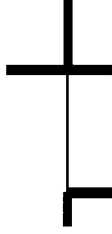
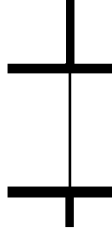


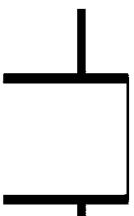
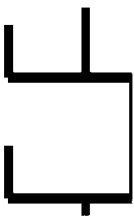
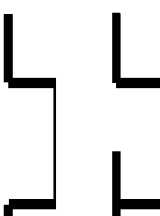
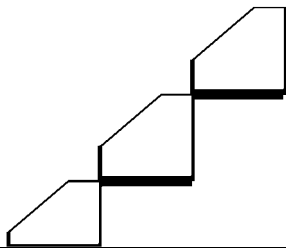


Leyenda:

- 1 Absorción
- 2 Altura de la línea de mira
- 3 Plano de la fachada
- 4 Fuente acústica

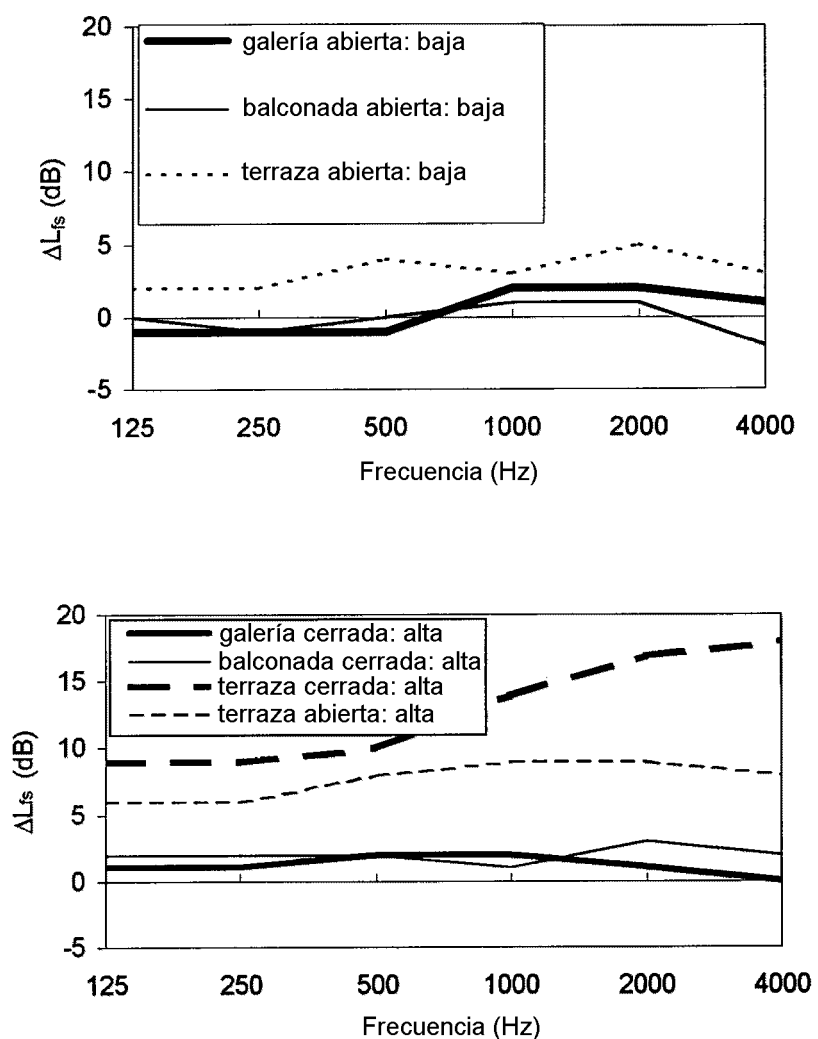
Fig. C.1 – Ilustración de los parámetros relevantes sobre la diferencia de nivel debida a la forma de las fachadas

Los datos de la figura C.2 representan un promedio ponderado en frecuencia. Estos valores también se pueden utilizar como primera estimación para bandas de frecuencia, en este caso los datos subestiman el efecto para altas frecuencias y diferencias mayores de 3 dB. En la figura C.3 se muestran algunas ilustraciones de la dependencia con la frecuencia en bandas de octava.

ΔL_{fs}	1 plano de fachada	2 galería			3 galería			4 galería			5 galería				
dB															
absorción del tejado (α_w) \Rightarrow	no se aplica	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$		
línea de mira sobre la fachada:	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	no se aplica				
<1,5 m		no se aplica			-1	0	2	0	1	3					
(1,5-2,5) m	0				1	1	2	2	2	3	3	4	6		
>2,5 m	0														
	6 balconada	7 balconada			8 balconada			9 terraza							
															
absorción del tejado (α_w) \Rightarrow	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$
línea de mira sobre la fachada:	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3
<1,5 m															
(1,5-2,5) m	-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7
>2,5 m	1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7

NOTA – Las diferentes formas de la fachada están indicados por su sección transversal con la parte exterior hacia la izquierda y la orientación de la fuente está indicada por la altura de la línea de mira sobre la fachada; véase figura C.1

Fig. C.2 – Diferencia de nivel debida a la forma de las fachadas para diferentes formas de la fachada y distintas orientaciones de la fuente acústica



NOTA – Las leyendas se refieren a la figura C.2: “galería abierta” = 3, “galería cerrada” = 4, “balconada abierta” = 6, “balconada cerrada” = 7, “terrazza abierta” = 9 con una barandilla abierta, “baja” significa que tiene una línea de mira < 1,5 m y “alta” que tiene una línea de mira > 2,5 m.

Fig. C.3 – Ilustraciones de la dependencia con la frecuencia de la diferencia de nivel debida a la forma de las fachadas con relieve en bandas de octava

ANEXO D (Informativo)

ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA DE ELEMENTOS

El índice de reducción acústica de elementos de fachadas se determina mediante mediciones según las Normas EN ISO 140-1, EN ISO 140-3 y la EN 20140-10. En este anexo se dan algunas indicaciones sobre la aplicación de los datos de tales mediciones o de otras fuentes.

D.1 Elementos de construcción

Para ventanas el índice de reducción acústica viene determinado por el vidrio, el marco, el método de montaje del vidrio y el sellamiento de las juntas y los huecos. Se debería tener cuidado especialmente con que en las ventanas practicables el sellamiento aplicado para las mediciones en laboratorio sea representativo de su aplicación práctica. En caso contrario se debería tener en cuenta el efecto de un sellamiento diferente; véase el anexo B.

Para puertas el índice de reducción acústica viene determinados por la construcción del panel que constituye la puerta, el marco y el sellado de los huecos. Se debería tener cuidado con que el sellamiento aplicado para las mediciones en laboratorio sea representativo de su aplicación práctica. En caso contrario se debería tener en cuenta el efecto de un sellamiento diferente, véase el anexo B.

En el proyecto de Norma prEN 12354-1:1999 se ofrece alguna información sobre el índice de reducción acústica para estructuras homogéneas. Los paneles ligeros, tejados, y paredes de ladrillo hueco pueden mostrar una gran variedad de detalles constructivos, que hace necesario, normalmente, contar con datos específicos.

D.2 Elementos pequeños

Estos elementos de fachada como entradas de aire muestran una gran variedad de detalles constructivos, lo que impide la presentación de datos generales.

Para entradas de aire sin silenciador, como aberturas o persianas se puede dar una indicación general tratando el elemento como una abertura con una reducción acústica despreciable. Esto lleva a una diferencia de nivel normalizada del elemento de:

$$D_{n,e} = -10 \lg \frac{S_{\text{open}}}{10} \quad (\text{D.1})$$

donde

S_{open} es el área de la abertura, en metros cuadrados.

NOTA – En las pequeñas aberturas pueden producirse resonancias, determinadas por la profundidad efectiva del elemento, que produce una disminución de la diferencia de nivel normalizado del elemento en ciertas bandas de frecuencia con respecto a esta fórmula.

A menudo habrá un número mayor de elementos pequeños idénticos o un elemento pequeño con una mayor longitud, por ejemplo entradas de aire en forma de rendija, que las muestras ensayadas en laboratorio. La diferencia de nivel del elemento que debe utilizarse en los cálculos puede estimarse a partir de los datos del elemento ensayado si se tiene en cuenta el número de elementos n_e o la longitud del elemento l_{situ} :

$$D_{n,e,\text{situ}} = D_{n,e,\text{lab}} - 10 \lg n_e \quad \text{o} \quad D_{n,e,\text{situ}} = D_{n,e,\text{lab}} - 10 \lg \frac{l_{\text{situ}}}{l_{\text{lab}}} \quad (\text{D.2})$$

Esta aproximación sólo es admisible si se ha establecido que para elementos similares la extrapolación es correcta.

La diferencia de nivel normalizada del elemento dependerá de la posición del elemento en la fachada con respecto a las paredes laterales y techos, tanto en la parte interior como exterior. Si en su uso normal esta posición es fija, el montaje en laboratorio se hará de forma congruente con ella, para que los datos sean directamente aplicables. Si, en un caso más general, los datos de laboratorio no contemplan estas influencias, se pueden estimar a partir de la geometría del caso particular.

El efecto sobre la diferencia normalizada del elemento $\Delta D_{n,e}$ se obtiene de:

$$\Delta D_{n,e} = 10 \lg \left(1 + 0,75 \frac{\sin(2k_0 x)}{2k_0 x} + 0,75 \frac{\sin(2k_0 y)}{2k_0 y} + 0,75 \frac{\sin(2k_0 r)}{2k_0 r} \right) \quad (D.3)$$

donde

x es la distancia a un plano en la dirección x, en metros;

y es la distancia a un plano en la dirección y, en metros;

r es la distancia a la esquina = $\sqrt{x^2 + y^2}$, en metros;

k_0 es el número de onda, $k_0 = 2 \pi f / c_0$.

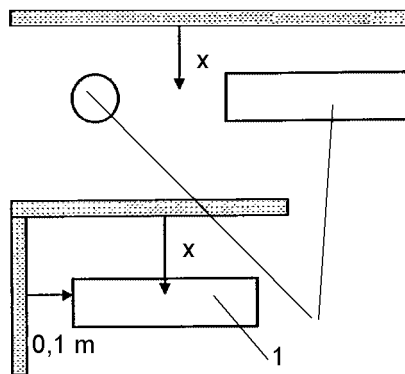
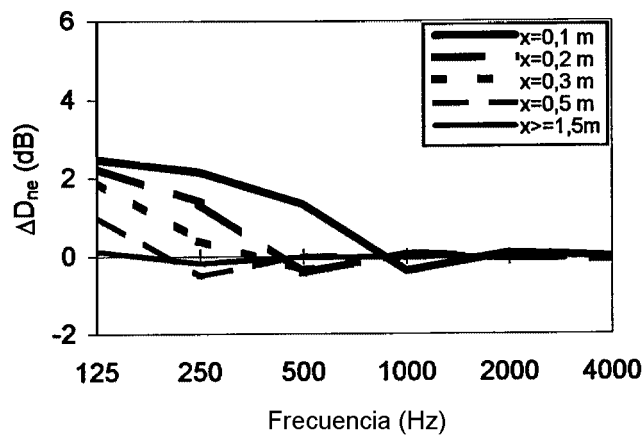
Para un elemento, los resultados de esta ecuación tienen que estar promediados en frecuencia dentro del ancho de banda considerado y sobre el área de la abertura del elemento.

La diferencia de nivel normalizada del elemento resultante para una posición en esquina es:

$$D_{n,e,corner} = D_{n,e,free} - \Delta D_{n,e} \quad (D.4)$$

Para bandas de octava y dos tipos de elementos los efectos resultantes están ilustrados en las figuras D.1 (esquina de dos planos) y D.2 (esquina de tres planos). Si la posición en esquina se produce a ambos lados de la fachada (tanto dentro como fuera), los efectos mostrados en la figura deberán sumarse.

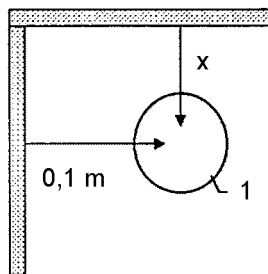
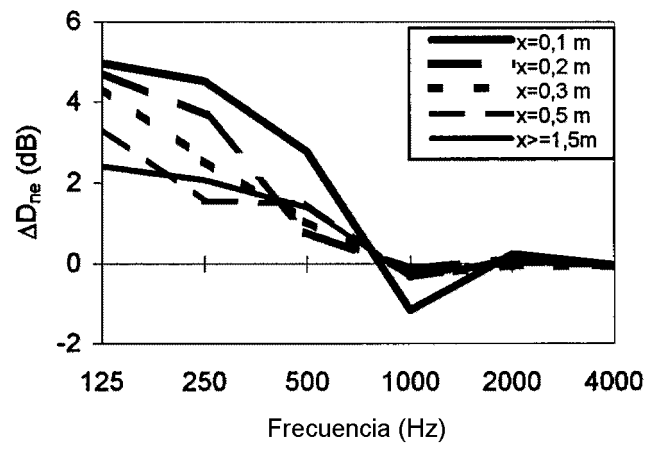
La diferencia de nivel normalizada *in situ* del elemento puede estar afectada por la dirección del sonido incidente de una forma más específica que otros tipos de elementos de fachada. Especialmente con aberturas de ventilación se ha demostrado que hay una tendencia a disminuir sus valores para ángulos en los que el sonido incida directamente en la abertura. Esto podría suponer una reducción de 1 dB a 3 dB.



Leyenda

1 elemento

Fig. D.1 – Efecto sobre $D_{n,e}$ de la proximidad de paredes laterales reflectantes o techos (interiores o exteriores), relativo a una posición sin paredes laterales reflectantes; elemento pequeño cerca de una esquina de dos planos, hueco cerca de una esquina de dos o tres planos



Leyenda

1 elemento

Fig. D.2 – Como la figura D.1 para un elemento pequeño cerca de una esquina de tres planos

ANEXO E (Informativo)

ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES EN EL INTERIOR

El nivel acústico en el interior puede estimarse a partir del nivel de presión acústica en el exterior medido o calculado y de la diferencia de nivel acústico de la fachada.

Como la diferencia de nivel se refiere a una posición situada a 2 m de la fachada, según la Norma EN ISO 140-5, el nivel de presión acústica en el exterior debe ser el nivel en esa posición. Si el nivel de presión acústica en el exterior está dado en otra posición o situación, debería deducirse el nivel a 2 m a partir de él. Podría deducirse, por ejemplo, a partir del nivel de presión acústica incidente (sin el edificio) teniendo en cuenta la reflexión en la fachada; para una fachada plana esto se traduce en un aumento del nivel de 3 dB en todas las bandas de frecuencia.

El nivel acústico en el interior, normalizado a una absorción de 10 m² es:

$$L_{2,n} = L_{1,2m} - D_{2m,n} \quad (\text{E.1})$$

donde

$L_{2,n}$ es el nivel de presión acústica medio en el recinto receptor, normalizado a una absorción de 10 m², en decibelios;

$L_{1,2m}$ es el nivel de presión acústica en el exterior a 2 m de la fachada, en decibelios, según la Norma EN ISO 140-5;

$D_{2m,n}$ es la diferencia de nivel normalizada, estimada según este documento, en decibelios.

El nivel de presión acústico en el interior normalizado a un tiempo de reverberación de 0,5 s es:

$$L_{2,nT} = L_{1,2m} - D_{2m,nT} \quad (\text{E.2})$$

donde

$L_{2,nT}$ es el nivel de presión acústica medio en el recinto receptor, estandarizado a un tiempo de reverberación de 0,5 s, en decibelios;

$D_{2m,nT}$ es la diferencia de nivel normalizada, estimada según este documento, en decibelios.

En las situaciones en que la fachada no sea plana, como ventanas con grandes vanos o aberturas, una habitación que hace esquina o una habitación bajo el tejado, la diferencia de nivel de presión acústica relevante debería incluir la transmisión acústica a través de todas las partes de la fachada en relación a una posición de referencia según el último punto del apartado 4.4. Se obtendrá el mismo nivel de presión acústica en el interior, de forma alternativa, si se suma la contribución de cada elemento de fachada al nivel de presión acústica en el interior teniendo en cuenta el nivel de presión acústica incidente, la influencia de la forma de la fachada y el índice de reducción acústica aparente para cada elemento separadamente.

El nivel acústico de inmisión ponderado A puede determinarse mediante el cálculo en bandas de frecuencia para el rango de frecuencias adecuado, aplicando la ponderación A.

El nivel de presión acústica en el interior ponderado A también puede determinarse directamente a partir de nivel de presión acústica exterior ponderado A según las relaciones expuestas más arriba, siempre que la diferencia de nivel se exprese mediante un índice global para el espectro acústico exterior conforme a la Norma EN ISO 717-1, por ejemplo usando ($D_{2m,nT,w} + C_{tr}$) o ($D_{2m,n,w} + C$). Estos términos de adaptación espectral se refieren a un intervalo de frecuencias comprendido entre las octavas de 125 Hz y 2 000 Hz o las bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3 150 Hz. Si se considera un intervalo de frecuencias mayor deberán utilizarse los términos de adaptación espectral adecuados para dicho intervalo de frecuencias.

ANEXO F (Informativo)
EJEMPLOS DE CÁLCULO

F.1 Ejemplo de elementos de fachada

F.1.1 Situación

Habitación con una fachada de 11,3 m² y un volumen de 50 m³, sin balcones.

Elementos de la fachada:

- 1 pared doble de ladrillo de 6 m² (120-50-100) mm;
- 2 ventana (de madera) de 4,5 m² con vidrios (6-12-4) mm; con 2,5 m² practicable;
- 3 ventana (de madera) de 0,5 m² con vidrio de 6 mm; practicable;
- 4 entrada de aire tratada acústicamente encima de la ventana, montada sobre un marco de madera; (3,0 x 0,10) m; capacidad 18 dm³/s a 1 Pa.

F.1.2 Datos acústicos de los elementos

Elemento	Índice de reducción acústica						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	R _w (C; C _{tr}) dB	(R _w +C _{tr}) dB
1: pared doble, 400 kg/m ²	41	46	52	58	64	57 (-2;-6)	51
2: ventana (6-12-4) mm	23	22	30	36	37	33 (-1;-4)	29
3: ventana 6 mm	24	27	30	33	30	32 (-1;-2)	30
4: toma de aire; 6 dm ³ /s, 1 m implica para 18 dm ³ /s	33	28	30	43	49	37 (-1;-3)	34
l = 3 m: -10 lg 3	28	23	25	38	44	32 (-1;-3)	29

y

$$\Delta L_{fs} = 0 \text{ dB}$$

F.1.3 Resultados para la fachada

Elemento	Relación entre áreas S_i/S_f o $10/S_f$	$-10 \lg \tau_e (= R_p)$						$(R_{p,w}+C_{tr})$ dB
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz		
1	$6,0/11,3 = 0,53$ ecuación (15)	43,7	48,7	54,7	60,7	66,7	53,9	
2	$4,5/11,3 = 0,40$ ecuación (15)	27,0	26,0	34,0	40,0	41,0	33,5	
3	$0,5/11,3 = 0,044$ ecuación (15)	37,6	40,6	43,6	46,6	43,6	43,7	
4	$10/11,3 = 0,88$ ecuación (14)	28,5	23,5	25,5	38,5	44,5	29,5	
R' [ecuación (10)]		24,4	21,5	24,9	35,4	37,5	27,8	
$D_{2m,nT,w}$ [ecuación (13)]		25,9	23,0	26,4	36,9	39,0	29,3	

Por tanto según la Norma EN ISO 717-1:

$$R'_w (C;C_{tr}) = 31 (-1;-3), \text{ así } R'_{tr,s,w} = 31 \text{ dB y } R'_{tr,s,w} + C_{tr} = 31 - 3 = 28 \text{ dB}$$

y

$$D_{2m,nT,w} = 33 \text{ dB y } D_{2m,nT,w} + C_{tr} = 33 - 4 = 29 \text{ dB}$$

NOTA – El cálculo por bandas de frecuencia lleva al mismo índice global que el obtenido directamente mediante índices globales.

F.2 El mismo ejemplo, a partir de las partes componentes del elemento según el anexo B

F.2.1 Datos adicionales sobre las partes de los elementos 2 y 3

Parte	Índice de reducción acústica						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	$R_w (C;C_{tr})$ dB	(R_w+C_{tr}) dB
– vidrio (6-12-4) mm	22	21	29	37	37	33 (-2;-5)	28
– vidrio 6 mm	21	25	28	31	27	29 (-1;-1)	28
– marco	31	34	34	39	41	39 (-1;-2)	37

F.2.2 Resultados por elemento

Elemento/partes	Relación entre áreas $S_i/S_f, l_k/S_f$ o $10/S_f$	-10 lg $\tau_e (= R_p)$					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	$(R_{p,w}+C_{tr})$ dB
2: vidrio, marco de ventana, 6,3 m de sellamiento con $R_s = 60$ dB y 8.4 m de sellamiento con $R_s = 45$ dB (partes practicables)							
vidrio	$3,2/11,3 = 0,28$	27,5	26,5	34,5	42,5	42,5	34,0
marco	$1,4/11,3 = 9,12$	40,2	43,2	43,2	48,2	53,2	46,0
sellamiento	$6,3/11,3 = 0,56$	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
	$8,4/11,3 = 0,74$	46,3	46,3	46,3	46,3	46,3	46,3
-10 lg $\tau_e (= R_p)$		27,2	26,4	33,7	40,2	40,7	33,5
3: vidrio, marco de ventana y 2,4 m de sellamiento simple con $R_s = 35$ dB (practicable)							
vidrio	$0,25/11,3 = 0,022$	37,6	41,6	44,6	47,6	43,6	44,4
marco	$0,25/11,3 = 0,022$	47,6	50,6	50,6	55,6	60,6	53,4
sellamiento	$2,4/11,3 = 0,21$	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7
-10 lg $\tau_e (= R_p)$		35,9	38,4	39,6	40,6	39,5	39,7

F.2.3 Resultados para la fachada

	-10 lg $\tau_e (= R_p)$					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	$(R_{p,w}+C_{tr})$ dB
1	43,7	48,7	54,7	60,7	66,7	53,9
2	27,2	26,4	33,7	40,2	40,7	33,5
3	35,9	38,4	39,6	40,6	39,5	39,7
4	28,5	23,5	25,5	38,5	44,5	29,5
R' [ecuación (10)]	24,4	21,6	24,7	34,9	36,3	27,7
$D_{2m,nT}$ [ecuación (13)]	25,9	23,1	26,2	36,4	37,8	29,2

Por tanto según la Norma EN ISO 717-1:

$$R'_w (C; C_{tr}) = 31 (-1; -3), \text{ y por tanto } R'_{tr,s,w} = 31 \text{ dB y } R'_{tr,s,w} + C_{tr} = 31 - 3 = 28 \text{ dB}$$

y

$$D_{2m,nT,w} = 33 \text{ dB y } D_{2m,nT,w} + C_{tr} (= D_{2m,nT,Atr}) = 33 - 4 = 29 \text{ dB}$$

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gerretsen, E., Geluidreductie door gevels – rekenmethode, ICG-report WG-HR-05-02, 1981.
- [2] Homb, A., S. Hveem, Isolering mot utendørs støy – Beregningsmetode og datasamling. Norges byggforskningsinstitutt Håndbok 39, 1988.
- [3] DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, November 1989.
- [4] ÖNORM B 8115, Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1992.
- [5] Rindel, J. H., Transmission of traffic noise through windows, Acoustics Laboratory Technical University of Denmark, report 9, 1975.
- [6] prEN 12758-1 – *Vidrio para la construcción. Acristalamiento y aislamiento al ruido aéreo. Parte 1: Definiciones y determinación de las propiedades.*

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32