

## RESULTADOS DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO Y DE IMPACTO EN VIVIENDAS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN EN PAMPLONA

REFERENCIA PACS: 43.55.Rg

M. Arana; M.L. San Martín; A. Vela; A. Ezcurra  
Universidad Pública de Navarra (UPNA)  
Departamento de Física. Campus de Arrosadía s/n  
31006 Pamplona (Spain)  
Tel/Fax: 34-948-169570 / 34-948-169565  
e-mail: marana@unavarra.es

### SUMMARY

The objective of this study has been to evaluate sound insulation of new flats in Pamplona, both at airborne sound insulation and impact sound. All measurements had been carried out as field measurements –not in laboratory. The correlation between different indices used for expressing sound insulation rate has been analyzed. The most important conclusions are (1) the small values for the sound insulation rates in new building flats and (2) the excellent correlation between dBA and ISO ratings in assessing sound insulation.

### INTRODUCCIÓN Y OBJETO

Un aspecto importante para la requerida privacidad de las viviendas es su aislamiento acústico, tanto frente a ruido aéreo como a ruido de impacto. Las molestias pueden proceder de instalaciones, vecinos o del ambiente exterior. En cualquier caso, los niveles de inmisión en las viviendas suponen una intromisión que puede llegar a ser muy preocupante si los niveles de aislamiento son deficientes. Frente a otras demandas de calidad (materiales, superficies, etc.) este aspecto ha sido, tradicionalmente, poco demandado. Sin embargo, factores tales como el incremento del ruido ambiental o la lógica demanda en el incremento de la calidad de vida, hacen que el aislamiento acústico de las viviendas (junto con el ambiente acústico exterior) se esté convirtiendo en un importante aspecto en la elección de las mismas.

El objetivo del presente estudio ha sido el evaluar el aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impacto en viviendas de nueva construcción en la ciudad de Pamplona. Todas las medidas lo han sido "in situ" y en forma normalizada. También se estudia la correlación existente entre distintos índices usados en la expresión del aislamiento acústico, confirmando la excelente correlación que en otros estudios se había obtenido para medidas en laboratorio.

### NBE-CA-88

Las condiciones de aislamiento exigibles a las viviendas son las expresadas en la Norma Básica de la Edificación, en sus Condiciones Acústicas, aprobada en 1981 [1], aunque una menor modificación realizada en 1998 hace que su denominación oficial sea la referida a este año, NBE-CA-88. En esta norma, las condiciones exigibles se refieren a medidas realizadas en laboratorio, lo que garantizaría (bajo el supuesto de una buena práctica constructiva) el aislamiento proyectado al ser verificado "in situ". Desgraciadamente, éste no ha sido el efecto. Dejando a un lado el hecho de que los valores del aislamiento requerido son, actualmente, bastante inferiores a los requeridos en la mayoría de los países de la Comunidad Europea, la ausencia de verificación "in situ" ha desembocado en una falta de efectividad de la citada norma. La efectividad de cualquier normativa no



se asegura únicamente con la coherencia inicial de su campo de aplicación y sus planteamientos técnicos; se requiere también coherencia en su aplicación y seguimiento.

En los artículos 10º a 15º del Capítulo III, se fijan los aislamientos mínimos a ruido aéreo,  $R$ , y niveles de ruido de impacto normalizado,  $L_N$ , para los diferentes tipos de particiones. En el Anexo I se define el Aislamiento Acústico Normalizado  $R$ , en dB, como el aislamiento de un elemento constructivo medido en laboratorio en las condiciones señaladas en la Norma UNE 74.040/III [2]. Finalmente, se define el Aislamiento Acústico en dBA como la expresión global, en dBA, del aislamiento acústico normalizado  $R$ . Sin embargo, esta última expresión no es lo suficientemente precisa para su evaluación unívoca. En el presente trabajo calcularemos el aislamiento acústico normalizado,  $R$ , en dBA, a partir de los aislamientos en las bandas de tercio de octava y previa normalización de la fuente en el emisor, es decir, en la hipótesis de emisión de ruido rosa ideal en el recinto emisor. Este método de cálculo para la evaluación del aislamiento acústico mediante un solo valor en dBA, coincide con la definición dada por Gösele [3].

## AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO. MEDIDA Y VALORACIÓN

La norma UNE-EN-ISO 140-4 [4] especifica métodos de campo para la medida del aislamiento acústico a ruido aéreo de paramentos interiores, suelos y puertas entre dos habitaciones, bajo condiciones de campo difuso en ambas, así como para determinar la protección para los ocupantes del edificio. Bajo la asunción de campos sonoros suficientemente difusos en las habitaciones, el *índice de reducción sonora aparente*,  $R'$ , viene dado por:

$$R' = D + 10 \log (S/A) \quad (1)$$

Donde:

$D$  es la diferencia de niveles de presión sonora media entre emisor y receptor, en dB

$S$  es el área del elemento de separación, en  $m^2$

$A$  es el área de absorción sonora equivalente del receptor, en  $m^2$

El nivel de presión sonora puede ser medido usando filtros de banda en tercios de octava desde, al menos, 100 Hz a 3150 Hz. En esta norma se contemplan todas las condiciones y casuística para las medidas: posiciones de micrófono, corrección por ruido de fondo, etc.

La norma UNE-EN-ISO 717-1 [5] define índices para expresar con un solo número el aislamiento a ruido aéreo en edificios y elementos separadores tales como paramentos, suelos, puertas y ventanas; tiene en cuenta los espectros de diferentes fuentes de ruido, tal como el ruido del tráfico exterior. El *índice de reducción sonora aparente ponderado*,  $R'_w$ , es el índice de expresión única correspondiente al índice  $R'$  definido anteriormente y dependiente de la frecuencia. En el apartado 4.4 de la norma se describe el método de comparación entre los valores medidos y la curva de referencia en bandas de tercio de octava que permite evaluar el índice  $R'_w$ . Respecto al término de adaptación de espectro, aportaremos el término  $C$ , dado que en las medidas realizadas se utilizó ruido rosa.

## RUIDO DE IMPACTO. MEDIDA Y VALORACIÓN

La norma UNE-EN-ISO 140-7 [6] especifica métodos de campo para la medida del aislamiento acústico a ruido de impacto de paramentos horizontales usando una máquina de impactos estándar. El método es aplicable tanto para suelos desnudos como cubiertos. Se definen los *niveles sonoros de impacto normalizado*,  $L'_n$ , y *estandarizado*,  $L'_{nT}$ , mediante las ecuaciones siguientes:

$$L'_n = L_i + 10 \log (A/10) \quad (2)$$

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log (T/0.5) \quad (3)$$

Donde:



- Li es el nivel sonoro de impacto, en dB  
 A es el área de absorción equivalente del receptor, en m<sup>2</sup>  
 T es el tiempo de reverberación del receptor, en s

Estos índices son dependientes de la frecuencia. El nivel de presión sonora en el receptor puede ser medido usando filtros de bandas en tercio de octava desde, al menos, 100 Hz a 3150 Hz. En forma análoga al método para la medida del aislamiento a ruido aéreo, se contemplan todas las condiciones y casuística de la medida.

La norma UNE-EN-ISO 717-2 [7] define índices para expresar con un solo número el aislamiento a ruido de impactos en edificios y suelos, así como para la reducción aportada por cubrimientos y suelos flotantes. El *índice de nivel sonoro de impacto normalizado ponderado*, L'n,w, es el índice de expresión única correspondiente al índice L'n; El *índice de nivel sonoro de impacto estandarizado normalizado*, L'nT,w, es el índice de expresión única correspondiente al índice L'n,T; en el apartado 4.3 de la citada norma se describe el método de comparación entre los niveles medidos y la curva de referencia, en bandas de tercio de octava. Se introduce un término de adaptación basado en el nivel sonoro de impacto lineal (no ponderado). Este término se introduce para tener en cuenta niveles de pico a bajas frecuencias y para determinados paramentos, tales como suelos de vigueta de madera o suelos de hormigón desnudo.

## DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental utilizado para la toma de datos ha incluido los siguientes equipos:

- .- Sonómetro tipo 2231 de Brüel & Kjaer.
- .- Micrófono tipo 4155 de Brüel & Kjaer.
- .- Módulo de análisis estadístico tipo BZ 7101 de Brüel & Kjaer.
- .- Módulo de Tiempo de reverberación tipo BZ 7104 de Brüel & Kjaer.
- .- Generador de ruido rosa y blanco B&K
- .- Amplificador SINMARC EP-150 m
- .- Caja acústica SINMARC BR 112 T/A
- .- Máquina de impactos B&K tipo 3204.

Todo el tratamiento de la información ha sido desarrollado en el Laboratorio de Acústica del Departamento de Física de la U.P.Na sobre Word y Hoja de cálculo Excel, versiones 7.0

## RESULTADOS

### Aislamiento Acústico a Ruido Aéreo

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos para diferentes índices en las 13 medidas llevadas a cabo, relativas al aislamiento a ruido aéreo de elementos verticales de separación, tanto de diferentes usuarios (exterior) como de mismo usuario (interior).

<b>Aislamiento a ruido aéreo</b>	D1	D2	R'	D1-D2	D2-R'	R' w	C	R' A <sub>i</sub>	R'-R' A <sub>i</sub>
Paramento de separación	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dB)	(dB)	(dB)	
Vivienda nº 1. Exterior	35.1	42.4	42.9	-7.3	-0.5	43	-1	42	0.9
Vivienda nº 2. Interior	21.9	27.7	28.1	-5.8	-0.4	28	0	28	0.1
Vivienda nº 3. Exterior	32.3	38.1	38.5	-5.8	-0.4	39	-1	38	0.5



Vivienda nº 4. Exterior	33.5	40.1	40.6	-6.6	-0.5	41	-1	40	0.6
Vivienda nº 5. Exterior	33.9	42.7	43.2	-8.8	-0.5	44	-1	43	0.2
Vivienda nº 6. Exterior	28.9	37.9	38.3	-9	-0.4	39	-1	38	0.3
Vivienda nº 7. Exterior	32	42	42.4	-10	-0.4	43	-1	42	0.4
Vivienda nº 8. Interior	22.7	31.1	31.3	-8.4	-0.2	32	-1	31	0.3
Vivienda nº 9. Exterior	32.5	41.9	42.4	-9.4	-0.5	43	-1	42	0.4
Vivienda nº 10. Interior	25.7	34.2	34.4	-8.5	-0.2	35	-1	34	0.4
Vivienda nº 11. Exterior	34	41.7	42.2	-7.7	-0.5	42	0	42	0.2
Vivienda nº 12. Interior	27.3	37.4	37.8	-10.1	-0.4	38	-1	37	0.8
Vivienda nº 13. Exterior	34.7	40.7	41.2	-6	-0.5	42	-1	41	0.2

Tabla 1. Resultados para las medidas del aislamiento acústico a ruido aéreo.

La tabla 1 aporta los siguientes índices:

#### D1 Aislamiento acústico bruto.

Diferencia entre los niveles sonoros, en banda ancha, entre el local emisor y receptor. Aunque es obvio que este “índice” es totalmente inadecuado, una interpretación literal de alguna normativa falta de precisión puede llevar a su medida, lo cual es totalmente inadecuado.

#### D2 Aislamiento acústico bruto.

Fija las bandas en la franja 100Hz-3150Hz, pero sin tener en cuenta las superficies de separación entre locales y la capacidad absorbente del local receptor. Aunque los resultados obtenidos son muy cercanos al índice R, en situaciones menos usuales (pequeñas superficies de separación o habitaciones receptoras muy absorbentes) las diferencias pueden ser muy significativas, dejando de caracterizar el resultado el aislamiento del paramento.

#### R' Aislamiento acústico normalizado.

Conviene advertir que para su cálculo se ha normalizado la emisión. Contiene todos los elementos que le hacen ser objetivable y reproducible: bandas de frecuencia, superficie de separación, absorción del receptor y normalización de la emisión. Es el índice equivalente al R de la NBE-CA-81 (pero medido “in situ”) y al introducido por Gösele [3]

#### R'<sub>w</sub> Índice de aislamiento acústico aparente,

Es el definido por la norma ISO-717-2. Viene dado (a diferencia de los anteriores) en dB.

#### C Término de adaptación de espectro nº 1.

Calculado para el espectro de ruido rosa, teniendo en cuenta el tipo de fuentes de ruido que va a separar el elemento (ver Tabla A.1. de la norma ISO 717-1 [5])

#### R'<sub>A,1</sub> Índice de aislamiento acústico aparente corregido

Es el índice de aislamiento acústico aparente R'<sub>w</sub> de la ISO 717-1, corregido por el término de adaptación C.

### **Ruido de Impacto Normalizado**

La Tabla 2 resume los resultados para los diversos índices. Todos los índices están calculados para el ancho de banda 100Hz-3150Hz, en bandas de 1/3 de octava.



<b>Ruido de Impacto</b>	<b>L</b>	<b>LN</b>	<b>L - LN</b>	<b>L' n,w</b>	<b>LN - L' n,w</b>	<b>CI</b>
	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dB)		(dB)
Vivienda nº 1.	88	86	2	82	4	-11
Vivienda nº 2.	82	81	1	75	6	-7
Vivienda nº 3.	82	84	-2	80	4	-11
Vivienda nº 4.	94	91	3	88	3	-15
Vivienda nº 5.	77	74	3	63	11	1
Vivienda nº 6.	88	86	2	82	4	-11
Vivienda nº 7.	87	83	4	76	7	-5
Vivienda nº 8.	86	81	5	74	7	-5
Vivienda nº 9.	74	76	-2	70	6	-6
Vivienda nº 10.	88	91	-3	88	3	-13

Tabla 2. Resultados para los diversos índices del nivel de ruido de impacto

La primera columna muestra el nivel de ruido de impacto en dBA, es decir, sin normalizar la absorción del receptor. La segunda columna muestra el nivel de ruido de impacto normalizado según la NBE-CA-81. La tercera columna muestra la diferencia entre ambos, para valorar el efecto de la normalización, es decir, los errores que involucra la ausencia de medida del tiempo de reverberación en el receptor. Los tres valores negativos de esta columna corresponden a habitaciones receptoras con amueblamiento absorbente. La cuarta columna muestra el nivel sonoro de impacto normalizado [7]. La quinta columna muestra la diferencia entre este último y el correspondiente de la NBE-CA-81. La última columna muestra el término de adaptación.

## ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Respecto al aislamiento acústico a ruido aéreo y en lo que al cumplimiento de la normativa acústica se refiere (y admitiendo ya como equiparable el índice  $R'$  al índice  $R$ ) se observa un incumplimiento casi sistemático de la norma, admitiendo, así mismo, que nos referimos al aislamiento acústico "in situ". Exceptuando un caso (el de la medida nº 11) el aislamiento es siempre inferior al exigido. Las diferencias son todavía mayores si los comparamos con los proyectados. De hecho los aislamientos conseguidos son de hasta 7 dBA inferiores a los exigidos. En valor medio, el aislamiento es 3 dBA inferior al exigido.

Respecto al nivel de impacto normalizado, nuevamente cabe destacar el incumplimiento de la norma básica de la edificación. Salvo en dos medidas, los niveles de ruido de impacto normalizado superan los 80 dBA. En dos medidas este incremento es de hasta 11 dBA. En el aspecto positivo cabe destacar el reducido nivel de ruido de impacto en la medida nº 5.

Haciendo la salvedad de que la comparación entre los términos  $R'$  y  $R'_w$  o entre  $R'$  y  $R'_{A,1}$  implica comparar resultados en dBA y dB en ambos casos, los valores de ambos índices son muy similares; esto es lo que muestra la última columna. Las diferencias entre  $R'$  y  $R'_w$  y entre  $R'$  y  $R'_{A,1}$  son siempre inferiores a la unidad. En numerosos países de la Comunidad Europea se usa el índice  $R'_{A,1}$  en vez del índice  $R'_w$ . En definitiva, el índice  $R$  de la NBE-CA-81, corregido con la normalización en la emisión, se corresponde muy fielmente con los índices  $R'_w$  y  $R'_{A,1}$  de la ISO 717-2. Abundando en este punto, la figura 1 muestra la casi perfecta correlación existente entre los índices  $R'$  y  $R'_w$ . El coeficiente de determinación es  $R^2 = 0.995$  y la ecuación de la recta de regresión es  $R' = 1.0116 R'_w - 0.0098$ . Para similares índices, pero relativos a laboratorio ( $R$  y  $R_w$ ) se ha encontrado una análoga



buena correlación [8] entre ambos índices. La figura nº 2 muestra la buena correlación entre los índices  $L'_{n,w}$  y  $L_N$ . El coeficiente de determinación es de  $R^2 = 0.987$  y la estimación lineal (para el rango de valores medidos) es  $L'_{n,w} = 1.378 L'_N - 37.02$

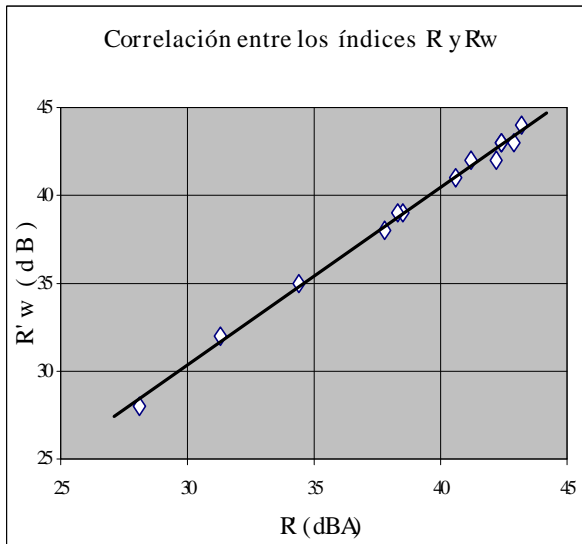


Fig 1.- Correlación entre los índices  $R'$  y  $R'_w$

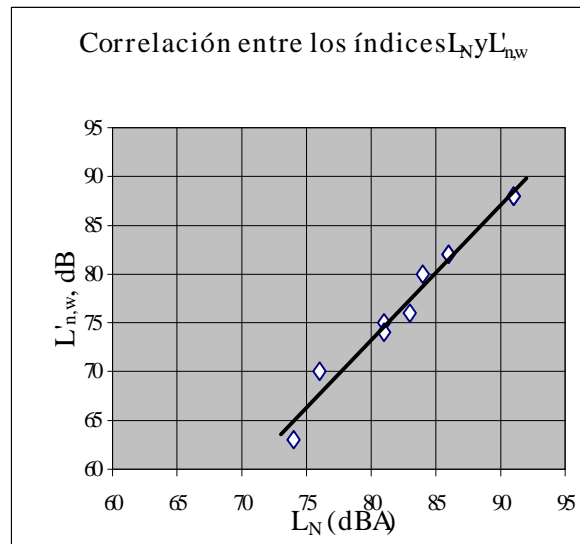


Fig. 2.- Correlación entre los índices  $L'_N$  y  $L'_{n,w}$ .

Las diferencias entre los índices  $L_N$  y  $L'_{n,w}$  son elevadas. El nivel de ruido de impacto normalizado de la NBE-CA-88,  $L_N$ , es sistemáticamente superior al nivel de ruido de impacto normalizado de la ISO,  $L'_{n,w}$ . La introducción del término de adaptación de espectro  $C_i$ , tampoco da como resultado una mayor correspondencia. Los valores obtenidos para este término se corresponden con los esperados para suelos de hormigón masivo sin suelo flotante o cubrimiento amortiguador. Si se deseara tener en cuenta este tipo de efecto, el resultado debiera darse como suma de  $L'_{n,w}$  y  $C_i$ . La mayor discrepancia entre los resultados obtenidos para los niveles de ruido de impacto normalizado de ambas normas es atribuible, en nuestra opinión, a la mayor influencia de las transmisiones indirectas en las transmisiones estructurales.

## CONCLUSIONES

- 1.- Puede expresarse el aislamiento acústico aparente  $R'$  mediante un único índice, en dBA, para la evaluación del aislamiento ofrecido por una partición medido "in situ", en forma análoga al índice de aislamiento acústico  $R$ , medido en laboratorio. Su magnitud es equivalente al proceso de normalizar la emisión de ruido rosa en el emisor.
- 2.- La correlación entre los índices  $R'$  y  $R'_w$  resulta excelente (coeficiente  $R^2 = 0.998$ ) para el conjunto de las 13 medidas realizadas para evaluar el aislamiento acústico "in situ" a ruido aéreo ofrecido por paramentos verticales de separación en nuevas construcciones de Pamplona.
- 3.- Asumiendo como equivalentes, a efectos de cumplimiento de normativa, los índices  $R'$  y  $R$  (lo cual implica el cumplimiento "in situ" del aislamiento proyectado) la Norma Básica de la Edificación se incumple, en sus condiciones acústicas, en 12 de los 13 ensayos realizados. El incumplimiento, en algún caso, llega a ser de hasta 7 dBA.
- 4.- El nivel de ruido de impacto sobrepasa los máximos permitidos en la Norma Básica de la Edificación en 10 de



las 12 medidas realizadas. El nivel es sobrepasado hasta en 11 dBA en dos de las medidas.

- 5.- El deficiente aislamiento acústico en las viviendas de nueva construcción en Pamplona (tanto a ruido aéreo como a ruido de impactos) constatado en el presente estudio, es, en nuestra opinión, una situación preocupante y que incide muy negativamente en la calidad de la construcción. A este respecto, la actual normativa (NBE-CA-88) no ha garantizado las condiciones mínimas exigibles para mantener en los edificios un nivel acústico aceptable, el cual era el principio programático de la misma.
- 6.- La exigencia de los niveles de aislamiento a ruido aéreo y de impacto que contempla la NBE-CA-88, pero verificados mediante medida "in situ" en los términos descritos en el presente trabajo, garantizaría las condiciones mínimas exigibles para mantener en los edificios un nivel acústico aceptable. La práctica similitud entre los índices  $R'$  (medido "in situ" y expresado en dBA) y  $R'_w$  garantiza la coherencia de esta medida con normas internacionales

### Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado por el Departamento del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra y por el Servicio de Sanidad Ambiental del Ayuntamiento de Pamplona, a los que agradecemos su apoyo.

### REFERENCIAS

- [1] NBE-CA-81. Norma Básica de la Edificación. Condiciones Acústicas. R.D. 1909/81, de 24 de Julio. B.O.E. 7 de Septiembre de 1981.
- [2] UNE 74.040/III Medida del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos constructivos. Medida en laboratorio del aislamiento a ruido aéreo de los elementos constructivos.
- [3] K. Gösele. 1965. *Acustica* **15**, 264-270.
- [4] UNE-EN-ISO 140 *Acoustics-Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.*
- [5] UNE-EN-ISO 717 *Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation.*
- [6] UNE-EN-ISO 140 *Acoustics-Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.*
- [7] UNE-EN-ISO 717 *Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.*
- [8] A. Moreno; J. Pfretzschner; J. G. Zaragoza. 1984. *Comparison of dBA and ISO ratings in assessing sound isolation.* J. Acoust. Soc. Am. **75** (2), 476-478

