

## ESTUDIO ACÚSTICO DE ADAPTACIÓN DE EN UN EDIFICIO AL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

**María Ángeles Martín Bravo, Ana Isabel Tarrero, Álvaro Santander, Juan Manuel Ramos,  
Julio González, María Machimbarrena, Laura García**

Universidad de Valladolid  
[maruchi@sid.eup.uva.es](mailto:maruchi@sid.eup.uva.es) [ana@sid.eup.uva.es](mailto:ana@sid.eup.uva.es)

### Resumen

Dada la inminente entrada en vigor del Documento Básico Protección Frente al Ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación, consideramos conveniente estudiar las diferencias que se obtienen en los valores de aislamiento con los dos procedimientos que propone el DB-HR (opción general y opción simplificada), así como los valores obtenidos mediante medidas in situ en un edificio de nueva construcción de 80 viviendas, distribuidas en tres bloques. El estudio se ha hecho para tabiques de separación de zonas comunes, forjados, fachadas, etc. La opción simplificada del DB-HR es de fácil aplicación y no requiere grandes conocimientos de acústica, pero sobredimensiona los elementos constructivos ya que es más exigente en cuanto a los valores límites de aislamiento. En este trabajo se ha puesto de manifiesto que con las mismas soluciones constructivas no se cumplen algunos de los valores de aislamiento exigidos con la opción simplificada, mientras que con la opción general se cumple en su totalidad el DB-HR. Además, se ha medido el nivel de ruido y vibraciones en recintos de instalaciones, y se ha comprobado que no se cumplen las exigencias del DB-HR. De los resultados obtenidos se puede concluir que es necesario introducir algunos cambios en la construcción para cumplir con las exigencias de la nueva normativa.

**Palabras-clave:** Código técnico de la edificación, Protección Frente al Ruido, DB-HR

### Abstract

Due to the recent reinforcement of the Spanish Building Regulation Code, and more precisely, the basic document dealing with noise (*Documento Básico Protección Frente al Ruido (DB-HR) - Código Técnico de la Edificación*) we consider that it is very convenient to compare the results obtained using two different procedures suggested in the official document (DB-HR) to real in situ results. It is our intention to compare the results obtained with the general and simplified options described in the DB-HR, to experimental values obtained "in situ" in 80 different recently built dwellings. The building where the dwellings are located is divided in three different areas. We have measured several types of partitions: floors, inner walls, façades, separating common areas...

The DB-HR simplified model is easy to use and understand. It does not require having important acoustic knowledge, BUT its fundamental idea is to over dimension the building elements considering their acoustic performance. From our experimental results we have observed that several constructive solutions are not allowed (do not comply with) in the simplified model, but do comply if they are studied using the general option. Besides, several sound and vibration measurements have been made

in equipment rooms and it has been seen that they do not meet the DB-HR requirements. These results lead us to conclude that further research is needed and that the building construction methods need to be revised in order to comply with the existing regulations.

**Keywords:** basic document dealing with noise

## 1 Introducción

El ruido, en el ámbito de la acústica de la edificación es causante de frecuentes problemas a los usuarios: trastornos del sueño, pérdida de atención, estrés... en definitiva pérdida de la calidad de vida y en los últimos años ha aumentado la concienciación social con los problemas originados por el ruido y existe una mayor demanda en la sociedad de incrementar el confort acústico de las viviendas.

Actualmente, la norma que regula las condiciones acústicas en la edificación, es la Norma Básica NBE CA-88 [1]. Esta norma está obsoleta y sus exigencias son insuficientes, ya que no dan respuesta a las demandas de confort acústico de la sociedad. Por todo ello, en octubre de 2007 se publicó el REAL DECRETO 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al Ruido» del Código Técnico de la Edificación, CTE [2]. No obstante, se crea un periodo transitorio de doce meses durante los cuales se podrán aplicar ambas normativas y a partir del 24 de octubre de 2008 el cumplimiento del documento DB-HR del código Técnico será totalmente obligatorio.

En el Código y su documento básico de protección frente al ruido, DB-HR, además del ruido aéreo y de impacto se incluye también la regulación del ruido reverberante excesivo que produce igualmente molestias y provoca en muchos casos la no inteligibilidad de la palabra. Además, se desarrolla con mayor profundidad el capítulo de protección frente al ruido de las instalaciones, mediante la indicación de buenas prácticas constructivas y métodos para minimizar la transmisión de ruido y vibraciones provocados por éstas.

Por otra parte, la manera en que la NBE-CA-88 expresa los valores límite de cumplimiento de las exigencias de aislamiento, no parece la más adecuada dado que estos límites se establecen en términos de valores verificables en laboratorio, y no refleja el comportamiento real de las soluciones constructivas. En el DB-HR del CTE se han expresado las exigencias de aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impacto mediante parámetros verificables en una medición “in situ”, y se han aumentado significativamente dichas exigencias, tanto para aislamiento de ruido aéreo como de impacto.

Para satisfacer las exigencias del CTE en lo referente a la protección frente al ruido es necesario:

- Alcanzar los valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo y no superar los valores límite de ruido de impactos;
- No superarse los valores límite de tiempo de reverberación
- Cumplirse las especificaciones referentes al ruido y las vibraciones de las instalaciones

Para la correcta aplicación de este documento debe seguirse la secuencia de verificaciones que se expone a continuación:

a) Cumplimiento de las condiciones de diseño y de dimensionado del *aislamiento acústico a ruido aéreo* y del *aislamiento acústico a ruido de impactos* de los *recintos* de los edificios; esta verificación se llevará a cabo por cualquiera de los procedimientos siguientes: la opción simplificada

(comprobando que se adopta alguna de las soluciones propuestas) o la opción general (aplicando los métodos de cálculo especificados para cada tipo de ruido).

Independientemente de la opción elegida, deben cumplirse las condiciones de diseño de las uniones entre elementos constructivos.

b) Cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado del *tiempo de reverberación* y de absorción acústica de los *recintos* afectados por esta exigencia.

c) Cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado referentes al ruido y a las vibraciones de las instalaciones.

e) Cumplimiento de las condiciones de construcción.

f) Cumplimiento de las condiciones de mantenimiento y conservación.

Para satisfacer las exigencias básicas contempladas en el DB-HR deben cumplirse las condiciones que se indican, teniendo en cuenta que estas condiciones se aplicarán a los elementos constructivos totalmente acabados, es decir, albergando las instalaciones del edificio o incluyendo cualquier actuación que pueda modificar las características acústicas de dichos elementos.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio de la nueva normativa DB-HR, protección frente a ruido, sobre un edificio de nueva construcción de 80 viviendas situado en Segovia. Para ello se estudiarán todos los procedimientos de aplicación del DB-HR, en especial la opción general y la simplificada, y el ruido producido en recintos de instalaciones, para calcular los valores de aislamiento acústicos exigidos en la nueva normativa. Estos valores de aislamiento acústico obtenidos teóricamente se compararán con mediciones “in situ” realizadas en ese mismo edificio según los procedimientos UNE ISO correspondientes y con los obtenidos mediante el programa de cálculo que ha facilitado la administración.

Finalmente se comprobará si el edificio cumple con la nueva normativa DB-HR, y se propondrán mejoras de aislamiento en los casos que sea necesario. A partir de estos resultados se concluirá cómo afectará el DB-HR a edificios de nueva construcción.

Este trabajo se ha realizado tomando como base de estudio un edificio de 80 viviendas ubicado en la ciudad de Segovia. El edificio en su última etapa de construcción servirá como referencia para todos los cálculos teóricos necesarios para la aplicación del DB-HR. También se realizarán las mediciones “in situ” correspondientes para la verificación de los valores límites de aislamiento exigidos.

El edificio, está compuesto por 3 bloques, construidos en diferentes fases. En la primera fase se construyó el primer bloque, portal N° 6, y en la segunda fase el segundo y tercer bloque, portales N° 4 y N° 2 respectivamente. Las soluciones constructivas para los tres bloques son idénticas.

Para la realización de todos los cálculos de este trabajo se ha dispuesto de los planos del edificio, del proyecto de instalaciones y de las soluciones constructivas (composición de los elementos constructivos utilizados en el edificio, una figura de su composición, así como sus principales características técnicas y acústicas necesarias para los cálculos de BD-HR).

La tabiquería interior del edificio es del tipo de entramado autoportante, es decir formada por placas de yeso laminado, con estructura metálica y lana mineral en su interior. El forjado tiene un espesor de 30 cm y está compuesto por suelo radiante y lámina anti-impacto de 5 mm.

## 2 Análisis de los resultados

A continuación se expondrán los resultados obtenidos del estudio realizado con la opción simplificada, con la opción general, además de la herramienta de cálculo y las medidas “in situ”.

### 2.1 Opción Simplificada

Una solución de aislamiento es el conjunto de todos los elementos constructivos que conforman un recinto (elementos de separación vertical y horizontal, tabiquería, medianerías, fachadas y cubiertas) y que influyen en la transmisión del ruido y de las vibraciones entre recintos adyacentes o entre el exterior y un recinto.

Para cada uno de dichos elementos constructivos se establecen en tablas los valores mínimos de los parámetros acústicos que los definen para que se satisfagan los valores límite de aislamiento establecidos.

La opción simplificada es válida para edificios de uso residencial pero esta opción puede aplicarse a edificios de otros usos, teniendo en cuenta que, en algunos recintos de estos edificios, el aislamiento que se obtenga con esta opción puede ser mayor que el necesario.

Para el diseño y el dimensionado de los elementos constructivos debe elegirse: la tabiquería interior, los elementos de separación, horizontal y vertical, las medianerías, y las fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el exterior del edificio.

Para la definición de los elementos constructivos que proporcionan el aislamiento acústico a ruido aéreo, deben conocerse sus valores de masa por unidad de superficie,  $m$ , y de índice global de reducción acústica, ponderado  $A$ ,  $R_A$ , y para el caso de ruido de impacto normalizado  $L_{n,w}$ . También debe conocerse el valor del índice de ruido durante el día  $L_d$ .

La elección de los elementos constructivos adecuados para la aplicación de la opción simplificada se puede realizar mediante tres métodos:

- Mediante resultados de ensayos de laboratorio, realizados según los procedimientos indicados en la normativa correspondiente, contenida en el Anexo C del DB-HR.
- A partir de métodos de cálculo sancionados por la práctica. Estos procedimientos están avalados por las normas UNE EN o UNE EN ISO.
- Con documentos reconocidos del CTE.

Los resultados obtenidos de aplicar esta opción a nuestro edificio se recogen en las fichas justificativas correspondientes pero dada su extensión no se adjuntan todas ellas sino las correspondientes a los casos más representativos.

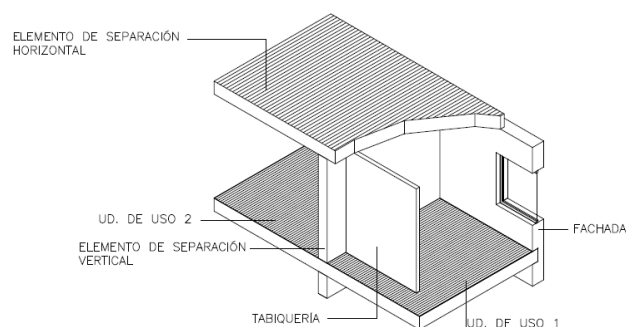


Figura 1: Elementos que componen dos recintos y que influyen en la transmisión de ruido entre ambos

## Fichas justificativas de la opción simplificada de aislamiento acústico

Tabiquería (apartado 3.1.2.3.3)				
Tipo	Características			
	de proyecto		exigidas	
Tabique mismo usuario	$m(\text{kg}/\text{m}^2)=$	38,5	$\geq$	25
Tabiquería de entramado autoportante	$R_A(\text{dBA})=$	52,3	$\geq$	43

Elementos de separación verticales entre recintos ( apartado 3.1.2.3.4)						
Debe comprobarse que se satisface la opción simplificada para los elementos de separación verticales situados entre:						
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) recintos de unidades de uso diferente</li> <li>b) un recinto de una unidad de uso y una zona común</li> <li>c) un recinto de una unidad de uso y un recinto de instalaciones o un recinto de actividad</li> </ul>						
Debe rellenarse una ficha como ésta para cada elemento de separación vertical diferente, proyectados entre a), b) y c)						
Solución de elementos de separación vertical entre :		Recintos de unidades de uso diferente				
Elementos constructivos	Tipo		Características			
			de proyecto exigidas			
Elemento de separación vertical	Elemento base	Entramado Autoportante Tipo 3	$m(\text{kg}/\text{m}^2)=$	70	$\geq$	49
			$R_A(\text{dBA})=$	66	$\geq$	65
	Trasdosado	$\Delta R_A(\text{dB})=$		$\geq$		
Elemento de separación vertical con puertas y/o ventanas	Puerta		$R_A(\text{dBA})=$		$\geq$	30
	Muro		$R_A(\text{dBA})=$		$\geq$	50
Condiciones de las fachadas de una hoja, ventiladas o con el aislamiento exterior a las que acometen los elementos de separación verticales						
Fachada	Tipo		Características			
			de proyecto exigidas			
	De dos hojas, con una hoja interior de entramado autoportante		$m(\text{kg}/\text{m}^2)=$	270	$\geq$	225
			$R_A(\text{dBA})=$	60	$\geq$	50

Elementos de separación horizontales entre recintos ( apartado 3.1.2.3.5)						
Debe comprobarse que se satisface la opción simplificada para los elementos de separación horizontales situados entre:						
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) recintos de unidades de uso diferente</li> <li>b) un recinto de una unidad de uso y una zona común</li> <li>c) un recinto de una unidad de uso y un recinto de instalaciones o un recinto de actividad</li> </ul>						
Debe rellenarse una ficha como ésta para cada elemento de separación vertical diferente m proyectados entre a), b) y c)						
Solución de elementos de separación horizontal entre :		Recintos de unidades de uso diferente				
Elementos constructivos	Tipo		Características			
			de proyecto exigidas			
Elemento de separación vertical	Forjado		$m(\text{kg}/\text{m}^2)=$	750	$\geq$	500
			$R_A(\text{dBA})=$	60	$\geq$	60
	Suelo Flotante		$\Delta R_A(\text{dB})=$	3	$\geq$	2
			$\Delta L_w(\text{dB})=$	25	$\geq$	8
	Techo suspendido		$\Delta R_A(\text{dB})=$	1,5	$\geq$	0

Medianerías.( apartado 3.1.2.4)				
Tipo	Características			
	de proyecto		exigidas	
	$\Delta R_A(\text{dB})=$	80	$\geq$	45

Fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior ( apartado 3.1.2.5)							
Solución de fachada, cubierta o suelo en contacto con el aire exterior		dormitorio 1 del piso Bajo B del portal J. Carlos I N° 6-externo fachada posterior					
Elementos constructivos	Tipo	Area (m <sup>2</sup> )	%Huecos	Caraterísticas de proyecto exigidas			
				R <sub>A</sub> (dBA)=		?	
Parte ciega	De dos hojas, con una hoja interior de entramado autoportante	6,75=So	20,70%	R <sub>A</sub> (dBA)=	60	?	45
Huecos		1,4=Sb		R <sub>A</sub> (dBA)=	30	?	28

Los resultados del estudio ponen de manifiesto que la opción simplificada no se cumple en tabiquería de distintos usuarios en el bloque 2º y 3º y de distintos usuarios y zona común en todo el edificio (ya que las exigencias del DB-HR sobre tabiquería de entramado autoportante son muy altas), en los forjados de la planta baja (que separa las viviendas del garaje, donde sería necesario colocar un techo acústico), y en los recintos de uso y de actividad (donde sería necesario introducir un trasdosado).

## 2.2 Opción General

En la opción general, el estudio se ha realizado teniendo en cuenta las disposiciones de la norma *UNE-EN ISO 12354* partes 1,2 y 3 [3]. Los modelos de cálculo utilizados para estimar el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos se han diseñado teniendo en cuenta medidas de transmisión directa e indirecta a través de los elementos constructivos del edificio y considerando métodos teóricos derivados de la propagación acústica en los elementos estructurales. El cálculo puede aplicarse sólo cuando cada elemento tiene la misma constitución o similar radiación a ambos lados de la pared separadora, y se lleva a cabo a partir de la masa de las paredes y forjados para determinar el índice  $R_w+C$ . Según el tipo de unión entre los elementos que constituyen las transmisiones por flancos, se calcula la denominada reducción de transmisión vibracional  $K_{ij}$ , por cada flanco, lo que permite hallar unos índices ponderados aparentes  $R_{ff,w}$ ,  $R_{Fd,w}$ ,  $R_{Df,w}$  de los flancos del recinto receptor. A partir de los datos anteriores se obtiene el índice de reducción aparente  $R'_w$ . Finalmente, partimos del último valor obtenido y de las dimensiones del recinto receptor para calcular la diferencia de niveles estandarizada ponderada  $D_{nT,w}$ , valor verificable en mediciones “in situ”,

En este método se pone en evidencia la influencia de cada uno de los doce caminos de transmisión por flancos, lo cual facilita la comprensión de la contribución de cada flanco en el resultado global, permitiendo soluciones alternativas con mejor conocimiento predictivo.

En este trabajo se ha utilizado el método de cálculo de la opción general para calcular el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos interiores, tanto para elementos de separación horizontal como vertical, para fachadas y para ruidos de impactos. A continuación se presenta un ejemplo para el caso de ruido aéreo de un elemento separador vertical entre recintos de distinto uso.

Descripción de los elementos constructivos:

-Pared separadora: (13x2+48+LR40+CHAPA 0.6+13+LR20+48+LR40+13x2), con lana de vidrio URSA GLASSWOOL P0081 de 45 mm. Datos acústicos:  $R_A=64,5$  dBA, Densidad Superficial=65 kg/m<sup>2</sup>.

-Pared lateral: (13x2+48+LR40+CHAPA 0.6+13+LR20+48+LR40+13x2), con lana de vidrio URSA GLASSWOOL P0081 de 45 mm. Datos acústicos:  $R_A=64,5$  dBA, Densidad Superficial=65 kg/m<sup>2</sup>.

-Fachada: ½ Pie de ladrillo perforado + 95/600(13x2+70+LR75 ALU), con lana de roca ROCKMUR ALU 201.2016 de 75 mm.

-Suelo y techo: Forjado de Losa Hormigón de 30 cm de espesor y de densidad  $d=2500 \text{ kg/m}^3$ , y  $R_A=60 \text{ dBA}$

- Suelo flotante compuesto por parquet, solera de hormigón armado de 6 cm, poliestireno expandido EPS de 3 cm, y Lámina de impacto 0.5cm de Danosa. Datos acústicos: incremento de reducción acústica  $\Delta R_A=5 \text{ dB}$ , y la reducción del nivel global de presión de ruido de impactos por revestimiento del lado de la emisión,  $\Delta L_w=25 \text{ dB}$ .

En primer lugar se halla el índice de reducción vibracional K según el tipo de unión entre los dos elementos de transmisión considerados, tabla 1. La unión fachada-pared es en T y el resto en cruz, en nuestro estudio el tipo de uniones ya sea en T o en cruz no influye ya que la configuración de los elementos constructivos de nuestro edificio siempre será del tipo unión de elementos de entramado autoportante y elementos constructivos homogéneos:

**Unión de elementos de entramado autoportante y elementos constructivos homogéneos**

	$K_{13} = 10 + 20 M - 3,3 \cdot \lg(f / f_k) \text{ dB; mínimo } 10 \text{ dB} \quad (D.14)$
	$K_{24} = 3,0 + 14,1M + 5,7 M^2 \text{ dB; } (m_2 / m_1) > 3; 0 \text{ dB/octava} \quad (D.15)$
	$K_{12} = 10 + 10 M  + 3,3 \cdot \lg(f / f_k) \text{ dB; } (= K_{23}) \quad (D.16)$
$f_k = 500 \text{ Hz; } a_{\text{ligerero, situ}} = S_{\text{ligerero}} / l_0, \text{ con } l_0 = 1 \text{ metro} \quad (D.17)$	

**Uniones de elementos de entramado autoportante**

	$K_{13} = 10 + 20 M - 3,3 \cdot \lg(f / f_k) \text{ dB; mínimo } 10 \text{ dB} \quad (D.18)$
	$K_{12} = 10 + 10 M  - 3,3 \cdot \lg(f / f_k) \text{ dB; } (= K_{23}) \quad (D.19)$
	$f_k = 500 \text{ Hz; } a_{\text{situ}} = S / l_0, \text{ con } l_0 = 1 \text{ metro} \quad (D.20)$

	Kij	Unión-caminos	M	Ecuación	K	
Ff	Suelo-Suelo	+	k24	$\lg(64,5/750) = -1,06$	$3+14,1M+5,7M^2$	-5,5
	techo-techo	+	k24	$\lg(64,5/750) = -1,06$	$3+14,1M+5,7M^2$	-5,5
	lateral lateral	T	k13	$\lg(64,5/64,5) = 0,00$	$10+20M$	10,0
	lateral trasera-lateral trasera	T	k24	$\lg(64,5/264) = -0,61$	$3+14,1M+5,7M^2$	-3,5
Fd	techo separación	+	k12	$\lg(64,5/750) = -1,06$	$10+10 M $	20,6
	Suelo-separación	+	k12	$\lg(64,5/750) = -1,06$	$10+10 M $	20,6
	Lateral-separación	T	k12	$\lg(64,5/64,5) = 0,00$	$10+10 M $	10,0
	Lateral trasera-Separación	T	k12	$\lg(64,5/264) = -0,61$	$10+10 M $	16,1
Df	Separación-techo	+	k12	$\lg(750/64,5) = 1,06$	$10+10 M $	20,6
	Separación-suelo	+	k12	$\lg(750/64,5) = 1,06$	$10+10 M $	20,6
	Separación-lateral	T	k12	$\lg(64,5/64,5) = 0,00$	$10+10 M $	10,0
	Separación-lateral trasera	T	k12	$\lg(264/64,5) = 0,61$	$10+10 M $	16,1
Dd	directa					

Tabla 1: Índice de reducción vibracional

A continuación se calculan los índices ponderados de reducción acústica R por flancos con las ecuaciones [1,2 y 3] y se recogen en la tabla 2.

$$R_{Ff,A} = \frac{R_{F,A} + R_{f,A}}{2} + \Delta R_{Ff,A} + K_{Ff} + 10 \lg \frac{S_s}{I_0 l_f} \quad [\text{dBA}] \quad [1]$$

$$R_{Df,A} = \frac{R_{S,A} + R_{f,A}}{2} + \Delta R_{Df,A} + K_{Df} + 10 \lg \frac{S_s}{I_0 l_f} \quad [\text{dBA}] \quad [2]$$

$$R_{Fd,A} = \frac{R_{F,A} + R_{S,A}}{2} + \Delta R_{Fd,A} + K_{Fd} + 10 \lg \frac{S_s}{I_0 l_f} \quad [\text{dBA}] \quad [3]$$

		ecuación	R <sub>A</sub>	(R <sub>Aemi</sub> +R <sub>Arec</sub> )/2	ΔR <sub>A</sub>	k	lf	10lg(Ss/lf)	Rw <sub>ij</sub>
Dd	directa		64,5						64,5
Ff	Suelo-Suelo	[1]	60	(60+60)/2	4,5	-5,5	5,8	4,0	62,9
	techo-techo	[1]	60	(60+60)/2	2,3	-5,5	5,8	4,0	60,7
	lateral lateral	[1]	64,5	(64,5+64,5)/2	0,0	10,0	2,5	7,6	82,1
	lateral trasera-lateral trasera	[1]	49,9	(49,9+49,9)/2	15,1	-3,5	2,5	7,6	69,2
Fd	techo separación	[2]	60	(60+64,5)/2	1,5	20,6	5,8	4,0	88,4
	Suelo-separación	[2]	60	(60+64,5)/2	3,0	20,6	5,8	4,0	89,9
	Lateral-separación	[2]	64,5	(64,5+64,5)/2	0,0	10,0	2,5	7,6	82,1
	Lateral trasera-Separación	[2]	49,9	(49,9+64,5)/2	10,1	16,1	2,5	7,6	91,0
Df	Separación-techo	[3]	60	(60+64,5)/2	1,5	20,6	5,8	4,0	88,4
	Separación-suelo	[3]	60	(60+64,5)/2	3,0	20,6	5,8	4,0	89,9
	Separación-lateral	[3]	64,5	(64,5+64,5)/2	0,0	10,0	2,5	7,6	82,1
	Separación-lateral trasera	[3]	49,9	(49,9+64,5)/2	10,1	16,1	2,5	7,6	91,0

Tabla 2: Índices ponderados de reducción acústica R por flancos

Por último se calcula el valor de  $D_{nT,A}$  y se comprueba que cumple las exigencias del DB-HR

$$D_{nT,A} = R'_A + \lg\left(\frac{0.32 \cdot V}{S_s}\right) = 57.68 \quad \text{dBA}$$

Los resultados obtenidos al aplicar la opción general en todos los casos estudiados ponen de manifiesto que se cumplen todos los valores límite de aislamiento exigidos en el documento Básico del DB-HR.

### 2.3 Ruido y vibraciones en las Instalaciones

El DB-HR también limita los niveles de ruido y de vibraciones que las instalaciones puedan transmitir a los recintos protegidos y habitables del edificio a través de las sujeciones o puntos de contacto de aquellas con los elementos constructivos, de tal forma que no se aumenten perceptiblemente los niveles debidos a las restantes fuentes de ruido del edificio.

El objeto de este apartado es la evaluación del nivel de potencia  $L_w$  admitido para los equipos situados en los recintos de instalaciones, y para ello es necesario calcular el tiempo de reverberación del recinto de instalaciones de forma teórica. El valor obtenido en nuestro caso ha sido de 1,71 s que implica un valor de  $L_w$  menor de 87,25 dB. Como los equipos instalados en el edificio generan un nivel de potencia sonora de 89 dB no se cumplen las especificaciones requeridas y sería necesario acondicionar el recinto con paneles absorbentes.



## 2.4 Herramienta de cálculo del documento básico de Protección frente al ruido, DB- HR

Para facilitar la aplicación de la Opción General, el Ministerio de Vivienda ha desarrollado una herramienta informática que contiene y desarrolla la formulación del DB-HR y que permite verificar el cumplimiento de los casos más frecuentes.

La herramienta sirve para realizar uno a uno el chequeo del aislamiento acústico de parejas de recintos, a ruido aéreo y de impactos, y para calcular la absorción acústica y tiempo de reverberación.

La herramienta es un conjunto de hojas de cálculo Excel, que persigue el objetivo de familiarizar a los usuarios con el método a través de su aplicación. Además se incluyen una serie de tutoriales que muestran de forma sencilla cómo se utiliza.

Las hojas de cálculo incorporan los datos del Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación. Además se pueden añadir soluciones constructivas caracterizadas por el usuario.

Utilizando este programa, se ha comprobado (tabla 3), que los valores que calcula son idénticos a los obtenidos con la opción general ya que utiliza la misma metodología de cálculo.

Cálculo conjunto del Aislamiento Acústico a ruido aéreo y de impactos																	
Cálculos																	
<b>Contribución Directa</b>																	
	$R_{S,A}$	$\Delta R_{D,A}$	$\Delta R_{d,A}$	$\max \Delta R_{i,A}$	$\min \Delta R_{i,A}$	$\Delta R_{Dd,A}$	$R_{Dd,A}$	$S_s (m^2)$	$S_{vpl} (m^2)$	$R_{vpl,A}$	$R_{Dd,m,A}$	$\tau_{Dd} = 10^{-0,1 R_{i,A}}$					
	64,5	0	0	0	0	0	64,5	14,5	0	0	64,5	3,54813E-07					
<b>Contribución de Flanco a flanco</b>																	
$i=j$	$R_{F,A}$	$R_{i,A}$	$\Delta R_{F,A}$	$\Delta R_{i,A}$	$\max \Delta R_{i,A}$	$\min \Delta R_{i,A}$	$\Delta R_{Fd,A}$	$K_{Ff}$	$l_0 (m)$	$l_1 (m)$	$S_s (m^2)$	$R_{Fi,A}$	$\tau_{Ff} = 10^{-0,1 R_{i,A}}$				
1	60,0	60,0	3	3	3	3	4,5	-5,5	1	5,8	14,5	62,9	5,08907E-07				
2	60,0	60,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,25	-5,5	1	5,8	14,5	60,7	8,54355E-07				
3	49,9	49,9	10,1	10,1	10,1	10,1	15,15	-3,5	1	2,5	14,5	69,2	1,1985E-07				
4	64,5	64,5	0	0	0	0	0	10,0	1	2,5	14,5	82,1	6,11747E-09				
												58,3	1,48923E-06				
<b>Contribución de Flanco a directo</b>																	
$i$	$R_{F,A}$	$R_{S,A}$	$S_s (m^2)$	$S_{vpl} (m^2)$	$R_{vpl,A}$	$R_{S,m,A}$	$\Delta R_{F,A}$	$\Delta R_{d,A}$	$\max \Delta R_{i,A}$	$\min \Delta R_{i,A}$	$\Delta R_{Fd,A}$	$K_{Ff}$	$l_0 (m)$	$l_1 (m)$	$S_s (m^2)$	$R_{Fd,A}$	$\tau_{Fd} = 10^{-0,1 R_{i,A}}$
1	60,0	64,5	14,5	0	0	64,5	3	0	3	0	3	20,6	1	5,8	14,5	89,9	1,03493E-09
2	60,0	64,5	14,5	0	0	64,5	1,5	0	1,5	0	1,5	20,6	1	5,8	14,5	88,4	1,46188E-09
3	49,9	64,5	14,5	0	0	64,5	10,1	0	10,1	0	10,1	16,1	1	2,5	14,5	91,0	7,90463E-10
4	64,5	64,5	14,5	0	0	64,5	0	0	0	0	0	10,0	1	2,5	14,5	82,1	6,11747E-09
																80,3	9,40475E-09
<b>Contribución de Directo a flanco</b>																	
$i$	$R_{S,A}$	$S_s (m^2)$	$S_{vpl} (m^2)$	$R_{vpl,A}$	$R_{S,m,A}$	$R_{i,A}$	$\Delta R_{D,A}$	$\Delta R_{i,A}$	$\max \Delta R_{i,A}$	$\min \Delta R_{i,A}$	$\Delta R_{Df,A}$	$K_{Df}$	$l_0 (m)$	$l_1 (m)$	$S_s (m^2)$	$R_{Df,A}$	$\tau_{Df} = 10^{-0,1 R_{i,A}}$
1	64,5	14,5	0	0	64,5	60,0	0	3	3	0	3	20,6	1	5,8	14,5	89,9	1,03493E-09
2	64,5	14,5	0	0	64,5	60,0	0	1,5	1,5	0	1,5	20,6	1	5,8	14,5	88,4	1,46188E-09
3	64,5	14,5	0	0	64,5	49,9	0	10,1	10,1	0	10,1	16,1	1	2,5	14,5	91,0	7,90463E-10
4	64,5	14,5	0	0	64,5	64,5	0	0	0	0	0	10,0	1	2,5	14,5	82,1	6,11747E-09
																80,3	9,40475E-09
<b>Contribución por Transmisión Aérea Directa e Indirecta</b>																	
	$D_{n,s,A}$	$D_{n,s,A}$	$A_0 (m^2)$	$S_s (m^2)$	$D_{n,a,A'}$	$\tau_{n,a} = 10^{-0,1 D_{n,a,A}}$											
	1000,0	1000,0	10,00	14,50	998,6	1,3793E-100											
<b>Índice global de reducción acústica aparente, ponderado A</b>																	
	$R'_A$	$\tau_A = 10^{-0,1 R'_A}$															
	$R_{Dd,A}$	64,5	3,54813E-07														
	$R_{Ff,A}$	58,3	1,48923E-06														
	$R_{Fd,A}$	80,3	9,40475E-09														
	$R_{Df,A}$	80,3	9,40475E-09														
	$D_{n,a,A'}$	998,6	1,3793E-100														
		57,3	1,86285E-06														
<b>Diferencia de Niveles Estandarizada, ponderada A</b>																	
	$R'_A$	$V (m^3)$	$S_s (m^2)$	$D_{n,T,A}$													
	57,3	50	14,5	57,7													

Tabla 3: Resultados del programa de cálculo del DB-HR

## 2.5 Medidas “in situ”

En este trabajo también se han realizado medidas “in situ” sobre los mismos recintos estudiados en ambas opciones del DB HR. El procedimiento de medida se ha elaborado teniendo en cuenta, las disposiciones de la norma UNE-EN ISO 140-4 así como las normas UNE-EN ISO 140-7, UNE-EN ISO 717 (partes 1 y 2) [4,5,6 y 7]

Estas medidas se han utilizado para comparar y comprobar los cálculos teóricos de la opción general del DB HR.

## 2.6 Comparativa entre mediciones de ensayo de laboratorio, cálculos teóricos de la opción general del HR, y mediciones in situ

Elemento de separación vertical	Ensayos de laboratorio	Cálculos Opción General. HR	Mediciones “ in situ” ISO 140-4
Tabiquería interior	$R_w(C;Ctr)= 56 (-4;-11)$ dB $R_A= 52.3$ dBA Informe AC3-D8-03-VI	$D_{nT,A} = 51.8$ [dBA]	$R'(C;Ctr) \geq 52(-2;-7)$ [dbA] $R'_{,A} = 50.9$ [dBA]
Distintos usuarios Bloque III Habitable- Habitable	$R_A= 64.5$ dBA	$D_{nT,A} = 55.2$ [dBA]	$R'(C;C_{tr}) \geq 49(-1;-2)$ [dbA] $R'_{,A} = 49.2$ [dBA]
Distintos usuarios Bloque III Protegido-Protegido	$R_A= 64.5$ dBA	$D_{nT,A} = 56.1$ [dBA]	$R'(C;C_{tr}) \geq 59(-3;-9)$ [dbA] $R'_{,A} = 57.2$ [dBA]
Distintos usuarios Bloque II Protegido-Protegido	$R_A= 64.5$ dBA	$D_{nT,A} = 57.7$ [dBA]	$R'(C;C_{tr}) \geq 59(-3;-9)$ [dbA] $R'_{,A} = 57$ [dBA]
Distintos usuarios Bloque I Protegido-Protegido	$R_A= 66$ dBA	$D_{nT,A} = 56.4$ [dBA]	$R'(C;C_{tr}) \geq 66(-4;-12)$ [dbA] $R'_{,A} = 62.5$ [dBA]

Tabla 4: valores de ensayos, cálculos teóricos y medidas in situ

En la tabla 4 se muestra la comparación entre los valores de índice de reducción sonora,  $R_A$ , de los elementos constructivos, recogidos en los ensayos de laboratorio de los fabricantes, y los obtenidos en mediciones “in situ”,  $R'_{,A}$ . Los resultados muestran una desviación media de 7 dBA. Este error es debido a las transmisiones indirectas y a la posible mala ejecución en obra. Por tanto los ensayos de laboratorio no reflejan el comportamiento ni el aislamiento real “in situ”.

Sin embargo los valores de aislamiento acústico a ruido aéreo  $D_{nT,A}$ , y a ruido de impactos  $L_{nTw}$ , calculados en la Opción General y las mediciones “in situ”, muestran desviaciones mucho menores. La diferencia entre ambos valores de aislamiento en muchas soluciones constructivas es menor de 2 dBA.

## 4 Conclusiones

Las conclusiones que se han obtenido con este trabajo las podemos agrupar en varios apartados:

➤ Comparación Opción General y Opción Simplificada del HR

Realizados ambos estudios del DB-HR, tanto en su opción simplificada como en su opción general, sobre el mismo edificio de 80 viviendas se comprueba que: **La opción General** cumple con todas las condiciones de diseño y dimensionado del edificio tanto para elementos de separación vertical y horizontal, como para fachadas, cubiertas y suelos en contactos con el aire exterior. **La opción Simplificada**, no necesita conocimientos de acústica para su aplicación, pero tiende a sobredimensionar las soluciones pero en el caso en estudio no se cumple con todos los valores límite de aislamiento exigidos.

➤ Comparación entre la opción general, programa del ministerio y las medidas “in situ”

Los valores de aislamiento obtenidos con las medidas in situ, la opción general y con el programa facilitado por el ministerio son idénticos.

➤ Implicaciones del DB-HR en edificios de nueva construcción.

Aparece una nueva tecnología de tabiques sobre elementos elásticos, la considerada en HR como tipo 2. Su composición será de elementos de dos hojas de fábrica o paneles prefabricados pesados, con bandas elásticas en su perímetro dispuestas en los encuentros de, al menos, una de las hojas con forjados, suelos y techos, pilares y fachadas. Este sistema constructivo permitiría reducir los puentes acústicos formados entre el contacto del elemento separador y el forjado.

Las nuevas exigencias de aislamiento acústico implican la desaparición de muros simples, y la presencia sistemática de amortiguadores, lanas de roca o de vidrio por ejemplo, en las cavidades de tabiques de fábrica de dos hojas.

El aumento de la exigencia de aislamiento a ruido de impacto, implica la presencia de suelos flotantes y eventualmente de techos aislantes.

La ejecución en obra es deficiente. Los errores en la ejecución de la obra provocan que las soluciones proyectadas resulten ineficaces. Será necesario un asesoramiento en fase de proyecto de las diferentes soluciones constructivas y analizar sus condiciones de contorno.

Se establecen unos nuevos índices de aislamiento, mejores que los actuales, ya que toman en cuenta las transmisiones indirectas y son verificables “in situ”. La mayoría de los países europeos realizan estas medidas. Su verificación dependerá de las Comunidades Autónomas y de los Ayuntamientos.

## **Agradecimientos**

A todas las personas que nos han permitido y nos han facilitado la realización de las medidas en los edificios estudiados, y especialmente a la empresa SEIS SOLUCIONES por su inestimable colaboración.

## **Referencias**

- [1] NBE-CA 88, Norma Básica de Edificación sobre Condiciones acústicas.
- [2] REAL DECRETO 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al Ruido» del Código Técnico de la Edificación.
- [3] UNE-EN 12354-1 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos.
- [4] Norma UNE-EN ISO 140-4 de título Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales. (ISO 140-4:1998)
- [5] UNE-EN ISO 140-7. de Título: Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. (ISO 140-7:1998)
- [6] UNE-EN ISO 717-1 de título “Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo”
- [7] Norma UNE-EN ISO 717-2. de título: 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).