

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCREDITED ACOUSTICAL MEASUREMENT DATA SETS

PACS: 43.50 RQ

Mendoza López, Jorge ^[1]; Sicardo Jiménez, Javier ^[1]; García Luján, Enrique ^[1]; Sanz Daza, Hermenegildo ^[2]

^[1] Área de Industria, Energía y Medioambiente, VORSEVI, S.A. c/ Leonardo da Vinci, 20; Parque Tecnológico Cartuja 93, 41092 Sevilla, España. Tel: +34 954 39 43 05; Fax: +34 954 39 45 32; e-mail: inema@vorsevi.es

^[2] Departamento de I+D+i, VORSEVI, S.A. c/ Leonardo da Vinci, 20; Parque Tecnológico Cartuja 93, 41092 Sevilla, España. Tel: +34 902 39 43 05; Fax: +34 95 439 45 32; e-mail: ideas@vorsevi.es

Abstract

In this paper three data sets comprising 200 building acoustic insulation measurements, 48 acoustic source emission measurements and 53 acoustic source immission measurements are analysed and compared. Data was taken by the Spanish National Accredited Organization (O.C.A.) VORSEVI S.A. accredited by the Spanish National Accreditation Entity (ENAC), following ISO Standards. Statistical results are presented comparing the assessment of data which gives insight on the practical importance given to acoustics at the time of planning and deciding on building insulation factors.

Resumen

El presente trabajo analiza una base de datos con 200 medidas de aislamiento acústico, 48 medidas de niveles de emisión acústica y 53 medidas de niveles de inmisión acústica, tomadas por el Organismo de Control Autorizado (O.C.A.) VORSEVI S.A. acreditado según la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) y según normas ISO. Se presentan estadísticas comparativas sobre las evaluaciones resultantes que proporcionan evidencia de la importancia práctica concedida a la acústica a la hora de planificar y analizar factores constructivos y soluciones de aislamiento.

Introducción

El ruido sigue siendo a día de hoy una de las principales molestias para la sociedad en países desarrollados. Sus negativos efectos sobre la salud de la población expuesta son ya de sobra conocidos. Más concretamente, según la OCDE y la Unión Europea, España es el segundo país del mundo con mayor índice de población expuesta a niveles de ruido superiores a 65 dBA, con un 20 % de la población y un 30 % de las viviendas expuestas.

Legislación vigente

La Ley Nacional del Ruido (BOE 18 de Noviembre de 2003), incorporó la Directiva Europea 2002/49/CE de Julio de 2002, por la cual se debían elaborar mapas de ruido en

las ciudades españolas de más de 250000 habitantes antes de 2007, y para el resto antes de 2012. Por el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, se desarrolló la Ley del Ruido, estableciéndose límites máximos para emisiones e inmisiones, entre otros parámetros. Los correspondientes decretos autonómicos, aunque ligeramente diferentes entre sí, implementan en mayor o menor medida lo dispuesto en dicho Real Decreto, y actualmente se está trabajando en la homogeneización legislativa para la acreditación de entidades a nivel nacional, más que autonómico.

En cuanto a la legislación nacional relativa a la acústica en la construcción, se disponía desde 1988 de la antigua Norma Básica de la Edificación [1], que establecía límites inferiores para el aislamiento sonoro en viviendas y construcciones. Esta norma fue superada por el último documento aprobado del Código Técnico de la Edificación, el DB-HR [2], que establece además valores variables de aislamiento en función del nivel de ruido ambiental exterior y el uso del edificio afectado, junto a una serie de elementos constructivos tipo y una metodología para calcular sus aislamientos.

Motivación

Durante los años 2000 a 2008 se llevaron a cabo medidas de aislamientos, emisión acústica e inmisión acústica bajo diversos escenarios y para distintos clientes, los cuales se analizan en este trabajo. La muestra de mediciones estudiada comprende 200 aislamientos acústicos a ruido aéreo de medianeras, forjados y fachadas, así como 48 medidas de emisión acústica y 53 medidas de inmisión acústica debidas a maquinaria de índole diversa, principalmente extractores de humos, puertas de garaje, climatizadores y humidificadores. Las medidas fueron realizadas por un Organismo de Control Acreditado (O.C.A.) por ENAC según normas UNE-EN ISO 140-4/1999, UNE-EN-ISO 717-1 (aislamiento acústico a ruido aéreo), ISO 1996-1 e ISO 1996-2 (ruido ambiental) y Decreto 326/2003 de la Junta de Andalucía.

Estudios previos comparativos consultados para aislamientos se centraron en distintas tipologías de cerramientos [3], distintas edades de las construcciones para buscar la posible evolución de la calidad del aislamiento con el tiempo [4], o en el establecimiento de una metodología genérica para predecir valores de aislamientos [5].

Procedimientos de medida

Incertidumbre

En todos los casos, las mediciones realizadas por un Organismo de Control Autorizado llevan una incertidumbre asociada recogida en una de las llamadas Instrucciones Internas de Inspección (I.T.I.), que especifican en detalle cada procedimiento de cálculo o muestreo. En nuestro caso, la I.T.I. asociada a la incertidumbre en la medición para niveles de emisión e inmisión acústica recoge dos tipos de incertidumbre: la correspondiente a la desviación típica de un número de mediciones, y la correspondiente a factores ambientales (presión atmosférica, temperatura ambiental, humedad relativa) y factores intrínsecos del instrumento de medida (deriva con el tiempo y resolución). La incertidumbre mínima así calculada para mediciones de emisión e inmisión con el sonómetro B&K 2260 del que disponemos resulta de 1 dB, lo cual es consistente con la norma ISO 1996-2:2007.

Para mediciones de aislamientos in situ, la incertidumbre en la medida es mayor como resultado de los posibles puentes acústicos y transmisiones estructurales existentes [6,

7], por lo que se les ha asignado una incertidumbre de 2 dB. En otros trabajos consultados [8, 9] se encontraron diferencias en pruebas controladas entre laboratorios de hasta 1.5 dB a bajas frecuencias en la repetitividad de las mediciones de aislamiento, y hasta 12 dB en su reproducibilidad a bajas frecuencias. En nuestro caso asignamos una incertidumbre de 2 dB atendiendo a los resultados de una intercomparación entre laboratorios para mediciones de aislamiento acústico.

Emisión e inmisión sonora

El procedimiento genérico de determinación de niveles de inmisión y emisión sonora recogido por la normativa autonómica RD 326/2003 se describe a continuación.

Las medidas de ruido se realizaron durante períodos de 10 minutos, con sonómetro operando en respuesta rápida, tanto para los períodos con actividad ruidosa funcionando como para los períodos con actividad ruidosa parada para medir el ruido de fondo. Se determinaron el nivel acústico de evaluación (inmisión) y el nivel de emisión al exterior (emisión) como $L_{AeqAR} + A$, siendo L_{AeqAR} el nivel de presión sonora procedente del funcionamiento de la actividad una vez sustraído logarítmicamente el ruido de fondo, y siendo A el mayor valor numérico de los índices correctores: corrección por ruido de fondo (K_{rf}), corrección por tonos puros (K_{tp}), y corrección por tonos impulsivos (K_{ti}) que se describen a continuación.

Corrección por tonos puros. En los casos en los que se detectó la existencia de tonos puros en la fuente, se llevó a cabo un análisis espectral del ruido existente determinado entre las bandas de tercio de octava comprendidas entre 20 y 10.000 Hz para corroborar su existencia. En caso afirmativo se realizó la correspondiente ponderación en la evaluación acústica, quedando el valor de la corrección K_{tp} en 5 dBA, y nulo en caso negativo.

Corrección por tonos impulsivos. Para la medida de la posible existencia de ruidos impulsivos, se determinó de entre los 10 minutos de medición con la actividad funcionando, aquel minuto cuyo L_{Aeq} fuera más elevado, ($L_{Aeq1min}$) tras lo cual se realizaron al menos tres determinaciones del nivel sonoro, valorándose la media aritmética de éstas (L_{aim}). Se calculó el índice $K_{ti} = L_{aim} - L_{Aeq1min}$ como el índice corrector para la valoración de la molestia producida por los ruidos impulsivos.

Corrección por ruido de fondo. En cuanto a la corrección por ruido de fondo (K_{rf}), si el ruido de fondo medido en el interior del recinto sin funcionar la actividad ruidosa (valorado por su percentil L_{90}) resulta inferior a 27 dBA se establecerá la siguiente relación:

L_{90} (dBA)	K_{rf} (dBA)
≤ 24	3
25	2
26	1
≥ 27	0

Tabla 1. Correcciones por ruido de fondo.

El número de determinaciones en el interior de los recintos en evaluaciones con ventanas cerradas se determinó bien con un mínimo de tres mediciones o bien utilizando

un sistema tipo jirafa giratoria, realizando al menos cinco giros de 360° y valorando la media energética de las determinaciones. En las mediciones de ruido con ventanas abiertas se ubicó el equipo de medición con borla antiviento en el centro del hueco de ventana totalmente abierta a nivel de la rasante del cerramiento, procediéndose a medir un período de tiempo que asegurase las condiciones más desfavorables de afección sonora provocadas por la actividad considerada. En el resultado final de la medida se tuvo además en cuenta la incertidumbre descrita anteriormente. Los tres posibles resultados fueron:

- Desfavorable, si el valor obtenido menos la incertidumbre en la medida es igual o superior al límite establecido: $Resultado - Incertidumbre \geq Límite$.
- No evaluable, si el valor obtenido es menor o igual que el límite establecido más la incertidumbre y a su vez mayor que el límite establecido menos la incertidumbre: $Límite - Incertidumbre < Resultado \leq Límite + Incertidumbre$. En estos casos se puede optar por repetir la medida o expresar el resultado como “No determinable”
- Favorable, si el valor obtenido más la incertidumbre en la medida es inferior al límite establecido: $Resultado + Incertidumbre < Límite$.

Aislamientos

El procedimiento de mediciones de aislamiento según RD 326/2003 sigue la metodología descrita en las normas UNE-EN ISO 140 y UNE-EN-ISO 717 en cuanto a medición del nivel medio de presión sonora, medición de tiempos de reverberación y área de absorción acústica equivalente, así como corrección por ruido de fondo, selección de las posiciones de la fuente y colocación del micrófono y fuente.

La curva de pérdida por transmisión de un paramento está en la práctica influenciada por varios factores, entre ellos las propiedades físicas de los materiales constituyentes (principalmente masa y dureza), así como la presencia de huecos de aire o materiales absorbentes y sus acoplamientos, el método de ensamblaje o incluso el tipo de espectro considerado para la medida [10, 11, 12], aunque en el presente trabajo no se ha querido entrar en estos detalles, tomando una visión más general y estadística de los resultados.

Material Experimental

El equipo utilizado en el desarrollo de las medidas se especifica a continuación y se muestra en las correspondientes fotografías:

- SONÓMETRO B&K 2260 (FIGURA 2, CENTRO).
- TRÍPODE SONÓMETRO B&K.
- FUENTE SONORA B&K 4296 (FIGURA 2, IZQUIERDA).
- TRÍPODE FUENTE SONORA B&K.
- CALIBRADOR SONÓMETRO B&K 4231 (FIGURA 2, DERECHA).
- AMPLIFICADOR B&K 2716 (FIGURA 3).
- EQUIPO TESTO MULTIFUNCIÓN 400 Y SONDA (TERMÓMETRO, HIGRÓMETRO, ANEMÓMETRO Y BARÓMETRO) (FIGURA 1, IZQUIERDA).

- MEDIDOR LÁSER HILTI PD-40 (FIGURA 1, DERECHA).



Figura 1. Equipo TESTO 400 multifunción para medición de datos atmosféricos (izquierda). Medidor de distancias láser Hilti PD-40 (derecha) (no escalado)



Figura 2. Fuente de ruido omnidireccional B&K4296 (izquierda), sonómetro B&K 2260 Investigator (centro), y calibrador B&K 4231 (derecha) (no escalados)



Figura 3. Amplificador B&K 2716

Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el conjunto de datos de emisión, inmisión y aislamientos acústicos a ruido aéreo.

Niveles de emisión sonora

En la Figura 4 se han representado los valores de la muestra de emisión sonora frente al límite establecido en cada caso marcado por la normativa autonómica de referencia (Decreto 326/2003 de 25 de noviembre), y corregido según corresponda por ruido de fondo, tonos puros o tonos impulsivos. Se ha representado una línea divisoria en la cual el resultado obtenido es igual al límite establecido. Según los datos, todos los puntos por encima de esta línea representan casos favorables en los que el resultado es menor que el límite normativo, y los puntos por debajo de la línea son casos desfavorables en los que el resultado es mayor que el límite normativo.

Como se puede observar los resultados de emisión sonora son en su mayoría favorables, es decir, son puntos que están por encima de la recta límite. Concretamente, un 18.4% de los resultados de emisión fueron desfavorables, un 4% fueron no evaluables, y el restante 77.6% fue favorable (Figura 5).

Niveles de inmisión sonora

En la Figura 6 se muestran los valores de la muestra de inmisión sonora frente a su límite normativo para cada caso. Como en el caso anterior, se muestra además la línea límite por debajo de la cual todos los resultados son desfavorables.

En este caso podemos observar una mayor dispersión de los datos, con un 44.5% de resultados desfavorables, un 7.4% no determinables y un 48.1% de resultados favorables (Figura 7).

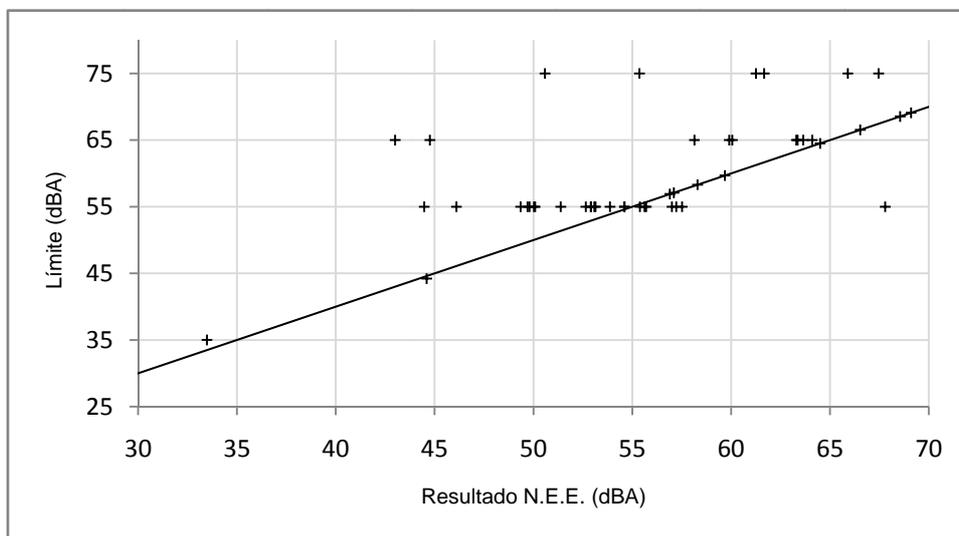


Figura 4. Resultados obtenidos para el Nivel de Emisión al Exterior (N.E.E.) o nivel de emisión sonora representados en cada caso frente a su límite normativo correspondiente.

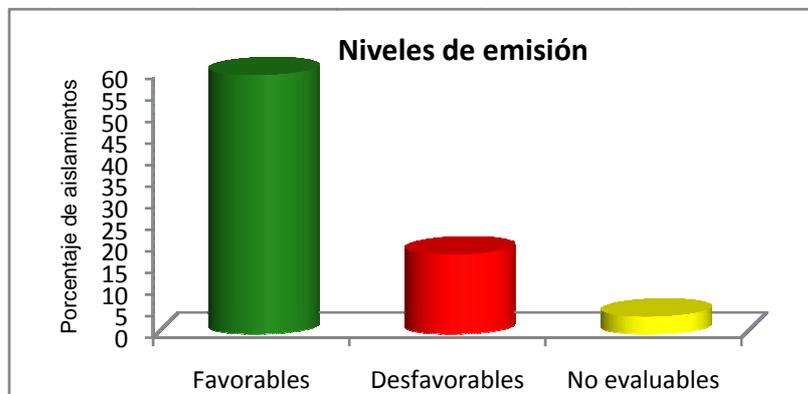


Figura 5. Semáforo de resultados para la muestra de 53 niveles de emisión acústica.

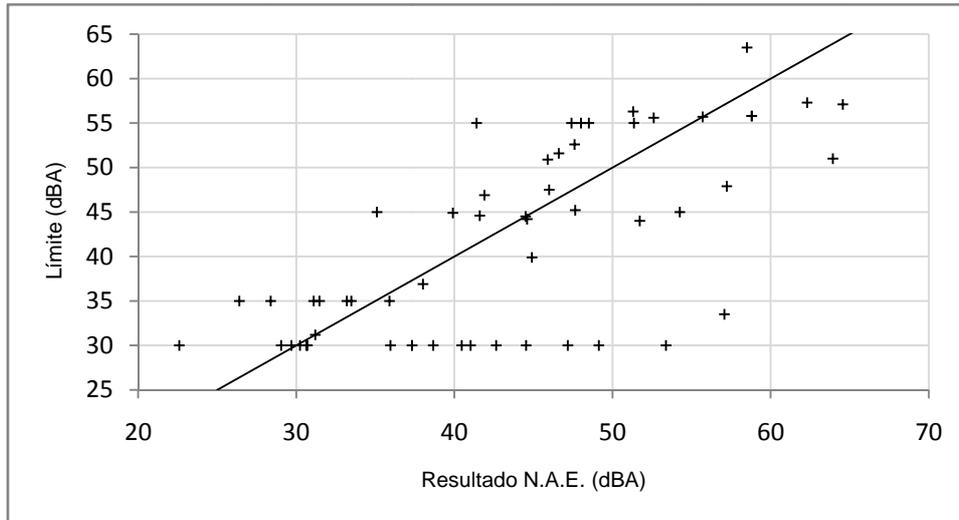


Figura 6. Resultados obtenidos para el Nivel Acústico de Evaluación (N.A.E.) o niveles de inmisión sonora representados en cada caso frente a su límite normativo correspondiente.

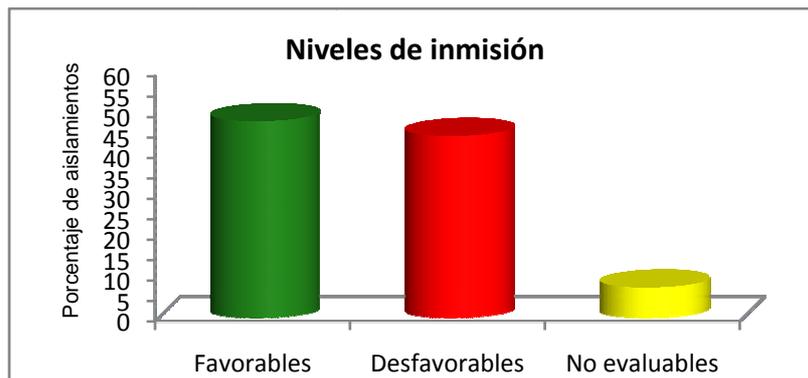


Figura 7. Semáforo de resultados para la muestra de 48 niveles de inmisión acústica.

Aislamiento a ruido aéreo

La muestra de datos analizada comprende 200 aislamientos a ruido aéreo, de los cuales un 16.5% son forjados, un 9% fachadas y el restante 74.5% medianeras. De todos ellos, el porcentaje de resultados favorables fue de 32.5%, el de resultados desfavorables fue de 54.5%, y el de resultados no evaluables del 13.5% (Figura 10).

Según la norma NBE-CA-88 [1], vigente hasta Octubre de 2007 y por la cual se rigieron la mayoría de los resultados expuestos, el nivel mínimo admisible para aislamiento acústico de fachadas es de 30 dBA, el de forjados, medianeras y cubiertas entre construcciones del mismo o distinto usuario es de 45 dBA, y si el paramento separa equipos comunitarios o instalaciones públicas es de 55 dBA. Por esta razón, el histograma de la Figura 8, que representa todos los resultados de aislamientos, no presenta normalidad, pues las muestras se amontonan en torno a 30, 45 y 55 dBA.

Separando los aislamientos cuyo límite normativo es de 45 dBA se obtuvo la Figura 9, en la que se muestra un histograma para dichos aislamientos con una cola hacia la izquierda que corresponde a los casos en los que el aislamiento se quedó corto frente a los 45 dBA requeridos. La Tabla 2 muestra los parámetros estadísticos de esta

distribución, los cuales indican que está ligeramente desviada y los resultados generales se quedan cortos. La Figura 10 muestra un resumen gráfico de la evaluación de resultados.

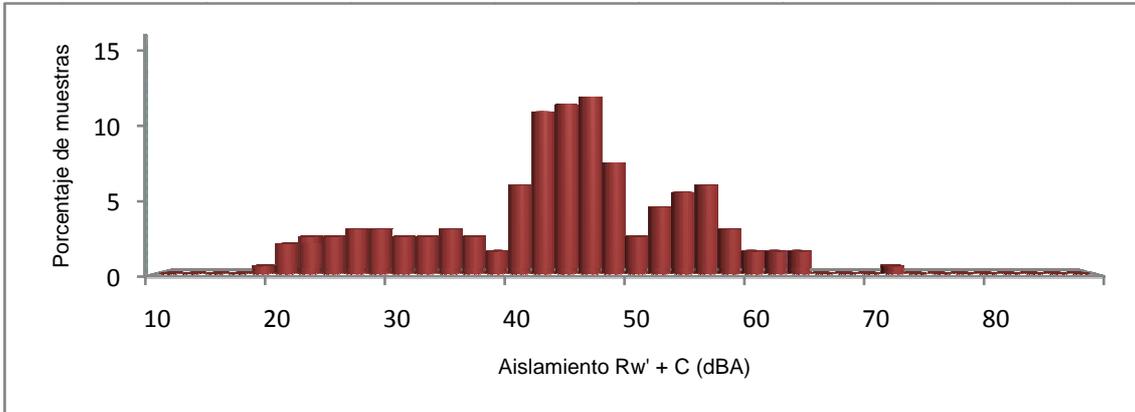


Figura 8. Histograma correspondiente a la muestra de 200 aislamientos a ruido aéreo analizada, incluyendo forjados, medianeras y fachadas.

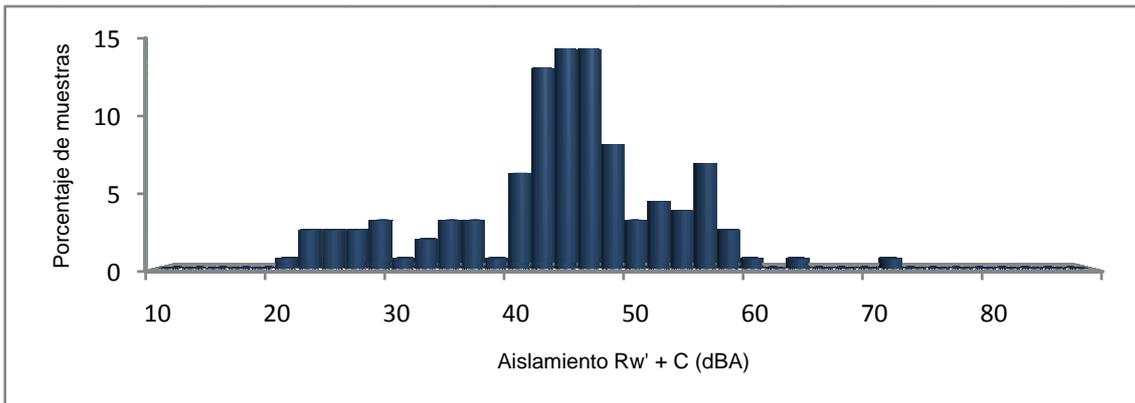


Figura 9. Histograma correspondiente a la muestra de 149 aislamientos a ruido aéreo sólo de medianeras, con límite normativo de 45 dBA.

Media	43.09
Error típico	0.73
Mediana	44.00
Moda	42.00
Desviación estándar	9.24
Varianza de la muestra	85.35
Curtosis	0.44
Coefficiente de asimetría	-0.44
Rango	51.00
Mínimo	20.00
Máximo	71.00
Suma	6851.00
Cuenta	159.00
Nivel de confianza(95.0%)	1.45

Tabla 2. Parámetros estadísticos de la muestra de aislamientos acústicos a ruido aéreo de 149 medianeras.

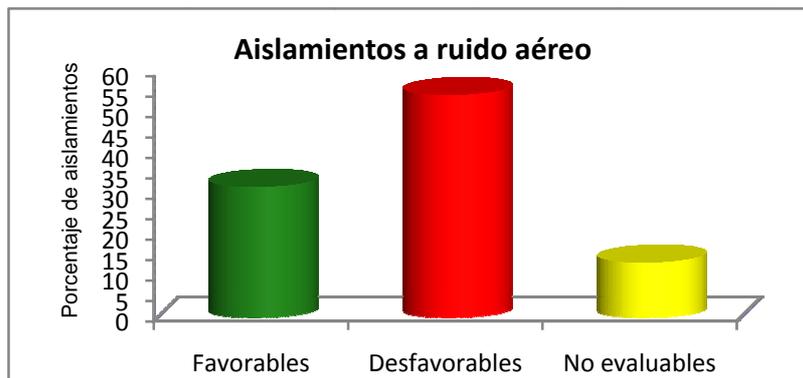


Figura 10. Semáforo de resultados para la muestra de 200 aislamientos, con un 45.5% de resultados favorables y un 54.5% de resultados desfavorables.

Resumen de resultados

La Tabla 3 muestra los porcentajes de evaluaciones obtenidas para los tres tipos de mediciones analizadas.

	Favorables	Desfavorables	No Determinables
Niveles de emisión sonora	77.6%	18.4%	4%
Niveles de inmisión sonora	48.1%	44.5%	7.4%
Aislamiento acústico a ruido aéreo	32%	54.5%	13.5%

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos.

Mientras que los niveles de emisión analizados fueron favorables en un 77.6%, sólo un 48.1% de los niveles de inmisión analizados fueron favorables. Esta diferencia sustancial indica la existencia de una falta de aislamiento generalizada para maquinaria situada en edificaciones, y es consistente con el resultado obtenido para aislamientos, para los cuales el 54.5% fue desfavorable. Al subir la incertidumbre en la medición de aislamientos in situ a 2 dBA, el límite para que un aislamiento sea favorable queda en 47 dBA, con lo cual sube el porcentaje de determinaciones no evaluables a costa de las favorables, empeorando la situación final.

Conclusiones

En este trabajo se han analizado 3 muestras de mediciones tomadas en distintos escenarios por un Organismo de Control Autorizado: niveles de emisión acústica, niveles de inmisión acústica y niveles de aislamiento acústico a ruido aéreo.

De los resultados obtenidos se concluye que:

- La maquinaria analizada, normalmente usada en la construcción, no constituye una fuente de ruido ambiental importante frente a ruido de tráfico, ferroviario o aéreo. Las valoraciones de niveles de emisión acústica al exterior así lo confirman, indicando también que el valor límite de 30 dBA para aislamiento a ruido aéreo en fachadas puede ser poco restrictivo.

- Los niveles de inmisión acústica presentan problemas en casi la mitad de los casos, lo cual es achacable a las pautas generales seguidas para proyectar aislamientos acústicos en forjados y para maquinaria situada en edificaciones.
- El valor del aislamiento acústico a ruido aéreo en edificaciones ha de aumentarse en la práctica, debiendo planificarse sobrepasar los límites establecidos en varios decibelios para tener en cuenta la incertidumbre en la medida.

Referencias

1. NBE-CA-88. "Condiciones acústicas en los edificios", Norma Básica de Edificación (Spanish Building Regulation, Building section on Building Acoustics), 1988.
2. CTE - DB-HR. "Protección frente al Ruido", Código Técnico de la Edificación (Spanish Building Regulation, section on Building Acoustics), 2008.
3. "Análisis comparativo del aislamiento acústico producido por cerramientos de construcción habitual", *González J., Pérez A., Sánchez J.I., Montoya F., Herráez M., San Juan M.*, Revista de Acústica. Vol XXVIII, pp. 55-57, 1997.
4. "Comparative analysis of airborne and impact sound insulation of typical Spanish dwellings built at different times", *González Suárez J., García Sastre L., Tarrero Fernández A., Martín Bravo M.A., Lorenzana Lorenzana T., Sanz Requena J.F.*, 19th International Congress on Acoustics, Madrid 2007.
5. "Comparative results of sound isolation measurements", *Taibo, L., Glasserman de Dayan, H. J.* Acoust. Soc. Am. Volume 69, Issue S1, pp. S8-S8, 1981.
6. "Inter-Laboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls: Part I - Preliminary Test", *Schmitz, A.; Meier, A.; Raabe, G.*, Building Acoustics, Volume 6, Numbers 3-4, 1999, pp. 159-169(11).
7. "Inter-Laboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls: Part II - Results of Main Test", *Meier, A.; Schmitz, A.; Raabe, G.*, Building Acoustics, Volume 6, Numbers 3-4, 1 1999, pp. 171-186(16).
8. "Intercomparison of laboratory measurements of airborne sound insulation of partitions", *Farina A., Fausti P., Pompoli R., Scamoni F.*, Proc. of INTERNOISE 1996, Liverpool (GB), 1996.
9. "Intercomparison of laboratory measurements of airborne sound insulation of partitions for the determination of repeatability and reproducibility values", *Farina A., Fausti P., Pompoli R., Scamoni F.*, Proc. of EUROGYPSUM Congress, Versailles, France 1996.
10. "Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Applications", *Istvan L. V., Beranek, L. L.*, Second Edition, Wiley 2006.
11. "Factors influencing dB(A) ratings for sound insulation: Incident noise spectrum and shape of the transmission loss curve", *Moreno A.*, Journal of Sound and Vibration, Volume 97, Issue 2, 1984, pp. 337-348.
12. "The dependence of R_w on the shape of the transmission loss curve. Towards a definitive understanding of the correlation between R_w and R_a ", *Moreno A.*, Journal of Sound and Vibration, Volume 117, Issue 3, 1987, pp. 543-553.