

Enero 2001

TÍTULO

Acústica de la edificación

Estimación 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

Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms

Acoustique du bâtiment. Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments. Partie 2: Isolement acoustique au bruit de choc entre des locaux.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12354-2 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 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos

Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms

Acoustique du bâtiment. Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments. Partie 2: Isolement acoustique au bruit de choc entre des locaux.

Bauakustik. Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 1999-08-20. 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
3.2 Magnitudes que expresan las características de los distintos elementos	8
3.3 Otros términos y magnitudes.....	10
4 MODELOS DE CÁLCULO	10
4.1 Principios generales	10
4.2 Modelo detallado.....	12
4.2.1 Datos de entrada	12
4.2.2 Transformación de los valores de entrada a valores in situ	12
4.2.3 Determinación de la transmisión directa e indirecta	15
4.2.4 Interpretación para varios tipos de elementos	15
4.2.5 Limitaciones	15
4.3 Método simplificado	15
4.3.1 Procedimiento de cálculo.....	15
4.3.2 Datos de entrada	16
4.3.3 Limitaciones	17
5 PRECISIÓN	17
ANEXO A (Normativo) SÍMBOLOS	18
ANEXO B (Informativo) FORJADOS HOMOGÉNEOS.....	20
ANEXO C (Informativo) SUELOS FLOTANTES.....	24
ANEXO D (Informativo) MEDICIÓN EN LABORATORIO DE LAS TRANSMISIONES INDIRECTAS.....	27
ANEXO E (Informativo) EJEMPLOS DE CÁLCULO.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	34

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 una serie de normas que especifican modelos de cálculo en la acústica de edificaciones. Aunque la norma cubre las principales tipos de edificaciones no puede de momento cubrir todas las variaciones en la construcción de edificios. Se establece una aproximación para aumentar la experiencia para futuras mejoras y desarrollos.

Durante la preparación de esta norma y la norma relacionada EN 12354-1:2000 se puso de manifiesto que los datos de los elementos necesarios basados en métodos de medida normalizados no estaban todavía disponibles, por lo tanto se han añadido algunos anexos informativos para explorar lo que se necesita, para indicar posibles métodos de medidas y para ilustrar esto con algunos datos acústicos indicativos. Los anexos deberían ser la base de normas nuevas o revisadas de elementos de construcción, las cuales sustituirían a estos anexos. En esta norma se incluyen 6 anexos. El anexo A es normativo y los anexos B a F son informativos.

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.

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 modelos de cálculo diseñados para la estimación del aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos de un edificio, fundamentalmente sobre la base de mediciones para la caracterización de la transmisión directa o indirecta a través de los elementos constructivos del edificio y métodos desarrollados teóricamente a partir de la propagación acústica a través de elementos estructurales.

Se describe un modelo detallado para el cálculo en bandas de frecuencia que permita calcular el índice global a partir de los resultados. A partir de éste modelo se deduce un modelo simplificado con un campo de aplicación más restringido, que calcula directamente el índice global a partir de los índices globales de los distintos elementos.

Esta norma europea describe los principios del modelo de cálculo, enumera las magnitudes relevantes y define sus aplicaciones y restricciones. Está orientada a expertos en acústica y establece la estructura 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.

Los modelos de cálculo descritos utilizan la aproximación más general para propósitos de ingeniería, con una clara relación con magnitudes medibles que especifican las características de los elementos constructivos. Las limitaciones conocidas de estos modelos de cálculo se describen también en esta norma. Sus usuarios deberían, sin embargo, saber que también existen otros modelos de cálculo con su propio campo de aplicación y restricciones.

Los modelos están basados en la experiencia en la predicción para viviendas; también podrían aplicarse a otros tipos de edificios siempre que los sistemas de construcción y las dimensiones de los elementos de construcción no sean muy diferentes a los 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.

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

EN ISO 140-3 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en 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 140-6 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. (ISO 140-6:1998).*

EN ISO 140-7 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos. (ISO 140-7:1998).*

EN ISO 140-8 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre forjado normalizado pesado. (ISO 140-8:1998).*

EN ISO 140-12 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 12: Medición en laboratorio de aislamiento al ruido aéreo y de impactos entre locales con suelo registrable. (ISO 140-12:2000).*

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

EN ISO 717-2:1996 – *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos. (ISO 717-2:1996).*

EN 12354-1:2000 – *Acústica de la edificación - Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.*

prEN ISO 10848-1 – *Acústica. Medición en laboratorio de la transmisión por flancos de ruido aéreo y de impactos entre recintos contiguos. Parte 1: Documento base. (ISO/DIS 10848-1:1999).*

3 MAGNITUDES RELEVANTES

3.1 Magnitudes que expresan las características del edificio

El aislamiento acústico a ruido de impactos se puede expresar, según la Norma EN ISO 140-7, mediante dos magnitudes relacionadas. Estas magnitudes se determinan en bandas de frecuencia (bandas de tercio de octava o bandas de octava) y a partir de estos valores se puede obtener el índice global para las características de la edificación siguiendo la Norma EN ISO 717-2:1996 por ejemplo $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$ o $(L'_{nT,w}+C_1)$.

3.1.1 Nivel de presión acústica de impactos normalizado L'_n : es el nivel de presión acústica de impactos correspondiente a un área de absorción acústica equivalente de referencia en el recinto receptor.

$$L'_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (1)$$

donde

L_i es el nivel de presión acústica de impactos medido en el recinto receptor, en decibelios;

A es el área de absorción equivalente medida del recinto receptor, en metros cuadrados;

A_0 es el área de absorción equivalente de referencia; para viviendas $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Esta magnitud se determina de acuerdo a la Norma EN ISO 140-7.

3.1.2 Nivel de presión acústica de impactos normalizado L'_{nT} : es el nivel de presión acústica de impactos relativo a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (2)$$

donde

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

T_0 es el tiempo de reverberación de referencia (para viviendas: $T_0 = 0,5 \text{ s}$).

Esta magnitud se debe determinar de acuerdo con la Norma EN ISO 140-7.

3.1.3 Relación entre magnitudes. La relación entre las magnitudes L'_{nT} y L'_n viene dada por:

$$L'_{nT} = L'_n - 10 \lg \frac{0,16V}{A_0 T_0} = L'_n - 10 \lg 0,032 V \text{ dB} \quad (3)$$

donde

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

Es suficiente estimar una de estas cantidades para deducir la otra. En este documento se elige el nivel de presión acústica de impactos normalizado como la magnitud principal para estimar.

3.2 Magnitudes que expresan las características de los distintos elementos

Las magnitudes que expresan las características de los distintos elementos se utilizan como parte de los datos de entrada para la estimación de 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 717-2:1996, por ejemplo $L_{nw}(C_1)$, $\Delta L_w(C_{1\Delta})$ o ΔL_{lin} y $R_w(C; C_{tr})$.

3.2.1 Nivel de presión acústica de impactos normalizado L_n : es el nivel de presión de ruido de impactos referido al área de absorción acústica equivalente de referencia del recinto receptor:

$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (4)$$

donde

L_i es el nivel de presión acústica de impactos medido en el recinto receptor mediante la utilización de la máquina de martillos conforme a la Norma EN ISO 140-6, en decibelios;

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

A_0 es el área de absorción acústica equivalente de referencia con $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Esta magnitud debe determinarse según la Norma EN ISO 140-6.

3.2.2 Reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL (mejora del aislamiento a ruido de impactos): es la reducción del nivel de presión acústica de impactos normalizado resultante de la instalación del recubrimiento de suelo objeto de ensayo.

$$\Delta L = L_{no} - L_n \text{ dB} \quad (5)$$

donde

L_{no} es el nivel de presión acústica de impactos normalizado en ausencia del recubrimiento de suelo, en decibelios;

L_n es el nivel de presión acústica de impactos una vez instalado el recubrimiento de suelo, en decibelios.

Esta magnitud debe ser determinada según la Norma EN ISO 140-8.

3.2.3 Reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL_d : es la reducción del nivel de presión acústica de impactos mediante la adición de una capa adicional en el lado de recepción del elemento separador (suelo). Esta magnitud tiene que determinarse según la Norma EN ISO 140-8.

3.2.4 Nivel de presión acústica de impactos indirecta normalizado $L_{n,f}$: es el nivel de presión acústica, promediada especial y temporalmente en el recinto receptor producido por una máquina de martillos normalizada funcionando en diferentes posiciones sobre el elemento considerado en el recinto emisor, normalizado al área de absorción acústica equivalente de referencia (A_0) en el recinto receptor; $A_0 = 10 \text{ m}^2$. Se considera que la transmisión se produce sólo a través del elemento flanco especificado; por ejemplo un suelo continuo.

$$L_{n,f} = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (6)$$

Esta magnitud debe ser determinada según el proyecto de Norma prEN ISO 10848-1.

NOTA – Para suelos accesibles véase la Norma EN ISO 140-12.

3.2.5 Índice de reducción acústica a ruido aéreo 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 muestra.

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

Esta magnitud se determina según la Norma EN ISO 140-3.

3.2.6 Índice de mejora de la reducción acústica ΔR : es la diferencia del índice de reducción acústica entre un elemento estructural básico con una capa adicional (por ejemplo un techo suspendido) y el elemento estructural básico, sin esta capa, para transmisión directa.

El anexo D de la Norma EN 12354-1:2000 ofrece información sobre la determinación y el uso de esta magnitud.

3.2.7 Índice de reducción vibracional K_{ij} : esta magnitud está relacionada con la transmisión de potencia vibracional a través de una unión entre elementos estructurales, normalizada con objeto de hacerla una magnitud invariante. Se determina normalizando la diferencia de niveles de velocidad promediados en todas direcciones sobre la unión, con la longitud de la unión y la longitud de absorción equivalente, si fuera relevante, de ambos elemento según la siguiente ecuación:

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \text{ dB} \quad (8)$$

donde

$D_{v,ij}$ es la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos i y j en la unión, cuando el elemento i es excitado, en decibelios;

$D_{v,ji}$ es la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos j e i en la unión, cuando el elemento j es excitado, en decibelios;

l_{ij} es la longitud común de la unión entre los elementos i y j, en metros;

a_i es la longitud de absorción equivalente del elemento i, en metros;

a_j es la longitud de absorción equivalente del elemento j, en metros.

La longitud de absorción equivalente viene dada por:

$$a = \frac{2,2\pi^2 S}{c_o T_s} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (9)$$

donde

T_s es el tiempo de reverberación estructural del elemento i o j, en segundos;

S es el área del elemento i o j, en metros cuadrados;

f es la frecuencia central de la banda, en Hercios;

f_{ref} es la frecuencia de referencia; $f_{ref} = 1\ 000$ Hz;

c_o es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo.

NOTA 1 – la longitud de absorción equivalente es la longitud de una arista imaginaria totalmente absorbente de un elemento al que se le supone una frecuencia crítica de 1 000 Hz, y que da las mismas pérdidas que las pérdidas totales del elemento en una situación dada.

La magnitud K_{ij} debe ser determinada según el Proyecto de Norma prEN ISO 10848-1.

NOTA 2 – Para el tiempo de reverberación se pueden tomar los valores del anexo E de la EN 12354-1:2000 o pueden deducirse de los datos disponibles sobre la diferencia de nivel de velocidad en la unión según este mismo anexo.

3.2.8 Datos sobre otros elementos. Para el cálculo puede ser necesaria información adicional, por ejemplo:

- densidad superficial m' , en kilogramos por metro cuadrado;
- tipo de elementos;
- material;
- tipo de unión.

3.3 Otros términos y magnitudes

Transmisión directa: Transmisión debida a una excitación por impacto y la radiación acústica de un elemento separador.

Transmisión estructural indirecta (transmisión por flancos): Transmisión de la energía acústica desde un elemento excitado en el recinto emisor hasta el recinto receptor por vía estructural en la construcción del edificio, por ejemplo paredes, suelos, o techos.

Diferencia de nivel de velocidad en la unión promediada en dirección $\overline{D_{v,ij}}$: Promedio de la diferencia de nivel de la unión entre el elemento i y el j :

$$\overline{D_{v,ij}} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} \quad (10)$$

Nivel de presión acústica de impactos normalizado por flancos $L_{n,ij}$: Nivel de presión acústica promedio en el recinto receptor debido a una excitación del elemento i (forjado) por impacto en el recinto emisor y radiación acústica sólo a través del elemento j en el recinto receptor, normalizado a un área de absorción equivalente de referencia de $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

En el anexo A aparecen otros símbolos también utilizados en esta norma.

4 MODELOS DE CÁLCULO

4.1 Principios generales

La potencia acústica radiada al recinto receptor proviene del ruido radiado por cada elemento estructural de ese recinto. El sonido radiado por cada uno de los elementos estructurales es causado por el sonido transmitido a ese elemento debido al impacto sobre un elemento estructural del recinto emisor. Se supone que la vía de transmisión de cada uno de los recorridos es independiente y que los campos acústicos y vibratorios se comportan de forma estadística, de forma que el nivel de presión acústica de impactos L'_n se puede obtener mediante la suma de la energía transmitida a través de cada uno de los recorridos. Los recorridos de transmisión considerados se definen en la figura 1, donde d indica la transmisión acústica de impactos directos y f la transmisión acústica de impactos indirectos.

Para recintos situados uno encima del otro, el nivel de presión acústica de impactos total L'_n en el recinto receptor viene determinado por:

$$L'_n = 10 \lg \left(10^{L_{n,d}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,ij}/10} \right) \text{ dB} \quad (11)$$

donde

$L_{n,d}$ es el nivel de presión acústica de impactos normalizado debido a la transmisión directa, en decibelios;

$L_{n,ij}$ es el nivel de presión acústica de impactos normalizado debido a las transmisiones indirectas, en decibelios;

n es el número de elementos.

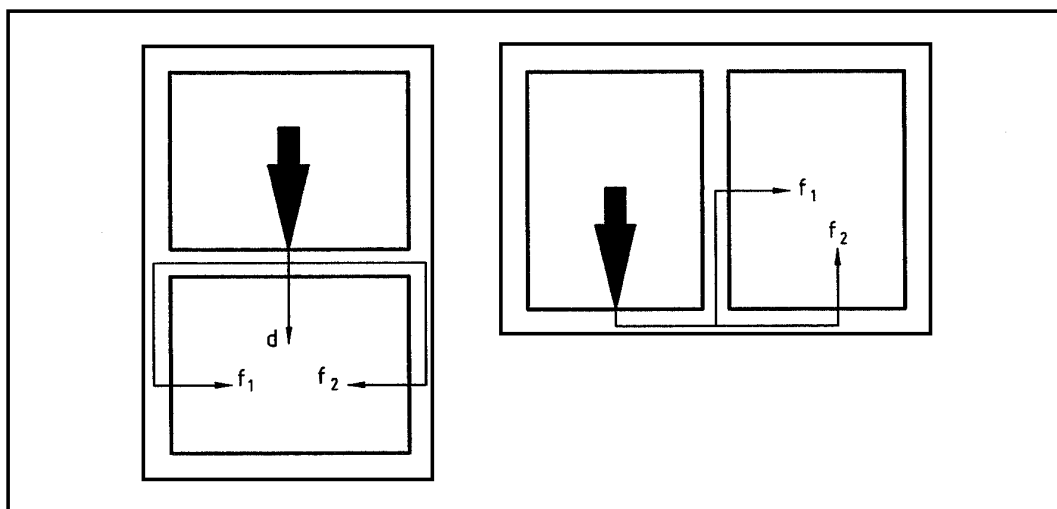


Fig. 1 – Definición de caminos de transmisión entre dos recintos, uno encima del otro y uno junto al otro, respectivamente

Para recintos situados uno junto al otro, el nivel de presión acústica de impactos total L'_n en el recinto receptor viene dado por:

$$L'_n = 10 \lg \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,ij}/10} \text{ dB} \quad (12)$$

NOTA 1 – En los casos habituales el número de elementos de flancos a considerar es $n = 4$ para recintos uno encima del otro y $n = 2$ para recintos uno al lado del otro.

El modelo detallado calcula las características de la edificación en bandas de frecuencia, basado en los datos acústicos de los elementos constructivos por bandas de frecuencia (bandas de tercio de octava o bandas de octava). El cálculo debe ser realizado, como mínimo, por bandas de octava desde 125 Hz hasta 2 000 Hz o por bandas de tercio de octava desde 100 Hz hasta 3 150 Hz. A partir de este cálculo se puede obtener el índice global para las características del edificio según la Norma EN ISO 717-2:1996.

NOTA 2 – Los cálculos se pueden extender a frecuencias más altas o más bajas si se disponen de datos para esas frecuencias. Sin embargo, en este momento no se dispone de información sobre la precisión de los cálculos realizados para las regiones de frecuencia inferior.

El modelo detallado se describe en el apartado 4.2.

El modelo simplificado calcula las características de la construcción como un índice global directamente, y está basado en los índices globales de las características de los elementos constructivos involucrados.

El modelo simplificado se describe en el apartado 4.3.

4.2 Modelo detallado

4.2.1 Datos de entrada. La transmisión a través de cada uno de los caminos se puede determinar a partir de:

- el nivel de presión acústica de impactos normalizado del forjado: L_n ;
- la reducción del nivel de presión acústica de impactos del recubrimiento del forjado: ΔL ;
- la reducción del nivel de presión acústica de impactos de las capas adicionales en el lado de recepción del elemento separador i (forjado): ΔL_d ;
- índice de reducción acústica del elemento excitado (forjado): R_i ;
- índice de reducción acústica para transmisión directa del elemento de flanqueo j en el recinto receptor: R_j ;
- mejora del índice de reducción acústica mediante capas internas del elemento de flanqueo j , en el recinto receptor: ΔR_j ;
- tiempo de reverberación estructural para un elemento en laboratorio: $T_{s,lab}$;
- índice de reducción vibracional para cada camino de transmisión entre el elemento i (forjado) y el elemento j : K_{ij} ;
- área del elemento separador (forjado): S_i ;
- área del elemento de flanco j en el recinto receptor S_j ;
- longitud de acoplamiento común entre el elemento i (forjado) y el elemento de flanqueo j : l_{ij} .

En el capítulo B.1 se da información sobre el nivel de presión acústica de impactos normalizado para forjados homogéneos comunes.

En el capítulo C.1 se da información sobre el índice de mejora acústica de impactos de los recubrimientos de forjado más habituales.

En el anexo B de la Norma EN 12354-1:2000 se da información del índice de reducción acústica de los elementos homogéneos más habituales.

En el anexo D de la Norma EN 12354-1:2000 se da información de la mejora del índice de reducción acústica.

En el anexo E de la Norma EN 12354-1:2000 se da información del índice de reducción vibracional para las uniones más habituales.

4.2.2 Transformación de los datos de entrada a valores in situ. Los datos acústicos sobre los distintos elementos (elementos estructurales separadores y de flancos, capas adicionales y recubrimientos, uniones) deben convertirse en valores in situ antes de la determinación de la transmisión acústica.

Los valores in situ del nivel de presión acústica de impactos normalizado $L_{n,situ}$ y del índice acústica R_{situ} , para los elementos, se obtienen de:

Nivel de presión acústica de impactos:

$$L_{n,situ} = L_n + 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \text{ dB} \quad (13)$$

Índice de reducción acústica:

$$R_{\text{situ}} = R - 10 \lg \frac{T_{\text{s,situ}}}{T_{\text{s,lab}}} \text{ dB} \quad (14)$$

donde

$T_{\text{s,situ}}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento en situación de campo real, en segundos;

$T_{\text{s,lab}}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento medido en el laboratorio, en segundos.

Para cada camino de transmisión indirecta el índice de reducción acústica, R , de los elementos implicados (incluyendo el elemento separador) debería relacionarse sólo con la transmisión resonante. Por encima de la frecuencia crítica es correcto aplicar el índice de reducción acústica de laboratorio. Por debajo de la frecuencia crítica esto puede considerarse una estimación razonable con errores en valores bajos, debido a la transmisión no resonante. Si los valores del índice de reducción acústica se basan en cálculos a partir de las propiedades de los materiales, es mejor considerar sólo la transmisión resonante en todo el intervalo de frecuencias de interés.

Para los siguientes elementos de construcción el tiempo de reverberación estructural $T_{\text{s,situ}}$ debe considerarse a $T_{\text{s,lab}}$ lo que conduce a un término de corrección de 0 dB:

- elementos ligeros de dos hojas, tales como paredes prefabricadas sobre marcos de madera o metal;
- elementos con un factor de pérdidas interno mayor que 0,03;
- elementos que sean mucho más ligeros que los elementos estructurales que los rodean (en un factor de al menos tres);
- elementos que no estén firmemente sujetos a los elementos estructurales que los rodean.

De otra forma el tiempo de reverberación estructural, tanto para laboratorio como para la situación de campo real tiene que tomarse en cuenta de acuerdo al anexo C de la Norma EN 12354-1:2000.

NOTA 1 – Como primera aproximación los términos de corrección para todo tipo de elementos pueden tomarse como 0 dB.

Para capas de material adicionales y para recubrimientos los valores in situ pueden tomarse como los valores de laboratorio, aproximadamente:

$$\begin{aligned} \Delta R_{\text{situ}} &= \Delta R & \text{dB} \\ \Delta L_{\text{situ}} &= \Delta L & \text{dB} \\ \Delta L_{\text{d,situ}} &= \Delta L_{\text{d}} & \text{dB} \end{aligned} \quad (15)$$

Si no se disponen de datos apropiados sobre el índice de mejora acústica de impactos ΔL_{d} de techos suspendidos en el lado de recepción del forjado separador, puede utilizarse como estimación el índice de mejora acústica de ruido aéreo.

Para las uniones, la transmisión in situ se caracteriza por la diferencia de nivel de velocidad promediada en dirección $\overline{D_{v,ij,situ}}$. Ésta se obtiene a partir del índice de reducción vibracional:

$$\overline{D_{v,ij,situ}} = K_{ij} - 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}} \text{ dB}; \overline{D_{v,ij,situ}} \geq 0 \text{ dB} \quad (16)$$

con

$$a_{i,situ} = \frac{2,2\pi^2 S_i}{c_o T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

$$a_{j,situ} = \frac{2,2\pi^2 S_j}{c_o T_{s,j,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$
(17)

donde

$a_{i,situ}$ es la longitud de absorción equivalente del elemento i en la situación real, en metros;

$a_{j,situ}$ es la longitud de absorción equivalente del elemento j en la situación real, en metros;

f es la frecuencia central de la banda, en Hercios;

f_{ref} es la frecuencia de referencia: $f_{ref} = 1\ 000$ Hz;

c_o es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo;

l_{ij} es la longitud de acoplamiento de la unión común entre el elemento i y el j, en metros;

S_i es el área del elemento excitado i (forjado), en metros cuadrados;

S_j es el área del elemento radiante j en el recinto receptor, en metros cuadrados;

$T_{s,i,situ}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento i en la situación real, en segundos;

$T_{s,j,situ}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento j en la situación real, en segundos.

Para los siguientes elementos de construcción se toma la longitud de absorción equivalente a_{situ} numéricamente igual al área del elemento, así $a_{i,situ} = S_i/l_o$ y/o $a_{j,situ} = S_j/l_o$, donde la longitud de referencia es $l_o = 1$ m:

- elementos ligeros de dos hojas, tales como paredes prefabricadas sobre marcos de madera o metal
- elementos con un factor de pérdidas interno mayor que 0,03;
- elementos que sean mucho más ligeros que los elementos estructurales circundantes (por un factor de al menos tres);
- elementos que no estén firmemente sujetos a los elementos estructurales circundantes.

De otra forma el tiempo de reverberación estructural, para la situación de campo real debe ser tenida en cuenta según en anexo C de la Norma EN 12354-1:2000.

NOTA 2 – Como primera aproximación la longitud de absorción equivalente se puede tomar como $a_{i,situ} = S_i/l_o$ y/o $a_{j,situ} = S_j/l_o$, para todo tipo de elemento, con $l_o = 1$ m. Si en este caso el índice de reducción vibracional tiene un valor inferior al valor mínimo de $K_{ij,min}$, entonces se utiliza este valor mínimo. El valor mínimo viene dado por ($ij = Ff, Fd$ o Df).

$$K_{ij,min} = 10 \lg \left[l_{ij} l_o \left(\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right] \text{ dB}$$
(18)

4.2.3 Determinación de la transmisión directa e indirecta. El nivel de presión acústica de impactos normalizado para la transmisión directa se determina a partir de los datos de entrada ajustados como sigue:

$$L_{n,d} = L_{n,situ} - \Delta L_{situ} - \Delta L_{d,situ} \text{ dB} \quad (19)$$

El nivel de presión acústica de impactos normalizado para la transmisión indirecta desde el elemento separador *i* (forjado) hasta el elemento de flanco *j* se determina a partir de los datos de entrada ajustados como sigue:

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} - \Delta L_{situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - \Delta R_{j,situ} - \overline{D_{v,ij,situ}} - 10 \lg \sqrt{\frac{S_i}{S_j}} \text{ dB} \quad (20)$$

donde

S_i es el área del elemento excitado (forjado), en metros cuadrados;

S_j es el área del elemento radiante en el recinto receptor, en metros cuadrados.

NOTA – Para ciertos tipos de suelos, tales como suelos practicables, la transmisión está dominada por el camino Ff (siendo la contribución del recorrido Fd despreciable). En este caso es posible caracterizar la transmisión indirecta para esta construcción como un todo mediante mediciones en laboratorio (véase anexo D).

4.2.4 Interpretación para varios tipos de elementos. En la Norma EN 12354-1:2000 se da información sobre la interpretación de diversos tipos de elementos.

4.2.5 Limitaciones

- el modelo sólo es aplicable a combinaciones de elementos para los que el índice de transmisión de la unión es conocido o puede ser estimado a partir de valores conocidos;
- los elementos deberían tener aproximadamente las mismas características de radiación hacia ambas caras;
- la contribución de caminos de transmisión secundarios, con más de una unión, es despreciable;
- la reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL medida sobre un forjado masivo según la Norma EN 140-8 no puede utilizarse en combinación con suelos de madera u otros suelos mixtos ligeros.

4.3 Modelo simplificado

4.3.1 Procedimiento de cálculo. La versión simplificada del modelo de cálculo predice el nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado a partir de los valores ponderados de los elementos involucrados, determinados según los procedimientos de ponderación de la Norma EN ISO 717-2:1996. Su aplicación se reduce a recintos situados uno sobre el otro con un forjado básico homogéneo. La influencia del amortiguamiento estructural se tiene en cuenta de forma media, el desprecio de las particularidades de la situación y de la transmisión indirecta se tiene en cuenta de forma global, basada en cálculos con el modelo detallado.

El nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $L'_{n,w}$ viene dado por:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \text{ dB} \quad (21)$$

donde

K es la corrección para la transmisión acústica de impactos sobre construcciones de flancos homogéneas en decibelios, según la tabla 1.

Tabla 1
Corrección K para las transmisiones indirectas, en decibelios

Densidad superficial del elemento separador (forjado) en kg/m^2	Densidad superficial media de los elementos de flancos no cubiertos con una capa adicional, en kg/m^2								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Si se cubren una o más construcciones masivas de flancos se recubren con capas adicionales (revestimiento de paredes) con una frecuencia de resonancia $f_0 < 125$ Hz según el capítulo D.2 de la Norma EN 12354-1:2000 las densidades superficiales de los elementos cubiertos no tienen en cuenta en el cálculo de los valores de la masa media.

NOTA – En principio también se puede obtener un término de corrección K que exprese la contribución de la transmisión indirecta para otras configuraciones de recintos distintas de la de uno encima del otro.

4.3.2 Datos de entrada. Los datos acústicos de los elementos involucrados deberían obtenerse, en principio, a partir de mediciones normalizadas en laboratorio. Sin embargo, también pueden ser deducidos de otras formas, utilizando cálculos teóricos, estimaciones empíricas, o resultados de mediciones in situ. En algunos anexos se proporciona información sobre esto. La fuente de los datos debe de estar claramente especificada.

Los datos de entrada consisten en lo siguiente:

- nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado equivalente del forjado base: $L_{n,w,eq}$.

El índice de valoración global que expresa las características de un forjado base masivo se obtiene mediante la valoración del nivel de presión acústica de impactos normalizado dependiente de la frecuencia siguiendo el procedimiento descrito en el anexo B de la Norma EN ISO 717-2:1996.

- reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos del recubrimiento del forjado: ΔL_w .

El índice de valoración global que expresa las características de los recubrimientos de forjados (suelos flotantes o recubrimientos blandos) se obtiene mediante la aplicación del procedimiento descrito en el capítulo 5 de la Norma EN ISO 717-2:1996.

En el capítulo B.2 se da información sobre el nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado equivalente $L_{n,w,eq}$ para forjados homogéneos comunes.

En el capítulo C.2 se da información sobre el índice de mejora acústica ponderada de impactos normalizado global ΔL_w de suelos flotantes.

4.3.3 Limitaciones

- El modelo sólo es aplicable a construcciones homogéneas (cemento y/u hormigón) con suelos flotantes o recubrimientos blandos sobre un forjado homogéneo;
- Sólo es aplicable para recintos uno encima del otro y para recintos de tamaño convencional en viviendas.

5 PRECISIÓN

Los modelos de cálculo predicen las características medidas de las edificaciones, suponiendo una buena ejecución de la obra y una alta precisión de la medición. La precisión de la predicción de los modelos presentados depende de muchos factores: la precisión de los datos de entrada, la adecuación de la situación concreta al modelo, el tipo de elementos y uniones involucrados, la geometría de la situación, y la ejecución de la obra. Por tanto no es posible especificar la precisión de las predicciones para todos los tipos de situaciones y aplicaciones en general. En el futuro se tendrá que recoger 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 experiencia principal en la aplicación de modelos similares, hasta donde llegue el detalle del modelo, se basa en edificaciones con elementos de construcción homogéneos, por ejemplo paredes de ladrillo, forjados y paredes de hormigón, bloques de yeso, etc. Para la transmisión acústica de impactos vertical la predicción del índice global es correcta con una desviación estándar de 2 dB. Para la transmisión horizontal los índices globales calculados tienen un error sistemático variable entre 0 y 5 dB con una desviación estándar de alrededor de 3 dB. La desviación sistemática se cree debida fundamentalmente a la no consideración del tiempo de reverberación estructural.

Ejemplos de cálculo con el modelo simplificado muestran que alrededor del 60% de los valores predichos están en un intervalo de ± 2 dB con respecto a los valores medidos y el 100% están en un intervalo de ± 4 dB. Actualmente no hay ninguna experiencia relativa a la corrección de la transmisión indirecta del ruido de impactos. Se espera que dicha corrección mejore la precisión del modelo para las situaciones más comunes.

A la hora de 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 en los resultados da una idea de la precisión que se puede esperar para estas situaciones, suponiendo un trabajo de ejecución similar.

ANEXO A (Normativo)

SÍMBOLOS

Símbolo	Magnitud física	Unidad
a	Longitud de absorción equivalente de un elemento estructural	[m]
a_{situ}	Longitud de absorción equivalente de un elemento estructural en una situación real	[m]
A	Área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor	[m ²]
A_0	Área de absorción acústica equivalente de referencia; para viviendas es 10 m ²	[m ²]
c_0	Velocidad del sonido en el aire (= 340 m/s)	[m/s]
c_L	Velocidad de la onda longitudinal	[m/s]
C_1	Término de adaptación espectral del nivel acústico de impactos según la Norma EN ISO 717-2:1996	[dB]
$C_{1\Delta}$	Término de adaptación espectral para la reducción acústica de impactos mediante recubrimientos de suelos según el anexo A de la Norma EN ISO 717-2:1996	[dB]
$D_{v,ij}$	Diferencia de niveles de velocidad en la unión entre el elemento excitado i y el elemento receptor j	[dB]
$\overline{D}_{v,ij,situ}$	Diferencia de nivel de velocidad en la unión promediada en dirección entre los elementos i y j en una situación real	[dB]
f	Frecuencia	[Hz]
f_{ref}	Frecuencia de referencia (= 1 000 Hz)	[Hz]
i	Índice para los elementos del recinto emisor (=D, F)	[-]
j	Índice para los elementos del recinto receptor (=d, f)	[-]
K	Término de corrección para la transmisión indirecta	[dB]
K_{ij}	Índice de reducción vibracional para cada camino de transmisión ij sobre una unión	[dB]
$K_{ij,\text{min}}$	Valor mínimo de K_{ij} en una situación real	[dB]
L_i	Nivel de presión acústica de impactos promedio en el recinto receptor	[dB re 20 μ Pa]
L_n	Nivel de presión acústica de impactos normalizado	[dB re 20 μ Pa]
$L_{n,f}$	Nivel de presión acústica de impactos por flancos normalizado	[dB re 20 μ Pa]
$L_{n,\text{situ}}$	Nivel de presión acústica de impactos normalizado en una situación real	[dB re 20 μ Pa]
$L_{n,w,\text{eq}}$	Nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado, equivalente	[dB re 20 μ Pa]
L'_n	Nivel de presión acústica de impactos normalizado in situ	[dB re 20 μ Pa]
$L'_{n,w}$	Nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado in situ (EN ISO 717-2)	[dB re 20 μ Pa]
L'_{nT}	Nivel de presión acústica de impactos normalizado in situ	[dB re 20 μ Pa]
$L_{n,d}$	Nivel de presión acústica de impactos normalizado por transmisión directa	[dB re 20 μ Pa]
$L_{n,ij}$	Nivel de presión acústica de impactos normalizado por transmisión indirecta	[dB re 20 μ Pa]
L_2	Nivel de presión acústica de impactos promedio en el recinto receptor debido únicamente a la transmisión acústica a través del camino Ff (para ciertos elementos de flancos)	[dB re 20 μ Pa]
ΔL	Reducción del nivel de presión acústica de impactos de un recubrimiento de forjado	[dB]
ΔL_{situ}	Reducción del nivel de presión acústica de impactos de un recubrimiento de forjado en una situación real	[dB]
ΔL_d	Reducción del nivel de presión acústica de impactos mediante una capa adicional sobre la cara de recepción del elemento separador	[dB]
$\Delta L_{d,\text{situ}}$	Reducción del nivel de presión acústica de impactos mediante una capa adicional sobre la cara de recepción del elemento separador in situ	[dB]

Símbolo	Magnitud física	Unidad
ΔL_w	Reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos global de un recubrimiento de forjado (EN ISO 717-2:1996)	[dB]
ΔL_{lin}	Reducción lineal sin ponderar del nivel de presión acústica de impactos de un recubrimiento de forjado (anexo A de la Norma EN ISO 717-2:1996)	[dB]
l_{ij}	Longitud de acoplamiento común entre el elemento i y el j	[m]
l_{Ff}	Longitud de acoplamiento común entre los elementos de flancos F y f y el elemento separador	[m]
l_{lab}	Valor en laboratorio, como referencia para l_{ij}	[m]
l_o	Longitud de referencia (=1 m)	[m]
m'	Densidad superficial de un elemento	[kg/m ²]
m'_o	Densidad superficial de referencia (=1 kg/m ²)	[kg/m ²]
n	Número de elementos de flancos en un recinto	[-]
R	Índice de reducción acústico de un elemento	[dB]
R_{situ}	Índice de reducción acústico de un elemento en una situación real	[dB]
R_i	Índice de reducción acústico del elemento excitado i en el recinto emisor	[dB]
$R_{i,situ}$	Índice de reducción acústico del elemento excitado i en una situación real	[dB]
R_j	Índice de reducción acústico del elemento j en el recinto receptor	[dB]
$R_{j,situ}$	Índice de reducción acústico del elemento j en una situación real	[dB]
ΔR_j	Mejora del índice de reducción acústico debida a una capa adicional sobre el lado de recepción del elemento j	[dB]
$\Delta R_{j,situ}$	Mejora del índice de reducción acústico de una capa adicional sobre el lado de recepción del elemento j in situ	[dB]
S_i	Área de la superficie del elemento excitado (forjado)	[m ²]
S_j	Área de la superficie del elemento radiante	[m ²]
S_f	Área de la superficie del elemento excitado in situ	[m ²]
$S_{f,lab}$	Área de la superficie del elemento excitado en laboratorio	[m ²]
s'	rigidez dinámica por unidad de área	[N/m ³]
T	Tiempo de reverberación del recinto receptor	[s]
T_o	Tiempo de reverberación de referencia, para viviendas es 0,5 s	[s]
T_s	Tiempo de reverberación estructural de cada elemento (homogéneo)	[s]
$T_{s,lab}$	Tiempo de reverberación estructural de cada elemento (homogéneo) en laboratorio	[s]
$T_{s,situ}$	Tiempo de reverberación estructural de cada elemento (homogéneo) in situ	[s]
$T_{s,i,lab}$	Tiempo de reverberación estructural del elemento i en laboratorio	[s]
$T_{s,i,situ}$	Tiempo de reverberación estructural del elemento i in situ	[s]
t	Espesor	[m]
V	Volumen del recinto receptor	[m ³]
v_i^2	Velocidad cuadrática media sobre el elemento i (ondas libres)	[(m/s) ²]
v_j^2	Velocidad cuadrática media sobre el elemento j (ondas libres)	[(m/s) ²]
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 emisor debida al sonido incidente sobre esa muestra en el recinto emisor	[W]
w	Índice que identifica a los índices de reducción acústico globales según la Norma EN ISO 717-1	[-]
ρ	Densidad	[kg/m ³]
σ	Factor de radiación para ondas de flexión libres	[-]

ANEXO B (Informativo)

FORJADOS HOMOGÉNEOS

B.1 Nivel de presión acústica de impactos normalizado L_n de forjados homogéneos

Para forjados homogéneos, si no están disponibles los valores medidos del nivel de presión acústica de impactos normalizado L_n , el cálculo expresado en el apartado 4.2 se puede basar en los siguientes datos.

Para forjados monolíticos comunes el nivel de presión acústica de impactos normalizado se puede calcular de forma precisa [5] (véase la bibliografía). El factor de pérdidas total dado que está influido por el laboratorio es importante y debe tenerse en cuenta según las especificaciones dadas en la Norma EN ISO 140-1. Esto se describe en el anexo C de la Norma EN 12354-1:2000.

Se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$L_n = L_F + 10 \lg \frac{Re(Y)\sigma}{m' [1 \text{ s m}^2 / \text{kg}^2]} + 10 \lg \frac{T_s}{[1 \text{ s}]} + 10,6 \text{ dB} \quad (\text{B.1})$$

Con el nivel de fuerza de la máquina de martillos normalizada según la Norma EN ISO 140-6 se tiene para bandas de tercio de octava [1] (véase la bibliografía):

$$L_n \approx 155 - 30 \lg \frac{m'}{[1 \text{ kg} / \text{m}^2]} + 10 \lg \frac{T_s}{[1 \text{ s}]} + 10 \lg \sigma + 10 \lg \frac{f}{f_{\text{ref}}} \text{ dB} \quad (\text{B.2})$$

donde

L_F es el nivel de fuerza de la máquina de martillos, en decibelios (referido a 10^{-6} N);

m' es la densidad superficial, en kilogramos por metro cuadrado;

$Re(Y)$ es la parte real de la movilidad del forjado, en segundos metros cuadrados por kilogramo;

σ es el factor de radiación para ondas de flexión libres;

T_s es el tiempo de reverberación estructural, en segundos;

ρ es la densidad del forjado, en kilogramos por metro cúbico;

c_L es la velocidad longitudinal, en metros por segundo;

f_{ref} es la frecuencia de referencia; $f_{\text{ref}} = 1\,000$ Hz.

El factor de radiación para ondas libres y el tiempo de reverberación estructural se calculan según los anexos B y C de la Norma EN 12354-1:2000.

Las fuerzas aplicadas por la máquina de martillos se reducen en altas frecuencias, dependiendo de la rigidez dinámica de la capa superficial del suelo. Esto puede tenerse en cuenta de forma empírica.

Basándose en cálculos que siguen este modelo, en la tabla B.2 se recogen algunos ejemplos del nivel de presión acústico de impactos normalizado por bandas de octava para forjados monolíticos y para una configuración de laboratorio según el anexo C de la Norma EN 12354-1:2000. Los cálculos se desarrollan por frecuencias espaciadas un tercio de octava y los resultados se promedian sobre un ancho de banda de una octava. Las propiedades del material utilizadas se recogen en la tabla B.1, junto con los nombres genéricos del material del que son indicativos.

Tabla B.1
Propiedades típicas del material

Material	Densidad ρ (kg/m ³)	Velocidad longitudinal c_L (m/s)	Factor de pérdida interna η (-)
Hormigón	2 300	3 500	0,006
Hormigón ligero	1 300	1 700	0,015

Tabla B.2
Nivel de presión acústica de impactos normalizado calculado en bandas de octava para algunos elementos estructurales monolíticos (ejemplos)

Construcción	m' kg/m ²	Nivel de presión acústica de impactos normalizado (dB) por bandas de octava (Hz)							$L_{n,w}(C_1)$
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	
100 mm de hormigón +20 mm de acabado	268	65	73	78	78	78	78	76	80 (-11)
180 mm de hormigón +50 mm de acabado	509	64	60	65	66	67	68	66	69 (-11)
200 mm de hormigón ligero	260	65	72	78	77	77	76	70	77 (-9)
300 mm de hormigón ligero	390	64	68	70	70	70	70	64	71 (-9)

Por razones de reciprocidad la suma del índice de reducción acústica a ruido aéreo R y el nivel de presión acústica de impactos normalizado L_n para forjados homogéneos sólo depende de la frecuencia, si la transmisión forzada es despreciable [7] (véase la bibliografía). Esto es válido normalmente para frecuencias de hasta 1 kHz debido a la influencia de la rigidez de la capa superficial del forjado. Por tanto el nivel de presión acústica de impactos normalizado de una construcción se puede estimar a partir de los datos del índice de reducción sonora de esa construcción.

Para el cálculo por bandas de octava la relación es:

$$R + L_n = 43 + 30 \lg \frac{f}{[1 \text{ Hz}]} \text{ dB} \quad (\text{B.3})$$

donde

f es la frecuencia central de la banda de octava, en Hercios.

Para el cálculo por bandas de tercio de octava la expresión es:

$$R + L_n = 38 + 30 \lg \frac{f}{[1 \text{ Hz}]} \text{ dB} \quad (\text{B.4})$$

donde

f es la frecuencia central de la banda de tercio de octava, en Hercios.

B.2 Nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado global equivalente $L_{n,w,eq}$ de forjados homogéneos

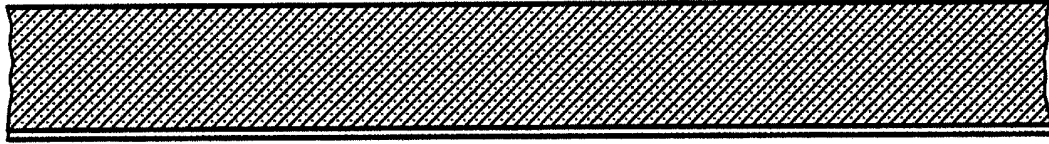
Para forjados homogéneos el nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado equivalente $L_{n,w,eq}$ utilizado para el cálculo expresado en el apartado 4.3 puede calcularse a partir de la densidad superficial m' (dentro del intervalo de 100 a 600 kg/m²) a partir de [8] (véase la bibliografía):

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \lg \frac{m'}{[1 \text{ kg} / \text{m}^2]} \text{ dB} \quad (\text{B.5})$$

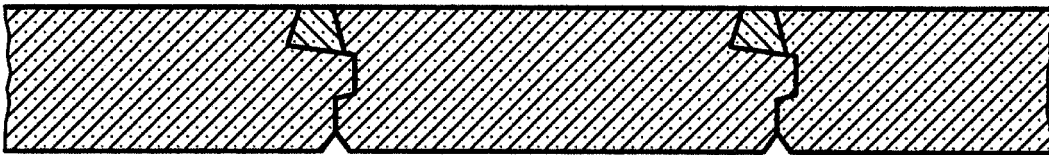
Esta ecuación es válida para forjados homogéneos de hormigón; para hormigón ligero u hormigón poroso los valores reales serán algo inferiores, de forma que la ecuación B.5 da valores seguros en estos casos. La figura B.1 muestra forjados que se comportan como homogéneos.

Forjados sin huecos

Forjado de hormigón macizo fabricado in situ

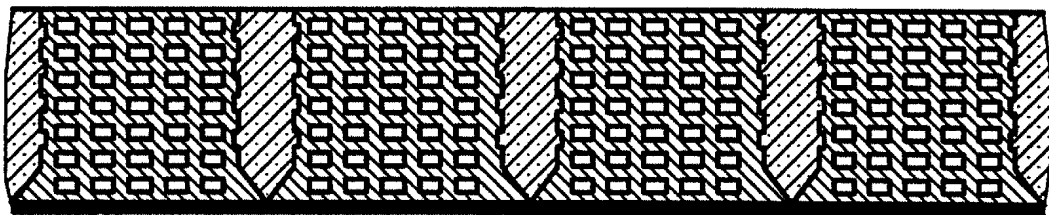


Forjado de hormigón aireado fabricado en autoclave

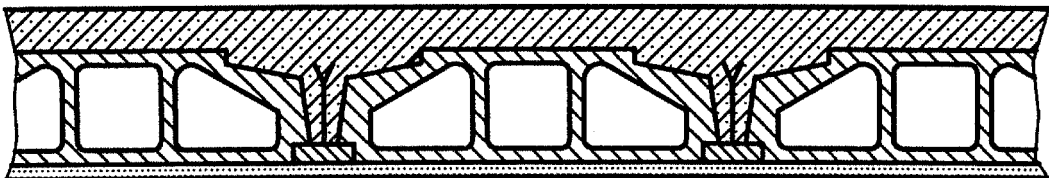


Forjados con huecos

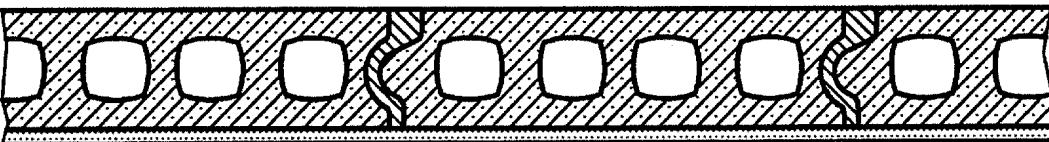
Forjado de ladrillo perforado



Vigas y bovedillas



Forjado de losas de hormigón anchas



Forjado de vigas de hormigón

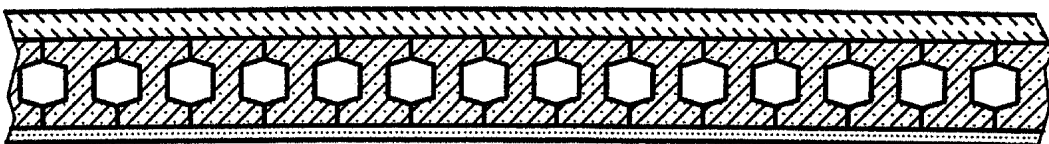


Fig. B.1 – Tipos básicos de forjados

ANEXO C (Informativo)

SUELOS FLOTANTES

C.1 Reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL de suelos flotantes

Si no están disponibles valores medidos de la reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL de los suelos flotantes, se pueden aplicar las siguientes fórmulas:

- a) La reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL de suelos flotantes, hechos a base de arena/cemento o sulfatos de calcio puede calcularse mediante:

$$\Delta L = 30 \lg \frac{f}{f_o} \text{ dB} \quad (\text{C.1})$$

donde

f es la frecuencia central de la banda de tercio de octava, en Hercios;

f_o es la frecuencia de resonancia del sistema, en Hercios según:

$$f_o = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad (\text{C.2})$$

donde

s' es la rigidez dinámica por unidad de área de la capa elástica según la Norma EN 29052-1 – *Acústica. Determinación de la rigidez dinámica. Parte 1: Materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas*, medidos sin ninguna carga, en meganewtons por metro cúbico;

m' es la densidad superficial del suelo flotante, en kilogramos por metro cuadrado.

NOTA 1 – La teoría del aislamiento acústico de impactos conduce a la fórmula $\Delta L = 40 \lg(f/K_o)$ que está relacionada con placas infinitas. Sin embargo los datos experimentales muestran que en situaciones prácticas dicha fórmula se encuentra en la zona segura.

- b) La reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL de suelos flotantes asfálticos o suelos flotantes secos se puede calcular mediante:

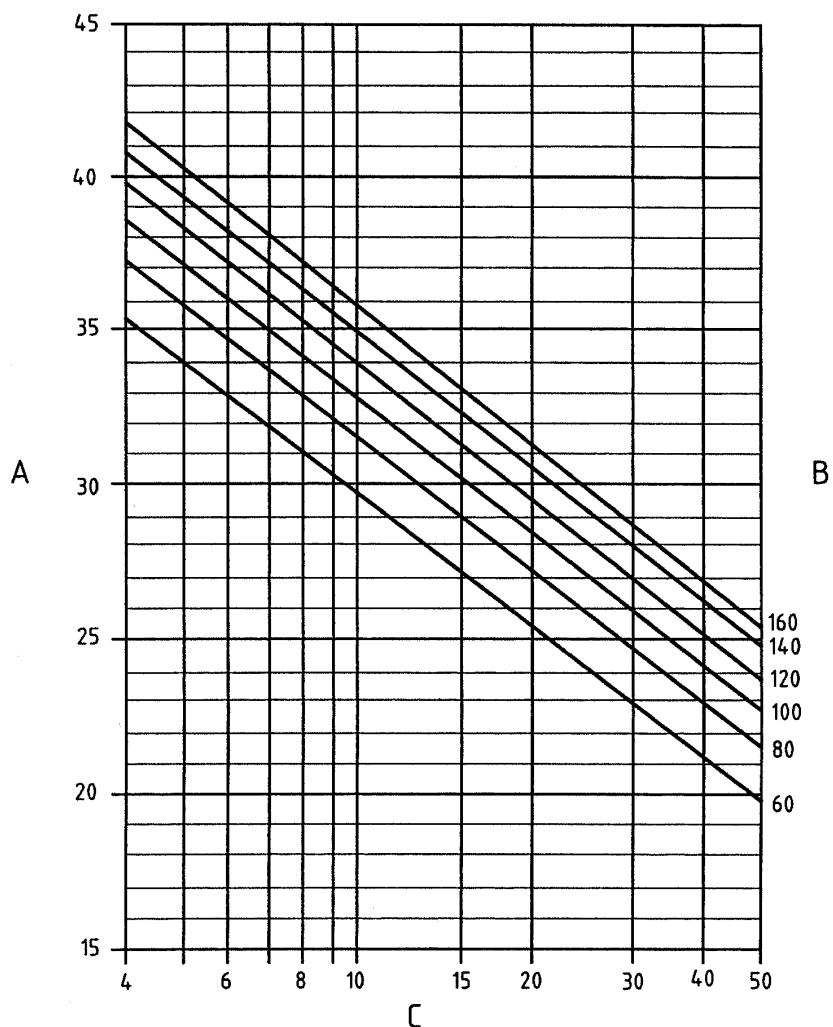
$$\Delta L = 40 \lg \frac{f}{f_o} \text{ dB} \quad (\text{C.3})$$

NOTA 2 – Debido al relativamente alto factor de pérdida interno de las construcciones mencionadas, la reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL aumenta con la frecuencia según la teoría para placas infinitas en la mayoría de los casos. Esto está confirmado mediante datos obtenidos experimentalmente.

C.2 Reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos ΔL_w de suelos flotantes

La reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos ΔL_w depende de la densidad superficial del suelo flotante y de la rigidez dinámica por unidad de área s' de la capa elástica según la Norma EN 29052-1 – *Acústica. Determinación de la rigidez dinámica. Parte 1: Materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas* medidos sin ninguna carga.

a) para suelos flotantes hechos a base de arena/cemento o sulfato cálcico, los valores se pueden coger de la figura C.1.

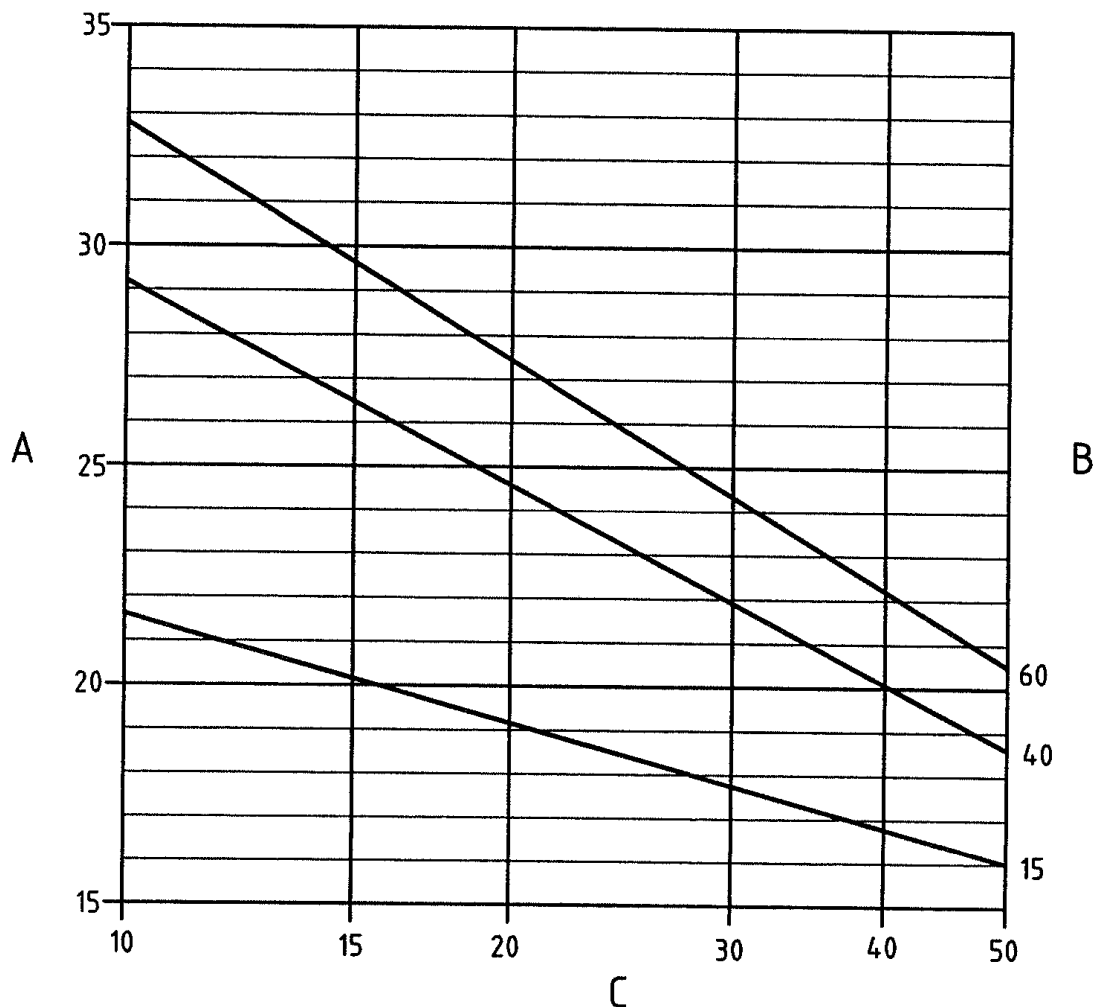


Leyenda

- A Índice global de reducción sonora a ruido de impactos ΔL_w en dB
- B Densidad superficial del suelo flotante en kgm^{-2}
- C Rigidez dinámica por unidad de área s' de la capa elástica en MNm^{-3}

Fig. C.1 – Reducción del nivel de presión acústica ponderada de impactos de suelos flotantes hechos de arena/cemento o sulfatos de calcio

b) para suelos flotantes a base de asfalto o suelos flotantes secos pueden utilizarse los valores de la figura C.2.



Leyenda

- A Índice global de reducción sonora a ruido de impactos ΔL_w en dB
- B Densidad superficial del suelo flotante en kgm^{-2}
- C Rigidez dinámica por unidad de área s' de la capa elástica en MNm^{-3}

Fig. C.2 – Reducción del nivel de presión acústica ponderada de impactos de suelos flotantes hechos a base de asfalto o suelos flotantes secos

NOTA – En el caso de que haya dos o más capas elásticas la rigidez dinámica total resultante por unidad de área se debería calcular mediante:

$$s'_{\text{tot}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{s'_i} \right)^{-1} \tag{C.4}$$

donde

s'_i es la rigidez dinámica por unidad de área de la capa elástica i según la Norma EN 29052-1 – *Acústica. Determinación de la rigidez dinámica. Parte 1: Materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas medidos sin ninguna carga.*

Esto es así sólo si todas las capas elásticas cubren la totalidad del área del suelo sin separaciones ni cortes, por ejemplo tuberías de calefacción o de agua corriente, o dispositivos eléctricos.

ANEXO D (Informativo)

MEDICIÓN EN LABORATORIO DE LAS TRANSMISIONES INDIRECTAS

Con la restricción de que la transmisión correspondiente a un elemento flanco estructural esté dominada por el camino Ff es posible caracterizar esta transmisión mediante mediciones en laboratorio. Este será el caso de construcciones con flancos tales como suelos registrables. En este caso la transmisión será fundamentalmente de origen estructural, aunque la vía aérea pueda ser de importancia. Para expresar los resultados de tales mediciones sería deseable utilizar una magnitud invariable, es decir una magnitud que sea independiente de la disposición de medición. A partir de tal magnitud se podría explorar su comportamiento en campo. Sin embargo tal magnitud no existe con carácter general, a lo sumo es factible deducirla siempre que se conozca el mecanismo principal de transmisión, es decir si es fundamentalmente aéreo o estructural.

Por el momento la medición de las transmisiones indirectas en laboratorio tiene como principal objetivo la intercomparación de diferentes productos en una situación de ensayo normalizada. Los resultados de la medición se expresan, con este propósito, como nivel de presión acústica de impactos normalizado de flancos L_{nf} , relativo a un montaje de laboratorio especificada.

$$L_{nf} = L_2 + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB}; A_0 = 10 \text{ m}^2 \quad (\text{D.1})$$

donde

L_2 es el nivel de presión acústica de impactos promedio en el recinto receptor debido sólo al sonido transmitido a través del montaje considerado;

A es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor; valor de referencia $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Para suelos registrables esto se determina según el proyecto de Norma prEN ISO 140-12. Para otros montajes, en el proyecto de Norma prEN ISO 10848-1 se especifican otros métodos de medición.

En el caso de que la transmisión sea principalmente estructural se puede utilizar la siguiente ecuación para determinar el nivel de presión acústica de impactos de flancos L_{Ff} (con $F=i$) en una situación real a partir de la información del producto L_{nf} .

$$L_{n,F=i,f} = L_{nf} + 10 \lg \frac{S_{F,lab} l_{Ff}}{S_F l_{lab}} + 10 \lg \frac{T_{s,F}}{T_{s,F,lab}} + 10 \lg \frac{T_{s,f}}{T_{s,f,lab}} \text{ dB} \quad (\text{D.2})$$

donde

S_F es el área del forjado excitado en la situación real ($F=i$), en metros cuadrados;

$S_{F,lab}$ es el área del forjado excitado en laboratorio ($F=i$), en metros cuadrados;

l_{Ff} es la longitud de acoplamiento entre los elementos F y f, en metros;

l_{lab} es la longitud de acoplamiento entre los elementos F y f en laboratorio, en metros;

$T_{s,F}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento F en la situación real, en segundos;

$T_{s,f}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento f en la situación real, en segundos;

$T_{s,F,lab}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento F en laboratorio, en segundos;

$T_{s,f,lab}$ es el tiempo de reverberación estructural del elemento f en laboratorio, en segundos.

Los últimos términos relativos al tiempo de reverberación estructural deberían despreciarse si la construcción considerada tiene un factor de pérdidas interno alto, tal como las construcciones ligeras de doble hoja.

NOTAS

- 1 Si la transmisión aérea también es importante o incluso dominante, esta relación no es válida. En este último caso una aproximación posible sería la misma que para techos suspendidos; véase el anexo F de la Norma EN 21354-1:2000.
- 2 Para su uso, y para la mejora de estas expresiones en el futuro, sería necesario, para algunos tipos de montaje, el desarrollar mediciones en laboratorio, a fin de establecer si la transmisión estructural es realmente dominante.

ANEXO E (Informativo)

EJEMPLOS DE CÁLCULO

E.1 Situación

El nivel de presión acústica de impactos L'_n entre dos viviendas ha de ser calculado para dos habitaciones situadas una encima de la otra, separadas por un bloque de hormigón con un suelo flotante. Los volúmenes de las habitaciones son 50 m^3 , el resto de los detalles de la construcción se dan a continuación.

Elemento separador:

Forjado $S_i = 5,00 \times 4,00 \text{ m} = 20,0 \text{ m}^2$;

140 mm de hormigón, $m' = 0,14 \text{ m} \times 2300 \text{ kg/m}^3 = 322 \text{ kg/m}^2$;

Suelo flotante: 35 mm de hormigón sobre 20 mm de lana mineral con $s' = 8 \text{ MN/m}^3$.

Elementos de flacos (idénticos en ambos lados):

Paredes internas $S_j = 5,00 \text{ m} \times 2,50 \text{ m} = 12,5 \text{ m}^2$; unión rígida en cruz;

120 mm de hormigón aireado, $m' = 0,12 \text{ m} \times 800 \text{ kg/m}^3 = 96 \text{ kg/m}^2$;

paredes externas $S_j = 4,00 \text{ m} \times 2,50 \text{ m} = 10,0 \text{ m}^2$; unión rígida en T;

100 mm de ladrillo, $m' = 0,1 \text{ m} \times 1900 \text{ kg/m}^3 = 190 \text{ kg/m}^2$.

E.2 Modelo detallado

E.2.1 Resultados

Se dan los niveles resultantes de presión acústica de impactos directos e indirectos por elemento y el total, en bandas de octava y el valor ponderado; los valores se redondean al decibelio más próximo. Los detalles del cálculo se ilustran para los valores en negrita en las secciones siguientes.

Frecuencia			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	L'_{nw} dB
L'_n	Forjado	L'_{nDd}	57	50	41	36	30	26	42
	Pared interna	L'_{nDf}	42	38	36	31	24	22	31
	Pared interna	L'_{nDf}	42	38	36	31	24	22	31
	Pared externa	L'_{nDf}	42	39	34	28	21	16	30
	Pared externa	L'_{nDf}	42	39	34	28	21	16	30
L'_n	total		58	51	44	39	32	29	43

$L'_{nw}(C_1) = 43 \text{ (1) dB}$, así por ejemplo $L'_{nw} + C_1 = 43 + 1 = 44 \text{ dB}$.

E.2.2 Pasos detallados para el forjado separador y las paredes de flanqueo

E.2.2.1 Transformación de los datos de entrada en valores in situ:

forjado separador, $m' = 322 \text{ kg/m}^2$, $f_c = 134 \text{ Hz}$, $S = 20,0 \text{ m}^2$

Frecuencia		125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
entrada:	$L_{n,s}$ forjado (véase anexo B)	70,8	73,1	73,6	74,4	75,1	75,0	dB
	R_s forjado (véase anexo B de la Norma EN 12354-1:2000)	35,1	38,7	48,6	56,9	64,5	71,3	dB
calculado:	$10 \lg(T_{s,situ}/T_{s,lab})$	-1,5	-1,6	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	dB
resultado:	$L_{n,situ}$ [véase ecuación (13)]	69,3	71,5	72,0	72,9	73,7	73,7	dB
	$R_{i,situ}$ [véase ecuación (14)]	36,6	40,3	50,2	58,4	65,9	72,6	dB

suelo flotante, $m' = 80 \text{ kg/m}^2$, $s' = 8 \text{ MN/m}^3$

Frecuencia		125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
Entrada:	ΔL (véase anexo C)	12,0	22,0	31,0	37,0	44,0	48,0	dB
Resultado:	ΔL_{situ} [véase ecuación (15)]	12,0	22,0	31,0	37,0	44,0	48,0	dB

pared interna, $m' = 96 \text{ kg/m}^2$, $f_c = 390 \text{ Hz}$, $S = 12,5 \text{ m}^2$, $l_{ij} = 5,00 \text{ m}$

Frecuencia		125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
Entrada:	R_f (véase anexo B de la Norma EN 12354-1:2000)	36,4	32,7	29,4	36,8	45,0	46,7	dB
Calculado:	$10 \lg(T_{s,situ}/T_{s,lab})$	-3,7	-3,2	-2,1	-2,1	-1,9	-1,5	dB
Resultado:	$R_{f,situ}$ [véase ecuación (14)]	40,1	35,9	31,5	38,9	46,9	48,2	dB

pared externa, $m' = 190 \text{ kg/m}^2$, $f_c = 298 \text{ Hz}$, $S = 10,0 \text{ m}^2$, $l_{ij} = 4,00 \text{ m}$

Frecuencia		125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
entrada:	R_f (véase anexo B de la Norma EN 12354-1:2000)	40,6	35,2	36,6	47,1	55,9	63,1	dB
calculado:	$10 \lg(T_{s,situ}/T_{s,lab})$	-3,4	-3,0	-2,4	-2,1	-1,8	-1,5	dB
resultado:	$R_{f,situ}$ [véase ecuación (14)]	44,0	38,2	39,0	49,2	57,7	64,6	dB

E.2.2.2 Transformación de los datos de entrada de las uniones en valores in situ:

pared interna, $l_{Df} = 5 \text{ m}$, $S_j = 12,5 \text{ m}^2$, $S_i = 20,0 \text{ m}^2$

Véase la ecuación (E.2) del anexo E de la Norma EN 12354-1:2000 respecto a la esquina con $m_{\perp}/m_i = 96/322$: $K_{Df} = 10,3 \text{ dB}$

Frecuencia		125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
Forjado:	a_{situ} [véase ecuación (17)]	16,7	17,2	17,2	18,0	19,0	20,6	dB
Pared:	a_{situ} [véase ecuación (17)]	4,8	5,3	7,1	7,2	8,1	9,7	dB
	$10 \lg(l_{ij} / \sqrt{a_{forjado}} \sqrt{a_{pared}})$ [ecuación (16)]	-2,5	-2,8	-3,4	-3,6	-3,9	-4,5	dB
	$D_{v,Df,situ}$ [véase ecuación (16)]	12,8	13,1	13,7	13,9	14,2	14,8	dB

pared externa, $l_{Df} = 4 \text{ m}$, $S_j = 10,0 \text{ m}^2$, $S_i = 20,0 \text{ m}^2$

Véase la ecuación (E.3) del anexo E de la Norma EN 12354-1:2000 respecto a la esquina con $m_{\perp}/m_i = 190/322$: $K_{Df} = 6,0 \text{ dB}$

Frecuencia	125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
Forjado: a_{situ} [véase ecuación (17)]	16,7	17,2	17,2	18,0	19,0	20,6	dB
Pared: a_{situ} [véase ecuación (17)]	6,4	7,0	8,1	8,8	10,1	12,1	dB
$10 \lg(l_{ij} / \sqrt{a_{\text{forjado}}} \sqrt{a_{\text{pared}}})$ [ecuación (16)]	-4,1	-4,4	-4,7	-5,0	-5,4	-6,0	dB
$D_{v,Df,situ}$ [véase ecuación (16)]	10,1	10,4	10,7	11,0	11,4	12,0	dB

Determinación de la transmisión acústica directa e indirecta; ecuaciones (19) y (20):

Transmisión directa [ecuación (19)]:

Frecuencia	125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
$L_{n,situ}$	69,3	71,5	72,0	72,9	73,7	73,7	dB
ΔL_{situ}	12,0	22,0	31,0	37,0	44,0	48,0	dB
$L_{n,d}$	57,3	49,5	41,0	35,9	29,7	25,7	dB

Transmisión indirecta sobre la pared interna [ecuación (20)]:

Frecuencia	125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
$L_{n,situ}$	69,3	71,5	72,0	72,9	73,7	73,7	dB
ΔL_{situ}	12,0	22,0	31,0	37,0	44,0	48,0	dB
$R_{i,situ}$	36,6	40,3	50,2	58,4	65,9	72,6	dB
$R_{f,situ}$	40,1	35,9	31,5	38,9	46,9	48,2	dB
$D_{v,Df,situ}$	12,8	13,1	13,7	13,9	14,2	14,8	dB
$5 \lg(S_i/S_j)$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	dB
$L_{n,Df}$	41,7	37,6	35,6	30,7	24,0	22,1	dB

NOTA – Los valores de la tabla de resultados se han redondeado.

Transmisión indirecta sobre la pared externa [ecuación (20)]:

Frecuencia	125	250	500	1 k	2 k	4 k	Hz
$L_{n,situ}$	69,3	71,5	72,0	72,9	73,7	73,7	dB
ΔL_{situ}	12,0	22,0	31,0	37,0	44,0	48,0	dB
$R_{i,situ}$	36,6	40,3	50,2	58,4	65,9	72,6	dB
$R_{f,situ}$	44,0	38,2	39,0	49,2	57,7	64,6	dB
$D_{v,Df,situ}$	10,1	10,4	10,7	11,0	11,4	12,0	dB
$5 \lg(S_i/S_j)$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
$L_{n,Df}$	42,0	38,6	34,4	28,9	20,9	16,2	dB

NOTA – Los valores de la tabla de resultados se han redondeado.

E.2.3 Tiempo de reverberación estructural del forjado en la octava de 500 Hz (véase el anexo C de la Norma EN 12354-1:2000)

Cálculos para esta banda de octava con $f = 400$ Hz (banda de tercio de octava inferior)

Laboratorio

con $m' = 322 \text{ kg/m}^2$ y $f_c = 134$ Hz, la ecuación (C.4) da: $\alpha_k = 0,154$;

con $\eta_{\text{int}} = 0,006$, $\sigma = 1,2$; $S_{\text{lab}} = 10 \text{ m}^2$ y $\Sigma l_k = 12,8$ m, la ecuación (C.1) da: $\eta_{\text{tot}} = 0,037$;

por tanto $T_{s,\text{lab}} = \mathbf{0,149}$ s (La estimación según la ecuación (C.5) daría $T_{s,\text{lab}} = 0,14$ s)

In situ

Aristas con

pared interna: $K_{ij} = 1,3$; 10,3 y 10,3 dB (véase ecuación (E.2) de la Norma EN 12354-1:2000), por tanto la ecuación (C.2) da $\alpha_k = 0,388$

pared externa: $K_{ij} = 6,0$ y 6,0 dB (véase ecuación (E.3) de la Norma EN 12354-1:2000), por tanto la ecuación (C.2) da $\alpha_k = 0,274$

De esto se obtiene que [ecuación (C.1)] $\eta_{\text{tot}} = 0,053$ y $T_{s,\text{situ}} = \mathbf{0,104}$ s.

Por tanto los términos del índice de reducción acústica, nivel de presión acústica de impactos y transmisión por la unión son:

forjado: $10 \lg (T_{s,\text{situ}}/T_{s,\text{lab}}) = 10 \lg 0,104/0,149 = \mathbf{-1,6}$ dB
 $a_{\text{situ}} = \mathbf{17,2}$ m

Siguiendo el mismo procedimiento también se tiene que:

Pared interna: $a_{\text{situ}} = \mathbf{7,1}$ m

Pared externa: $a_{\text{situ}} = \mathbf{8,1}$ m

E.3 Modelo simplificado

Situación:

Se evaluará el mismo edificio que en el capítulo E.1.

Datos de entrada:

- densidad superficial del forjado de hormigón: $m' = 0,14 \text{ m} \times 2 \text{ } 300 \text{ kg/m}^3 = 322 \text{ kg/m}^2$;
- rigidez dinámica por unidad de área de la capa de lana mineral: $s' = 8 \text{ MN/m}^3$;
- densidad superficial del forjado: $m' = 80 \text{ kg/m}^2$.

Valores calculados:

- nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado equivalente del forjado de hormigón: del anexo B:

$$\begin{aligned} L_{n,w,eq} &= 164 - 35 \lg(m'/m'_o) \text{ con } m'_o = 1 \text{ kg/m}^2 \\ &= 164 - 35 \lg(322/1) = 76,2 \text{ dB} \approx 76 \text{ dB} \end{aligned}$$

- índice de mejora acústica ponderado de impactos global del suelo flotante:

con la rigidez dinámica por unidad de área $s' = 8 \text{ MN/m}^3$ de la lana mineral y la densidad superficial $m' = 80 \text{ kg/m}^2$ del forjado se tiene, de la figura C.1:

$$\Delta L_w = 33 \text{ dB}$$

- corrección K par la transmisión indirecta:

densidad superficial media de los elementos de flancos no cubiertos con capas elásticas, $m' = 0,25 [(2 \times 190) + (2 \times 100)] \text{ kg/m}^2 = 145 \text{ kg/m}^2$; y de la tabla 1:

$$K = 2 \text{ dB}$$

- nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado global entre las dos habitaciones:

de la ecuación (21):

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K = (76 - 33 + 2) \text{ dB} = 45 \text{ dB}$$

- nivel de presión de ruido de impactos estandarizado global entre las dos habitaciones

con el volumen de la habitación receptora $V = 50 \text{ m}^3$, de la ecuación (3):

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg(V/30) = (45 - 2,2) \text{ dB} = 42,8 \text{ dB} \approx 43 \text{ dB}$$

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cremer, L., Hecl, M.: Structure Borne Sound, 2nd edition, Springer Verlag, Heidelberg 1988.
- [2] Cremer, H. + L., "Theorie der Entstehung des Klopfschalls", Frequenz **1** (1948), 61-71.
- [3] DIN 4109, Schallschutz mi Hochbau, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, November 1989.
- [4] Gerretsen, E., "Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings", Applied Acoustics **19** (1986), 245-264.
- [5] Gerretsen, E., "A calculation model for the impact sound insulation of floors with floating and soft coverings (in Dutch)", report F 38, Stichting Bouwresearch, Rotterdam 1990.
- [6] Gösele, K., Gießelmann, K., "Berechnung des Trittschallschutzes von Rohdecken", Fortschritte der Akustik DAGA'76, VDI-Verlag Düsseldorf, 1976.
- [7] Heckl, M., Rathe, E. J., "Relationship between the transmission loss and the impact noise insulation of floor structures", JASA **35** (1963), 1825-1830.
- [8] ÖNORM B 8115, Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1992.
- [9] Gerretsen, E., "European developments in prediction models for building acoustics", Acta Acustica **2** (1994), 205-214.

ANEXO NACIONAL

Las normas que se relacionan a continuación, citadas en esta norma europea, han sido incorporadas al cuerpo normativo UNE con los siguientes códigos:

Normas Europeas	Normas UNE
EN ISO 140-1:1997	UNE-EN ISO 140-1:1998
EN ISO 140-3:1995	UNE-EN ISO 140-3:1995
EN ISO 140-6:1998	UNE-EN ISO 140-6:1999
EN ISO 140-7:1998	UNE-EN ISO 140-7:1999
EN ISO 140-8:1997	UNE-EN ISO 140-8:1998
EN ISO 140-12:2000	UNE-EN ISO 140-12:2000
EN ISO 717-1:1996	UNE-EN ISO 717-1:1997
EN ISO 717-2:1996	UNE-EN ISO 717-2:1997
EN 12354-1:2000	UNE-EN 12354-1:2000
prEN ISO 10848-1	PNE-prEN ISO 10848-1

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32