

ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS: índices de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu



*Patrício J.
Presidente de la Sociedad Portuguesa de Acústica
Representante Português no CEN
Investigador do LNEC
jpatricio@lnec.pt*

PACS: 43.55

Resumen

Este artículo presenta una panorámica de los índices de caracterización del aislamiento acústico a ruidos de impacto en los edificios, que se utilizan en el espacio europeo, los cuales integran las normas internacionales producidas en el ámbito del CEN “Comité Europeo de Normalización”. Así, se define lo que se entiende por ruido de impacto, sus posibles orígenes y respectivo encuadramiento legal.

Análogamente, se presenta también la metodología de caracterización respectiva, se mencionan los índices en vigor y se hace referencia al término de adaptación relativo a los revestimientos de forjados, y su correspondiente aplicación .

Este artículo constituye la segunda parte de un texto global relativo al proceso de evaluación de las condiciones acústicas de los edificios relativo a los sonidos aéreos y a los ruidos de impacto.

Resumo

O presente artigo apresenta uma panorâmica dos índices de caracterização do isolamento a sons de percussão em edifícios, utilizados no espaço europeu, os quais constam das normas internacionais publicadas pelo CEN - Comité Europeu de Normalização. Neste sentido, define-se o que se en-

tende por sons de percussão, as suas possíveis origens e respectivo enquadramento regulamentar.

Analogamente, apresenta-se a metodologia experimental de caracterização respectiva, referenciam-se os índices em vigor e menciona-se o termo de adaptação relativo aos revestimentos de piso, assim como a sua correspondente aplicação.

Este artigo constitui a segunda parte de um texto global relativo ao processo de avaliação do condicionamento acústico dos edifícios em termos de sons aéreos e de percussão.

Introdução

Os sons de percussão resultam da excitação directa de um elemento de compartimentação qualquer e podem, devido à rigidez das ligações existentes ao longo do edifício, propagar-se com grande facilidade através de toda a malha de definidora dos espaços de utilização, estabelecendo campos sonoros, eventualmente intensos, em compartimentos razoavelmente distantes do local de origem da excitação.

Por este facto, os sons de percussão podem ter um carácter mais “incomodativo” no comportamento acústico de um edifício, visto na sua globalidade, do que os sons

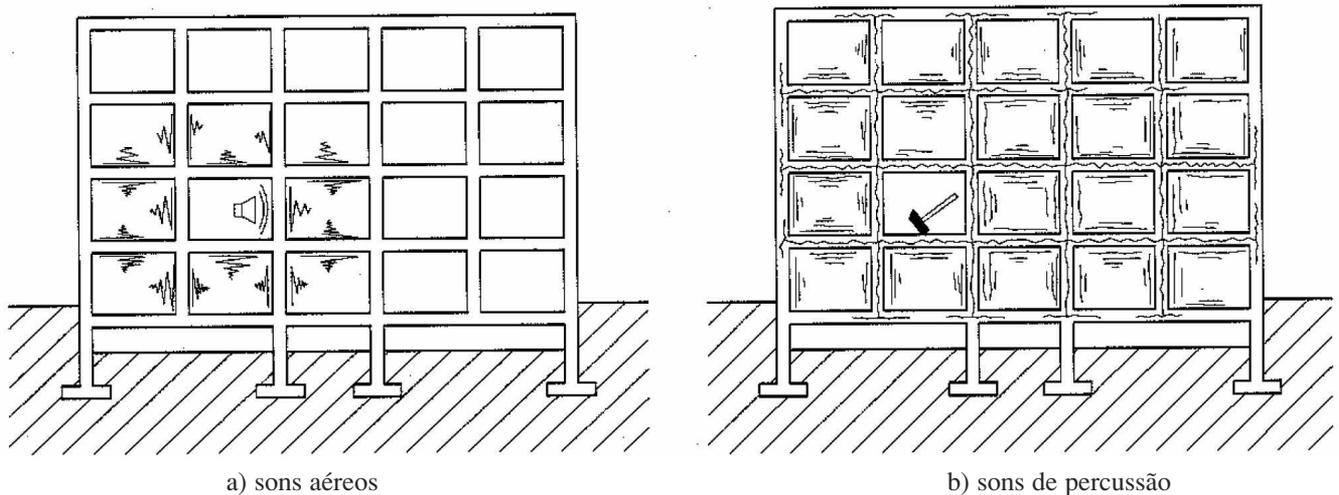


Fig. 1 - Influência qualitativa dos sons aéreos e dos sons de percussão.

aéreos¹, como permite ilustrar heurísticamente a esquematização constante na Fig. 1.

A deslocação de pessoas, a queda de objectos, o arrastar de móveis e, de um modo geral, qualquer acção de choque exercida num ponto de determinado elemento de compartimentação de um edifício produz uma excitação que se propaga por ondas elásticas a todo esse elemento, convertendo-o numa fonte de radiação de energia sonora para os elementos a que se encontra ligado, a qual é fortemente condicionada/influenciada pelas propriedades elásticas dos elementos em presença.

Faz-se notar que, dado o facto de o amortecimento interno dos meios de propagação correntes (paredes de alvenaria de tijolo e pavimentos de betão armado) ser reduzido (da ordem de 0,5 a 1%), os sons de percussão podem ter um carácter muito “incomodativo”.

Tendo em atenção que, na maior parte dos casos, as acções de impacto do tipo referido ocorrem com maior probabilidade nos pavimentos do que nas paredes, o espaço definido pelo compartimento situado imediatamente por debaixo do pavimento percutido/excitado irá apresentar um campo sonoro com intensidade mais elevada.

É fundamentalmente por este facto que as disposições regulamentares consagradas na legislação sobre Acústica de Edifícios

condicionam a verificação das exigências de conforto acústico respectivas, a acções de choque, à observância do isolamento sonoro a sons de percussão, assegurado pelo elemento de compartimentação que estabelece a separação dos compartimentos situados de forma adjacente, segundo a direcção vertical. Obviamente que se também se estabelecem sons de percussão devido às vibrações introduzidas pelo funcionamento de equipamentos e instalações. Todavia, este aspecto insere-se mais numa análise de ruído de equipamentos no que no âmbito dos sons de percussão.

Numa linha de comentário à legislação aplicável à verificação do condicionamento acústico a este tipo de sons, realça-se que quanto mais baixo for o valor do índice de isolamento sons de percussão, $L_{n,w}$ ou $L'_{n,w}$, de um determinado elemento de compartimentação horizontal de um edifício, melhor é o isolamento sonoro que esse elemento confere.

Esta constatação deriva do facto de a transmissão de acções de choque se realizar estritamente segundo um processo de radiação².

Este comportamento é “simétrico” do relativo aos sons aéreos onde, devido ao facto de o isolamento sonoro se encontrar ligado a perdas de transmissão entre dois espaços (diferença entre os valores do campo sonoro estabelecido no espaço de emissão e no de recepção), quanto maior for o valor do correspondente índice melhor será o desempenho acústico do elemento de compartimentação em causa.

¹ Os sons aéreos resultam da excitação directa do meio gasoso envolvente da fonte de excitação (aparelhos de rádio e televisão; conversação; etc.), os quais, por norma, alteram de forma dominante o campo sonoro nos compartimentos circunvizinhos do compartimento de origem da excitação.

² Neste processo quanto menos energia um elemento de compartimentação radiar melhor é o isolamento sonoro que permite assegurar.

Caracterização do isolamento a sons de percussão / Método ISO/CEN

O método ISO/EN possibilita a caracterização do isolamento sonoro a sons de percussão, no domínio da frequência, de acordo com as técnicas consagradas nas Normas EN ISO 140/6 e 140/7, correspondentes respectivamente, às Normas ISO 140/6 e 140/7, segundo um procedimento esquemático de ensaio conforme o ilustrado na Fig. 2, ou seja a designação Câmara de emissão respeita ao local onde se introduz a acção de percussão.

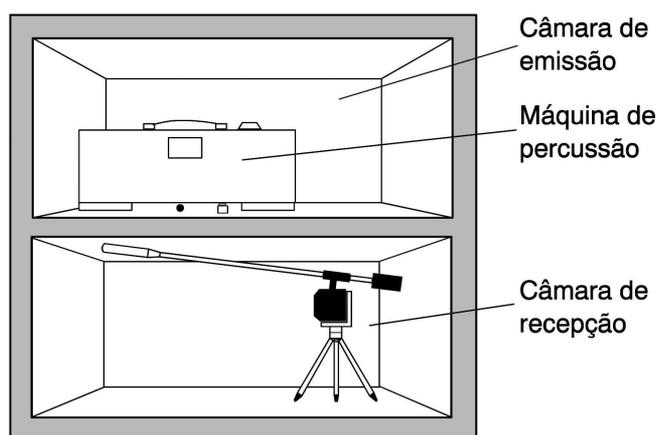


Fig. 2 - Ilustração esquemática de ensaio de caracterização do isolamento a sons de percussão

Refere-se que *in situ*, a situação esquematizada não necessita de obedecer estritamente à presente configuração; os compartimentos podem não estar na mesma vertical, podendo até o local de emissão ser o pavimento do compartimento subjacente e o de recepção o compartimento sobrejacente. Esta situação pode ser razoavelmente ilustrada em estabelecimentos de natureza comercial ou de serviços, quando integrados em edifícios habitacionais, os quais são frequentemente considerados como focos potenciais de geração de incomodidade devida ao ruído.

Para além da caracterização referida, permite, também, efectuar a quantificação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação de edifícios a partir de um valor único (índice) - $L_{n,w}$ -, por comparação de uma dada descrição do nível de pressão sonora, obtida a partir de um processo de medição normalizado (ensaio), com uma descrição convencional de referência, conforme o especificado na Norma EN ISO 717/2.

Este método pode ser utilizado na caracterização do desempenho acústico de elementos de compartimentação a partir de medições realizadas *in situ* e em laboratório.

A caracterização do isolamento a sons de percussão realiza-se de acordo com o descrito na Norma EN ISO 140/6, para ensaios a realizar em laboratório, e na Norma EN ISO 140/7, para ensaios a realizar *in situ*, por bandas de frequências de largura de terços de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz.

Complementarmente, e no que respeita a medições realizadas *in situ*, podem também ser utilizados filtros de bandas de frequências com a largura de uma oitava, entre as frequências centrais de 125 Hz a 2000 Hz (na terminologia da acústica, este último tipo de medição – naturalmente menos refinado que a anterior – designa-se por “Survey Method”).

Índices de isolamento a sons de percussão, utilizados no espaço comunitário europeu

No Quadro 1 apresenta-se uma listagem dos vários tipos de índices, assim como dos espectros que lhes podem dar origem, passíveis de serem obtidos com a normalização actualmente em vigor no espaço comunitário europeu.

Seguidamente, importa esclarecer o significado de alguns dos parâmetros apresentados. Assim:

$L_{n,w}$ – Índice obtido a partir de um diagrama tipo $L_n = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , L_n ou $L'_n = L_{recepção} - 10 \log(A_0/A)$; Nesta expressão, A_0 representa a área de absorção sonora equivalente de referência do espaço de recepção e A a área de absorção sonora equivalente efectiva (medida) desse mesmo espaço. O valor de A_0 é, de acordo com a normalização em vigor, igual a 10 m².

$L_{nT,w}$ – Índice obtido a partir de um diagrama tipo $L_{nT} = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , L_{nT} ou $L'_{nT} = L_{recepção} - 10 \log(T/T_0)$; Nesta expressão, T_0 representa o tempo de reverberação de referência do espaço de recepção e T o tempo de reverberação efectivo (medido) desse mesmo espaço. O valor de T_0 é, de acordo com a normalização em vigor, igual a 0,5 s, correspondendo aproximadamente a um valor de $A = 10$ m² quando o volume do compartimento em questão for igual a 30 m³.

Como se referiu, a caracterização do isolamento a sons de percussão realiza-se, no domínio da frequência, de acordo com o descrito na Norma EN ISO 140-6, Eq. (1), para ensaios a realizar em laboratório, e na Norma EN ISO 140-7, Eq. (2), para ensaios a realizar *in situ*.

Medições em laboratório – Valores únicos (índices) para caracterização de elementos de construção de edifícios			
Designação	Símbolo	Derivado de espectro em 1/3 de oitava	Norma a utilizar
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão (normalizado)	$L_{n,w}$	Nível de pressão sonora normalizado	EN ISO 140-6
Redução da transmissão de sons de percussão (normalizada)	ΔL_w	Níveis de pressão sonora normalizados	EN ISO 140-8
Medições in situ – Valores únicos (índices) de isolamento sonoro em edifícios			
Designação	Símbolo	Derivado de espectro em 1/1 ou 1/3 de oitava	Norma a utilizar
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão (normalizado)	$L'_{n,w}$	Nível de pressão sonora normalizado	EN ISO 140-7
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão (padronizado)	$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora padronizado	EN ISO 140-7

Quadro 1 – Índices de isolamento sonoro a sons de percussão utilizados no espaço comunitário europeu.

$$L_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

onde L_n representa o nível de pressão sonora médio normalizado, no compartimento receptor, em dB; L_i o nível de pressão sonora médio medido no compartimento receptor, em dB; A_0 a área de absorção sonora de referência (10 m²); e A a área de absorção sonora equivalente do compartimento de recepção, em m².

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

em que os parâmetros considerados têm o mesmo significado que os indicados na Eq. (1).

Para além desta caracterização, este método permite, também, efectuar a quantificação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação dos edifícios à custa de um valor único (índice) - $L_{n,w}$ -, por comparação de uma dada descrição do nível de pressão sonora com uma descrição convencional de referência, conforme o especificado na Norma EN ISO 717-2.

Para o efeito, sobrepõe-se esta descrição convencional ao diagrama dos valores do nível de pressão sonora medidos no compartimento receptor, por forma a que seja satisfeita a condição seguinte: o valor médio do desvio em sentido desfavorável (conforme se ilustra na Fig. 3)

calculado por divisão da soma dos desvios nesse mesmo sentido (desfavorável) pelo número total de bandas de frequências, consideradas no processo de medição, deve ser o mais elevado possível, todavia sem ultrapassar o valor de 2 dB.

Deve-se, ainda, referir que a normalização em vigor aponta especificamente para a utilização de diagramas obtidos a partir de medições realizadas por bandas de frequências com a largura de 1/3 de oitava.

Após a consecução deste ajustamento, o índice de isolamento sonoro corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para a frequência de 500 Hz, sendo expresso simplesmente em dB.

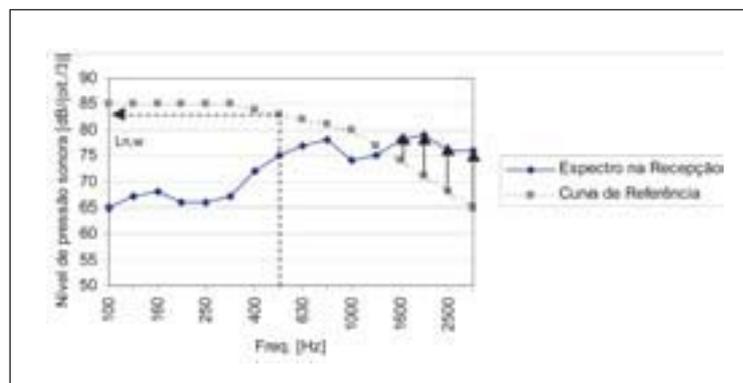


Fig. 3 - Desvios desfavoráveis num processo de medição de sons de percussão (no caso: $L_{n,w} = 83 \text{ dB}$)

Este método tem aplicação generalizada na maior parte dos países europeus. Possibilita, assim, a efectivação de comparações de resultados obtidos em processos de medição levados a efeito nesses países, indexando o comportamento acústico de elementos de compartimentação de edifícios a critérios comuns.

Termo de adaptação

Convém, ainda, referir uma inovação de particular importância, que a nova normalização europeia contém, relativamente à caracterização do desempenho de elementos de construção a sons de percussão, aspecto esse que se prende com a utilização de um designado termo de adaptação, cujo objectivo é o de ter em conta, de forma mais objectiva, aspectos de incomodidade sentida pelos ocupantes dos edifícios.

Este termo de adaptação, referido na norma em questão, com carácter não normativo, constitui uma novidade relativamente ao procedimento existente em versões anteriores desta mesma norma, ou de normas equivalentes, nela apoiadas.

O termo em causa, C_1 , corresponde a “anexar” ao valor único determinado (índice) uma correcção que tenha em conta o nível de ruído de percussão, não ponderado, característico de um espectro derivado de ruído de passos.

Este termo apresenta um valor nulo para pavimentos homogéneos que tenham revestimentos suficientemente eficazes aplicados. O valor de C_1 será ligeiramente positivo para pavimentos de madeira com máximos de radiação predominantes nas baixas frequências do espectro, situando-se entre -15 e 0 para pavimentos de betão não revestidos ou com revestimentos aplicados pouco eficazes.

O termo C_1 é calculado por diferença entre o nível global L , calculado numa base energética³, e o valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão $L_{n,w}$ subtraído de 15 dB, ou seja: $C_1 = L - 15 - L_{n,w}$; ou $C_1 = L' - 15 - L'_{n,w}$; ou $C_1 = L - 15 - L_{nT,w}$.

Em face do exposto, a forma de apresentação final do comportamento de um sistema de compartimentação a sons de percussão poderá ser, a título exemplificativo e para um pavimento que exhiba um índice de isolamento sonoro de 75

dB e uma correcção devida ao termo de adaptação de -2 dB, do tipo: $L_{n,w}(C_1) = 75 (-2)$ dB.

Deve ainda referir-se que, se acaso a soma energética for calculada com base em valores do espectro extendido para bandas de frequências inferiores às normalmente utilizadas, deve-se explicitar, juntamente com o valor de C_1 , a gama utilizada; por exemplo, na forma, $C_{1, 50-2500}$ (terços de oitava, considerando as bandas de 50 , 63 e 80 Hz) ou $C_{1, 63-2000}$ (oitavas, considerando a banda de 63 Hz).

Consideração do efeito de revestimentos de piso

Os revestimentos de piso, entendidos no presente contexto como um sistema de complemento à laje de suporte de cargas, contribuem significativamente para a atenuação da transmissão de sons de impacto. Neste enquadramento, podem considerar-se dois sistemas atenuadores principais: os constituídos pela aplicação de revestimentos de piso resilientes e os de piso flutuante.

No primeiro caso a redução deriva do aumento do tempo de impacto da acção de percussão introduzida, quando estes revestimentos se encontram aplicados, conforme ilustram as Figs. 4 e 5, (o qual é francamente superior ao tempo de impacto de uma percussão exercida no mesmo elemento rígido, quando este se encontra não revestido).

Este aumento do tempo de impacto encontra-se relacionado com as características elásticas do revestimento de piso considerado e irá “estretar” o espectro da excitação

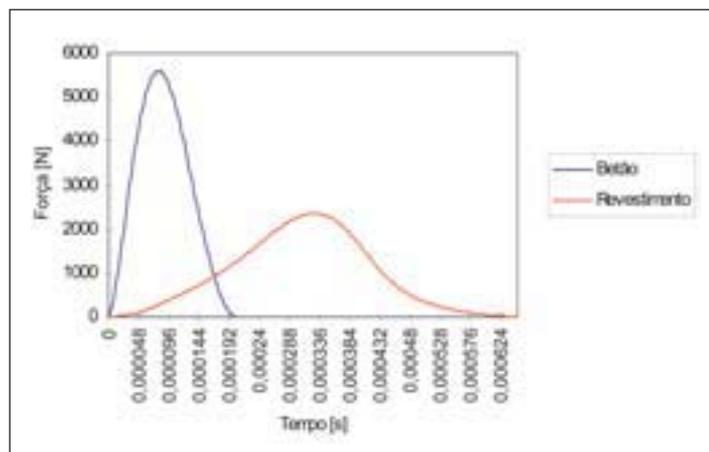


Fig. 4 - Comparação entre as descrições de uma acção de percussão numa superfície rígida (betão) e num revestimento de piso resiliente

³ A soma em causa é calculada, para as bandas de frequências i entre 100 e 2500 Hz, (terços de oitava), e entre 125 e 2000 Hz (oitava), pela seguinte expressão: $L = 10 \log \sum 10^{0,1 L_i}$

introduzida na laje de suporte de cargas originando, por um lado, a introdução de mais componentes de baixa frequência e alterando, por outro, a amplitude de força associada a cada componente que integra o espectro em questão. Este aumento do tempo de impacto está relacionado com as características elásticas do revestimento de piso considerado.

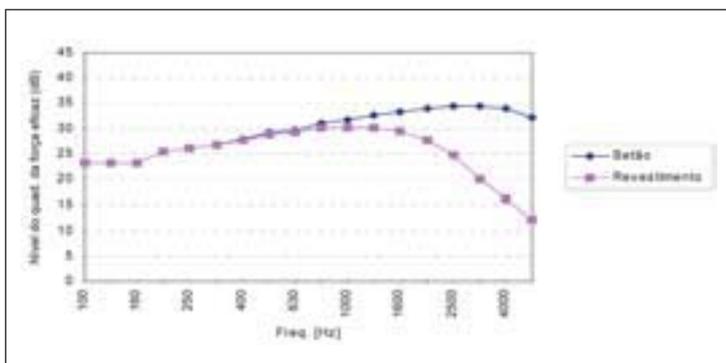


Fig. 5 - Comparação qualitativa da força eficaz transmitida por uma acção de percussão normalizada num mesmo pavimento, quando revestido e quando não revestido

Como se pode verificar existe uma redistribuição da força aplicada, aumentando muito a amplitude das componentes de força nas baixas frequências e diminuindo significativamente a amplitude das componentes dessa mesma força nas zonas de altas frequências.

No segundo caso a redução da transmissão sonora é proporcionada por um modelo reológico massa/mola, sendo a massa definida pela lajeta flutuante e a mola pelas características elásticas da camada de material resiliente colocada subjacentemente.

Para efeitos de quantificação do comportamento acústico de elementos de compartimentação horizontal que integrem a laje de suporte de cargas e o sistema de revestimento complementar (resiliente ou flutuante), determina-se primeiramente o índice de isolamento sonoro dessa laje, subtraindo-se de seguida o valor da atenuação sonora proporcionada pelo sistema complementar.

O resultado obtido corresponde então ao valor do índice isolamento sonoro, $L_{n,w}$, assegurado pelo elemento de compartimentação em causa.

Para o caso de revestimentos resilientes o valor da atenuação a utilizar obtém-se a partir da realização de um processo de ensaio (normalizado) de caracterização do seu desempenho acústico em condições laboratoriais.

Para o caso de sistemas flutuantes pode utilizar-se a Eq. (3) com o fim de se determinar a redução sonora que o sistema proporciona, no domínio da frequência.

$$\Delta L_{n,w} = 10 \log \left[\frac{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right]^2 + 4\gamma^2 \left(\frac{f}{f_0} \right)^2}{1 + 4\gamma^2 \left(\frac{f}{f_0} \right)^2} \right] \text{ dB} \quad (3)$$

onde γ - factor de amortecimento do conjunto massa/mola; f_0 - frequência própria do sistema.

No entanto, este tipo de sistemas flutuantes pode também ser ensaiado em laboratório, determinando-se em sequência e de acordo com a normalização em vigor no espaço comunitário europeu (normas ISO/CEN), o valor da redução de transmissão de sons de percussão. De acordo com esta normalização é necessário reportar os valores de ΔL_w a um pavimento de referência, para o qual o nível de pressão sonora transmitido é designado $L_{n,r,0}$ e o índice ponderado por $L_{n,r,w,0}$.

Este pavimento de referência representa uma idealização linear do nível de pressão sonora, radiado por um pavimento, homogéneo, de betão, com 120 mm de espessura, nível esse que se mantém com valor constante a partir da banda de frequências centrada em 1 kHz, inclusive (nível de 72 dB).

O valor ΔL_w (redução da transmissão de sons de percussão) é calculado em conformidade com as expressões seguintes, referidas na norma em causa: $L_{n,r} = L_{n,r,0} - \Delta L_n$ e $\Delta L_w = L_{n,w,r,0} - L_{n,w,r}$ ou seja $\Delta L_w = 78 - L_{n,w,r}$.

Complementarmente, indica-se o significado das designações constantes nas expressões apresentadas:

- $L_{n,r}$ – Nível de pressão sonora na banda de frequências n para o pavimento de referência, com o revestimento aplicado.
- $L_{n,r,0}$ – Nível de pressão sonora na banda de frequências n para o pavimento de referência, sem o revestimento aplicado. Estes valores encontram-se dispostos em quadro constante da norma EN ISO 71/2.
- $L_{n,w,r,0}$ – Índice de isolamento sonoro do pavimento de referência, sem o revestimento aplicado. Este valor é igual a 78 dB.
- $L_{n,w,r}$ – Índice de isolamento sonoro do pavimento de referência, com o revestimento aplicado. Este índice é calculado de acordo com o método ISO/CEN já referido.

ΔL_n – Redução da transmissão de sons de percussão, calculada com base em ensaios adequados, realizados em pavimento revestido e não revestido. Note-se que o pavimento onde se realizam os ensaios para determinação de ΔL_n pode não ser o de referência.

Do mesmo modo, existe também um termo correctivo associado à eficácia dos revestimentos de piso $C_{1,\Delta}$ (calculando C_1 para pavimento revestido e não revestido).

Note-se, ainda, que se encontra especificado um revestimento de piso de referência cuja redução sonora $\Delta L_{r,w}$ é de 19 dB.

Bibliografía

1. CEN: COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 6: Laboratory measurements of impact sound insulation of floors. EN ISO STANDARD 140-6, 1998.
2. CEN: COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors. EN ISO STANDARD 140-7, 1998.
3. CEN: COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 8: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standar floor. EN ISO STANDARD 140-8, 1998.
4. CEN: COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Impact sound insulation. EN ISO STANDARD 717-2, 1996.
5. CREMER, L.; HECKL, M. - Structure-borne sound: structural vibrations and sound radiation at audio frequencies. Berlin, Springer-Verlag, 1973.
6. GERRETSEN, E. - Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings. "Applied Acoustics", London, vol. 19, 1986.
7. JOSSE, R. - Notions d'Acoustique: à l'usage des architectes, ingénieurs et urbanistes, Paris, Eyrolles, 1977.
8. PATRÍCIO, J. V. – Isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão. Metodologias de caracterização. Lisboa, LNEC, 1999.
9. PATRÍCIO, J. V. – Comportamento acústico de pavimentos não-homogéneos de edifícios modelo de simulação. Tese de Doutoramento, LNEC, Lisbon, 1999.
10. PATRÍCIO, J. V. – Acústica nos edifícios. Edição de autor, 2ª Ed., Lisboa 2004.

Lo natural *arena* contra el ruido

El Aislamiento

Acústico de tabiquería seca.

Con lana mineral *arena* conseguirá...

Aislamiento Acústico

Notable incremento frente a la tabiquería seca «vacía» gracias a la elevada elasticidad y máxima absorción del ruido.

Garantía de instalación

Producto flexible que se adapta totalmente a estructuras e instalaciones.

Altos rendimientos

Embalaje de alta compresión para gestionar menor volumen de producto. Paneles compactos de corte fácil que evitan roturas y desperdicios en obra.

Incombustibilidad

ISOVER

Las Soluciones de Aislamiento

isover.es@saint-gobain.com

www.isover.net




SAINT-GOBAIN