

VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA OFICIAL DEL DB HR DEL CTE FRENTE A LA UNE 12354-1,2

Manuel A. Sobreira Seoane¹, Alfonso Rodríguez Molaes¹, Amelia Romero Fernández², Teresa Carrascal García², José Antonio Tenorio Ríos²

¹Sonitum®, E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad de Vigo. Rúa Maxwell s/n, Campus de la Universidad de Vigo. 36310 Vigo-España. (msobre@gts.tsc.uvigo.es)

²Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC, Calle Serrano Galvache num 4, 28033 Madrid. (aromero@ietcc.csic.es)

Resumen

En Octubre de 2007 entraba en vigor el documento básico de protección frente al ruido (DB HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE) con el que se establecía el nuevo marco reglamentario sobre las condiciones acústicas exigibles en las viviendas en España. Dicho documento, además de imponer los requisitos mínimos en materia de calidad acústica, presentaba un método general de cálculo que suponía la tan ansiada adaptación del método de cálculo incluido en la norma europea EN 12354-1 a la normativa española.

El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y el Grupo de Investigación de Acústica Aplicada de la Universidad de Vigo, Sonitum, han colaborado en la elaboración de una herramienta en Excel que facilita la aplicación del método de cálculo del DB HR. Ambos grupos se han planteado la importancia de validar la herramienta a dos niveles: un primer nivel, la validación a nivel cálculo y un segundo nivel: la validación con medidas experimentales. En este trabajo se presenta la validación de los cálculos implementados en la hoja excel tomando como referencia el caso presentado en la Norma UNE EN 12354-1.

Palabras-clave: Aislamiento Acústico.

Abstract

During October 2007, the new acoustic regulations on building have been published in Spain. This regulation not only includes the minimum values for acoustic insulation (façades, impact insulation, airborne insulation) but also an official catalogue with data of the most common building elements in Spain and two methods to design the acoustic solution for a new building: a simplified method and a general method. The last is based on the European Standards EN 12354-1 2 and 3.

The Spanish Institute for Building "Eduardo Torroja"; and the Applied Acoustics Research Group of the Vigo University, Sonitum, has collaborate to offer a calculation tool programmed in Excel with the aim of helping to apply the general method. For a relevant use of this tool, this should be validated. This validation has been done in two levels: a calculation validation, which means the programming of the method is right, comparing the results of the tools with a reference and a experimental validation. In this paper the validation of the calculations taking as reference the examples of the standard is presented.

Keywords: Acoustic insulation.

1 Introducción

El denominado *método general de cálculo* incluido en el documento básico de protección frente a ruido se basa en el método simplificado desarrollado en el apartado 4.4 de la norma UNE-EN 12354-1 [1]. La herramienta publicada en la página oficial del código técnico [2] implementa el método de cálculo detallado en el DB HR, y en todos los casos en los que ha sido necesario se ha recurrido a la norma para cubrir los problemas de interpretación que pudieran surgir.

La herramienta oficial consta de un menú en *html* desde el que se puede arrancar la hoja de aplicación en cada caso. La hoja seleccionada depende esencialmente de la geometría relativa a los dos recintos: dos recintos adyacentes pueden tener desde ninguna hasta todas sus aristas coincidentes, y las características de las pérdidas en las uniones variarán en cada caso de tal forma que aún coincidiendo todas las características de todos los elementos adyacentes, el simple hecho de encontrarse con distinto número de aristas coincidentes puede determinar que el aislamiento de la partición seleccionada pueda variar notablemente. Un análisis detallado de este tema se realiza en [3].



Figura 1 – Aspecto general de la herramienta oficial de cálculo con algunos de los casos incluidos.

El objetivo que nos planteamos en este artículo es detallar el proceso que se ha seguido para garantizar que los cálculos realizados en las hojas excel están adecuadamente implementados. Para ello, se ha tomado como referencia los ejemplos de cálculo aportados en la referencia [1]. Una vez seleccionada la tipología adecuada, la introducción de datos es sencilla. En el caso que nos ocupa, para la validación de la implementación de los cálculos se ha tomado el caso de dos recintos adyacentes con las 4 aristas coincidentes (primer caso en la parte superior izquierda de la figura 1).

2 Planteamiento

Para los cálculos, se toma una pareja de recintos contiguos con elementos de flanco idénticos en ambas caras y ambos con un volumen de 50 m³. Las características sustanciales de los elementos constructivos involucrados se resumen en la tabla I. Para más detalle véase los apartados H.1 y H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

	<i>Elemento Estructural Básico</i>	<i>dimensiones (m)</i>	<i>M' (kg/m²)</i>	<i>Rw (dB)</i>	<i>Tipo de Unión</i>
<i>Elemento separador</i>	200mm de hormigón	4,50 x 2,55	460	57	
<i>Suelo</i>	100mm de hormigón/30mm acabado	4,36 x 4,50	287	49	Cruz rígida
<i>Techo</i>	100mm de hormigón	4,36 x 4,50	230	46	Cruz Rígida
<i>Fachada</i>	100mm de bloques SiCa	4,36 x 2,55	175	42	T rígida
<i>Pared Interior</i>	70mm de bloques de yeso	4,36 x 2,55	67	33	Cruz elástica

Tabla 1 – Datos de Entrada del Anexo H de la UNE-EN 12354-1:2000

La herramienta de cálculo contiene una serie de hojas donde se incluyen los datos correspondientes a las cubiertas, fachadas, forjados y particiones del catálogo de soluciones constructivas. Para la resolución de la validación, se incluyen los datos aportados por la Norma UNER 12354 en la hoja correspondiente a “Mis elementos”, destinada a que los usuarios introduzcan la información de distintos materiales que no se encuentren en el catálogo oficial. La figura 2 muestra el aspecto de la hoja “Mis elementos” una vez introducidos los datos. Obsérvese que se ha asignado un código a cada elemento (Val XX).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data in the 'Mis Elementos' sheet:

REF	Tipo	Subtipo	Campo A	Campo B	Descriptor	m' (kg/m ²)	R _{t,A}	L _{n,w}
Val 1	200 mm	Hormigón	A3		200 mm de Hormigón	460	57	
Val 2	100 mm+30 mm rec	Hormigón			100 mm +30 mm de Hormigón	287	49	
Val 3	100 mm	Hormigón			100 mm Hormigón	230	46	
Val 4	100 mm SiCa	Bloques SiCa			100 mm bloque SiCa	175	42	
Val 5	70 mm Yeso	Yeso			70 mm Yeso	67	33	

Figura 2 – Introducción de datos en la hoja “Mis elementos”

3 Organización e Introducción de los datos

Para la introducción de los datos, se selecciona la pestaña “Datos de Entrada” y se introducen primeramente los datos correspondientes al elemento separador:

3.1 Elemento separador

- Se insertan las dimensiones del elemento separador en metros (Ancho y Alto)
- Se escoge el Elemento Estructural Básico correspondiente a 200 mm de hormigón (Val 1)
- Se selecciona “Sin recubrimiento” para ambas caras del elemento (código R001)
- Dado que no existen Puertas, Ventanas o Lucernarios las casillas correspondientes a su superficie e índice global se ponen a cero.
- Dado que no se consideran caminos de transmisión aérea directa o indirecta se fija un valor para la diferencia de niveles normalizada, ponderada A, suficientemente elevada (p.e. 1000dB)

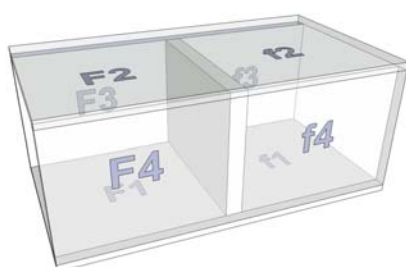
La figura 3 muestra el aspecto de la hoja una vez introducidos los datos (el resultado presentado en el campo correspondiente a aislamiento a ruido de impacto carece de sentido, ya que no se han introducido los datos correspondientes).

Elemento Separador										
Ancho l_x (m)		4,5		Alto l_y (m)		2,55		Superficie S_x (m ²)		11,475
REF	Elemento Estructural Básico	m ³ (kg/m ³)	$R_{e,A}$	REF	Revestimiento Recinto Emisor	$\Delta R_{e,A}$	REF	Revestimiento Recinto Receptor	$\Delta R_{e,A}$	
Val 1	200 mm Hormigón	460,0	57,0	R.0.0	Sin Revestimiento	0	R.0.0	Sin Revestimiento	0	
Ventanas, puertas y lucernarios		S_{vp} (m ²)	$R_{p,L,A}$	Transmisión Aérea Directa $D_{e,d,A}$		$D_{e,d,A}$	Transmisión Aérea Indirecta $D_{e,i,A}$		$D_{e,i,A}$	
		0	0			0 (aireadores)			0 (techos suspendidos, conductos y pasillos)	
					$D_{nT,A}$		$L'_{nT,W}$		Requisito CTE	
					64		50		CUMPLE	
					$L'_{nT,W}$		-19		65 CUMPLE	

Figura 3 – Introducción de datos correspondientes al elemento separador.

3.2 Recinto emisor

Se introducen los datos correspondientes a los flancos del recinto emisor. La nomenclatura (F1, F2, F3, F4, f1, f2, f3 y f4) es arbitraria siempre que se conserve el criterio que se indica en el anexo H de la EN 12354-1:2000, y que se resumen en:



F=f=1	Suelo
F=f=2	Techo
F=f=3	Pared I
F=f=4	Pared II

Figura 4 – Criterio para numeración de los flancos.

Recordamos que la notación en mayúsculas denota recinto emisor, mientras que las letras minúsculas corresponden con los elementos del recinto receptor. Ejemplo: F1 denota el forjado en el lado del recinto emisor, mientras que f1 se refiere al forjado correspondiente en el lado del recinto receptor.

La diferenciación de la Pared I (en este ejemplo fachada) y la Pared II (en este ejemplo pared interna) debe ser responsabilidad del usuario de la hoja de cálculo. Siguiendo este criterio:

Se seleccionan los materiales de los cuatro flancos:

- F1 (Suelo) 100 mm de hormigón / 30 mm de acabado (código Val 2)
- F2 (Techo) 100 mm de hormigón (código Val 3)
- F3 (Pared) 100 mm de bloques de SiCa (código Val 4)
- F4 (Pared) 70 mm de bloques de yeso (código Val 5)

Se selecciona en las casillas de recubrimiento la opción “Sin recubrimiento”. La figura 5 presenta los datos correspondientes al recinto emisor, una vez incluidos en la hoja.

Recinto Emisor								
Tipo de Recinto								
Otra unidad de uso								
	REF	Elemento Estructural Básico	m'_f (kg/m ²)	$R_{f,A}$	$L_{f,w}$	S_f (m ²)	REF	Reve
Elemento F1 (Suelo)	Val 2	100 + 300 mm de Hormigón	287,0	49,0	0,0	11,475	R.0.0	Sin Re
Elemento F2 (Techo)	Val 3	100 mm Hormigón	230,0	46,0	0,0		R.0.0	Sin Re
Elemento F3 (Pared)	Val 4	100 mm Bloque Si Ca	175,0	42,0	0,0		R.0.0	Sin Re
Elemento F4 (Pared)	Val 5	70 mm Yeso	67,0	33,0	0,0		R.0.0	Sin Re

Figura 5 – Introducción de las características del recinto emisor.

3.3 Recinto Receptor

Dado que los elementos de flanco son idénticos en ambos recintos se seleccionan los mismos elementos que en el apartado anterior. La única diferencia con el formulario anterior consiste que es necesario en insertar el volumen del recinto receptor, que en este caso es 50 m³.

Recinto Receptor								
Tipo de Recinto		Volumen V_r (m ³) 50,031						
Protegido								
	REF	Elemento Estructural Básico	m'_f (kg/m ²)	$R_{f,A}$			REF	
Elemento f1 (Suelo)	Val 2	100 + 300 mm de Hormigón	287,0	49,0			S.1.b	AC
Elemento f2 (Techo)	Val 3	100 mm Hormigón	230,0	46,0			R.0.0	S
Elemento f3 (Pared)	Val 4	100 mm Bloque Si Ca	175,0	42,0			R.0.0	S
Elemento f4 (Pared)	Val 5	70 mm Yeso	67,0	33,0			R.0.0	S

Figura 6 – Introducción de las características del recinto receptor.

3.4 Definición de las Uniones

Se seleccionan el tipo de unión de cada una de las cuatro aristas:

- F=f=1 (Suelo) Unión rígida en Cruz (código U001)
- F=f=2 (Techo) Unión rígida en Cruz (código U001)

- $F=f=3$ (Pared I = fachada) Unión rígida en T (código U002)
- $F=f=4$ (Pared II = pared interior) Unión elástica en Cruz (código U004)

Al seleccionar las uniones, automáticamente, aparecerán en el formulario las representaciones de las uniones y los K_{ij} asociados para cada tipo de unión.





Uniones de los Elementos Constructivos						
	REF	Elemento Estructural Básico	K_{Fi}	K_{Fd}	K_{Df}	
Arista 1 (Unión Elemento-Suelo)	C 0.1	Unión rígida en + de elementos homogéneos	12,4	8,9	8,9	 Vista en sección
Arista 2 (Unión Elemento-Techo)	C 0.1	Unión rígida en + de elementos homogéneos	14,4	9,2	9,2	 Vista en sección
Arista 3 (Unión Elemento-Pared)	T 0.1	Unión rígida en T de elementos homogéneos	12,6	6,7	6,7	 Vista en planta
Arista 4 (Unión Elemento-Pared)	C 0.3	Unión flexible en + de elementos homogéneos (orientacion 2)	33,5	15,7	15,7	 Vista en planta

Figura 7 – Introducción de las uniones

Puede comprobarse que los valores K_{ij} resultantes (véase la figura 7) son coincidentes con los presentados en anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

Una vez introducidos correctamente los K_{ij} el valor reflejado en el apartado de “Elemento Separador” para diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores será el correcto, 54 dB, que coincide con el resultado presentado en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

4 Validación del cálculo

En el presente apartado se procede a la validación de cada uno de los resultados parciales.

4.1 Validación de los K_{ij}

Ya en el apartado anterior se comprobó que los resultados de los K_{ij} coincidían con los presentados en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000. Si se quisiera observar todos los cálculos parciales puede acudir a la hoja “Uniones”. No se incluye la figura dado su tamaño, y consideraremos válidos los valores de K_{ij} al serlo también los resultados para todos los caminos parciales.

4.2 Validación de los caminos parciales

Transmisión Directa (Camino Dd): el resultado 57dB coincide con el presentado en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

RS,A	$\Delta RD,A$	$\Delta Rd,A$	RDd,A	Ss (m2)	Spv (m2)	Rvpv,A	RDd,m,A	$\tau_{Dd}=10^{-0,1 R_{i,A}}$
57	0	0	57.0	11.475	0	0	57.0	1.99526E-06

Transmisión Flanco a directa (Camino Fd): Los resultados coincide con los presentados en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

i	RF,A	RS,A	$\Delta RF,A$	$\Delta Rd,A$	KFd	l0 (m)	lf (m)	Ss (m2)	RFd,A	$\tau_{Fd}=10^{-0,1 R_{i,A}}$
1	49	57	0	0	8.9	1	4.5	11.475	66.0	2.5092E-07
2	46	57	0	0	9.2	1	4.5	11.475	64.8	3.32512E-07
3	42	57	0	0	6.7	1	2.55	11.475	62.7	5.32566E-07
4	33	57	0	0	15.7	1	2.55	11.475	67.2	1.88671E-07

Transmisión Directa a flanco (Camino Df): Los resultados coincide con los presentados en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

i	RS,A	Rf,A	$\Delta RD,A$	$\Delta Rf,A$	KDf	l0 (m)	lf (m)	Ss (m2)	RDf,A	$\tau_{Df}=10^{-0,1 R_{i,A}}$
1	57	49	0	0	8.9	1	4.5	11.475	66.0	2.5092E-07
2	57	46	0	0	9.2	1	4.5	11.475	64.8	3.32512E-07
3	57	42	0	0	6.7	1	2.55	11.475	62.7	5.32566E-07
4	57	33	0	0	15.7	1	2.55	11.475	67.2	1.88671E-07

Transmisión Flanco a flanco (Camino Ff): Los resultados coincide con los presentados en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

i=j	RF,A	Rf,A	$\Delta RF,A$	$\Delta Rf,A$	KFf	l0 (m)	lf (m)	Ss (m2)	RFf,A	$\tau_{Ff}=10^{-0,1 R_{i,A}}$
1	49	49	0	0	12.4	1	4.5	11.475	65.5	2.81317E-07
2	46	46	0	0	14.4	1	4.5	11.475	64.4	3.60617E-07
3	42	42	0	0	12.6	1	2.55	11.475	61.2	7.666E-07
4	33	33	0	0	33.5	1	2.55	11.475	73.1	4.94222E-08

4.3 Validación del total índice global de reducción acústica aparente, ponderado A

Se realiza el sumatorio de todas las contribuciones consideradas en la expresión (3.8) del CTE. El resultado coincide con el presentado en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

	R'A	$\tau_A = 10^{-0,1 R_{i,A}}$
RDd,A	57.0	1.99526E-06
RFf,A	58.4	1.45796E-06
RFd,A	58.8	1.30467E-06
RDf,A	58.8	1.30467E-06
Dn,A	-	0
	52.2	6.06256E-06

4.4 Validación de la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores.

Se calcula la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, mediante la expresión (3.6) coincidente con la expresión (5b) del apartado 3.1.3 de la UNE-EN 12354-1:2000 que se representa aquí por conveniencia.

$$D_{nT,A} = R'_A + 10 \log \left(\frac{0,32 \cdot V}{S_s} \right) \quad (1)$$

En este caso existe una diferencia de 0,2 dB entre el resultado de la hoja Excel (53,6 dB) y el presentado en la norma (53,8 dB).

R'A	V (m3)	Ss (m2)	DnT,A
52.2	50	11.475	53.6

La diferencia es debida a la aproximación, bastante discutible, que se realiza en el anexo H de la UNE-EN 12354-1:2000 tomando la expresión (5b) de la norma como:

$$D_{nT,A} = R'_A + 10 \log \left(\frac{V}{3 \cdot S_s} \right) \quad (2)$$

Esta expresión, que no coincide con la presentada en el cuerpo de la norma, es a nuestro juicio una mala aproximación de la fórmula (5b) de la UNE-EN 12354-1:2000 y de su correspondiente (3.6) en el CTE. Debemos concluir pues que el resultado final que corresponde a la correcta implementación

del método es el presentado por la hoja de cálculo, es decir 53,6 dB. En este caso el obligado redondeo a las unidades deriva en un resultado final de 54 dB.

5 Inclusión de Suelos Flotantes

El anexo H de la UNE-EN 12354-1:2000 propone un segundo ejemplo que se basa en la inclusión de suelos flotantes de idénticas características (mejora de reducción acústica: 14 dB) en ambos recintos.

En la hoja de “Datos de Entrada” en los apartados de recinto emisor y receptor se selecciona un recubrimiento de suelo flotante (código R002) para los elementos F1 y f1. Los únicos caminos que se verán afectados son aquellos que pasan a través del suelo, es decir F1d, Df1 y F1f1.

RF1d,A	RDf1,A	RF1f1,A
80.0	80.0	86.5

Los resultados coincide con los presentados en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000. El resultado total, para el índice de reducción acústica aparente, ponderado A, y la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, queda como sigue:

	R'A	$\tau_A = 10^{-0,1 R_{i,A}}$
RDd,A	57.0	1.99526E-06
RFf,A	59.3	1.17887E-06
RFd,A	59.7	1.06374E-06
RDf,A	59.7	1.06374E-06
Dn,A	997.6	1.7429E-100
	52.8	5.30161E-06

R'A	V (m3)	Ss (m2)	DnT,A
52.8	50	11.475	54.2

Valores que, salvo por las diferencias previamente comentadas, coinciden con los presentados en el anexo H.3 de la UNE-EN 12354-1:2000.

6 Conclusiones

En esta comunicación se ha presentado la validación de los cálculos que realiza la herramienta oficial de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación. Este ejercicio de comprobación de resultados pone en evidencia la correcta implementación de la norma. En futuros trabajos se presentará comparaciones con medidas reales. Las diferencias que pueda haber entre los cálculos realizados por la herramienta y las mediciones que puedan obtenerse de casos reales, se deberán a otras circunstancias ajenas a la implementación:

- A la calidad de datos de entrada: que sean fiables y que los materiales instalados correspondan realmente a los datos suministrados por el fabricante.
- A la correcta instalación de los materiales.

- A la interpretación adecuada de toda la casuística implicada para poder trasladar la geometría real de la pareja de recintos a alguno de los casos presentados en la herramienta.
- A la propia medición
- A la naturaleza del propio método de cálculo (véase el apartado 5 de la norma).

Referencias

[1] UNE EN 12354-1.

[2] www.codigotecnico.org

[3] A. R. Molares et al. “Análisis de la casuística derivada de la aplicación del CTE”. Tecniacústica 2008, Coimbra, Portugal.