

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de
Telecomunicación

Estudio acústico mediante la herramienta de cálculo
del DB-HR

Autor: Jaime Rosso Sánchez

Tutor: Iván Durán Díaz

Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

Estudio acústico mediante la herramienta de cálculo del DB-HR

Autor:

Jaime Rosso Sánchez

Tutor:

Iván Durán Díaz

Profesor titular

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Proyecto Fin de Carrera: Estudio acústico mediante la herramienta de cálculo del DB-HR

Autor: Jaime Rosso Sánchez

Tutor: Iván Durán Díaz

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 11 de julio 2023

A mi familia

A mis amigos y compañeros

A mis maestros

Agradecimientos

En primer lugar, a mis padres, por darme la oportunidad para formarme y ser mi principal apoyo en la vida. Siempre han estado ahí para mí y sé que siempre lo estarán. No puedo estar más agradecido por vuestra paciencia, confianza y cariño, conmigo tenéis el cielo ganado sin duda.

A mis amigos de la universidad, por ayudarme y animarme a lo largo de estos años, nos hemos apoyado los unos a los otros continuamente y me siento increíblemente orgulloso de ellos.

A mis amigos de Cádiz, porque cada vez que necesitaba desconectar y descansar me han recibido en casa con los brazos abiertos.

Por último, a mi tutor del TFG, Iván Durán Díaz, por la paciencia que ha tenido conmigo durante todo el proceso. Además de al resto de profesores de la escuela, que han sido los encargados de guiarnos por el camino, de ayudarnos a crecer y de prepararnos para superar cualquier obstáculo que nos podamos encontrar.

A todas estas personas,

Gracias.

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo la realización de un estudio de rendimiento acústico de una promoción de viviendas, haciendo uso de la herramienta de cálculo del DB-HR desarrollada por la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento en colaboración con el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC.

Previo al estudio, se realizará una introducción comentando el problema mundial del ruido y se explicarán los conceptos necesarios para entender el funcionamiento de la herramienta, así como para su correcto uso.

La motivación de este proyecto surge del interés personal del alumno por el campo de la acústica y por poder crear un documento que sirva de referencia y guía para futuros alumnos que también desarrollen un interés en dicho campo.

Abstract

This End-of-Degree Project has as an objective to study the acoustic performance of a series of

The aim of this Final Degree Project is to carry out a study of the acoustic performance of a housing complex, using the DB-HR calculation tool developed by the General Directorate of Architecture, Housing and Land of the Ministry of Development in collaboration with the Eduardo Torroja Institute of Construction Sciences, CSIC.

Prior to the study, an introduction will be made commenting on the global problem of noise, and the concepts necessary to understand the operation of the tool, as well as its correct use, will be explained.

The motivation for this project arises from the student's personal interest in the field of acoustics and to be able to create a document that will serve as a reference and guide for future students who also develop an interest in this field.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
Notación	xxiii
1 Introducción	1
1.1 <i>Los efectos del ruido sobre las personas</i>	3
1.2 <i>¿Cómo afrontar el problema del ruido?</i>	5
1.3 <i>Objetivos y alcance del trabajo</i>	6
2 La acústica arquitectónica	7
2.1 <i>Parámetros y conceptos básicos</i>	7
2.1.1 <i>Conceptos básicos</i>	7
2.1.2 <i>Magnitudes acústicas de interés en construcción</i>	10
2.1.3 <i>Valores globales y la Norma UNE-EN ISO 717</i>	12
2.1.4 <i>Parámetros característicos de los elementos constructivos</i>	14
2.1.5 <i>Tipos de recinto</i>	15
2.1.6 <i>Tipos de soluciones constructivas</i>	15
2.2 <i>La Norma UNE-EN ISO 12354</i>	16
2.2.1 <i>Parte 1: Aislamiento acústico al ruido aéreo entre recintos</i>	16
2.2.2 <i>Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos</i>	17
2.2.3 <i>Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo frente al ruido exterior</i>	19
2.2.4 <i>Parte 6: Absorción sonora en espacios cerrados</i>	20
2.3 <i>El DB-HR</i>	21
2.3.1 <i>La opción general del DB-HR</i>	22
2.3.2 <i>Valores límites definidos en el DB-HR</i>	30
3 Estudio acústico mediante la herramienta del DB-HR	33
3.1 <i>Aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos adyacentes</i>	33
3.1.1 <i>Pareja de recintos 1: Recinto de actividad habitable con recinto de instalaciones</i>	33
3.1.2 <i>Pareja de recintos 2: Dormitorio con cocina</i>	42
3.2 <i>Aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto entre recintos superpuestos</i>	46
3.2.1 <i>Pareja de recintos 1: Salón con salón</i>	46
3.2.2 <i>Pareja de recintos 2: Dormitorios superpuestos</i>	51
3.3 <i>Aislamiento acústico a ruido aéreo proveniente del exterior</i>	54
3.3.1 <i>Recinto 1: Salón</i>	54
3.3.2 <i>Recinto 2: Dormitorio pequeño</i>	60
3.4 <i>Tiempo de reverberación</i>	65
3.4.1 <i>Recinto 1: Sala de reuniones</i>	65
3.4.2 <i>Recinto 2: Descansillo</i>	68

3.5	<i>Creación de un nuevo sistema en la base de datos editable</i>	71
4	Conclusiones y líneas futuras	75
4.1	<i>Conclusiones</i>	75
4.2	<i>Líneas futuras</i>	76
	Referencias	77
	Glosario	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores de referencia para el aislamiento a ruido aéreo [24]	12
Tabla 2.2 Valores de referencia para el aislamiento a ruido de impactos [25]	13
Tabla 2.3 Diferencia de niveles debida a la forma de la fachada [12]	27
Tabla 3.1 Tipos de uniones entre elementos del caso 3.1.1	35
Tabla 3.2 Tipos de uniones entre elementos del caso 3.1.2	43
Tabla 3.3 Tipos de uniones entre elementos del caso 3.2.1	47
Tabla 3.4 Uniones entre los elementos del caso 3.2.2	52
Tabla 3.5 Uniones entre los elementos del caso 3.3.2	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Valores de referencia para ruido ambiente en entornos específicos [1]	2
Figura 1.2 Criterio de pérdida de audición según la A.M.A [4]	3
Figura 1.3 Resumen de los efectos del ruido [7]	4
Figura 1.4 Niveles de ruido aproximados y tiempo de exposición permitidos a la semana para la escucha segura [8]	5
Figura 2.1 Curvas de ponderación de los filtros A, B, C y D [18]	8
Figura 2.2 Representación visual de bandas de octava y de tercio de octava [22]	9
Figura 2.3 División del espectro audible en bandas de octava y de un tercio de octava [23]	9
Figura 2.4 Curva de referencia para el aislamiento a ruido aéreo en tercios de octava [24]	13
Figura 2.5 Curva de referencia para el aislamiento a ruido de impactos en tercios de octava [25]	14
Figura 2.6 Tipos de elementos de separación vertical [12]	16
Figura 2.7 Esquema de transmisión de ruido aéreo en recintos adyacentes [12]	23
Figura 2.8 Esquema de unión 1 [10]	25
Figura 2.9 Esquema de unión 2 [10]	25
Figura 2.10 Esquemas de unión 3 [10]	26
Figura 2.11 Esquema de transmisión para ruido exterior (fachada) [12]	26
Figura 2.12 Esquemas de transmisión para ruido de impactos (Recintos superpuestos, adyacentes y con una arista común)	28
Figura 2.13 Tabla de valores límite para el aislamiento a ruido exterior de recintos protegidos [12]	31
Figura 3.1 Plano de los recintos a estudiar en el caso 3.1.1 [11]	34
Figura 3.2 Pantalla de inicio de la aplicación	35
Figura 3.3 Menú de creación de proyecto	36
Figura 3.4 Menú de selección del caso de cálculo	36
Figura 3.5 Menú de asignación previa de elementos constructivos	37
Figura 3.6 Hoja de cálculo para el estudio del aislamiento en recintos adyacentes 1 (Caso 3.1.1)	37
Figura 3.7 Hoja de cálculo para el estudio del aislamiento en recintos adyacentes 2 (Caso 3.1.1)	38
Figura 3.8 Ventana de la base de datos local (no editable)	39
Figura 3.9 Definición del elemento separador	39
Figura 3.10 Definición de los recintos a estudiar	40
Figura 3.11 Uniones de los elementos constructivos	40
Figura 3.12 Resultados del caso de estudio 3.1.1	41
Figura 3.13 Tabla de cálculo del ruido aéreo transmitido del recinto 1 al 2	41
Figura 3.14 Ficha justificativa del caso 3.1.1	42
Figura 3.15 Plano de los recintos del caso de estudio 3.1.2 [11]	42
Figura 3.16 Entrada de datos 1 del caso 3.1.2	44

Figura 3.17 Entrada de datos 2 del caso 3.1.2	45
Figura 3.18 Resultados del caso 3.1.2	45
Figura 3.19 Ficha justificativa del caso 3.1.2	46
Figura 3.20 Plano de planta de la vivienda [11]	47
Figura 3.21 Plano sección de la vivienda [11]	47
Figura 3.22 Menú de selección de caso de cálculo	48
Figura 3.23 Menú asignación previa de elementos constructivos	48
Figura 3.24 Hoja de cálculo completa del caso 3.2.1	49
Figura 3.25 Menú para exportar ficha a PDF	50
Figura 3.26 Ficha justificativa del caso 3.2.1	50
Figura 3.27 Plano del dormitorio principal [11]	51
Figura 3.28 Datos de entrada 1 para el caso de estudio 3.2.2	52
Figura 3.29 Datos de entrada 2 para el caso de estudio 3.2.2	53
Figura 3.30 Resultados del caso 3.2.2	53
Figura 3.31 Tabla de valores límite para ruido exterior	54
Figura 3.32 Extracto de tabla de ruido diurno, L_D de la calle Jiménez Aranda, Sevilla	54
Figura 3.33 Menú de selección del tipo de fachada	55
Figura 3.34 Definición de las fachadas directas	56
Figura 3.35 Definición del recinto y los flancos de la fachada	56
Figura 3.36 Uniones de los elementos de la fachada	57
Figura 3.37 Resultado inicial del caso 3.3.1	57
Figura 3.38 Resultados de cálculo del aislamiento a ruido exterior 1 (Situación inicial)	58
Figura 3.39 Resultados de cálculo del aislamiento a ruido exterior 2 (Situación inicial)	58
Figura 3.40 Resultados de cálculo del aislamiento a ruido exterior 3 (Situación inicial)	58
Figura 3.41 Nueva definición de las fachadas directas	59
Figura 3.42 Ficha justificativa de los resultados del caso 3.3.1	60
Figura 3.43 Nivel de ruido diurno L_D en la calle Juglar, Sevilla	60
Figura 3.44 Plano del recinto a estudiar en el caso 3.3.2 [11]	61
Figura 3.45 Datos de entrada 1 del caso de estudio 3.3.2	62
Figura 3.46 Datos de entrada 2 del caso de estudio 3.3.2	62
Figura 3.47 Resultados del caso 3.3.2 (Situación inicial)	63
Figura 3.48 Datos de entrada modificados 1 del caso 3.3.2	63
Figura 3.49 Datos de entrada modificados 2 del caso 3.3.2	64
Figura 3.50 Resultado de la modificación del caso 3.3.2	64
Figura 3.51 Ficha justificativa del caso 3.3.2	65
Figura 3.52 Plano de dimensiones de la sala [11]	66
Figura 3.53 Menú de caso de cálculo de tiempo de reverberación	66
Figura 3.54 Hoja de cálculo para el tiempo de reverberación	67
Figura 3.55 Hoja de cálculo con los datos del caso 3.4.1	67

Figura 3.56 Error de generación de la ficha justificativa para el tiempo de reverberación	68
Figura 3.57 Ficha justificativa oficial del CTE para el tiempo de reverberación	68
Figura 3.58 Plano del descansillo [11]	69
Figura 3.59 Datos de entrada para el caso 3.4.2 (situación inicial)	70
Figura 3.60 Datos de entrada para la solución alternativa del caso 3.4.2	71
Figura 3.61 Menú desplegable para acceder a la edición de bases de datos	71
Figura 3.62 Ventana de edición y consulta de las bases de datos	72
Figura 3.63 Ventana de la base de datos editable	73
Figura 3.64 Menú de inserción de elementos nuevos en la base de datos	73
Figura 3.65 Ficha de material nuevo con datos	74
Figura 3.66 Base de datos no oficial con nuestro nuevo elemento registrado	74
Figura 3.67 Menú de asignación de materiales con el nuevo material incluido	74

Notación

$<$	Menor que
\leq	Menor o igual que
$>$	Mayor que
\geq	Mayor o igual que
\log	Logaritmo en base 10
L_{Aeq}	Nivel continuo equivalente ponderado A
L_{Amax}	Nivel de máximo ponderado A
p	Presión sonora
W	Potencia sonora
I	Intensidad sonora
p_0	Presión sonora de referencia
α	Coefficiente de absorción acústica
A	Área de absorción equivalente
A_0	Área de absorción equivalente de referencia
RT	Reverberation Time (Tiempo de Reverberación)
T	Tiempo de reverberación
T_0	Tiempo de reverberación de referencia
V	Volumen
S	Superficie
R	Índice de reducción acústica
R_A	Índice de reducción sonora ponderado A
R'	Índice de reducción sonora aparente
ΔR	Índice de mejora de reducción acústica
L	Nivel de presión sonora
L_n	Nivel de presión acústica de impactos normalizado
ΔL	Reducción del nivel de presión sonora de impactos
$D_{n,e}$	Diferencia de nivel normalizada
D_{nT}	Diferencia de nivel estandarizada
S_s	Superficie del elemento separador
f	Frecuencia
m	Masa por unidad de superficie
L_w	Nivel global de presión de ruido de impactos
R'_w	Índice ponderado de reducción acústica aparente global
R_{Dd}	Índice de reducción acústica para la transmisión directa
R_{Ff}	Índice de reducción acústica para la transmisión entre flancos
R_{Df}	Índice de reducción acústica para la transmisión entre elemento separador y flancos del recinto receptor
R_{Fd}	Índice de reducción acústica para la transmisión entre flancos del recinto emisor y el elemento separador
K_{ij}	Índice de reducción vibratorio para el camino de transmisión entre los elementos i y j
l_f	Longitud de acoplamiento de la unión entre el elemento separador y los elementos laterales F y f

l_0	Longitud de acoplamiento de referencia
$\Delta L_{d,w}$	Reducción ponderada de nivel de presión sonora de una capa adicional en el lado receptor del elemento separador
$D_{2m,nT}$	Diferencia de nivel estandarizada medida a 2 metros de la fachada
ΔL_{fs}	Diferencia de nivel debida a la forma de la fachada
C_{Sab}	Constante de Sabine
Ψ	Fracción del objeto
c_0	Velocidad del sonido en el aire
R_{situ}	Índice de reducción aparente de un elemento medido in situ
R_{lab}	Índice de reducción aparente de un elemento medido en laboratorio
L_{situ}	Nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido in situ
L_{lab}	Nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido in en laboratorio
$D_{nT,A}$	Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A
R'_A	Índice global de reducción acústica aparente, ponderado A
$m'_{\perp i}$	Masa por unidad de superficie del elemento perpendicular a i que forma la unión
m'_i	Masa por unidad de superficie del elemento i en el camino ij
$D_{2m,nT,A}$	Diferencia de niveles estandarizada medida a 2 metros, ponderada A
l_{ij}	Longitud común de la arista de unión entre el elemento i y el j
\overline{m}_m	Coefficiente de absorción acústica medio en el aire
L_d	Índice de ruido diurno
$D_{2m,nT,Atr}$	Diferencia de niveles estandarizada medida a 2 metros, ponderada A para ruido de tráfico

1 INTRODUCCIÓN

El ruido es una fuente de contaminación que, históricamente, ha quedado opacada por otras como pueden ser la contaminación atmosférica, la lumínica o la del agua. Esto se debe a la falta de conocimiento sobre las consecuencias de la exposición al mismo en los humanos y sobre las relaciones dosis-respuesta. Sin embargo, según indicó la Organización Mundial de la Salud en su documento “Guidelines for community noise” de 1999 [1], en la Unión Europea, un 40% de la población está expuesta a ruido de tráfico rodado con niveles superiores a 55 dBA durante el día, y un 20% está expuesta a niveles mayores que 65 dBA. Por la noche, más de un 30% de la población se expone a niveles de presión sonora por encima de 55 dBA [1].

El problema del ruido, comparado con otros problemas medioambientales, sigue creciendo acompañado de un incremento de quejas de las personas afectadas. La OMS también indica los siguientes números a futuro respecto a la contaminación acústica y su impacto en los humanos [2]:

- Para 2050, se prevé que haya casi 2,5 billones de personas con pérdidas auditivas de algún grado, y al menos 700 millones requerirán rehabilitación.
- Debido a malas costumbres de escucha (poco seguras), más de 1 billón de jóvenes corren el riesgo de padecer pérdidas de audición permanentes que se podrían evitar.
- Con una inversión de menos de US\$ 1,40 por persona, se podrían ampliar los servicios de atención otológica y audiológica en el mundo.
- Tras 10 años, dicha inversión tendría un retorno de casi US\$ 16 por cada dólar invertido.

Actualmente, más del 5% de la población mundial (430 millones) padece de una pérdida discapacitante de audición la cual requiere de rehabilitación. Casi el 80% de los afectados pertenecen a países de ingresos bajos y medios.

En el “Libro verde de la Comisión Europea” [3], se comenta que, a mediados de los años 80, la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) determinó los siguientes valores como el umbral a partir del cual el ruido se empieza a considerar molesto (expresados en valores de Nivel continuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq}):

- A partir de 55-60 dBA el ruido causa molestia.
- Entre 60 y 65 dBA la molestia se incrementa considerablemente.
- En valores superiores a 65 dBA surgen perturbaciones de los modelos de comportamiento, síntomas del daño grave debido al ruido.

En el documento “Guidelines for community noise” [1], la OMS muestra una tabla en la que se indican los valores de referencia para el ruido en entornos específicos:

Specific environment	Critical health effect(s)	L_{Aeq} [dB(A)]	Time base [hours]	L_{Amax} fast [dB]
Outdoor living area	Serious annoyance, daytime and evening	55	16	-
	Moderate annoyance, daytime and evening	50	16	-
Dwelling, indoors	Speech intelligibility & moderate annoyance, daytime & evening	35	16	
Inside bedrooms	Sleep disturbance, night-time	30	8	45
Outside bedrooms	Sleep disturbance, window open (outdoor values)	45	8	60
School class rooms & pre-schools, indoors	Speech intelligibility, disturbance of information extraction, message communication	35	during class	-
Pre-school bedrooms, indoor	Sleep disturbance	30	sleeping-time	45
School, playground outdoor	Annoyance (external source)	55	during play	-
Hospital, ward rooms, indoors	Sleep disturbance, night-time	30	8	40
	Sleep disturbance, daytime and evenings	30	16	-
Hospitals, treatment rooms, indoors	Interference with rest and recovery	#1		
Industrial, commercial shopping and traffic areas, indoors and outdoors	Hearing impairment	70	24	110
Ceremonies, festivals and entertainment events	Hearing impairment (patrons:<5 times/year)	100	4	110
Public addresses, indoors and outdoors	Hearing impairment	85	1	110
Music and other sounds through headphones/ carphones	Hearing impairment (free-field value)	85 #4	1	110
Impulse sounds from toys, fireworks and firearms	Hearing impairment (adults)	-	-	140 #2
	Hearing impairment (children)	-	-	120 #2
Outdoors in parkland and conservations areas	Disruption of tranquillity	#3		

Figura 1.1 Valores de referencia para ruido ambiente en entornos específicos [1]

Donde:

- #1 significa lo más bajo posible.
- #2 indica presión sonora de pico (no $L_{AF,max}$) medida a 100 mm del oído.
- #3 indica que las áreas exteriores silenciosas existentes deben preservarse.
- #4 indica con auriculares y adaptado a valores de campo libre.

1.1 Los efectos del ruido sobre las personas

El ruido excesivo puede generar una gran variedad de problemas de distinta índole en las personas que se exponen a él. Entre estas afecciones se encuentran divididas principalmente en 2 grupos:

- Efectos audibles: en este grupo se encuentran las afecciones que pueden llegarse a considerar como discapacidad auditiva. Esta clase comprende 3 casos concretos:
 - Presbiacusia: es el proceso natural de envejecimiento de los oídos, que se traduce en una pérdida gradual de la capacidad auditiva [4]. Según Amando García en su libro “La contaminación acústica” [5], se demostró en 1962 que la presbiacusia, a pesar de ser un proceso natural, puede verse acelerada por la exposición al ruido. Concretamente, este estudio comprobó que las pérdidas auditivas que presentaban los miembros de una tribu de Sudán (bajo ruido ambiental) eran considerablemente menores que las de un grupo análogo estudiado en Estados Unidos.
 - Desviación temporal del umbral auditivo (TTS) [4]: es una disminución temporal de la sensibilidad auditiva. El TTS (Temporal Threshold Shift) depende del nivel sonoro, el espectro de frecuencias y la duración en el tiempo del ruido. Está empíricamente demostrado que los tonos puros son más nocivos que los ruidos de banda ancha.
 - Pérdida permanente del umbral auditivo (PTS) [4]: si las agresiones auditivas son más frecuentes, la recuperación se vuelve más costosa, hasta el punto en el que se vuelven pérdidas permanentes llamadas PTS (Permanent Threshold Shift). Este desplazamiento permanente del umbral no significa una pérdida total de la capacidad auditiva. A diferencia del TTS, según muestran los estudios realizados hasta la fecha del documento consultado [4], el PTS solo se ve influido por la energía total recibida, no depende ni de la variación temporal de la exposición ni de la distribución frecuencial del ruido.

La Asociación Médica Americana (A.M.A) dicta que el grado de pérdidas no debería superar los 25 dB promediados entre las bandas de frecuencia de 500 a 2000 Hz, en la siguiente tabla se expone dicho criterio de pérdidas:

Clase	Pérdida Audiométrica	Comprensión de una conversación
A	0-25 dBHL	Sin dificultad significativa
B	25-40 dBHL	Dificultades con la voz débil
C	40-55 dBHL	Dificultades con la voz normal
D	55-70 dBHL	Dificultad con la voz fuerte
E	70-90 dBHL	Únicamente oye gritos
F	>90 dBHL	No puede escuchar nada

Figura 1.2 Criterio de pérdida de audición según la A.M.A [4]

Estas pérdidas de la capacidad auditiva pueden venir acompañadas de otros problemas como son la percepción anormal del volumen, la distorsión (o paracusia) o el tinnitus (o acúfenos) [6].

- Efectos no audibles: más allá de la pérdida de audición, la exposición al ruido trae también consigo la producción de estados de estrés en las personas los cuales, a su vez, conllevan una serie de efectos perjudiciales asociados:
 - Efectos fisiológicos: el ruido, aparte del oído, también causa afecciones a varios órganos y sentidos del cuerpo humano [4]:
 - I) Sistema nervioso central: alteraciones sobre los ritmos alfa, los niveles muy altos (~130 dB) modifican las corrientes cerebrales de forma parecida a los estados de agonía, exposiciones a ruido de entre 95 y 105 dB causa alteraciones de riesgo en determinadas zonas del cerebro.

- II) Sistema cardiovascular: efectos tanto temporales como permanentes a través de los sistemas endocrino y nervioso. El ruido funciona como un estresor que pone en un estado de alerta a ambos sistemas que tiene a su vez efectos sobre el sistema cardiovascular [6]. Estos efectos pueden ser tales como alteraciones del ritmo cardíaco, en personas con problemas coronarios, exposiciones de más de 10 minutos a niveles superiores a 90 dB ocasionan estados similares a la realización de importantes esfuerzos físicos. A partir de 90 dB también se producen alteraciones en la presión arterial.
 - III) Fatiga corporal.
 - IV) Glándulas endocrinas: se pueden ver alteraciones hipofisarias, suprarrenales, de la glucemia o gonadales.
 - V) Aumento de la frecuencia respiratoria.
 - VI) Alteraciones ácidas del estómago (Úlceras).
 - VII) Aumento de la viscosidad de la sangre y del riesgo de sufrir trombosis.
 - VIII) Niveles de más de 110 dB producen un estrechamiento del campo visual especialmente peligroso en casos como la conducción.
- Efectos psicoacústicos [1] [4] [6]: uno de los aspectos más destacados en esta categoría son los cambios en el comportamiento y la agresividad, así como la irritabilidad, la intolerancia y el mal humor. A estos problemas se les puede sumar también la interrupción del sueño y el mal descanso, interferencias en la comunicación oral o incluso la aceleración e intensificación del desarrollo de enfermedades mentales latentes.

Otro problema psicoacústico del ruido es la interferencia con actividades mentales y motoras. Un fondo acústico monótono puede generar somnolencia, el ruido puede también suponer una competencia para el mecanismo de atención o puede generar una sobrecarga de estímulos (Probablemente acompañada de una sensación de molestia o de estímulos no deseados).

Finalmente, en la siguiente figura se muestra un esquema resumen bastante visual de los efectos mencionados anteriormente:



Figura 1.3 Resumen de los efectos del ruido [7]

1.2 ¿Cómo afrontar el problema del ruido?

A lo largo de los años, distintas organizaciones, tanto internacionales como nacionales, se han dado cuenta de la importancia de la contaminación acústica y han comenzado a tomar medidas de control y a crear planes de acción. Estas medidas van desde medidas regulatorias hasta a acciones directas. A continuación, se comentarán algunas de estas soluciones.

Según indica Amando García en su libro [5], el proceso lógico del control del ruido se divide en cuatro fases. La primera consiste en la realización de medidas de los niveles de ruido y la identificación de las fuentes principales. La segunda fase abordaría la formulación de los objetivos a alcanzar en casos concretos, objetivos relacionados con cuestiones tales como el grado de molestia que genera una situación específica, la respuesta ante el ruido que produce un producto debido a su uso por el consumidor o el cumplimiento de la legislación vigente. Una tercera fase que consistiría en la aplicación de los principios técnicos adecuados para conseguir dichos objetivos. Y, por último, una cuarta fase para la comprobación de la efectividad de las medidas tomadas.

En el marco europeo, la Comisión de las Comunidades Europeas, en su “Libro verde” [3], define una serie de políticas para reducir la exposición al ruido y la aplicación de las mismas. En dicho documento se exponen los tres planteamientos básicos para reducir el ruido ambiental, que son:

- Reducir el ruido en la fuente (máquinas, motores, el roce de neumáticos y carreteras, reducción del volumen de tráfico, etc.)
- Limitar la transmisión del ruido mediante el uso de barreras acústicas entre emisor y receptor.
- Reducir el ruido en el punto receptor mediante el aislamiento acústico de los edificios.

Por otro lado, la OMS publicó un documento llamado “A handbook on how to implement mSafeListening” [8], que funciona como una guía para la implementación y promoción de comportamientos de escucha segura y sanos para reducir la pérdida de audición generalizada que se prevé para la población mundial. Sin entrar en profundidad, una de las cosas más interesantes que enseña este libro es una gráfica en la que se resumen los niveles máximos permitidos para mantener una escucha segura, así como la duración de su exposición máxima semanal:

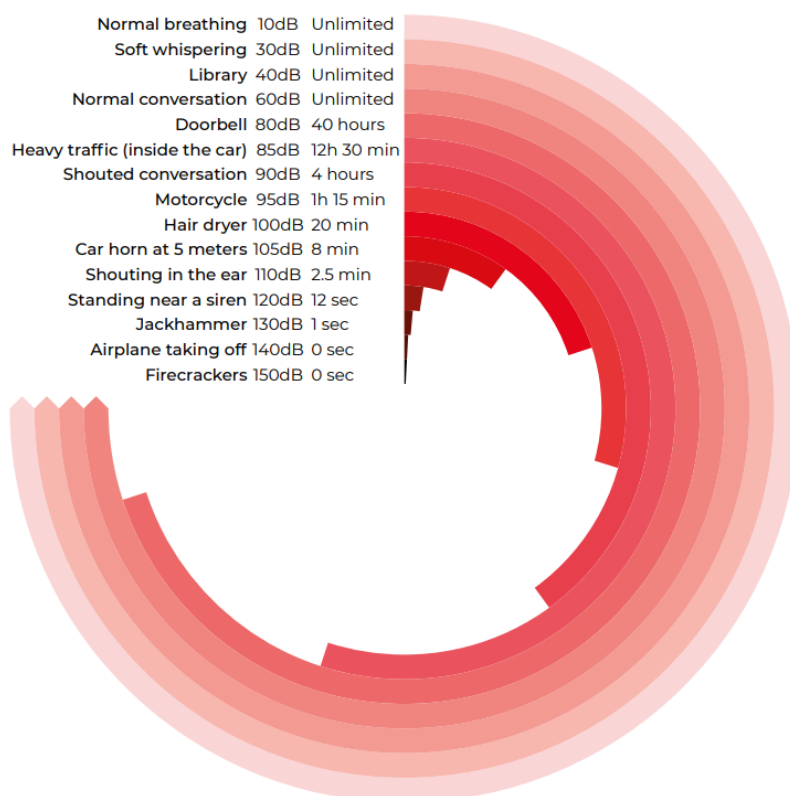


Figura 1.4 Niveles de ruido aproximados y tiempo de exposición permitidos a la semana para la escucha segura [8]

En el marco nacional, el Gobierno de España publicó en el Boletín Oficial del Estado (BOE) el Real Decreto 286/2006 [9], en el que se definen diversas directivas específicas para abordar el problema del ruido en el entorno laboral del país, entre ellas, se definen una serie de valores límites de exposición al ruido a los que pueden enfrentarse los trabajadores expresados en niveles de exposición diaria y en niveles de pico. También se definen los parámetros con los que evaluar dichos valores y los métodos de medida.

Por otro lado, en España también existe el Código Técnico de la Edificación, el cual funciona como marco normativo referente a la habitabilidad y seguridad de las viviendas, el cual también incluye normas relativas al aislamiento acústico de las edificaciones. Este documento será el centro de este trabajo, por lo que se profundizará en él en los próximos capítulos.

1.3 Objetivos y alcance del trabajo

El principal objetivo de este documento, tal como indica su título, es la realización de un estudio acústico de una promoción de viviendas aplicando el Documento Básico de Protección frente al Ruido del CTE (DB-HR) [10]. Para ello se hará uso de una herramienta de cálculo desarrollada mediante la colaboración de la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento, con el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC.

Dicho estudio servirá como demostración del uso de la herramienta, con la cual se determinará su utilidad en el campo de la acústica. Como objeto de estudio se utilizarán una serie de viviendas definidas en el PFC de Elisa Rosso Sánchez, alumna del Máster de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, “De Parque de Artillería a Parque de Artesanía: viviendas ligadas a espacios de trabajo” [11].

Previo al estudio de los recintos, se dedicará un capítulo a la definición y explicación de los distintos conceptos claves necesarios para la comprensión del documento, así como de las normas de aplicación que definen los parámetros usados para el estudio de los edificios.

Finalmente, se expondrá una serie de conclusiones referentes al trabajo realizado y se plantearán las líneas de futuro a las que aspirar tras este proyecto.

2 LA ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA

El Documento Básico de Protección frente a Ruido del CTE [12] se basa en varios conceptos teóricos y normas internacionales, concretamente la familia de normas UNE-EN ISO 12354 [13] [14] [15] [16], para la definición de los métodos de cálculo de los diferentes indicadores acústicos que evalúa y para los que define unos determinados valores límite. A continuación, se detallarán una serie de conceptos, parámetros básicos y magnitudes empleados en la acústica arquitectónica.

2.1 Parámetros y conceptos básicos

2.1.1 Conceptos básicos

Algunos de los conceptos esenciales empleados en este campo son:

- Presión sonora (p): incremento variable de presión atmosférica debido a la presencia de energía sonora [17]. Se mide en pascuales.
- Potencia sonora (W): cantidad de energía sonora emitida por una fuente por unidad de tiempo [17]. Se mide en vatios.
- Intensidad sonora (I): cantidad de energía sonora que atraviesa una unidad de área normal a la dirección de propagación de la onda en la unidad de tiempo. Medida en vatios/m² [17].
- Decibelio (dB): unidad adimensional que toma de referencia el logaritmo en base 10 del cociente entre un valor medido y uno de referencia. El uso de estas unidades logarítmicas facilita el manejo de cantidades que, de otra manera, resultarían incómodas a la hora de realizar cálculos [17].
- Nivel de presión sonora (SPL): magnitud logarítmica usada para expresar el valor medio (RMS) de la presión sonora en decibelios. La definición de este valor se muestra en la ecuación 2.1 [18]:

$$SPL [dB] = 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right) = 10 \log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 \quad (2.1)$$

Siendo:

- p , valor medio de la presión sonora medida.
- p_0 , valor de referencia para la presión sonora en el aire. Su valor es de 20 μ Pa.
- Ponderación A: corrección aplicada a las medidas de nivel de presión sonora por bandas de octava o tercios de octava para que estas se asemejen más a la sensibilidad del oído humano. Se basan en las curvas isofónicas. Las medidas a las que se les ha aplicado esta corrección se denotan como dBA.

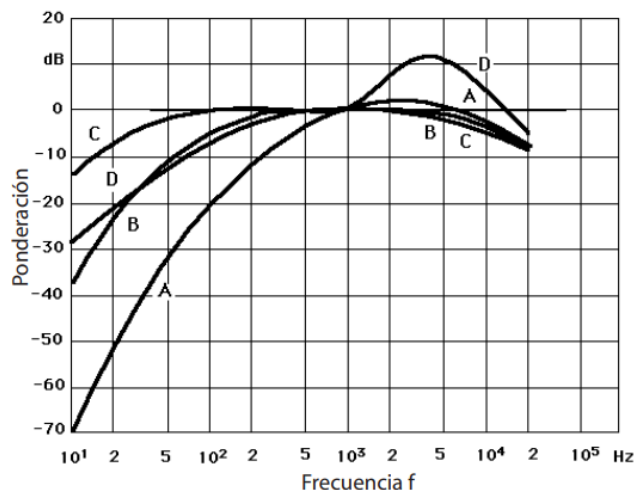


Figura 2.1 Curvas de ponderación de los filtros A, B, C y D [18]

- Coeficiente de absorción de un elemento: tanto un objeto como podría ser un mueble, como un elemento constructivo (por ejemplo, una pared) poseen un parámetro acústico común, el coeficiente de absorción acústica. Este parámetro se define como la relación entre la energía sonora absorbida por el material y la energía incidente en el mismo, tal y como se muestra en la fórmula siguiente [19]:

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}} \quad (2.2)$$

- Área de absorción equivalente: a partir del concepto anterior, se puede definir como la superficie de absorción acústica que le corresponde a un objeto o material en función de su α correspondiente y el espacio que ocupa en el recinto. El área de absorción equivalente se calcula según la ecuación 2.3 [20]:

$$A = \alpha S \quad (2.3)$$

Siendo:

- α el coeficiente de absorción del material en cuestión.
- S la superficie total de dicho material o elemento, en m².
- Tiempo de reverberación: tiempo que transcurre desde que se apaga una fuente sonora hasta que la energía decae a una millonésima parte de su valor inicial. Esto corresponde al tiempo en que el nivel se reduce en 60 dB [18]. En una sala el tiempo de reverberación puede obtenerse en base tanto a mediciones como a cálculos. En este segundo caso, a lo largo de la historia, se han definido varias fórmulas para la estimación del tiempo de reverberación de un recinto, siendo la más usada y extendida la de Sabine, que se muestra en la ecuación 2.4 [19]:

$$RT = 0,161 \frac{V}{A_{tot}} \quad (s) \quad (2.4)$$

Donde:

- V es el volumen del recinto, en m³.
- A_{tot} es el área de absorción equivalente total de la sala, en m², que se calcula como la suma de las A correspondientes de cada elemento constructivo presente en el recinto.

- Campo difuso: una de las principales suposiciones tomadas en las mediciones de aislamiento sonoro es que el campo sonoro en un recinto se puede considerar difuso. Esto significa que la distribución energética del sonido es uniforme en el espacio y, si escogemos cualquier punto del recinto, las ondas sonoras llegarán con fase aleatoria y la probabilidad de llegada será igual para cualquier dirección. Esta suposición permite la simplificación de muchos cálculos y medidas acústicas [21].
- Bandas de octava y tercio de octava: son una división del espectro de frecuencias en grupos de tamaño exponencialmente mayor. En cada banda, la frecuencia más alta es el doble de la más baja, y se identifican por su frecuencia central. El uso de estas divisiones facilita enormemente el análisis de los resultados acústicos. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de cómo se representan las bandas de frecuencia en estos casos.

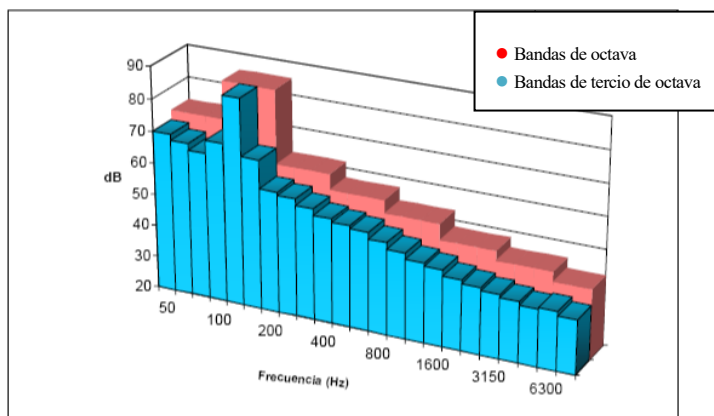


Figura 2.2 Representación visual de bandas de octava y de tercio de octava [22]

Octave Band Center Frequency	Band Limits	One-third Octave Centers	Band Limits
31.5	22	25	22
		31.5	28
63	44	40	35
		50	44
		63	57
125	88	80	71
		100	88
		125	113
		160	141
250	176	200	176
		250	225
		315	283
		400	353
		500	440
500	353	500	565
		630	707
		800	880
		1000	1130
		1250	1414
		1600	1760
1 K	707	2000	2250
		2500	2828
		3150	3530
		4000	4400
		5000	5650
		6300	7070
		8000	8800
2 K	1414	10000	11300
		12500	14140
		16000	17600
		20000	22500
		25000	28280
		31500	35300
		40000	44000
		50000	56500
4 K	2828	63000	70700
		80000	88000
		100000	113000
		125000	141400
		160000	176000
		200000	225000
		250000	282800
		315000	353000
		400000	440000
8 K	5650	500000	565000
		630000	707000
		800000	880000
		1000000	1130000
		1250000	1414000
		1600000	1760000
		2000000	2250000
		2500000	2828000
		3150000	3530000
		4000000	4400000
16 K	11300	5000000	5650000
		6300000	7070000
		8000000	8800000
		10000000	11300000
		12500000	14140000
		16000000	17600000
		20000000	22500000
		25000000	28280000
		31500000	35300000
		40000000	44000000
		50000000	56500000
31.5 K	22	25	22
		31.5	28
		40	35
		50	44
		63	57
		80	71
		100	88
		125	113
		160	141
		200	176
		250	225
		315	283
400	353		
500	440		
630	565		
800	707		
1000	880		
1250	1130		
1600	1414		
2000	1760		
2500	2250		
3150	2828		
4000	3530		
5000	4400		
6300	5650		
8000	7070		
10000	8800		
12500	11300		
16000	14140		
20000	17600		
25000	22500		

Figura 2.3 División del espectro audible en bandas de octava y de un tercio de octava [23]

2.1.2 Magnitudes acústicas de interés en construcción

Los diferentes elementos constructivos que conforman un recinto se pueden caracterizar mediante una serie de magnitudes que son utilizadas para cuantificar, regular y monitorizar los diferentes aspectos acústicos que resultan de interés a la hora de caracterizar un recinto. A continuación, se definen las distintas magnitudes con las que se trabaja en la acústica arquitectónica.

2.1.2.1 Magnitudes que describen características de los elementos constructivos:

En acústica, la principal magnitud para describir la capacidad de aislamiento a ruido aéreo que posee un elemento es el índice de reducción acústica, que se puede definir como la proporción existente entre la potencia acústica incidente en el elemento y la transmitida a través del mismo. Esta relación se muestra en la ecuación 2.5 [13]:

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad (2.5)$$

Donde:

- W_1 es la potencia acústica incidente sobre el elemento constructivo.
- W_2 es la potencia transmitida a través del elemento.

En el caso de que los campos acústicos de ambos recintos separados por el elemento sean totalmente difusos, y que la transmisión de la energía se produzca únicamente por la muestra, el índice de reducción acústica se puede definir como la diferencia de entre el nivel de presión sonora entre los recintos (con un ajuste en función de la superficie del elemento y el área de absorción equivalente del recinto receptor). Esta definición se muestra en la ecuación 2.6 [13]:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (2.6)$$

Siendo:

- L_1 el nivel de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
- L_2 el nivel de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
- A el área de absorción equivalente de la sala receptora, en m^2 .
- S la superficie del elemento separador, en m^2 .

Otra magnitud que suele relacionarse con elementos de revestimiento (como trasdosados o suelos flotantes) es el índice de mejora de reducción acústica ΔR . Esta magnitud indica la diferencia entre el aislamiento que se consigue con un elemento base más el revestimiento y el aislamiento del elemento base sin la capa de refuerzo.

$$\Delta R = R_{con\ revestimiento} - R_{sin\ revestimiento} \quad (2.7)$$

También se pueden caracterizar elementos técnicos (como por ejemplo conductos) a partir de la diferencia de nivel normalizada (respecto al área de absorción acústica equivalente de referencia) del elemento, calculada como se muestra en la siguiente fórmula [13]:

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 - 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad (2.8)$$

Donde:

- L_1 es el nivel de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
- L_2 es el nivel de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
- A es el área de absorción equivalente de la sala receptora, en m^2 .

- A_0 es el área de absorción equivalente de referencia, con un valor de 10 m^2 .

La ecuación 2.8 puede usarse de la misma manera para calcular la transmisión de ruido aéreo por vía indirecta (flancos), que se denominará $D_{n,f}$.

Cuando se desea hablar de ruido de vibraciones, se utilizan magnitudes diferentes, la magnitud más básica en este caso es el nivel de presión acústica de impactos normalizado L_n , que se calcula como se muestra en la ecuación 2.9 [14]:

$$L_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad (2.9)$$

Con:

- L_i el nivel de presión sonora de impactos medido en la sala receptora producido por una máquina de impactos normalizada según la Norma ISO 16283-2, en dB.
- A el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor, en m^2 .
- A_0 el área de absorción equivalente de referencia, con un valor de 10 m^2 .

Análogo al caso del ruido aéreo, para el ruido de impactos se define la reducción del nivel de presión sonora de impactos ΔL conseguido por el uso de un revestimiento (suelo flotante). Este se calcula según la ecuación 2.10 [14]:

$$\Delta L = L_{n,\text{sin revestimiento}} - L_{n,\text{con revestimiento}} \quad (2.10)$$

Esta magnitud se define para revestimientos en el lado emisor, si se habla de un revestimiento colocado en la sala receptora, la notación correspondiente es ΔL_d .

2.1.2.2 Magnitudes que describen el rendimiento de los edificios (características entre recintos):

Por lo general, en una construcción no se cumplen las condiciones necesarias como para definir el aislamiento de un solo elemento constructivo debido a las transmisiones indirectas, es por ello que el rendimiento acústico de un edificio se calcula por parejas de recintos. Para estas parejas, la primera magnitud que se podría definir es la diferencia de nivel estandarizada, que se calcula según se muestra en la ecuación 2.11:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.11)$$

Donde:

- L_1 es el nivel de presión sonora medido en la sala emisora, en dB.
- L_2 es el nivel de presión sonora medido en la sala receptora, en dB.
- T es el tiempo de reverberación del recinto receptor, en segundos.
- T_0 es el tiempo de reverberación de referencia, que vale $0,5 \text{ s}$.

Si en la ecuación 2.11, se sustituye el tercer término por $-10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right)$, tal como se ve en la fórmula 2.6, se obtiene la diferencia de nivel normalizada D_n .

En el caso de las fachadas, la diferencia de nivel se denomina $D_{2m,nt}$ debido a que el “recinto emisor” es el exterior y se toman las medidas de nivel de presión sonora a 2 metros de la fachada.

Otra magnitud que puede utilizarse para definir el aislamiento en un edificio es el índice de reducción acústica aparente, R' . Este índice es el equivalente al R usado para los elementos, pero cuando no se pueden despreciar las transmisiones de ruido por flancos, por lo que se define para una pareja de recintos medidos in situ. La ecuación para calcular esta magnitud se muestra en la 2.12 [13]:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S_s}{A} \right) \quad (2.12)$$

Siendo:

- L_1 el nivel de presión sonora en el recinto emisor, en dB.
- L_2 el nivel de presión sonora en el recinto receptor, en dB.
- A el área de absorción equivalente de la sala receptora, en m^2 .
- S_s la superficie del elemento separador, en m^2 .

El concepto del índice aparente es también aplicable al ruido de impactos, aunque en este caso a las magnitudes no se les llama aparentes, simplemente se denotan con el apóstrofe. En conclusión, los índices R y L que van sin comilla se refieren a valores medidos en laboratorio (condiciones controladas e ideales) y los R' y L' indican que son valores medidos in situ (condiciones reales en las que influyen las transmisiones indirectas).

2.1.3 Valores globales y la Norma UNE-EN ISO 717

Las magnitudes vistas en el apartado anterior, y las referentes al tiempo de reverberación, son datos que suelen ser calculados en bandas de tercio de octava o bandas de octava. Usarlos de esa forma hace que los cálculos resulten muy aparatosos, es por ello que, para agilizar dichos cálculos y hacer el análisis de resultados más rápidos, existe una norma que define un método para calcular los valores globales de las magnitudes de aislamiento, un único valor que “reúne” la información aportada por bandas de frecuencia. Esta norma es la UNE-EN ISO 717 [24] [25], y se divide en dos partes, una para el aislamiento a ruido aéreo y otra para impactos.

En ambos casos (ruido aéreo y de impactos) se utiliza un método de comparación para el cálculo de los valores globales mediante el uso de una curva de referencia.

En el caso del ruido aéreo (R, D y sus respectivas variaciones), la curva de referencia tiene los siguientes valores:

Frecuencia	Valores de referencia	
	dB	
Hz	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1 000	55	
1 250	56	
1 600	56	56
2 000	56	
2 500	56	
3 150	56	

Tabla 2.1 Valores de referencia para el aislamiento a ruido aéreo [24]

Representando estos valores gráficamente se obtiene la curva mostrada en la figura 2.:

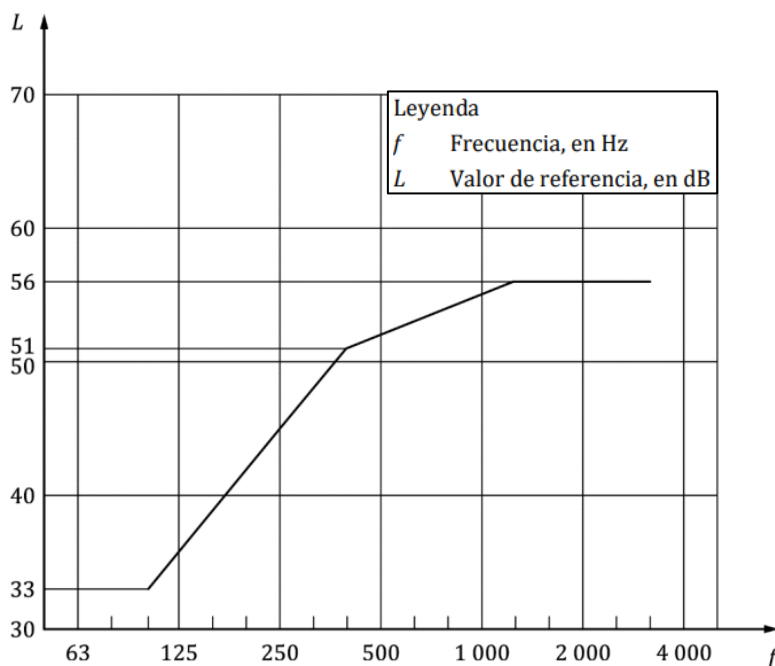


Figura 2.4 Curva de referencia para el aislamiento a ruido aéreo en tercios de octava [24]

Para la comparación de los resultados, estos deben expresarse con una sola cifra decimal, se desplaza la curva de referencia en incrementos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables se lo más cercana a 32,0 dB en tercios de octava (16 bandas), o 10,0 dB en octavas (5 bandas) pero sin superar dichas cantidades. Las desviaciones desfavorables se producen cuando, en una determinada frecuencia, el valor medido es inferior al de referencia. Una vez ajustada la curva de referencia, el valor global correspondiente será al de dicha curva desplazada en la banda de 500 Hz.

En el caso del aislamiento acústico a ruido de impactos, la tabla con los valores de la curva de referencia es la siguiente:

Frecuencia Hz	Valores de referencia dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	62	67
125	62	
160	62	
200	62	67
250	62	
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1 000	57	62
1 250	54	
1 600	51	
2 000	48	49
2 500	45	
3 150	42	

Tabla 2.2 Valores de referencia para el aislamiento a ruido de impactos [25]

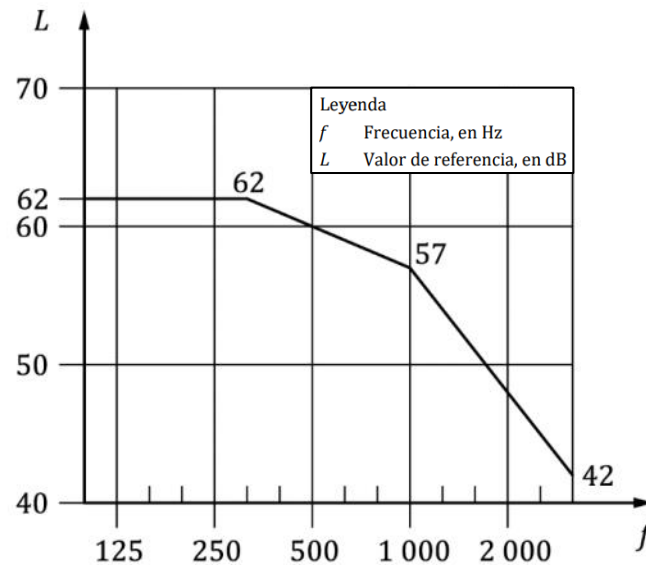


Figura 2.5 Curva de referencia para el aislamiento a ruido de impactos en tercios de octava [25]

Para el cálculo de la magnitud global, al igual que con el ruido aéreo, los resultados de las mediciones se deben expresar con una única cifra decimal. La curva de referencia se desplaza en pasos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables se lo mayor posible, pero sin superar los 32,0 dB en el caso de usar bandas de un tercio de octava o 10,0 dB en el caso de bandas de octava. Para el ruido de impactos, las desviaciones desfavorables se dan cuando el valor medido es superior al de la curva de referencia. Tras ajustar las curvas, el valor de la magnitud global será el de la curva de referencia a 500 Hz.

En ambos casos, si lo que se desea es expresar la incertidumbre de las medidas, los incrementos de la curva de referencia serán de 0,1 dB. En cuanto a nomenclatura, los valores globales se expresan añadiendo el subíndice “w” a la medida correspondiente (por ejemplo: R_w , $D_{nT,w}$, $L'_{nT,w}$ o $L_{n,w}$).

2.1.4 Parámetros característicos de los elementos constructivos

Los distintos elementos constructivos usados en los edificios están definidos por distintos parámetros. En el caso de los elementos de separación vertical, la tabiquería y la fachada serán los siguientes:

- m , masa por unidad de superficie del elemento base (kg/m^2)
- R_A , índice global de reducción acústica, ponderado A, del elemento base (dBA)
- ΔR_A , mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, del trasdosado (dBA)

Por otro lado, los elementos de separación horizontal vienen definidos por:

- m , masa por unidad de superficie del forjado (corresponde al valor de masa por unidad de superficie de la sección tipo del forjado, excluyendo ábacos, vigas y macizados) (kg/m^2)
- R_A , índice global de reducción acústica, ponderado A, del forjado (dBA)
- ΔL_w , reducción del nivel global de presión de ruido de impactos debida al suelo flotante (dB)
- ΔR_A , mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, debida al suelo flotante o al techo suspendido (dBA)

2.1.5 Tipos de recinto

Otro concepto importante para la buena comprensión del DB-HR es la definición de los distintos tipos de recinto que se pueden encontrar en un edificio. Éstos se dividen en:

- Recinto habitable: estancia interior destinada al uso de personas que, debido al tiempo y densidad de ocupación, requiere unas condiciones acústicas adecuadas. Los siguientes son considerados recintos habitables:
 - a) Habitaciones y estancias en edificios residenciales.
 - b) Aulas, salas de conferencias, bibliotecas y despachos en edificios docentes.
 - c) Quirófanos, habitaciones y salas de espera en hospitales u otros edificios sanitarios.
 - d) Oficinas, despachos y salas de reuniones en edificios administrativos.
 - e) Cocinas, baños, aseos, pasillos, distribuidores y escaleras en cualquier tipo de edificio.
 - f) Cualquier otro recinto con un uso asimilable a los anteriores.
- Recinto protegido: dentro de los recintos habitables hay algunos que, debido a su uso, requieren mejores características acústicas. A este grupo pertenecen los recintos de los casos a), b), c) y d) de la definición anterior. En el caso de un recinto con varios usos, si uno de éstos es protegido, la totalidad del recinto se considera como tal.
- Recinto de actividad: recintos en los que se realiza una actividad diferente a la del resto de recintos del edificio en el que se encuentra, siempre que el nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, del recinto sea mayor que 70 dBA. A partir de 80 dBA se considera recinto ruidoso.
- Recinto de instalaciones: contiene equipos de instalaciones colectivas del edificio, como por ejemplo transformadores eléctricos o bombas de agua. Según el DB-HR, los recintos de ascensores solo se consideran de instalaciones si la maquinaria se encuentra en los mismos.

Finalmente, un último concepto importante relacionado con las diferentes estancias de una edificación son las unidades de uso. Estas son un edificio o parte de un edificio con un uso concreto, en el cual los usuarios están relacionados entre sí, ya sea por pertenecer a la misma familia, empresa, asociación... o por ser parte de un grupo que realiza una misma actividad. Por ejemplo, en un edificio de viviendas, cada vivienda se corresponde a una unidad de uso diferente, o en un hospital cada una de las habitaciones.

2.1.6 Tipos de soluciones constructivas

En la aplicación del DB-HR, se contemplan tres tipos diferentes de elementos de separación verticales, los cuales se explican a continuación:

- Tipo 1: Sistemas compuestos por un elemento base de 1 o 2 hojas de fábrica, hormigón o paneles prefabricados pesados. Pueden o no tener un trasdosado.
- Tipo 2: Estos sistemas están formados por 2 hojas de fábrica o paneles prefabricados pesados y tienen bandas elásticas perimetrales en los encuentros de al menos una de las hojas con forjados, suelos, techos, pilares y fachadas.
- Tipo 3: Elementos de 2 hojas de entramado autoportante.

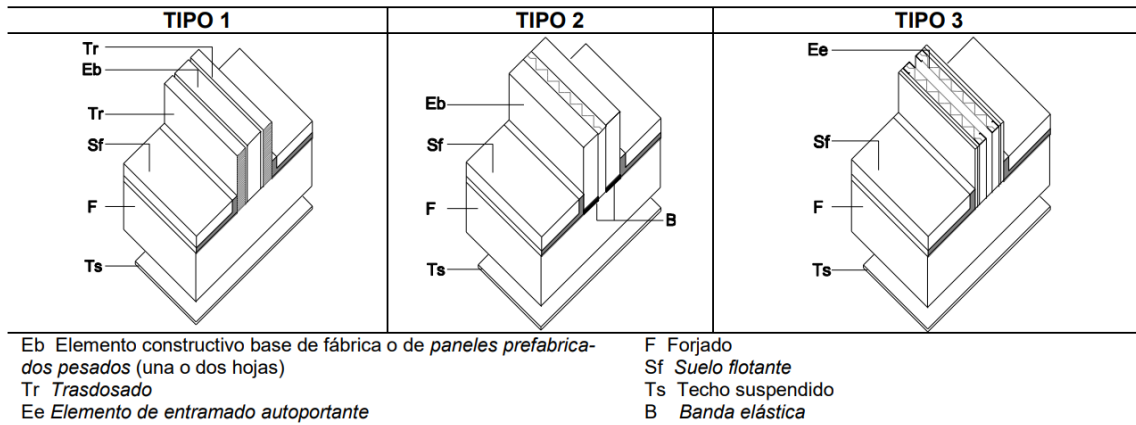


Figura 2.6 Tipos de elementos de separación vertical [12]

2.2 La Norma UNE-EN ISO 12354

La norma 12354 recoge las pautas a seguir para la estimación de las características acústicas de los edificios a partir de sus elementos propios. Esta norma está dividida en 6 partes, de las cuales, para este trabajo, resultan de interés la 1, 2, 3 y 6 que son en las que posteriormente se basará el DB-HR.

2.2.1 Parte 1: Aislamiento acústico al ruido aéreo entre recintos

En la primera parte de esta norma, se definen los métodos de cálculo para estimar el aislamiento acústico existente a ruido aéreo entre dos recintos de un edificio. Para ello, se basa tanto en medidas de la transmisión a través de los elementos constructivos como en los métodos teóricos de propagación acústica en los elementos constructivos.

El procedimiento de cálculo puede llevarse a cabo según dos modelos distintos descritos en la norma, éstos son el detallado y el simplificado. En este capítulo se profundizará únicamente en el segundo, ya que el modelo detallado usa datos relativos al comportamiento in situ de los elementos estructurales que son complejos de obtener y procesar para su aplicación. Estas dificultades han llevado a la extensión del uso del modelo simplificado debido a, como su nombre indica, su sencillez y a que los resultados obtenidos por el mismo son más que suficientes para estimar el desempeño acústico de un recinto.

El modelo de cálculo simplificado permite predecir el índice ponderado de reducción acústica aparente global entre dos recintos a partir de los índices de reducción acústica ponderados de los elementos constructivos implicados siguiendo la ecuación 2.13 [13]:

$$R'_w = -10 \log \left[10^{-\frac{R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-\frac{R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{-\frac{R_{Fd,w}}{10}} + \frac{A_o}{S_s} \sum_j^m 10^{-\frac{D_{n,j,w}}{10}} \right] \quad (2.13)$$

Siendo:

- $R_{Dd,w}$ el índice de reducción acústica para la transmisión directa en dB.
- $R_{Ff,w}$ el índice de reducción acústica para la transmisión entre flancos en dB.
- $R_{Df,w}$ el índice de reducción acústica para la transmisión entre el elemento separador y un flanco del recinto receptor en dB.
- $R_{Fd,w}$ el índice de reducción acústica para la transmisión entre un flanco del recinto emisor y el elemento separador en dB.
- n el número de elementos de flanco del recinto (normalmente 4).
- A_o el área de absorción equivalente de referencia, $A_o = 10 \text{ m}^2$.
- m el número de elementos o de sistemas de transmisión a ruido aéreo.
- S_s el área del elemento separador en m^2 .

- $D_{n,j,w}$ la diferencia de nivel sonoro normalizada ponderada para la transmisión a ruido aéreo a través de un pequeño elemento técnico o un sistema de transmisión a ruido aéreo en dB.

Para el cálculo de los R_{ij} se usa la ecuación 2.14 [13]:

$$R_{ij} = \frac{R_i}{2} + \Delta R_i + \frac{R_j}{2} + \Delta R_j + K_{ij} + 10 \log \left(\frac{S_S}{l_0 l_f} \right) \quad (2.14)$$

Donde:

- R_i y R_j son los índices de reducción acústica ponderados de los elementos i y j respectivamente en dB.
- ΔR_i es la mejora del índice de reducción acústica del elemento i debido a revestimientos adicionales.
- K_{ij} es el índice de reducción vibratorio para el camino de transmisión entre los elementos i y j en dB.
- S_S es el área del elemento separador en m^2 .
- l_f es la longitud de acoplamiento de la unión entre el elemento separador y los elementos laterales F y f en metros.
- l_0 es la longitud de acoplamiento de referencia, que corresponde a 1 m.

Particularizando la ecuación 2.3 y siguiendo la misma nomenclatura usada hasta el momento, se obtiene el grupo de ecuaciones 2.15 [13]:

$$\begin{aligned} R_{Dd,w} &= R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} \\ R_{Ff,w} &= \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + 10 \log \left(\frac{S_S}{l_0 l_f} \right) \\ R_{Fd,w} &= \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + \Delta R_{Fd,w} + K_{Fd} + 10 \log \left(\frac{S_S}{l_0 l_f} \right) \\ R_{Df,w} &= \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Df,w} + K_{Df} + 10 \log \left(\frac{S_S}{l_0 l_f} \right) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Finalmente, para calcular la mejora del índice de reducción acústica de los elementos, ΔR_{ij} , se deberá utilizar una de las dos ecuaciones siguientes (2.16) en función del caso a manejar [13]:

Caso 1 revestimiento:

$$\Delta R_{ij} = \Delta R_i \text{ o } \Delta R_{ij} = \Delta R_j$$

Caso 2 revestimientos:

$$\Delta R_{ij} = \Delta R_i + \frac{\Delta R_j}{2} \text{ o } \Delta R_{ij} = \Delta R_j + \frac{\Delta R_i}{2} \quad (2.16)$$

Se elige como valor mitad el menor de ambos índices.

2.2.2 Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos

Esta segunda parte de la norma describe modelos de cálculo para estimar el aislamiento acústico existente a ruido de impactos entre dos recintos distintos de un edificio. Para ello, al igual que la primera parte, se basa también tanto en medidas de la transmisión a través de los elementos constructivos como en los métodos teóricos de propagación acústica en los elementos constructivos.

La parte 2 de la norma, al igual que la 1, define tanto un modelo de cálculo detallado como uno simplificado y, como con su precedente, se profundizará únicamente en el segundo modelo.

El modelo simplificado define las ecuaciones necesarias para calcular los niveles de presión acústica de impactos normalizados ponderados tanto para la trayectoria directa como para la indirecta. La fórmula para la transmisión directa es la mostrada en la ecuación 2.17 [14]:

$$L_{n,d,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w - \Delta L_{d,w} \quad (2.17)$$

Siendo:

- $L_{n,eq,0,w}$ el nivel de presión acústica de impactos normalizado equivalente en el suelo desnudo.
- ΔL_w la reducción ponderada de nivel de presión sonora debida al revestimiento del suelo.
- $\Delta L_{d,w}$ la reducción ponderada de nivel de presión sonora de una capa adicional en el lado receptor del elemento separador. Esta medida no suele estar disponible y se suele igualar a la mejora del índice de reducción acústica $\Delta R_{d,w}$.

La ecuación 2.18 presenta la forma de calcular el nivel de presión acústica de impactos normalizado ponderado transmitido por flancos [14]:

$$L_{n,ij,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + \frac{R_{i,w} - R_{j,w}}{2} - \Delta R_{j,w} - K_{ij} - 10 \log \left(\frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right) \quad (2.18)$$

Donde:

- $R_{i,w}$ es el índice de reducción acústica ponderado del suelo.
- $R_{j,w}$ es el índice de reducción acústica ponderado del elemento j.
- K_{ij} es el índice de reducción vibratorio de la trayectoria ij.
- $\Delta R_{j,w}$ es la mejora del índice de reducción acústica ponderado debida a una capa adicional en el lado receptor del elemento j.

El conjunto de ecuaciones 2.19 muestra la forma de calcular el parámetro $L_{n,eq,0,w}$ para el caso de suelos homogéneos tanto como para los parcialmente homogéneos [14]:

Suelos homogéneos:

$$L_{n,eq,0,w} = 164 - \left(35 \log \left(\frac{m'}{1 \frac{kg}{m^2}} \right) \right) \quad (2.19)$$

Suelos parcialmente homogéneos:

$$L_{n,eq,0,w} = 160 - \left(35 \log \left(\frac{m'}{1 \frac{kg}{m^2}} \right) \right)$$

Siendo m' la masa por unidad de superficie del suelo.

Finalmente, con los cálculos anteriores, la ecuación para obtener el nivel de presión acústica de impactos total en el recinto receptor se muestra en la 2.20 [14]:

$$L'_{n,w} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{n,d,w}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{n,ij,w}}{10}} \right) \quad (2.20)$$

2.2.3 Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo frente al ruido exterior

En la tercera parte de la norma 12354 se define el modelo de cálculo para estimar el aislamiento acústico o la diferencia de nivel de presión sonora que proporciona una fachada u otra superficie externa de un edificio al ruido del exterior. En el caso de esta parte, al contrario que las dos anteriores, solo se define un método, que se explicará a continuación.

La ecuación principal de este modelo es la usada para calcular el índice de reducción acústica aparente R' de la fachada para un campo acústico incidente difuso. Esta fórmula se muestra en la ecuación 2.21 [15]:

$$R' = -10 \log \left(\sum_{i=1}^n \tau_{e,i} + \sum_{f=1}^m \tau_f \right) \text{ dB} \quad (2.21)$$

Siendo:

- $\tau_{e,i}$ la relación entre la potencia acústica radiada por un elemento de fachada i , debido a la transmisión directa del sonido incidente sobre dicho elemento, y la potencia acústica incidente sobre la totalidad de la fachada.
- τ_f la relación entre la potencia acústica radiada por una fachada o elemento lateral f en el recinto receptor debido a la transmisión indirecta, y la potencia acústica incidente sobre la totalidad de la fachada.
- n el número de elementos de la fachada en transmisión directa.
- m el número de elementos de la fachada en transmisión lateral.

Las ecuaciones 2.22 y 2.23 muestran la forma de determinar el índice de reducción acústica aparente de la fachada [15]:

$$R'_{45^\circ} = R' + 1 \text{ dB} \quad (2.22)$$

$$R'_{tr,s} = R' \text{ dB} \quad (2.23)$$

La diferencia de nivel estandarizada de una fachada se puede calcular de la siguiente manera (ecuación 2.24) [15]:

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(C_{Sab} \frac{V}{T_0 S} \right) \text{ dB} \quad (2.24)$$

Donde:

- C_{Sab} es la constante de Sabine, con un valor de 0,16 s/m.
- V es el volumen del recinto receptor, en m^3 .
- S es la superficie de la fachada vista desde el interior del recinto, en m^2 .
- ΔL_{fs} es la diferencia de nivel debida a la forma de la fachada en dB.

Para el cálculo de $\tau_{e,i}$ la Norma propone dos ecuaciones, una para elementos técnicos pequeños y otra para otros elementos, dichas fórmulas se muestran en las ecuaciones 2.25 y 2.26 respectivamente [15]:

$$\tau_{e,i} = \frac{A_0}{S} 10^{-\frac{D_{n,e,i}}{10}}, \text{ con } A_0 = 10 \text{ m}^2 \quad (2.25)$$

$$\tau_{e,i} = \frac{S_i}{S} 10^{-\frac{R_i}{10}} \quad (2.26)$$

Siendo:

- $D_{n,e,i}$ la diferencia de nivel acústico normalizado del pequeño elemento i , en dB.
- S la superficie de la fachada vista desde el interior del recinto, en m^2 .
- R_i el índice de reducción acústica del elemento i , en dB.
- S_i la superficie del elemento i , en m^2 .

2.2.4 Parte 6: Absorción sonora en espacios cerrados

La parte 6 de la familia de normas UNE-EN ISO 12354 define las ecuaciones necesarias para estimar el tiempo de reverberación de un recinto en bandas de octava.

Para este cálculo se hace uso de los siguientes datos de entrada:

- $\alpha_{s,i}$, coeficiente de absorción de la superficie i .
- S_i , área de la superficie i .
- $A_{obj,j}$, área de absorción equivalente del objeto j .
- $\alpha_{s,k}$, coeficiente de absorción de la configuración de objetos k .
- S_k , área de la superficie ocupada por la configuración de objetos k .
- V , volumen del recinto vacío.
- $V_{obj,j}$, $V_{obj,k}$, volumen ocupado por el objeto j o la configuración de objetos k .

La ecuación siguiente (2.27) muestra la forma de calcular el área de absorción equivalente total del espacio cerrado [16]:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + \sum_{k=1}^p \alpha_{s,k} S_k + A_{aire} \quad (2.27)$$

Donde:

- n es el número de superficies i .
- o es el número de objetos j .
- p es el número de configuraciones de objetos k .
- A_{aire} es el área de absorción equivalente del aire.

A_{aire} viene dada por la ecuación 2.28 [16]:

$$A_{aire} = 4 m V (1 - \Psi) \quad (2.28)$$

Siendo:

- m el coeficiente de atenuación sonora del aire, en Neper por metro.
- V el volumen del recinto, en m^3 .
- Ψ la fracción del objeto.

Dicha fracción del objeto se calcula a través de la ecuación 2.29 [16]:

$$\Psi = \frac{\sum_{j=1}^o V_{obj,j} + \sum_{k=1}^p V_{obj,k}}{V} \quad (2.29)$$

Para objetos reflectantes, el área de absorción equivalente se puede estimar como se indica en la fórmula 2.30 [16]:

$$A_{obj} = V_{obj}^{\frac{2}{3}} \quad (2.30)$$

Finalmente, para el tiempo de reverberación se debe usar la ecuación 2.31 [16]:

$$T = \frac{55,3 V (1 - \Psi)}{c_o A} \quad (2.31)$$

Siendo c_o la velocidad del sonido en el aire, en m/s.

2.3 EL DB-HR

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es un marco normativo que establece una serie de exigencias que deben cumplir los edificios con relación a los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 del 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

El CTE, a nivel de contenido, se puede separar en 2 partes diferentes, una primera en la que se detallan todas las exigencias relacionadas con la seguridad y habitabilidad que son preceptivas a la hora de construir un edificio según la LOE, y una segunda parte formada por los Documentos Básicos (DB), que son textos técnicos cuya finalidad es trasladar a un terreno práctico las exigencias detalladas en la primera parte del CTE.

En total hay una cantidad de 6 Documentos Básicos, los cuales son:

- DB-SE: Seguridad estructural.
- DB-SI: Seguridad en caso de incendio
- DB-SUA: Seguridad de utilización y accesibilidad
- DB-HS: Salubridad
- DB-HE: Ahorro de energía
- DB-HR: Protección frente al ruido

Éste último documento, y la herramienta de cálculo que se proporciona con él, es el objetivo de estudio de este proyecto, por lo que en este capítulo se procederá a profundizar en el mismo.

Fue aprobado por primera vez por el Real Decreto 1371/2007 el 19 de octubre de 2007, tras esto ha pasado por varias revisiones de las cuales la más reciente es la del Real Decreto 732/2019 del 20 de diciembre de 2019.

El ámbito de aplicación del DB-HR son las construcciones, pública o privadas, cuyos proyectos precisen disponer de la correspondiente licencia de autorización legalmente exigible, excepto los recintos ruidosos, que están sujetos a reglas específicas, los recintos y edificios de pública concurrencia destinados a espectáculos, que requieren de un estudio especial, y las aulas y salas de conferencias de más de 350 m³ de volumen, que también necesitan un estudio especial en cuanto a su diseño. El DB-HR se aplica a construcciones nuevas y a obras de ampliación, reforma o rehabilitación que se realicen en edificios ya existentes.

El DB-HR define, principalmente, dos métodos de cálculo de los diferentes parámetros acústicos de interés en un edificio (un método general y uno simplificado) y una serie de requisitos específicos para los mismos. Como se comentó en el capítulo 2.2 de este documento, el DB-HR basa su método de cálculo general en el modelo detallado de la norma UNE-EN ISO 12354 [13] [14] [15] [16]. Por otro lado, el método simplificado está basado en tablas que definen los requisitos mínimos que deben cumplir las soluciones constructivas que componen el recinto en función de sus características básicas (Peso, tipo y otras condiciones). En este capítulo se desarrollará la opción general del CTE, ya que es la que se utiliza en la herramienta de cálculo objeto de este documento.

2.3.1 La opción general del DB-HR

En el presente apartado se procederá a explicar las ecuaciones usadas para la estimación de los distintos parámetros acústicos de interés en la construcción definidas en el Documento Básico de Protección frente al Ruido [12]. Para ello, se empezará exponiendo en las siguientes ecuaciones (2.32 y 2.33) la hipótesis básica utilizada para los datos de entrada [12]:

$$R_{situ} = R_{lab} \text{ dB} \quad (2.32)$$

$$L_{n,situ} = L_{n,lab} \text{ dB} \quad (2.33)$$

Siendo:

- R_{situ} el índice de reducción aparente de un elemento medido in situ, en dB
- R_{lab} el índice de reducción aparente de un elemento medido en laboratorio, en dB
- $L_{s,situ}$ el nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido in situ, en dB
- $L_{n,lab}$ el nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido en laboratorio, en dB

Esta hipótesis se aplica también de forma análoga a revestimientos como los trasdosados, los techos suspendidos o suelos flotantes, cuyos parámetros de interés son la mejora del índice de reducción acústica y la reducción del nivel de presión de ruido de impactos. Esta segunda hipótesis se detalla en las ecuaciones 2.34, 2.35 y 2.36 [12]:

$$\Delta R_{situ} = \Delta R_{lab} \text{ dB} \quad (2.34)$$

$$\Delta L_{situ} = \Delta L_{lab} \text{ dB} \quad (2.35)$$

$$\Delta L_{d,situ} = \Delta L_{d,lab} \text{ dB} \quad (2.36)$$

Donde:

- ΔR_{lab} es la mejora del índice de reducción acústica de un revestimiento medido en laboratorio, en dB
- ΔL_{lab} es la reducción del nivel de presión de ruido de impactos conseguida por un revestimiento sobre la cara emisora del elemento separador medida en laboratorio, en dB
- $\Delta L_{d,lab}$ es la reducción del nivel de presión de ruido de impactos debida a la colocación de una capa adicional sobre la cara receptora del elemento separador medida en laboratorio, en dB

Por conveniencia y simplificación en la notación, a partir de este punto se considerará que $R_{lab} = R$, $L_{n,lab} = L_n$, $\Delta R_{lab} = \Delta R$, $\Delta L_{lab} = \Delta L$ y $\Delta L_{d,lab} = \Delta L_d$.

2.3.1.1 Método de cálculo del aislamiento a ruido aéreo entre recintos

El valor de interés en el DB-HR para el aislamiento a ruido aéreo entre dos salas es el de la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, que es calculada tal como se muestra en la ecuación 2.37 [12]:

$$D_{nT,A} = R'_A + 10 \log \left(\frac{0,32 V}{S_s} \right) \text{ dBA} \quad (2.37)$$

Donde:

- V es el volumen del recinto receptor, en m³.
- S_s es la superficie del elemento separador, en m².
- R'_A es el índice global de reducción acústica aparente, ponderado A, en dBA.

Teniendo en cuenta el siguiente esquema de transmisiones directas y por flancos (las mayúsculas señalan recinto emisor y las minúsculas receptor):

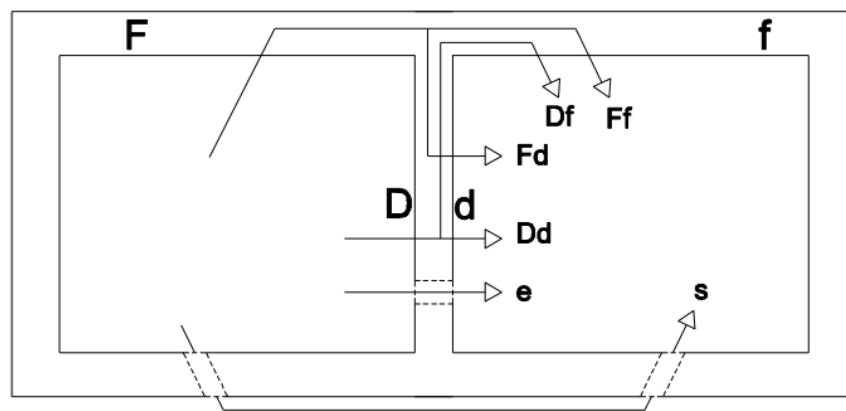


Figura 2.7 Esquema de transmisión de ruido aéreo en recintos adyacentes [12]

Se define la ecuación 2.38 para calcular R'_A [12]:

$$R'_A = -10 \log \left(10^{-0,1R_{Dd,A}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-0,1R_{Ff,A}} + \sum_{f=1}^n 10^{-0,1R_{Df,A}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-0,1R_{Fd,A}} + \frac{A_0}{S_s} \sum_{ai=ei, si=1}^n 10^{-0,1D_{n,ai,A}} \right) \quad (2.38)$$

Donde:

- R_{Dd,A} es el índice global de reducción acústica para el camino de transmisión directo, en dBA.
- R_{Ff,A} es el índice global de reducción acústica para la transmisión indirecta entre flancos, en dBA.
- R_{Df,A} es el índice global de reducción acústica para el camino de transmisión indirecta entre el elemento separador y los flancos, en dBA.
- R_{Fd,A} es el índice global de reducción acústica para el camino de transmisión indirecta entre los flancos y el elemento separador, en dBA.
- D_{n,ai,A} es la diferencia de niveles normalizada, ponderada A, para la transmisión de ruido aéreo por vía directa a través de aireadores u otros elementos constructivos pequeños (D_{n,e,A}), o de forma indirecta por distribuidores, pasillos o sistemas como conductos de instalaciones de aire acondicionado o ventilación (D_{n,s,A}), en dBA.
- n es el número de elementos de flanco del recinto (normalmente 4).
- S_s es el área común entre los recintos del elemento separador, en m².
- A₀ es el área de absorción equivalente de referencia, que es de 10 m².

Para el cálculo de $R_{Dd,A}$ se utiliza la ecuación 2.39 [12]:

$$R_{Dd,A} = R_{S,A} + \Delta R_{Dd,A} \quad (2.39)$$

Siendo:

- $R_{S,A}$ el índice global de reducción acústica del elemento separador para ruido rosa incidente, en dBA
- $\Delta R_{Dd,A}$ la mejora del índice de reducción acústica debida a revestimientos a ambos lados del elemento separador, en dBA. Este valor se obtiene con la siguiente fórmula [12]:

Caso 1 revestimiento:

$$\Delta R_{Dd,A} = \Delta R_{D,A} \text{ o } \Delta R_{Dd,A} = \Delta R_{d,A} \quad (2.40)$$

Caso 2 revestimientos:

$$\Delta R_{Dd,A} = \Delta R_{D,A} + \frac{\Delta R_{d,A}}{2} \text{ o } \Delta R_{Dd,A} = \Delta R_{d,A} + \frac{\Delta R_{D,A}}{2}$$

Se elige como valor mitad el menor de ambos índices.

Para los valores de transmisión indirecta, se usa el conjunto de ecuaciones 2.41 [12]:

$$\begin{aligned} R_{Ff,A} &= \frac{R_{F,A} + R_{f,A}}{2} + \Delta R_{Ff,A} + K_{Ff} + 10 \log \left(\frac{S_S}{l_0 l_f} \right) \\ R_{Fd,A} &= \frac{R_{F,A} + R_{S,A}}{2} + \Delta R_{Fd,A} + K_{Fd} + 10 \log \left(\frac{S_S}{l_0 l_f} \right) \\ R_{Df,A} &= \frac{R_{S,A} + R_{f,A}}{2} + \Delta R_{Df,A} + K_{Df} + 10 \log \left(\frac{S_S}{l_0 l_f} \right) \end{aligned} \quad (2.41)$$

Siendo:

- Los $R_{ij,A}$ y los $\Delta R_{ij,A}$ los índices análogos a la ecuación anterior para la transmisión indirecta. Los índices de mejora de reducción acústica se calculan de la misma manera que los de la transmisión directa.
- l_f la longitud común de la arista de unión entre el elemento separador los elementos de flancos, en m.
- l_0 la longitud de la arista de unión de referencia, de valor $l_0 = 1$ m.
- K_{ij} el índice de reducción de vibraciones para el camino de flancos ij .

Los índices K_{ij} se calculan en función de la magnitud M según se especifica en el segundo documento de apoyo al DB-HR (DA DB-HR/2) [10], que se define como:

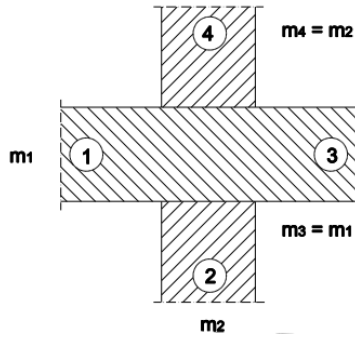
$$M = \log \left(\frac{m'_{\perp i}}{m'_i} \right) \quad (2.42)$$

Donde:

- m'_i es la masa por unidad de superficie (en kg/m^2) del elemento i en el camino ij .
- $m'_{\perp i}$ es la masa por unidad de superficie (en kg/m^2) del elemento perpendicular a i que forma la unión.

En función del tipo de unión entre los elementos, el índice K_{ij} se calcula según una ecuación diferente. Estas ecuaciones son las siguientes [10]:

- Unión rígida en + de elementos constructivos homogéneos:

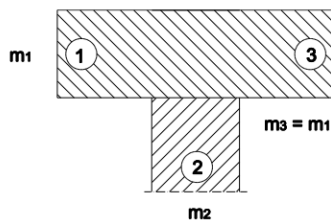


$$K_{13} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \text{ dB} \quad (2.43)$$

$$K_{12} = 8,7 + 5,7M^2 (= K_{23}) \text{ dB} \quad (2.44)$$

Figura 2.8 Esquema de unión 1 [10]

- Unión rígida en T de elementos constructivos homogéneos:



$$K_{13} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \text{ dB} \quad (2.45)$$

$$K_{12} = 5,7 + 5,7M^2 (= K_{23}) \text{ dB} \quad (2.46)$$

Figura 2.9 Esquema de unión 2 [10]

- Unión en + y en T de elementos constructivos homogéneos con elementos flexibles interpuestos:

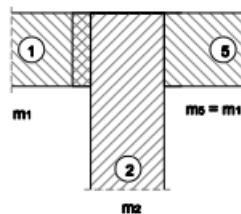
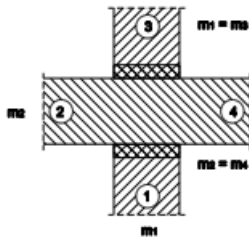
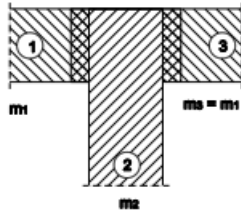
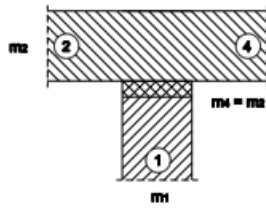


Figura 2.10 Esquemas de unión 3 [10]

- Trayectoria de transmisión cruza una junta:

$$K_{ij} = K_{ij,rigido} + \Delta_1 \text{ dB} \tag{2.47}$$

- Trayectoria de transmisión cruza dos juntas:

$$K_{ij} = K_{ij,rigido} + 2 \Delta_1 \text{ dB} \tag{2.48}$$

- Vías de transmisión sin bandas elásticas:

$$K_{24} = 3,7 + 14,1M + 5,7M^2 \text{ dB} \tag{2.49}$$

$$K_{25} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \text{ dB} \tag{2.50}$$

Siendo:

- $K_{ij,rigido}$ el valor de K_{ij} según las ecuaciones de 2.43 a 2.46
- $\Delta_1 = C_c \log\left(\frac{f}{f_1}\right)$ (2.51)

Con:

$$C_c = \begin{cases} 20 & \text{para carga inferior a } 80 \text{ kN/m}^2 \text{ sobre la capa elástica} \\ 15 & \text{para carga entre } 80 \text{ y } 750 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ sobre la capa elástica} \\ 10 & \text{para carga superior a } 750 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ sobre la capa elástica} \end{cases}$$

Y:

$$f_1 = \begin{cases} 110 \text{ Hz} & \text{si la rigidez dinámica aparente } (s'_t) \\ & \text{de la banda elástica está entre } 50 \text{ y } 100 \text{ MN/m}^3 \\ 50 \text{ Hz} & \text{si } s'_t \text{ de la banda elástica está entre} \\ & 30 \text{ y } 49 \text{ MN/m}^3 \end{cases}$$

2.3.1.2 Método de cálculo del aislamiento a ruido aéreo proveniente del exterior

Siguiendo el esquema de transmisión mostrado en la figura 2.8:

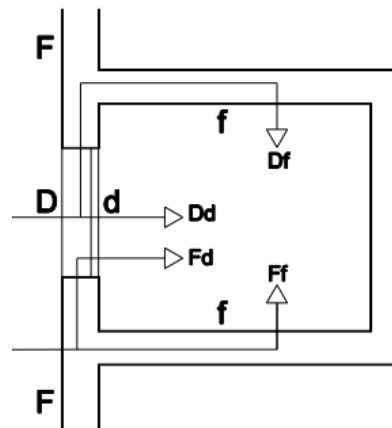


Figura 2.11 Esquema de transmisión para ruido exterior (fachada) [12]

La diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, de la fachada se calcula según la siguiente ecuación [12]:

$$D_{2m,nT,A} = R'_A + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6T_0S} \right) \text{ dBA} \quad (2.52)$$

Donde:

- R'_A es el índice global de reducción acústica aparente, ponderado A, en dBA.
- ΔL_{fs} es la mejora del aislamiento o diferencia de niveles debida a la forma de la fachada. Este factor no es aplicable en el caso de ruido exterior de aeronaves.
- V es el volumen del recinto receptor, en m^3 .
- S es el área total de la fachada vista desde el interior del recinto, en m^2 .
- T_0 es el tiempo de reverberación de referencia de 0,5 s.

En el DB-HR los valores de ΔL_{fs} vienen tabulados en el Anejo F [12], esta tabla se muestra en la Tabla 2.1:

	1 plano de fachada	2 galería	3 galería	4 galería	5 galería
ΔL_{fs} en dB					
Absorción acústica del techo (α_m)	No se aplica	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$
Línea de mira sobre la fachada:					
<1,5 m	0	-1 -1 0	-1 -1 0	0 0 1	No se aplica
1,5-2,5 m	0	No se aplica	-1 0 2	0 1 3	
> 2,5 m	0	No se aplica	1 1 2	2 2 3	
	6 balconada	7 balconada	8 balconada	9 terracea	
ΔL_{fs} dB					
Absorción acústica del techo (α_m)	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$
Línea de mira sobre la fachada:					
<1,5 m	-1 -1 0	0 0 1	1 1 2	1 1 1	3 3 3
1,5-2,5 m	-1 1 3	0 2 4	1 1 2	3 4 5	5 6 7
> 2,5 m	1 2 3	2 3 4	1 1 2	4 4 5	6 6 7

Tabla 2.3 Diferencia de niveles debida a la forma de la fachada [12]

En el caso de que el ruido predominante sea de automóviles o aeronaves el índice buscado será el siguiente [12]:

$$D_{2m,nT,Atr} = D_{2m,nT,A} + C_{tr} \text{ dB} \quad (2.53)$$

Donde C_{tr} es el término de adaptación espectral para ruido de tráfico del índice de reducción acústica del elemento más débil de la fachada, por lo general las ventanas.

Para calcular el índice de reducción acústica aparente, ponderado A, se utiliza la ecuación 2.54 [12]:

$$R'_A = -10 \log \left(10^{-0,1R_{m,A}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-0,1R_{Ff,A}} + \sum_{f=1}^n 10^{-0,1R_{Df,A}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-0,1R_{Fd,A}} + \frac{A_0}{S_s} \sum_{ai=ei,si}^n 10^{-0,1D_{n,ai,A}} \right) \quad (2.54)$$

Con:

- $R_{m,A}$ el índice global de reducción acústica del elemento constructivo mixto, ponderado A, en dBA.
- n el número de caminos indirectos

Para aireadores sin tratamiento acústico se considera [12]:

$$D_{n,e,A} = -10 \log \left(\frac{S_0}{10} \right) \text{ dBA} \quad (2.55)$$

Siendo S_0 el área del aireador en m^2 .

Para el cálculo de medianerías se usarán también las fórmulas vistas en este apartado.

2.3.1.3 Método de cálculo del aislamiento acústico a ruido de impactos

En el caso del ruido de impactos, las situaciones con las transmisiones más importantes se muestran en el siguiente esquema:

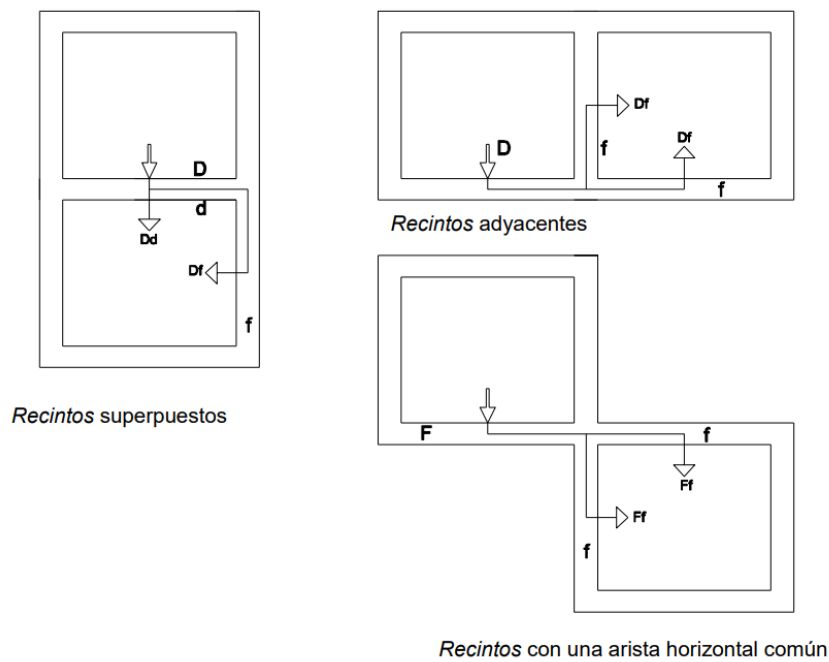


Figura 2.12 Esquemas de transmisión para ruido de impactos (Recintos superpuestos, adyacentes y con una arista común)

Para el cálculo de dichas transmisiones, el nivel global de presión de ruido de impactos se calcula con la fórmula 2.56 [12]:

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \log(0,032V) \text{ dB} \quad (2.56)$$

Con:

- V el volumen del recinto receptor, en m^3 .
- $L'_{n,w}$ el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, en dB.

En el caso de los recintos superpuestos, la fórmula para calcular $L'_{n,w}$ es [12]:

$$L'_{n,w} = 10 \log(10^{0,1L_{n,w,d}} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,w,ij}}) \text{ dB} \quad (2.57)$$

Siendo:

- $L_{n,w,d}$ el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado debido a transmisión directa, en dB.
- $L_{n,w,ij}$ el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado debido a transmisión indirecta, en dB.
- n el número de flancos. Generalmente 4.

La transmisión directa se calcula tal que [12]:

$$L'_{n,w,d} = L_{n,w} - \Delta L_w - \Delta L_{d,w} \text{ dB} \quad (2.58)$$

Donde:

- $L_{n,w}$ es el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, en dB.
- ΔL_w es la reducción del nivel global de presión de ruido de impactos por revestimiento en el lado emisor, en dB.
- $\Delta L_{d,w}$ es la reducción del nivel global de presión de ruido de impactos por revestimiento en el lado receptor, en dB.

Y la transmisión indirecta del elemento i al j se calcula con la siguiente fórmula [12]:

$$L_{n,w,ij} = L_{n,w} - \Delta L_w + \frac{R_{i,A} - R_{j,A}}{2} - \Delta R_{j,A} - K_{ij} - 10 \log\left(\frac{S_i}{l_{ij}l_0}\right) \quad (2.59)$$

Siendo:

- $L_{n,w}$ el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, en dB.
- ΔL_w es la reducción del nivel global de presión de ruido de impactos por revestimiento en el lado emisor, en dB.
- R_A el índice global de reducción acústica de un elemento, ponderado A, en dB.
- ΔR_A la mejora del índice global de reducción acústica por revestimiento de un elemento, en dBA.
- K_{ij} el índice de reducción de vibraciones para camino de transmisión entre los elementos i y j , en dB.
- S_i el área del elemento excitado, en m^2 .
- l_{ij} es la longitud común de la arista de unión entre el elemento i y el j , en m.
- l_0 es la longitud de la arista común de referencia, que corresponde a 1 m.

Cuando se trabaja con recintos adyacentes o con una arista horizontal común no existen transmisiones directas, por lo que la ecuación para calcular $L'_{n,w}$ es [12]:

$$L'_{n,w} = 10 \log(\sum_{j=1}^n 10^{L_{n,w,ij}}) \quad (2.60)$$

2.3.1.4 Método de cálculo del tiempo de reverberación

En un recinto, el tiempo de reverberación se calcula mediante la fórmula de Sabine, ya vista en la ecuación 2.4, como se muestra en la ecuación siguiente [12]:

$$T = \frac{0,16V}{A} \text{ s} \quad (2.61)$$

Con:

- V el volumen del recinto, en m³.
- A la absorción acústica total del recinto (área de absorción equivalente), en m².

Esta absorción se calcula haciendo uso de la fórmula 2.62 [12]:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} S_i + \sum_{j=1}^n A_{O,m,j} + 4 \overline{m_m} V \quad (2.62)$$

Siendo:

- $\alpha_{m,i}$ el coeficiente de absorción acústica medio del paramento i, para las bandas de tercio de octava centradas en 500, 1000 y 2000 Hz.
- S_i la superficie del paramento i, en m².
- $A_{O,m,j}$ el área de absorción equivalente media de cada mueble fijo absorbente, en m².
- V el volumen de la estancia, en m³.
- $\overline{m_m}$ el coeficiente de absorción acústica medio en el aire, para frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, cuyo valor es de 0,006 m⁻¹.

El término $4 \overline{m_m} V$ es despreciable en recintos con un volumen inferior a 250 m³.

2.3.2 Valores límites definidos en el DB-HR

En este apartado se verán las principales restricciones acústicas que impone el DB-HR [12]. Éstas se pueden clasificar en 3 tipos según si restringen el ruido aéreo, el ruido de impactos o el tiempo de reverberación.

1) Aislamiento acústico a ruido aéreo:

a) Recintos protegidos (como receptores):

- i) Cuando el ruido proviene de recintos pertenecientes a la misma unidad de uso en edificios residenciales privados, el R_A de la tabiquería debe ser mayor que 33 dBA.
- ii) Si el recinto emisor no pertenece a la misma unidad de uso y no es de actividad o instalaciones y es colindante, vertical u horizontalmente, a nuestro receptor, el $D_{nT,A}$ no debe ser inferior a 50 dBA, siempre que no compartan puertas o ventanas. Si se da ese caso, el R_A de éstas debe ser mayor que 30 dBA y el del cerramiento mayor que 50 dBA.
- iii) Si el ruido se genera en un recinto de actividad o de instalaciones, el $D_{nT,A}$ no debe ser menor que 55 dBA.
- iv) En el caso de provenir el ruido del exterior, el $D_{2m,nT,Atr}$ debe ser mayor que el valor correspondiente de la siguiente tabla, en la que se muestran los valores límite para el $D_{2m,nT,Atr}$ en función del índice de ruido diurno, L_D , y el uso del edificio:

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

¹⁾ En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Figura 2.13 Tabla de valores límite para el aislamiento a ruido exterior de recintos protegidos [12]

- b) Recintos habitables (como receptores):
- Si el ruido se genera en recintos de la misma unidad de uso, en edificios residenciales privados, el R_A de la tabiquería debe ser mayor que 33 dBA.
 - Si el ruido proviene de un recinto no perteneciente a la misma unidad de uso, el $D_{nT,A}$ entre el recinto receptor habitable y el emisor (habitable o protegido) superará los 45 dBA si no comparten puertas o ventanas. En caso contrario, cuando sean edificios residenciales u hospitalarios, el R_A de dichas puertas y ventanas no debe ser menor que 20 dBA, y el del cerramiento deberá superar los 50 dBA.
 - Cuando el recinto emisor es de actividad o instalaciones, el $D_{nT,A}$ entre ambos recintos debe ser de al menos 45 dBA. En caso de compartir puertas o ventanas, el R_A de las mismas será mayor que 30 dBA y el del cerramiento será de al menos 50 dBA.
- c) En el caso de recintos habitables o protegidos colindantes con otros edificios, el $D_{2m,nT,Atr}$ de cada cerramiento de una medianería entre ambos edificios debe ser mayor que 40 dBA o, alternativamente el $D_{nT,A}$ del conjunto de ambos cerramientos será de mínimo 50 dBA.
- 2) Aislamiento frente a ruido de impactos:
- a) Recintos protegidos (como receptores):
- En el caso de producirse el ruido en un recinto colindante habitable o protegido no perteneciente a la misma unidad de uso, el $L'_{nT,w}$ no debe superar los 65 dB. Esta restricción no es aplicable si el recinto colindante al protegido es una escalera.
 - Si el recinto emisor es de actividad o instalaciones, el $L'_{nT,w}$ no será mayor que 60 dB.
- b) Recintos habitables (como receptores):
- Si el ruido viene de recintos de instalaciones o de actividad colindantes, el $L'_{nT,w}$ debe ser menor que 60 dB.
- 3) Tiempo de reverberación:
- a) Los elementos constructivos, acabados superficiales y los revestimientos que forman un aula o sala de conferencias, o un restaurante o comedor, tendrán una absorción acústica mínima según las siguientes indicaciones:
- En aulas y salas de conferencia vacías (sin mobiliario ni ocupación), con un volumen inferior a 350 m³, el tiempo de reverberación será menor que 0,7 segundos.
 - Aulas y salas de conferencias vacías, contando con el total de las butacas y con un volumen de máximo 350 m³, tendrán un tiempo de reverberación menor que 0,5 segundos.
 - En el caso de restaurantes y comedores vacíos, el tiempo de reverberación no superará los 0,9 segundos.

-
- b) En zonas comunes de edificios residenciales público, docente u hospitalarios colindantes con recintos protegidos con los que comparten puertas, para eliminar el ruido reverberante, la absorción acústica será suficiente como para que el área de absorción acústica equivalente sea de mínimo $0,2 \text{ m}^2$ por cada metro cúbico del volumen del recinto.

3 ESTUDIO ACÚSTICO MEDIANTE LA HERRAMIENTA DEL DB-HR

En base al Documento Básico de Protección Frente a Ruido del Código Técnico [12], del que se ha hablado en el capítulo anterior, existe una herramienta descargable para PC y Mac diseñada con el fin de facilitar a los proyectistas la realización de los cálculos acústicos necesarios para el diseño y acondicionamiento de salas, así como para comprobar el correcto cumplimiento de las distintas restricciones que, como se ha visto, impone el CTE.

En este capítulo se mostrarán ejemplos prácticos reales, en profundidad, de las diferentes opciones y posibilidades que ofrece la herramienta de cálculo, a continuación, se introducirá brevemente cada una de estas opciones.

- Cálculo del aislamiento a ruido aéreo y de impacto entre recintos adyacentes: esta opción permite definir recintos colindantes horizontalmente, con sus diferentes materiales y dimensiones, para así calcular de forma rápida y eficaz si éstos cumplen los valores límite indicados por el DB-HR.
- Cálculo del aislamiento a ruido aéreo y de impacto entre recintos superpuestos: es trivial ver que esta opción ofrece las mismas posibilidades e información que la anterior, pero para recintos verticalmente colindantes.
- Cálculo del aislamiento a ruido exterior: en este modo es posible definir un recinto directamente en contacto con el exterior como cubiertas, medianerías o fachadas, y comprobar si cumple con los requisitos mínimos de aislamiento acústico frente a ruido exterior.
- Cálculo del tiempo de reverberación: permite calcular el tiempo de reverberación de una sala en función de sus materiales base, sus dimensiones y los muebles que se encuentran en la misma, comprobando así que cumple con el valor límite impuesto por el CTE según el tipo de sala.
- Bases de datos: la herramienta contiene una base de datos oficial no editable en la que se pueden encontrar la gran mayoría de materiales y elementos constructivos básicos, así como sus parámetros, que se van a necesitar para el uso de esta. Adicionalmente, es posible usar una base de datos editable en la que añadir materiales o soluciones constructivas propias que no estén registradas en la oficial.
- Todos los modos de cálculo de aislamiento incluyen una función extra en la que se organizan los datos y resultados del proyecto y los redacta en el formato oficial de la ficha justificativa del DB-HR.

Para cada uno de los casos de estudio (Recintos adyacentes, recintos superpuestos, ruido exterior y tiempo de reverberación) se estudiarán dos recintos o parejas de recintos. En ellos se explicará la distribución y características de los recintos a estudiar y se discutirán los resultados. Adicionalmente, el primer caso de estudio de cada tipo se aprovechará para hacer una guía detallada del procedimiento a realizar en la herramienta.

Cabe destacar que los recintos, planos y datos usados como referencia para los ejemplos se han obtenido a partir de un trabajo de fin de máster perteneciente al Máster de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, ya que resulta más interesante e ilustrativo el uso de un proyecto arquitectónico real para exponer los casos prácticos [11].

3.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos adyacentes

3.1.1 Pareja de recintos 1: Recinto de actividad habitable con recinto de instalaciones

En este ejemplo se estudiará el cumplimiento de las restricciones impuestas por el Código Técnico de la Edificación entre dos recintos adyacentes para el caso del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto entre ambas salas. Concretamente se contempla un recinto de actividad habitable situado junto a una sala de instalaciones, ambos pertenecientes a distintas unidades de uso.

Para este caso, las exigencias del DB-HR especifican, como se ha visto anteriormente, que el aislamiento acústico entre un recinto protegido y uno de instalaciones colindantes, $D_{nT,A}$, no debe ser inferior a 55 dBA. En cuanto al ruido de impacto, el nivel global de presión de ruido de impactos, $L'_{nT,w}$, en esta situación de estudio no puede superar los 60 dB.

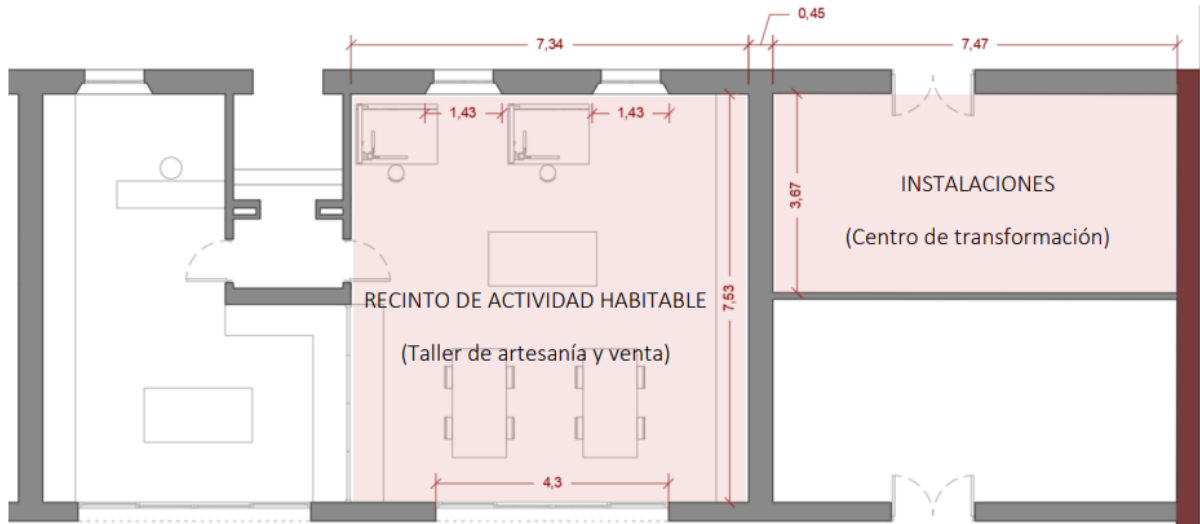


Figura 3.1 Plano de los recintos a estudiar en el caso 3.1.1 [11]

3.1.1.1 Definición de las estancias

- Geometría del recinto de instalaciones:
 - ◆ Largo: 7,47 m
 - ◆ Ancho: 3,67 m
 - ◆ Alto: 4,5 m
 - ◆ Volumen: 123,36 m³
 - ◆ Puerta: 1,55 m x 3,1 m = 4,80 m²
 - ◆ Paredes: 7,47 m x 4,5 m x 2 paredes + 3,67 m x 4,5 m x 2 paredes – 4,80 m² = 95,46 m²
- Geometría del recinto de actividad habitable:
 - ◆ Largo: 7,34 m
 - ◆ Ancho: 7,53 m
 - ◆ Alto: 4,5 m
 - ◆ Volumen: 248,71 m³
 - ◆ Puerta: 0,85 m x 2,2 m = 1,87 m²
 - ◆ Ventanas: 1,43 m x 2,1 m x 2 ventanas + 4,3 m x 2,5 m = 16,75 m²
 - ◆ Paredes: 7,34 m x 4,5 m x 2 paredes + 7,53 m x 4,5 m x 2 paredes – 1,87 m² – 16,75 m² = 95,46 m²
- Geometría del elemento separador:
 - ◆ Alto: 4,5 m
 - ◆ Ancho: 3,67 m
 - ◆ Superficie: 16,51 m²

- Uniones:

Arista 1	Unión elemento-suelo	Unión rígida en + de doble hoja sobre forjado
Arista 2	Unión elemento-techo	Unión rígida en + de doble hoja sobre forjado
Arista 3	Unión elemento-fachada	Unión rígida en + de elementos homogéneos
Arista 4	Unión elemento-pared	Unión rígida en + de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo

Tabla 3.1 Tipos de uniones entre elementos del caso 3.1.1

3.1.1.2 Comprobación de valores límite

Con los datos conocidos, se calculan los valores de aislamiento estimados en el recinto a través de la herramienta.

Al abrir la herramienta, se muestra la pantalla de inicio y, con ella, una ventana emergente en la que pide elegir las bases de datos de materiales que se desean utilizar. En general, se usarán las bases de datos locales, por lo que bastará con pulsar el botón de “Conectar”.



Figura 3.2 Pantalla de inicio de la aplicación

Una vez conectada la herramienta con la base de datos, se selecciona el menú de “Modelado y cálculo” y, dentro de éste, crear un nuevo proyecto. Pulsar este botón genera una ventana nueva en la que se puede elegir el tipo de solución constructiva del proyecto (Tipo 1 en este caso), su nombre, el directorio de trabajo e incluso la asignación previa de materiales.

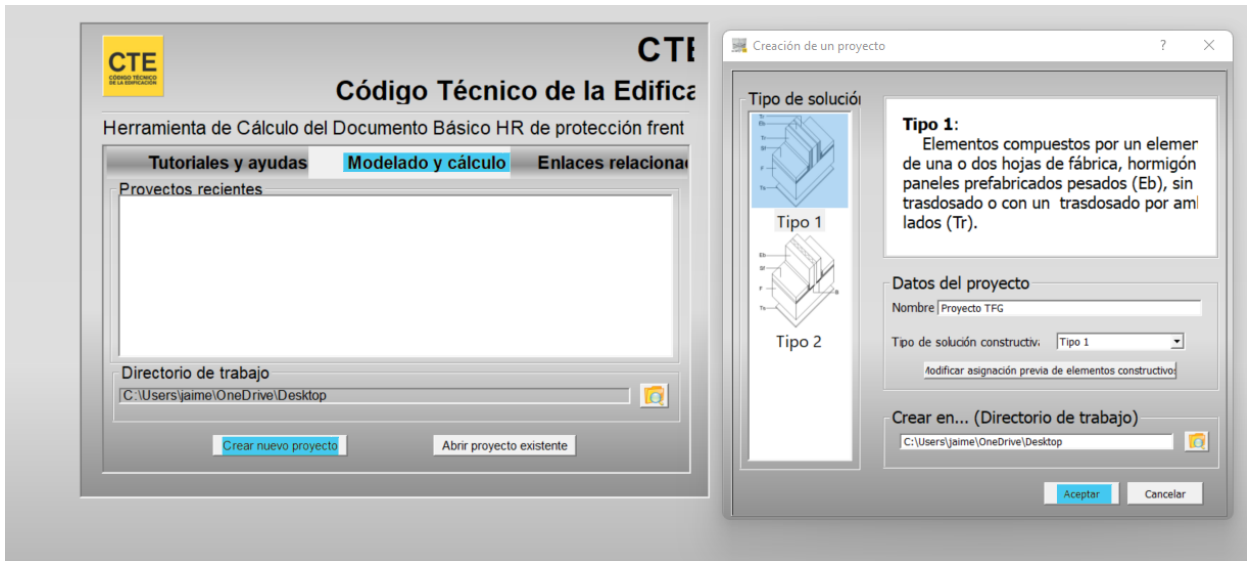


Figura 3.3 Menú de creación de proyecto

Tras crear el archivo de proyecto se debe nombrar el nuevo caso de cálculo, a este caso se le puede llamar, por ejemplo, “Ruido adyacente”. En el siguiente menú que aparece, se selecciona el tipo de caso sobre el que se desea trabajar, entre los cuales tenemos aislamiento acústico entre recintos adyacentes, recintos superpuestos, aislamiento a ruido exterior, aislamiento a ruido de impactos en recintos con 1 arista común y, por último, tiempo de reverberación. Es trivial aclarar que para este ejemplo se debe seleccionar el primer caso mencionado.

Dentro de este menú también se define la distribución correspondiente a los recintos objeto del estudio, que en este ejemplo es la de 3 aristas comunes.

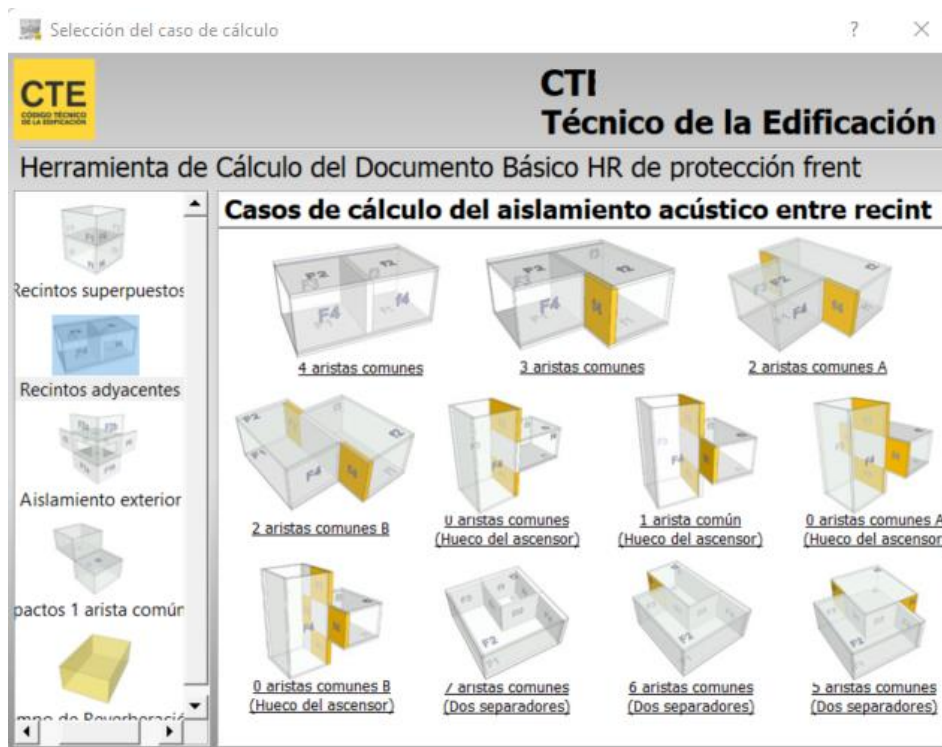


Figura 3.4 Menú de selección del caso de cálculo

A continuación, se asignan los flancos de los recintos, así como el elemento separador de los mismos. Para cada flanco se especifica si corresponde a una fachada, tabiquería, forjado o un elemento de separación vertical. La selección para este ejemplo será la siguiente:



Figura 3.5 Menú de asignación previa de elementos constructivos

Con esto se crea el caso de cálculo y se procede a estudiar los recintos, para lo cual se presenta la siguiente hoja de cálculo:

Documento básico HR protección fre

Cálculo conjunto del Aislamiento Acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores. Recintos adyacentes con 3 ar

Datos de entrada

Elemento separad

Superficie S_e

Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{t,a}$	Revestimiento recinto 1	$\Delta R_{D,a}$	Revestimiento recinto 2	$\Delta R_{D,a}$
Enl 15 + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)	284	49	YL 15 + MW 48 + SP (250<m<=300kg/m ²)	9	YL 15 + MW 48 + SP (250<m<=300kg/m ²)	9

Ventanas, puertas y luce

S. (m ²)		R_v
0	0	0

Transmisión aérea D

Directa		Indirecta	
D_{nTA}	$R_{t,a}$	D_{nTA}	$R_{t,a}$
0	0	0	0

D_{nTA}	Requisito CTE	$L'_{nT,w}$	Requisito CTE
65	55 CUMPLE	21	60 CUMPLE
62	-	21	-

Recinto 1

Tipo de recinto como emisor:

Tipo de recinto como receptor:

Volumen V_1 (l)

Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{t,a}$	$L_{a,w}$	Como Flanco		Revestimiento	$\Delta R_{D,a}$	$\Delta L_{a,w}$
				S_i (m ²)	h (m)			
Elemento F1 (Suelo) U_BC 350 mm	360	55	75	25	5	AC + M 50 + AR MW 12	5	27
Elemento F2 (Tech) U_BC 350 mm	360	55	75	25	5	Sin Techos suspendidos	-	-
Elemento F3 (Pared) LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)	184	53	-	12.5	2.5	Trasdosado de la hoja interior de la fachada	6	-
Elemento F4 (Pared) Enl 15 + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)	284	49	-	12.5	2.5	YL 15 + MW 48 + SP (250<m<=300kg/m ²)	9	-

Figura 3.6 Hoja de cálculo para el estudio del aislamiento en recintos adyacentes 1 (Caso 3.1.1)

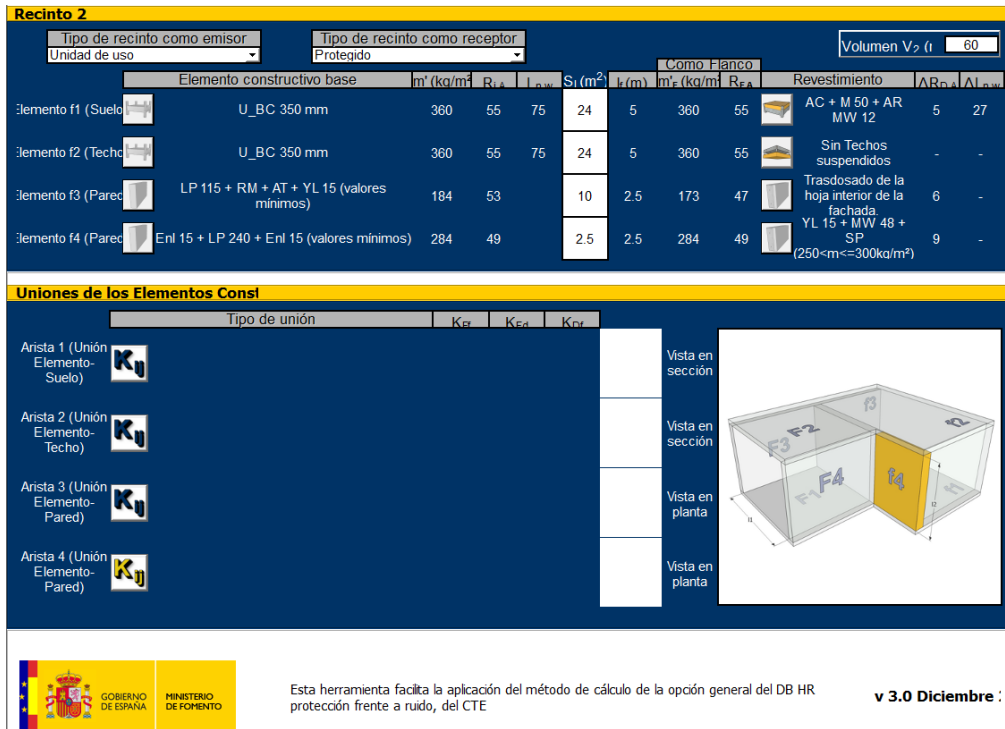


Figura 3.7 Hoja de cálculo para el estudio del aislamiento en recintos adyacentes 2 (Caso 3.1.1)

Se puede comprobar que los elementos tienen una asignación previa de materiales los cuales el usuario podrá cambiar a continuación. Primero se tiene un apartado en el que se define el elemento separador de ambos recintos con sus dimensiones (superficie) y sus materiales. En este apartado también se encuentra ver una tabla que presentará, una vez introducidos todos los datos, los resultados del estudio comparados con los valores límite definidos por el CTE.

Para la selección de los materiales, se debe hacer clic en la hoja de cálculo sobre el recuadro de uno de los elementos constructivos, esto abre un menú que presenta la lista de materiales disponibles en la base de datos junto a sus parámetros característicos. En esta lista, los materiales no se encuentran con su nombre común, si no con un código identificativo definido también por el CTE. Para encontrar los materiales usados en el recinto estudiado, se debe mirar la base de datos, a la cual se accede desde el mismo menú de proyecto en las pestañas inferiores.

Catálogo de elementos constructivos

Cubiertas

En caso de que la cubierta tuviera como soporte resistente un forjado o una losa, se utilizarán los valores de m y R_A de forjados y losas.
 Si además la cubierta dispone de una capa de formación de pendientes de hormigón con áridos ligeros, el R_A de la cubierta se incrementará en 2 dBA
 Si la cubierta dispone de un techo suspendido, el valor de R_A de la cubierta es la suma del valor de R_A del forjado y del valor de ΔR_A del techo suspendido

CODIFICACIÓN	
AB	Absorbente acústico
AT	aislante
C	Cámara no ventilada
Enl	Guarnecido o enlucido
G	Chapa grecada
GR	Capa de protección de grava
I	Capa de impermeabilización y capas separadoras
MW	Lana mineral
PSM	Panel sandwich con núcleo aislante y láminas metálicas
PSMN	Panel sandwich con núcleo aislante y láminas no metálicas (madera)
T	Capa de protección de tejas, pizarra, placas o perfiles metálicos
TC	Tablero cerámico de 50 mm de espesor y 40 mm de capa niveladora
XPS	poliestireno extruido
R	Rastrel de madera
BA	Barrera contra el agua
TE	Tablero estructural
EE	Elemento estructural de madera
B	Barrera contra el vapor
PM	Perfilería metálica
YL	Placa de yeso laminado

Código	Subtipo	Tipo de protección	Descriptor	R_A	R_{A+}	m	Fuente
C6.9	Plana. Tipo deck	autoprotegida	G + AT MW 80 + I	38	31	15	Catálogo de Elementos Constructivos
C.9.5.a	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	Enl 15 + TC + AT + I + T (cubierta convencional)	44	41	182	Catálogo de Elementos Constructivos
C.9.5.b	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	Enl 15 + TC + I + AT + T (cubierta invertida)	44	41	182	Catálogo de Elementos Constructivos
C9.6.a	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	YL 15 mm + AB MW + C + TC + AT + I + T (cubierta convencional)	47	42	178	Catálogo de Elementos Constructivos
C9.6.b	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	YL 15 mm + AB MW + C + TC + I + AT + T (cubierta invertida)	47	42	178	Catálogo de Elementos Constructivos
C10.5	Inclinada. Sobre tablero cerámico	autoprotegida	Enl 15 + TC + AT + I	41	39	152	Catálogo de Elementos Constructivos
C10.6	Inclinada. Sobre tablero cerámico	autoprotegida	YL 15 mm + AB MW + C + TC + AT + I	44	40	149	Catálogo de Elementos Constructivos
C.13....	Inclinada. Panel con núcleo aislante	-	PSM MW 50	34	31	15	Catálogo de Elementos Constructivos
C.13....	Inclinada. Panel con núcleo aislante	-	PSM MW 80	36	33	21	Catálogo de Elementos Constructivos
C.13.2	Inclinada. Panel con núcleo aislante	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	PSM MW 80 + T	37	34	52	Catálogo de Elementos Constructivos

Figura 3.8 Ventana de la base de datos local (no editable)

Esta ventana muestra tanto un cuadro guía sobre la codificación usada para definir los materiales como la propia lista de materiales, la cual se usará para localizar los pertinentes al caso de estudio. Cabe destacar que esta base de datos está organizada por categorías (cubiertas, fachadas, etc.) las cuales son navegables con ayuda del menú desplegable situado en la parte superior de la ventana.

Tras localizar el código identificativo de los materiales necesarios, se introducirán los datos en la hoja de cálculo, apartado a apartado. En este ejemplo, el elemento separador quedará definido tal que así:

Elemento separad

Superficie S_s 16.51

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R_{A+}	Revestimiento recinto 1	ΔR_{D+A}	Revestimiento recinto 2	ΔR_{D+A}
Enl 15 + LH 115 + AT + LH 115 + Enl 15 (valores mínimos)	230	46	YL 2x12,5 + MW 48 + SP (200<m<=250kg/m ²)	10	YL 2x12,5 + MW 48 + SP (200<m<=250kg/m ²)	10

Ventanas, puertas y luce		Transmisión aérea D		$D_{nT,A}$	Requisito CTE	$L'_{nT,w}$	Requisito CTE
S (m ²)	R_A	Directa	Indirecta				
0	0	0	0	55	50 CUMPLE	36	65 CUMPLE
				55	50 CUMPLE	37	65 CUMPLE

Figura 3.9 Definición del elemento separador

A pesar de que la tabla muestre un resultado, no se debe tener en cuenta hasta introducir todos los datos, puesto que hasta entonces los cálculos no serán correctos.

Una vez completado el primer apartado, se procede a definir el primer recinto, que en este caso será el de instalaciones. Los datos por introducir serán: el tipo de recinto como emisor y como receptor (en el caso de un recinto de instalaciones solo como emisor), el volumen de la estancia y, para cada flanco, el material base, los revestimientos, la superficie y la longitud de las aristas comunes con el elemento separador. Haciendo lo mismo para el segundo recinto, quedará lo siguiente:

Recinto 1													
Tipo de recinto como emisor				Tipo de recinto como receptor				Como Flanco					
Recinto de actividad o instalación								Volumen V ₁ (l 123.36)					
Elemento	Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	R _{FA}	L _{eq}	S _i (m ²)	h (m)	m' (kg/m ²)	R _{FA}	Revestimiento	ΔR _{FA}	ΔL _{eq}		
Elemento F1 (Suelo)	L_Capa compresion 250 mm	395	56	73	27.41	5	395	56	AC + M 50 + AR MW 12	5	27		
Elemento F2 (Techo)	L_Capa compresion 250 mm	395	56	73	27.41	5	395	56	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m > 350 kg/m ²)	7	9		
Elemento F3 (Pared)	RE + AT + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)	296	49		33.61	2.5	296	49	Solución conjunta	-	-		
Elemento F4 (Pared)	Enl 15 + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)	284	49		33.61	2.5	284	49	Sin Trasdosados	-	-		

Recinto 2													
Tipo de recinto como emisor				Tipo de recinto como receptor				Como Flanco					
Unidad de uso				Protegido				Volumen V ₂ (l 248.71)					
Elemento	Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	R _{FA}	L _{eq}	S _i (m ²)	h (m)	m' (kg/m ²)	R _{FA}	Revestimiento	ΔR _{FA}	ΔL _{eq}		
Elemento f1 (Suelo)	L_Capa compresion 250 mm	395	56	73	55.27	5	395	56	AC + M 50 + AR MW 12	5	27		
Elemento f2 (Techo)	L_Capa compresion 250 mm	395	56	73	55.27	5	395	56	Sin Techos suspendidos	-	-		
Elemento f3 (Pared)	RE + AT + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)	296	49		11.84	2.5	296	49	Solución conjunta	-	-		
Elemento f4 (Pared)	Enl 15 + LH 115 + AT + LH 115 + Enl 15 (valores mínimos)	230	46		3.74	2.5	230	46	YL 2x12,5 + MW 48 + SP (200<m<=250kg/m ²)	10	-		

Figura 3.10 Definición de los recintos a estudiar

Por último, queda definir los tipos de unión usados para cada elemento constructivo, con un sistema parecido al usado para los recintos. Las uniones de este ejemplo serán las mostradas en la siguiente figura:

Uniones de los Elementos Const													
Tipo de unión		K _{Fr}	K _{Ext}	K _{Cr}									
Arista 1 (Unión Elemento-Suelo)	Unión en + de doble hoja con apoyo rígido sobre el forjado	5	9	9		Vista en sección							
Arista 2 (Unión Elemento-Techo)	Unión en + de doble hoja con apoyo rígido sobre el forjado	5	9	9		Vista en sección							
Arista 3 (Unión Elemento-Pared)	Unión rígida en + de elementos homogéneos	6.9	8.8	8.8		Vista en planta							
Arista 4 (Unión Elemento-Pared)	Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 4)	10.9	10.9	4.3		Vista en planta							

Figura 3.11 Uniones de los elementos constructivos

Una vez introducidos todos los datos necesarios para el cálculo de las exigencias del DB-HR, al principio de la hoja de cálculo, se comprueba finalmente que los recintos cumplan con los requisitos. En este ejemplo se puede apreciar un resultado favorable que cumple con las especificaciones del CTE.

	D _{nTA}	Requisito CTE	L' _{nT,w}	Requisito CTE
	65	55 CUMPLE	21	60 CUMPLE
	62	-	21	-

Figura 3.12 Resultados del caso de estudio 3.1.1

Adicionalmente, en las diferentes pestañas disponibles en la parte inferior de la hoja de cálculo, aparte de las bases de datos, se puede consultar el desglose de los cálculos realizados para la comprobación de cada requisito. En la siguiente imagen se muestra la tabla de cálculos del ruido aéreo transmitido del recinto 1 al 2:

Cálculo conjunto del Aislamiento Acústico a ruido aéreo y de impacto entre rec																	
Cálculos																	
Contribución directa																	
	R _{ε,A}	ΔR _D	ΔR _{d,i}	maxΔR	minΔR _i	ΔR _{Dc}	R _{nT,i}	S _s (m ²)	S _{vnt} (m)	R _{vpl,A}	R _{Dd,m,A}	τ _{Dd} = 10 ^{-0,1 Ri,A}					
	49	9	9	9	9	13.5	62.5	12.5	0	0	62.5	5.62341e-07					
Contribución de Flanco a flanco																	
i=j	R _{f,A}	R _{f,i}	ΔR _{f,j}	ΔR _{f,i}	maxΔR	minΔR _i	ΔR _{f,i}	K _{f,i}	l _o (m)	l _f (m)	S _s (m ²)	R _{f,i,A}	τ _{f,i} = 10 ^{-0,1 Ri,A}				
1	55	55	5	5	5	5	7.5		1	5	12.5	73.7	4.27782e-08				
2	55	55	-	-	0	0	0		1	5	12.5	73.2	4.7998e-08				
3	47	47	6	6	6	6	9		1	2.5	12.5	64.1	3.89218e-07				
4	49	49	9	9	9	9	13.5		1	2.5	12.5	76.6	2.18873e-08				
												63	5.01882e-07				
Contribución de Flanco a directo																	
i	R _{f,A}	R _{s,A}	S _s (m ²)	S _{vpl} (m ²)	R _{vpl,A}	R _{s,m}	ΔR _{f,j}	ΔR _{d,i}	maxΔR	minΔR _i	ΔR _{f,i}	K _{f,i}	l _o (m)	l _f (m)	S _s (m ²)	R _{f,i,A}	τ _{f,i} = 10 ^{-0,1 Ri,A}
1	55	0	12.5	0	0	0	5	9	9	5	11.5		1	5	12.5	77.7	1.70303e-08
2	55	0	12.5	0	0	0	-	9	0	9			1	5	12.5	78.7	1.35277e-08
3	47	0	12.5	0	0	0	6	9	9	6	12		1	2.5	12.5	74.5	3.54971e-08
4	49	0	12.5	0	0	0	9	9	9	9	13.5		1	2.5	12.5	76.6	2.18873e-08
																70.6	8.79424e-08
Contribución de Directo a flanco																	
i	R _{s,A}	R _{f,A}	S _s (m ²)	S _{vpl} (m ²)	R _{vpl,A}	R _{s,m}	ΔR _D	ΔR _{f,i}	maxΔR	minΔR _i	ΔR _{Df}	K _{Df}	l _o (m)	l _f (m)	S _s (m ²)	R _{Df,A}	τ _{Df} = 10 ^{-0,1 Ri,A}
1	0	55	12.5	0	0	0	9	5	9	5	11.5		1	5	12.5	77.7	1.70303e-08
2	0	55	12.5	0	0	0	9	-	9	0	9		1	5	12.5	75.2	3.02847e-08
3	0	47	12.5	0	0	0	9	6	9	6	12		1	2.5	12.5	74.5	3.54971e-08
4	0	49	12.5	0	0	0	9	9	9	9	13.5		1	2.5	12.5	73.5	4.46882e-08
																68.9	1.275e-07
Contribución por Transmisión Aérea Directa e Indirecta																	
	D _{n,ε,i}	D _{n,s,A}	A ₀ (m ²)	S _s (m ²)	D _{n,ai,A}	τ _{Dd} = 10 ^{-0,1 Dn,A}											
	0	0	10	12.5	inf	0											
Índice global de reducción acústica aparente, ponderado A																	
$R'_A = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{R_{Dd,A}}{10}} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-\frac{R_{Ff,A}}{10}} + \sum_{j=1}^4 10^{-\frac{R_{Df,A}}{10}} + \sum_{F=1}^4 10^{-\frac{R_{Ff,A}}{10}} + \frac{A_0}{S_S} \sum_{\alpha_i=\epsilon_i, s_i} 10^{-\frac{D_{n,\alpha_i,A}}{10}} \right)$											R' _A	τ _n = 10 ^{0,1 Ln,w}					
											R _{Dd,A}	62.5	5.62341e-07				
											R _{f,A}	63	5.01882e-07				
											R _{f,i,A}	70.6	8.79424e-08				
											R _{Df,A}	68.9	1.275e-07				
											D _{n,ai,A}	inf	0				
											58.2	1.51165e-06					
Diferencia de Niveles Estandarizada, ponderada A																	
	R' _A	V (m ³)	S _s (m ²)	D _{nTA}													
	58.2	60	12.5	65													

Figura 3.13 Tabla de cálculo del ruido aéreo transmitido del recinto 1 al 2

Estas tablas resultan de gran utilidad en caso de no cumplir alguno de los requisitos, ya que estudiando los cálculos se puede conocer el elemento que más aporta al incumplimiento de las especificaciones para, posteriormente, cambiarlo.

Por último, entre las mismas pestañas, se puede acceder a la ficha justificativa del DB-HR, en la que el programa plasma los resultados del estudio con el fin de presentarlo de una manera más formal y profesional.

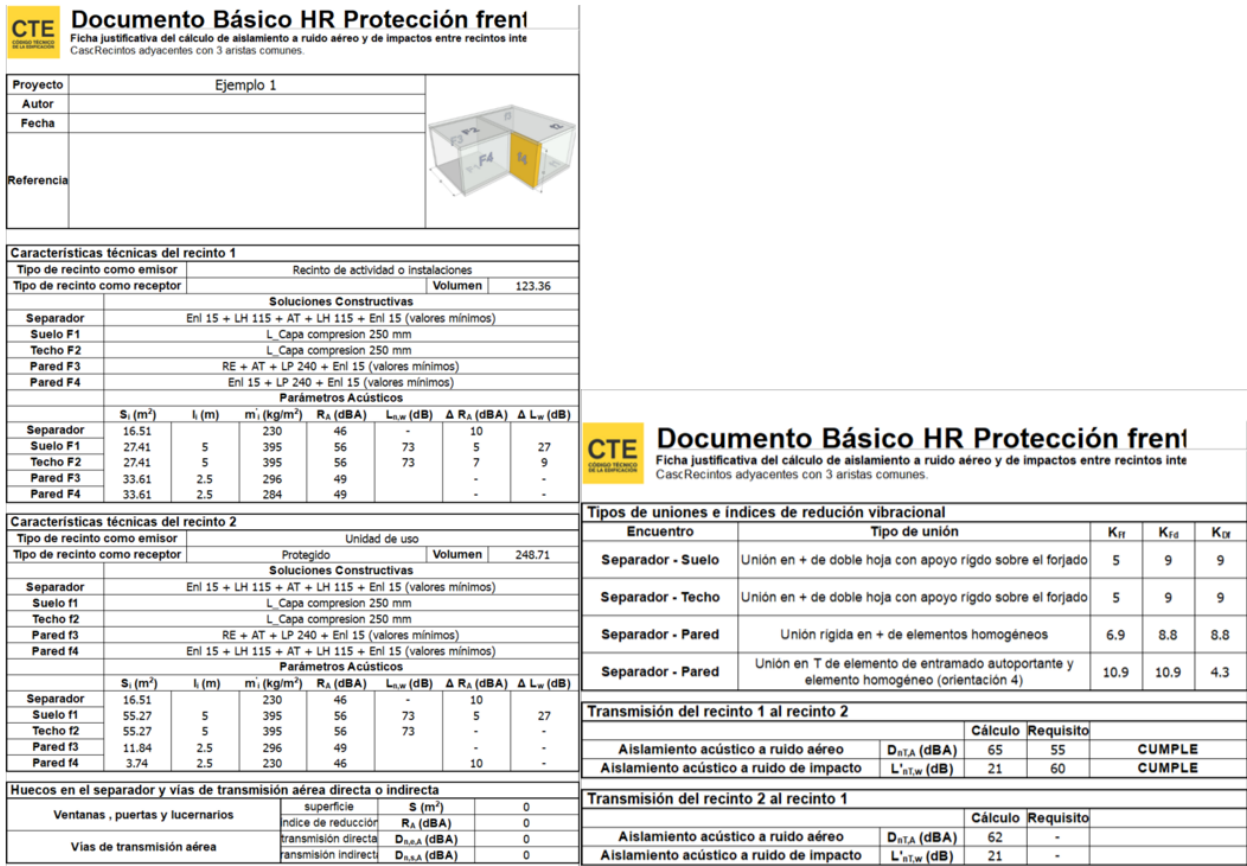


Figura 3.14 Ficha justificativa del caso 3.1.1

3.1.2 Pareja de recintos 2: Dormitorio con cocina

Este caso comprende el estudio del aislamiento acústico entre un dormitorio el cual comparte una pared con la cocina de la vivienda. El plano de las estancias es el siguiente:

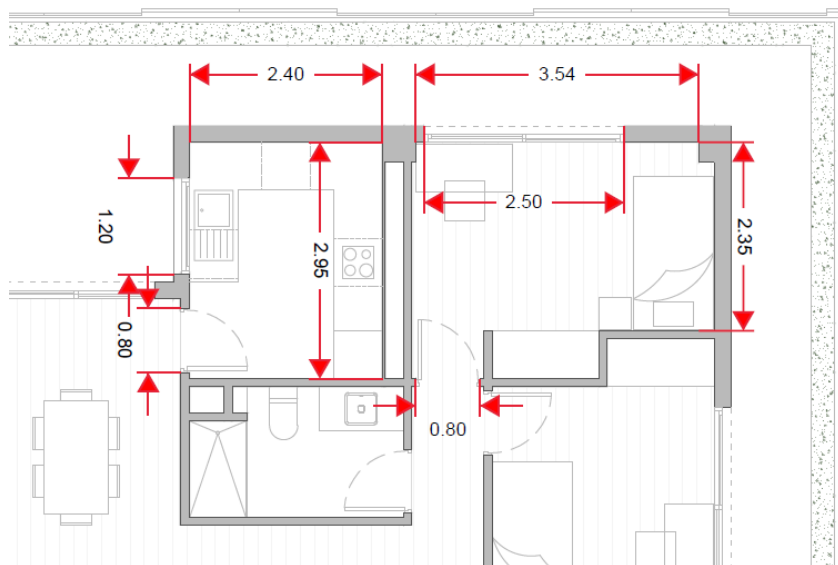


Figura 3.15 Plano de los recintos del caso de estudio 3.1.2 [11]

3.1.2.1 Definición de las estancias

- Geometría de la habitación:
 - ◆ Largo: 3,54 m
 - ◆ Ancho: 2,35 m
 - ◆ Alto: 2,70 m
 - ◆ Volumen: 22,46 m³
 - ◆ Puerta: 0,80 m x 2,05 m = 1,64 m²
 - ◆ Ventana: 2,51 m x 2,1 m = 5,25 m²
 - ◆ Paredes: 3,54 m x 2,70 m x 2 paredes + 2,35 m x 2,70 m x 2 paredes – 6,89 m² = 24,92 m²
- Geometría de la cocina:
 - ◆ Largo: 2,95 m
 - ◆ Ancho: 2,40 m
 - ◆ Alto: 2,7 m
 - ◆ Volumen: 19,12 m³
 - ◆ Puerta: 0,80 m x 2,05 m = 1,64 m²
 - ◆ Ventanas: 1,20 m x 1,20 m = 1,44 m²
 - ◆ Paredes: 2,40 m x 2,7 m x 2 paredes + 2,95 m x 2,70 m x 2 paredes – 1,64 m² – 1,44 m² = 25,81 m²
- Geometría del elemento separador:
 - ◆ Alto: 2,7 m
 - ◆ Ancho: 2,35 m
 - ◆ Superficie: 6,35 m²
- Uniones:


Arista 1	Unión elemento-suelo	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)
Arista 2	Unión elemento-techo	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)
Arista 3	Unión elemento-fachada	Unión en T de elementos de entramado autoportante
Arista 4	Unión elemento-pared	Unión en T de elementos de entramado autoportante

Tabla 3.2 Tipos de uniones entre elementos del caso 3.1.2


3.1.2.2 Comprobación de valores límite

Al haber explicado el procedimiento de uso de la herramienta en el caso anterior, en este apartado se mostrarán directamente los datos de entrada de la hoja de cálculo y se analizarán los resultados.

En la siguiente figura se muestran los datos de entrada para este caso de estudio, teniendo como recinto 1 la habitación y como recinto 2 la cocina:



Documento básico HR protección fre



Cálculo conjunto del Aislamiento Acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores. Recintos adyacentes con 3 ar

Datos de entrada

Elemento separad

Superficie S_e

Elemento constructivo base	m', (kg/m ³)	R _{i,A}	Revestimiento recinto 1	ΔR _{D,A}	Revestimiento recinto 2	ΔR _{D,A}
YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	Sin Trasdosados	-	Sin Trasdosados	-

Ventanas, puertas y luce

S (m ²)	R _A
0	0

Transmisión aérea D

Directa		Indirecta	
D _{0,e,A}	D _{0,s,A}	D _{0,e,A}	D _{0,s,A}
0	0	0	0

D _{nT,A}	Requisito CTE	L' _{nT,W}	Requisito CTE
55	45 CUMPLE	48	-
56	50 CUMPLE	47	65 CUMPLE

Recinto 1

Tipo de recinto como emisor

Tipo de recinto como receptor

Volumen V₁ (l)

Elemento	Elemento constructivo base	m' (kg/m ³)	R _{i,A}	L _{0,W}	S _i (m ²)	l _r (m)	Como Hanco		Revestimiento	ΔR _{D,A}	ΔL _{0,W}
							m' (kg/m ³)	R _{E,A}			
Elemento F1 (Suelo)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	49	84	8.32	2.35	245	49	AC + M 50 + AR MW 12	8	27
Elemento F2 (Techado)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	49	84	8.32	2.35	245	49	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m <= 350 ka/m ²)	13	9
Elemento F3 (Pared)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49	-	9.56	2.7	28	49	Solución conjunta	-	-
Elemento F4 (Pared)	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	-	9.56	2.7	50	58	Sin Trasdosados	-	-

Figura 3.16 Entrada de datos 1 del caso 3.1.2

Recinto 2												
Tipo de recinto como emisor Unidad de uso			Tipo de recinto como receptor Habitable			Como Flanco			Volumen V_v (l)			19.12
Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{f,a}$	$L_{p,w}$	S_i (m ²)	l_r (m)	m'_e (kg/m ²)	$R_{f,e}$	Revestimiento	$\Delta R_{n,a}$	$\Delta L_{p,w}$		
Elemento f1 (Suelo)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	49	84	7.08	2.35	245	49	AC + M 50 + AR EEPS 30	8	28	
Elemento f2 (Techo)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	49	84	7.08	2.35	245	49	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m <= 350)	13	9	
Elemento f3 (Pared)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49		6.48	2.7	28	49	Solución conjunta	-	-	
Elemento f4 (Pared)	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58		6.48	2.7	50	58	Sin Trasdosados	-	-	

Uniones de los Elementos Const						
Tipo de unión	K_{E1}	K_{E4}	K_{E2}			
Arista 1 (Unión Elemento-Suelo) 	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	-2.1	16.9	16.9		Vista en sección
Arista 2 (Unión Elemento-Techo) 	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	-2.1	16.9	16.9		Vista en sección
Arista 3 (Unión Elemento-Pared) 	Unión en T de elementos de entramado autoportante (orientación 1)	15	12.5	12.5		Vista en planta
Arista 4 (Unión Elemento-Pared) 	Unión en T de elementos de entramado autoportante (orientación 4)	10	10	10		Vista en planta

Figura 3.17 Entrada de datos 2 del caso 3.1.2

Observando la siguiente captura (figura 3.18), se puede comprobar que los valores de aislamiento acústico de estos recintos cumplen con lo estipulado en el DB-HR para recintos habitables y protegidos, por lo que no habrá que tomar medidas adicionales. También se mostrará a continuación la ficha justificativa de este caso:

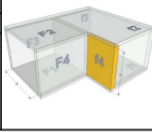
	$D_{nT,A}$	Requisito CTE	$L'_{nT,w}$	Requisito CTE
	55	45 CUMPLE	48	-
	56	50 CUMPLE	47	65 CUMPLE

Figura 3.18 Resultados del caso 3.1.2

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores. Casos recintos adyacentes con 3 aristas comunes.

Proyecto	Ejemplo 2
Autor	
Fecha	
Referencia	



Características técnicas del recinto 1							
Tipo de recinto como emisor		Unidad de uso					
Tipo de recinto como receptor		Protegido	Volumen	22,46			
Soluciones Constructivas							
Separador	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles amostrados)						
Suelo F1	U EPS moldeada-enrasada 350 mm						
Techo F2	U EPS moldeada-enrasada 350 mm						
Pared F3	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15						
Pared F4	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles amostrados)						
Parámetros Acústicos							
	S (m²)	l (m)	m (kg/m³)	R _a (dBA)	L _w (dB)	Δ R _a (dBA)	Δ L _w (dB)
Separador	6.35		50	58	-	-	27
Suelo F1	8.32	2.35	245	49	84	8	27
Techo F2	8.32	2.35	245	49	84	13	9
Pared F3	9.56	2.7	28	49	-	-	-
Pared F4	9.56	2.7	50	58	-	-	-

Características técnicas del recinto 2							
Tipo de recinto como emisor		Unidad de uso					
Tipo de recinto como receptor		Habitabile	Volumen	19,12			
Soluciones Constructivas							
Separador	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles amostrados)						
Suelo F1	U EPS moldeada-enrasada 350 mm						
Techo F2	U EPS moldeada-enrasada 350 mm						
Pared F3	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15						
Pared F4	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles amostrados)						
Parámetros Acústicos							
	S (m²)	l (m)	m (kg/m³)	R _a (dBA)	L _w (dB)	Δ R _a (dBA)	Δ L _w (dB)
Separador	6.35		50	58	-	-	9
Suelo F1	7.08	2.35	245	49	84	8	28
Techo F2	7.08	2.35	245	49	84	13	9
Pared F3	6.48	2.7	28	49	-	-	-
Pared F4	6.48	2.7	50	58	-	-	-

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m²)	0
	índice de reducción	R _a (dBA)	0
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	D _{nT,A} (dBA)	0
	transmisión indirecta	D _{nT,A} (dBA)	0

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores. Casos recintos adyacentes con 3 aristas comunes.

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K _u	K _v	K _{u,v}
Separador - Suelo	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	-2,1	16,9	16,9
Separador - Techo	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	-2,1	16,9	16,9
Separador - Pared	Unión en T de elementos de entramado autoportante (orientación 1)	15	12,5	12,5
Separador - Pared	Unión en T de elementos de entramado autoportante (orientación 4)	10	10	10

Transmisión del recinto 1 al recinto 2				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D _{nT,A} (dBA)	55	45	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	L _{w,Ta} (dB)	48	-	

Transmisión del recinto 2 al recinto 1				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D _{nT,A} (dBA)	56	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	L _{w,Ta} (dB)	47	65	CUMPLE

Figura 3.19 Ficha justificativa del caso 3.1.2

3.2 Aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto entre recintos superpuestos

3.2.1 Pareja de recintos 1: Salón con salón

Este ejemplo es muy parecido a los anteriores en lo que respecta al procedimiento, ya que se estudia también el aislamiento entre dos recintos contiguos con la única diferencia siendo la distribución de estos (y, por ende, el elemento separador es el suelo/techo en lugar de la pared). Para este ejemplo, se ha decidido estudiar el salón de una casa en un edificio de viviendas, que en el piso de arriba tendrá, debido a un diseño simétrico de las viviendas, otro salón de iguales dimensiones, pero perteneciente a otra unidad de uso. En definitiva, se tendrán dos recintos protegidos de distinta unidad de uso para los cuales el DB-HR exige que el aislamiento acústico a ruido aéreo entre ambos, $D_{nT,A}$, sea mayor que 50 dBA en ambos sentidos y que el nivel global de presión de ruido de impactos, $L'_{nT,w}$, no supere los 60 dB del piso superior al inferior.

3.2.1.1 Definición de las estancias

- Geometría ambos salones:
 - ◆ Largo: 5,18 m
 - ◆ Ancho: 4,34 m
 - ◆ Alto: 2,7 m
 - ◆ Volumen: 60,69 m³
 - ◆ Superficie del elemento separador: 22,48 m²

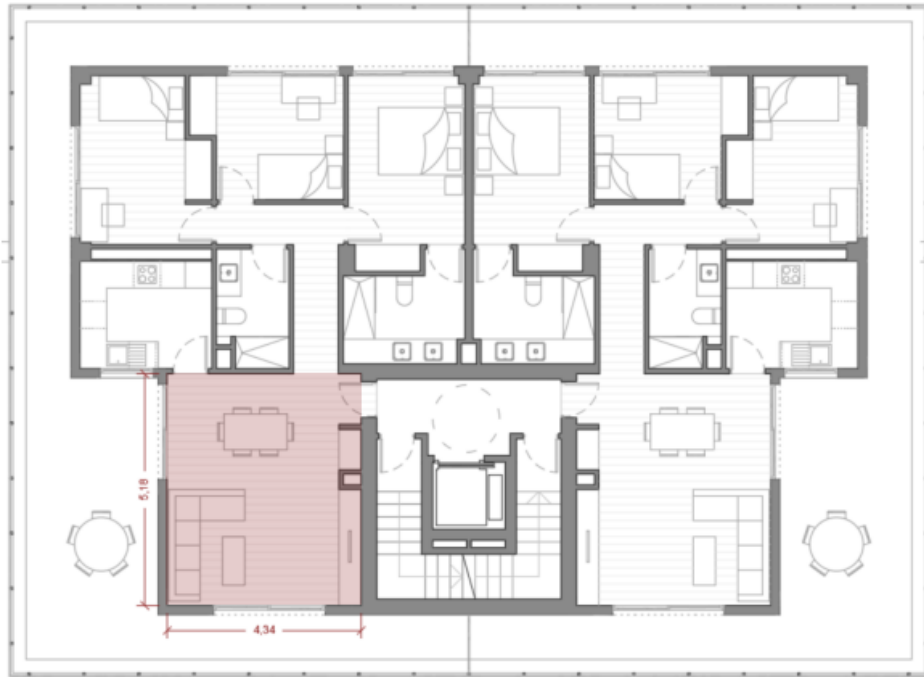


Figura 3.20 Plano de planta de la vivienda [11]



Figura 3.21 Plano sección de la vivienda [11]

Arista 1	Unión elemento-pared	Unión en T de forjado y fachada de entramado
Arista 2	Unión elemento-pared	Unión rígida en + de elementos homogéneos
Arista 3	Unión elemento-pared	Unión rígida en + de entramado autoportante y elemento homogéneo
Arista 4	Unión elemento-pared	Unión en T de forjado y fachada de entramado

Tabla 3.3 Tipos de uniones entre elementos del caso 3.2.1

3.2.1.2 Comprobación de valores límite

Para crear un nuevo caso de cálculo, pulsar (en Windows) las teclas CTRL+N dentro del proyecto y se creará el nuevo caso el cual, en este ejemplo, se llamará “Ruido superpuesto”.

Al igual que en el ejemplo anterior, se debe seleccionar la distribución de los recintos, así como los tipos de flanco que les corresponden:



Figura 3.22 Menú de selección de caso de cálculo




Figura 3.23 Menú asignación previa de elementos constructivos

Una vez hecho esto, se procederá a introducir los datos en la hoja de cálculo del caso. Se podrá comprobar que la distribución de esta es prácticamente igual a el caso de los recintos adyacentes, por lo que no se profundizará en este ejemplo más allá de las soluciones.

Introducidos los datos, se obtendrá un resultado satisfactorio en el que se cumplen todos los requisitos de

aislamiento entre ambos recintos. Quedando la hoja de cálculo de la siguiente manera:






Documento básico HR protección fre

Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores. Recintos superpuestos con 4 e

Datos de entrada

Elemento separad

Superficie S_e





Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{e,s}$	$L_{p,w}$	Revestimiento recinto 1	$\Delta R_{D,s}$	$\Delta L_{p,w}$	Revestimiento recinto 2	$\Delta R_{D,s}$	$\Delta L_{p,w}$
 U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	49	84	 AC + M 50 + AR MW 12	8	27	 YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m <= 350 kg/m ²)	13	9

Transmisión aérea D	
Directa	Indirecta
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

$D_{nT,A}$	Requisito CTE	$L'_{nT,w}$	Requisito CTE
64	50 CUMPLE	46	65 CUMPLE
64	50 CUMPLE		





Recinto 1

Tipo de recinto como emisor: Tipo de recinto como receptor: Volumen V_1 (t)





Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{e,s}$	S_i (m ²)	l (m)	Como Flanco	Revestimiento	$\Delta R_{D,s}$
Elemento F1 (Pared)  PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49	18.13	5	<input type="text" value="11"/> <input type="text" value="45"/>	Solución conjunta	-
Elemento F2 (Pared)  H 200	500	60	18.13	5	<input type="text" value="500"/> <input type="text" value="60"/>	Sin Trasdosados	-
Elemento F3 (Pared)  YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	15.62	5	<input type="text" value="50"/> <input type="text" value="58"/>	Sin Trasdosados	-
Elemento F4 (Pared)  PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49	15.62	5	<input type="text" value="11"/> <input type="text" value="45"/>	Solución conjunta	-





Recinto 2

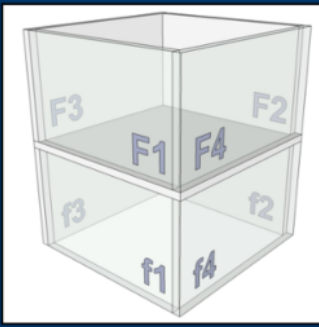
Tipo de recinto como emisor: Tipo de recinto como receptor: Volumen V_2 (t)


Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{e,s}$	S_i (m ²)	l (m)	Como Flanco	Revestimiento	$\Delta R_{D,s}$
Elemento f1 (Pared)  PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49	18.13	5	<input type="text" value="11"/> <input type="text" value="45"/>	Solución conjunta	-
Elemento f2 (Pared)  H 200	500	60	18.13	5	<input type="text" value="500"/> <input type="text" value="60"/>	Sin Trasdosados	-
Elemento f3 (Pared)  YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	15.62	5	<input type="text" value="50"/> <input type="text" value="58"/>	Sin Trasdosados	-
Elemento f4 (Pared)  PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49	15.62	5	<input type="text" value="11"/> <input type="text" value="45"/>	Solución conjunta	-

Uniones de los Elementos Const

Tipo de unión	K_{α}	K_{β}	K_{γ}
Arista 1 (Unión Elemento-Pared)  Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 3)	37	23.5	23.5
Arista 2 (Unión Elemento-Pared)  Unión rígida en + de elementos homogéneos	3.9	9.2	9.2
Arista 3 (Unión Elemento-Pared)  Unión en + de elementos de entramado autorportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	23.8	16.9	16.9
Arista 4 (Unión Elemento-Pared)  Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 4)	37	23.5	23.5

 Vista en sección lateral
 Vista en sección lateral
 Vista en sección frontal
 Vista en sección frontal





Esta herramienta facilita la aplicación del método de cálculo de la opción general del DB HR protección frente a ruido, del CTE

v 3.0 Diciembre

Figura 3.24 Hoja de cálculo completa del caso 3.2.1

Al igual que en el apartado anterior, se podrá presentar los cálculos en la ficha justificativa del DB-HR. Pero, para ir un paso más allá, esta vez se exportará la ficha a formato PDF, para así poder entregarse a la entidad correspondiente. Para ello, bastará con hacer clic derecho sobre el caso de cálculo (en el menú de proyecto a la izquierda de la pantalla) y seleccionar la opción de exportar ficha a PDF.

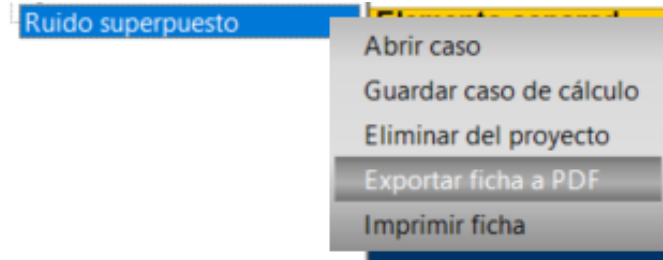


Figura 3.25 Menú para exportar ficha a PDF

Una vez hecho esto, se guardará el archivo en el directorio de trabajo con el nombre de “Ficha_justificativa_[nombre del caso de cálculo].pdf” y quedaría un archivo como el siguiente:

CTE Documento Básico HR Protección frente al ruido
 Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
 Casos Recintos superpuestos con 4 aristas comunes.

Proyecto	
Autor	
Fecha	
Referencia	

Características técnicas del recinto 1

Tipo de recinto como emisor	Recinto de actividad o instalaciones						
Tipo de recinto como receptor	Volumen	62.5					
Soluciones Constructivas							
Separador	U. BC 350 mm						
Pared F1	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Pared F2	Enl 15 + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared F3	Enl 15 + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared F4	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S (m²)	l (m)	m (kg/m²)	R _a (dBA)	L _w (dB)	Δ R _a (dBA)	Δ L _w (dB)
Separador	25		360	55	75	5	27
Pared F1	12.5	5	173	47	73	6	-
Pared F2	12.5	5	284	49	73	9	-
Pared F3	12.5	5	284	49	73	9	-
Pared F4	12.5	5	173	47	73	6	-

Características técnicas del recinto 2

Tipo de recinto como emisor	Unidad de uso						
Tipo de recinto como receptor	Protegido	Volumen	62.5				
Soluciones Constructivas							
Separador	U. BC 350 mm						
Pared f1	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Pared f2	Enl 15 + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f3	Enl 15 + LP 240 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f4	LP 115 + RM + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S (m²)	l (m)	m (kg/m²)	R _a (dBA)	L _w (dB)	Δ R _a (dBA)	Δ L _w (dB)
Separador	25		360	55	75	-	-
Pared f1	12.5	5	173	47	73	6	-
Pared f2	12.5	5	284	49	73	9	-
Pared f3	12.5	5	284	49	73	9	-
Pared f4	12.5	5	173	47	73	6	-

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta

Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m²)	0
	índice de reducción	R _a (dBA)	0
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	D _{a,dir} (dBA)	0
	transmisión indirecta	D _{a,ind} (dBA)	0

CTE Documento Básico HR Protección frente al ruido
 Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
 Casos Recintos superpuestos con 4 aristas comunes.

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional

Encuentro	Tipo de unión	K _{er}	K _{es}	K _{or}
Separador - Pared				
Separador - Pared				
Separador - Pared				
Separador - Pared				

Transmisión del recinto 1 al recinto 2

		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D _{a,1a} (dBA)	55	55	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	L _{w,1a} (dB)	46	60	CUMPLE

Transmisión del recinto 2 al recinto 1

		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D _{a,1a} (dBA)	55	-	-
Aislamiento acústico a ruido de impacto	L _{w,1a} (dB)	-	-	-

Figura 3.26 Ficha justificativa del caso 3.2.1

3.2.2 Pareja de recintos 2: Dormitorios superpuestos

En este caso se estudiarán los dormitorios principales de dos viviendas diferentes que se encuentran superpuestas, por lo que se busca cumplir con los valores límite definidos para recintos protegidos.

3.2.2.1 Definición de las estancias

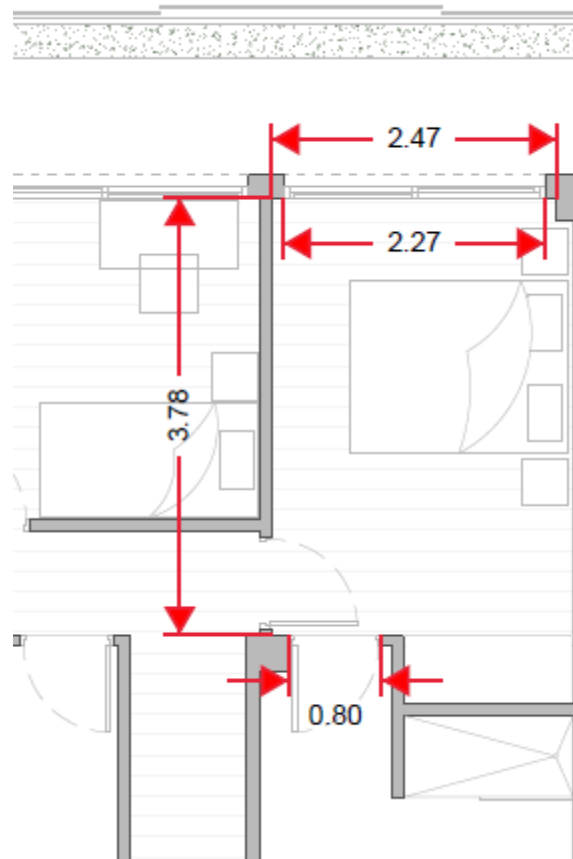


Figura 3.27 Plano del dormitorio principal [11]

- Geometría de ambos dormitorios:
 - ◆ Largo: 3,78 m
 - ◆ Ancho: 2,47 m
 - ◆ Alto: 2,7 m
 - ◆ Volumen: 25,21 m³
 - ◆ Superficie del elemento separador: 9,34 m²

- Uniones:

Arista 1	Unión elemento-pared	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)
Arista 2	Unión elemento-pared	Unión rígida en + de elementos homogéneos
Arista 3	Unión elemento-pared	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)
Arista 4	Unión elemento-pared	Unión en + de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)

Tabla 3.4 Uniones entre los elementos del caso 3.2.2

3.2.2.2 Comprobación de valores límite

En las siguientes imágenes, se muestran los datos de entrada para el cálculo del caso 3.2.2, donde el recinto 1 es el dormitorio superior y el 2 el inferior:



Documento básico HR protección fre



Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores. Recintos superpuestos con 4 ε

Datos de entrada

Elemento separad

Superficie S_s

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R_{fA}	$L_{n,w}$	Revestimiento recinto 1	$\Delta R_{D,A}$	ΔL_{w}	Revestimiento recinto 2	$\Delta R_{d,A}$	ΔL_{w}
U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	49	84	AC + M 50 + AR MW 12	8	27	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m <= 350 kg/m²)	13	9

Transmisión aérea D	
Directa	Indirecta
0	0

$D_{nT,A}$	Requisito CTE	$L'_{nT,w}$	Requisito CTE
63	50 CUMPLE	50	65 CUMPLE
63	50 CUMPLE		

Recinto 1

Tipo de recinto como emisor:
 Tipo de recinto como receptor:
 Volumen V_1 (l):

Elemento constructivo base	m' (kg/m²)	R_{fA}	S_i (m²)	l_r (m)	Como Flanco	Revestimiento	$\Delta R_{D,A}$
Elemento F1 (Pared) YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	10.21	3.78	50 58	Sin Trasdosados	-
Elemento F2 (Pared) H 200	500	60	10.21	3.78	500 60	Sin Trasdosados	-
Elemento F3 (Pared) PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49	6.67	2.47	28 49	Solución conjunta	-
Elemento F4 (Pared) YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	6.67	2.47	50 58	Sin Trasdosados	-

Figura 3.28 Datos de entrada 1 para el caso de estudio 3.2.2

Recinto 2												
Tipo de recinto como emisor			Tipo de recinto como receptor			Como Flanco			Volumen V _v (l)			
Unidad de uso			Protegido						25.21			
Elemento constructivo base		m' (kg/m ²)	R _w	S _i (m ²)	h (m)	m' _e (kg/m ²)	R _{w,e}	Revestimiento		ΔR _{DnT}		
Elemento f1 (Pared)	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	10.21	3.78	50	58	Sin Trasdosados	-			
Elemento f2 (Pared)	H 200	500	60	10.21	3.78	500	60	Sin Trasdosados	-			
Elemento f3 (Pared)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	49	6.67	2.47	28	49	Solución conjunta	-			
Elemento f4 (Pared)	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	58	6.67	2.47	50	58	Sin Trasdosados	-			

Uniones de los Elementos Const				
Tipo de unión		K _{tr}	K _{ed}	K _{pr}
Arista 1 (Unión Elemento-Pared)	Unión en + de elementos de entramado autorportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	23.8	16.9	16.9
Arista 2 (Unión Elemento-Pared)	Unión rígida en + de elementos homogéneos	3.9	9.2	9.2
Arista 3 (Unión Elemento-Pared)	Unión en + de elementos de entramado autorportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	28.8	19.4	19.4
Arista 4 (Unión Elemento-Pared)	Unión en + de elementos de entramado autorportante y elemento homogéneo (autoportante en 2 y 4)	23.8	16.9	16.9

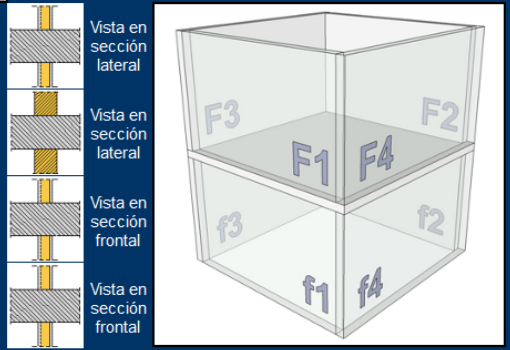


Figura 3.29 Datos de entrada 2 para el caso de estudio 3.2.2

En la figura mostrada a continuación, se puede comprobar que el diseño de los recintos estudiados cumple satisfactoriamente con los criterios del DB-HR:

	D _{nT,A}	Requisito CTE	L' _{nT,w}	Requisito CTE
	63	50 CUMPLE	50	65 CUMPLE
	63	50 CUMPLE		

Figura 3.30 Resultados del caso 3.2.2

3.3 Aislamiento acústico a ruido aéreo proveniente del exterior

3.3.1 Recinto 1: Salón

En este apartado se va a estudiar el caso del aislamiento acústico de la fachada de un edificio ante el ruido aéreo exterior. Para ello, la exigencia varía según el tipo de recinto protegido que se estudie y el índice de ruido de día, L_D , proveniente del exterior. En el DB-HR se encuentra una tabla con los siguientes valores:

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

⁽¹⁾ En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Figura 3.31 Tabla de valores límite para ruido exterior

Para este caso se ha estudiado el mismo salón que en el 3.2.1, según la información extraída del TFM en el que se definen las estancias que se están estudiando, la fachada del salón da a la calle Jiménez Aranda, en el distrito de Nervión, Sevilla. Consultando los mapas de ruido de la ciudad de Sevilla o las tablas de L_D , se comprueba que el nivel de ruido de día es de 77,7 dB y la fuente principal del mismo es el tráfico rodado.

nom_vía	DISTRITO	BARRIO	ASA	LD
JIMENEZ ARANDA	NERVIÓN	HUERTA DEL PILAR	a1	77,7

Figura 3.32 Extracto de tabla de ruido diurno, L_D de la calle Jiménez Aranda, Sevilla

Por lo que comparando el valor L_D de la calle con la tabla de valores límite, resulta que el aislamiento a ruido exterior del salón, $D_{2m,nT,Atr}$, al ser una estancia en un edificio residencial, debe ser mayor que 42 dBA.

Como la geometría del recinto ya se definió en el ejemplo anterior, se introducirán los datos en la aplicación directamente.

3.3.1.1 Comprobación de valores límite


Para estudiar en la herramienta el aislamiento acústico a ruido aéreo exterior, se creará un nuevo caso de cálculo de la misma manera que en los anteriores ejemplos, a este se le llamará "Ruido exterior".

Una vez puesto el nombre, en el menú de distribución de la estancia, como el salón tiene la fachada en esquina (se puede comprobar en los planos del ejemplo anterior), se seleccionará lo siguiente:




Figura 3.33 Menú de selección del tipo de fachada

Hecho esto, la herramienta presenta una hoja de cálculo parecida a los ejemplos anteriores, en la que se pide definir las secciones de fachada directa (enfrentadas a la calle o fuente de ruido), en este caso serán 2. Para ello, como dato, hay que introducir el elemento constructivo base, la forma de la fachada y superficie de esta, así como las ventanas y el nivel y tipo de ruido diurno (L_D). En este caso quedará así:



CTE
CÓDIGO TÉCNICO
DE LA EDIFICACIÓN

Documento básico HR protección fre



Cálculo del aislamiento acústico ruido aéreo en fachadas en esquina.

Datos de entrada

Sección de Fachada Direct

Superficie S_{ext}

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R_{dr}	R_A	Forma de la fachada	σ_{dr}	h_{lm}	ΔL_{fs}	Revestimiento interior	ΔR_{dr}
PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	49	Balconada C	0	0	1	Solución conjunta	-

Ventanas/Capizados				S_v (m ²)	$D_{n,s,v,dr}$
Doble ventana. DES - DES Ext 6/ Int 4-6-4	5.25	40	41	-3	0
Perfiles de PVC o de madera de al menos 10 mm de espesor o perfiles metálicos de al menos 10 kg/m ² de	0.75	30	-	0	0
Sin Ventanas	0	-	-	0	0
Sin Ventanas	0	-	-	0	0

$L_{a,d}$ (dB)

Tipo de ruido

$D_{2m,nT,At}$ **Requisito CTE** **NO CUMPLE**

Sección de Fachada Direct

Superficie S_{ext}

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R_{dr}	R_A	Forma de la fachada	σ_{dr}	h_{lm}	ΔL_{fs}	Revestimiento interior	ΔR_{dr}
PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	49	Balconada C	0	0	1	Solución conjunta	-

Ventanas/Capizados				S_v (m ²)	$D_{n,s,v,dr}$
Doble ventana. DES - DES Ext 6/ Int 4-6-4	4.51	40	41	-2	0
Perfiles de PVC o de madera de al menos 10 mm de espesor o perfiles metálicos de al menos 10 kg/m ² de	0.64	30	-	0	0
Sin Ventanas	0	-	-	0	0
Sin Ventanas	0	-	-	0	0

Figura 3.34 Definición de las fachadas directas

Tras esto, se definirán también las dimensiones de los flancos de la fachada, ya que los materiales se asumen iguales al resto de la fachada. También se definirá a continuación el recinto receptor, con sus materiales, dimensiones y el tipo de recinto, quedando la hoja tal que así:

Secciones de Fachada de Flan

	Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R_{dr}	S_i (m ²)	l (m)
Elemento F1a (Fachada)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	18,13	5
Elemento F1b (Fachada)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	15,19	5
Elemento F2a (Fachada)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	18,13	5
Elemento F2b (Fachada)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	15,19	5
Elemento F3 (Fachada)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	24,15	2.5
Elemento F4 (Fachada)	PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	27,51	2.5

Recinto Receptor

Tipo de recinto Volumen V_r (n)

Elemento	Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R_{dr}	S_i (m ²)	Como Flanco		Revestimiento	ΔR_{dr}
					m' (kg/m)	R_{dr}		
Elemento f1 (Suelo)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	47	22,48	245	47	AC + M 50 + AR MW 12	6
Elemento f2 (Techo)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	47	22,48	245	47	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m <= 10 350 kg/m ²)	-
Elemento f3 (Pared)	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	52	15,19	50	52	Sin Trasdosados	-
Elemento f4 (Pared)	H 200	500	57	18,13	500	57	Sin Trasdosados	-

Figura 3.35 Definición del recinto y los flancos de la fachada

Por último, quedará definir las uniones entre los elementos constructivos. En este ejemplo se tienen los siguientes tipos de unión:

Uniones de los Elementos Const						
Tipo de unión		K_{eT}	K_{eH}	K_{eV}		
Arista 1a (Unión Fachada-Suelo)	Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 3)	19.4	28.8	19.4		Vista en sección
Arista 1b (Unión Fachada-Suelo)	Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 4)	19.4	28.8	19.4		Vista en sección
Arista 2a (Unión Fachada-Techo)	Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 3)	19.4	28.8	19.4		Vista en sección
Arista 2b (Unión Fachada-Techo)	Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 4)	19.4	28.8	19.4		Vista en sección
Arista 3 (Unión Fachada-Pared)	Unión flexible en T de elementos homogéneos, orientación 3 (juntas elásticas en 2 y 4)	12.1	21.7	12.1		Vista en planta
Arista 4 (Unión Fachada-Pared)	Unión flexible en T de elementos homogéneos, orientación 2 (juntas elásticas en 1 y 3)	20.7	44.3	20.7		Vista en planta
Arista 5 (Esquina Separador)	Esquina inferior izquierda	-	-2	-2		Vista en planta

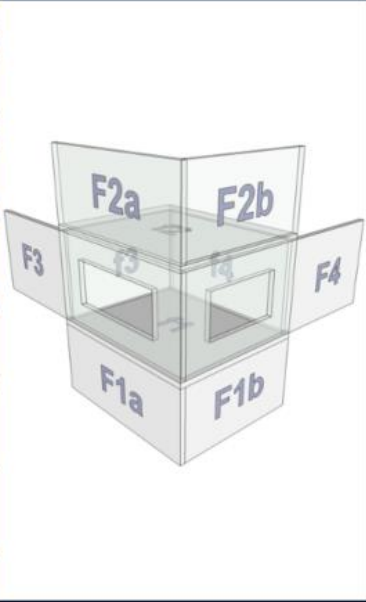


Figura 3.36 Uniones de los elementos de la fachada

$D_{2m,nT,At}$	Requisito CTE
37	42 NO CUMPLE

Figura 3.37 Resultado inicial del caso 3.3.1

3.3.1.2 Análisis y propuesta de solución alternativa

Se puede comprobar que no cumple las restricciones impuestas por el CTE, por lo que sería interesante, tal como se mencionó en el primer ejemplo, mirar la hoja de los cálculos realizados para buscar el elemento más perjudicial del estudio. Dichos cálculos se muestran en las siguientes figuras:

Cálculo conjunto del Aislamiento Acústico a ruido aéreo en fachadas									
Cálculos									
	S _e (m)	S _r (m)	S _T (m)		Pond.	Pond.			
	18.13	15.19	33.32		0.544	0.456			
Contribución Directa a									
	R _{e,A}	ΔR _{Df}	R _{Df,A}	S _s (m)		S _i (m ²)	R _{i,A}	R _{Dd,m,f}	τ _{Dd} = 10 ^{-0,1 Ri,A}
	42	-	42	18.13		12.13	42	43.7	2.29697e-05
						5.25	40	45.4	1.57563e-05
						0.75	30	43.8	2.2509e-05
						0	-	-	-
						0	-	-	-
								42.1	6.1235e-05
Contribución Directa a									
	R _{e,A}	ΔR _{Df}	R _{Df,A}	S _s (m)		S _i (m ²)	R _{i,A}	R _{Dd,m,f}	τ _{Dd} = 10 ^{-0,1 Ri,A}
	42	-	42	15.19		10.04	42	43.8	1.9012e-05
						4.51	40	45.3	1.35354e-05
						0.64	30	43.8	1.92077e-05
						0	-	-	-
						0	-	-	-
								42.9	5.17551e-05
Contribución de Flanco a flanco									
i=j	R _{F,A}	R _{F,A}	ΔR _{Ff}	K _{Ff}	l ₀ (m)	l _f (m)	S _s (m ²)	R _{Ff,A}	τ _{Ff} = 10 ^{-0,1 Ri,A}
1a	42	47	6	19.4	1	5	18.13	75.5	2.80908e-08
1b	42	47	6	19.4	1	5	15.19	74.7	3.35277e-08
2a	42	47	10	19.4	1	5	18.13	79.5	1.11831e-08
2b	42	47	10	19.4	1	5	15.19	78.7	1.33476e-08
3	42	52	-	12.1	1	2.5	18.13	67.7	1.70349e-07
4	42	57	-	20.7	1	2.5	15.19	78	1.58896e-08
								65.6	2.72388e-07

Figura 3.38 Resultados de cálculo del aislamiento a ruido exterior 1 (Situación inicial)

Contribución de Flanco a directo									
i	R _{F,A}	R _{S,A}	ΔR _{Fd}	K _{Fd}	l ₀ (m)	l _f (m)	S _s (m ²)	R _{Fd,A}	τ _{Fd} = 10 ^{-0,1 Ri,A}
1a	42	42	-	28.8	1	5	18.13	76.4	2.27277e-08
1b	42	42	-	28.8	1	5	15.19	75.7	2.71266e-08
2a	42	42	-	28.8	1	5	18.13	76.4	2.27277e-08
2b	42	42	-	28.8	1	5	15.19	75.7	2.71266e-08
3	42	42	-	21.7	1	2.5	18.13	72.3	5.94599e-08
4	42	42	-	44.3	1	2.5	15.19	94.2	3.83706e-10
5a	42	42	-	-2	1	2.5	15.19	47.8	1.64582e-05
								47.8	1.66177e-05
Contribución de Directo a flanco									
i	R _{S,A}	R _{F,A}	ΔR _{Df}	K _{Df}	l ₀ (m)	l _f (m)	S _s (m ²)	R _{Df,A}	τ _{Df} = 10 ^{-0,1 Ri,A}
1a	42	47	6	19.4	1	5	18.13	75.5	2.80908e-08
1b	42	47	6	19.4	1	5	15.19	74.7	3.35277e-08
2a	42	47	10	19.4	1	5	18.13	79.5	1.11831e-08
2b	42	47	10	19.4	1	5	15.19	78.7	1.33476e-08
3	42	52	-	12.1	1	2.5	18.13	67.7	1.70349e-07
4	42	57	-	20.7	1	2.5	15.19	78	1.58896e-08
5b	42	42	-	-2	1	2.5	18.13	48.6	1.37893e-05
								48.5	1.40617e-05

Figura 3.39 Resultados de cálculo del aislamiento a ruido exterior 2 (Situación inicial)

Indice global de reducción acústica aparente, ponderado A			
		R' _A	τ _n = 10 ^{0,1 Ln,w}
$R'_A = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{R_{Dd,A}}{10}} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-\frac{R_{Ff,A}}{10}} + \sum_{f=1}^4 10^{-\frac{R_{Df,A}}{10}} + \sum_{F=1}^4 10^{-\frac{R_{Fd,A}}{10}} + \frac{A_0}{S_S} \sum_{\alpha_1=\alpha_1, s_1} 10^{-\frac{D_{n,\alpha_1,A}}{10}} \right)$	R _{Dd,A}	42.1	6.1235e-05
	R _{Df,A}	42.9	5.17551e-05
	R _{Ff,A}	65.6	2.72388e-07
	R _{Fd,A}	47.8	1.66177e-05
	R _{Df,A}	48.5	1.40617e-05
	D _{n1,a,f}	inf	0
D _{n2,a,f}	inf	0	
		38.4	0.000143942
Diferencia de Niveles Estandarizada, ponderada A			
	R' _A	ΔL _{fs} V (m ³) T ₀ (s)	S _T (m ²)
a	38.4	1 60.69 0.5 33.32	37.1
b	38.4	1 60.69 0.5 33.32	37.1
			37.1

Figura 3.40 Resultados de cálculo del aislamiento a ruido exterior 3 (Situación inicial)

Observando los resultados de las figuras 3.38 a 3.40, se puede llegar a la conclusión de que los elementos de las fachadas directas son los que menos aportan al aislamiento acústico, por lo que se probará a cambiar tanto el elemento separador base como las ventanas para ver si es posible mejorar la solución y alcanzar a cumplir con los objetivos de aislamiento.

Sección de Fachada Direct

Superficie S_{ext} 18.13

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R _{ext}	R _a	Forma de la fachada	σ _{ext}	h _{ext}	ΔI _{fs}	Revestimiento interior	ΔR _{ext}
RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15	282	57	62	Balconada C	0	0	1	Solución conjunta	-

Ventanas/Capialzados			S ₀ (m ²)	D _{0,ext}
Doble ventana. DES - OSC Ext 6/ Int 4-6-4	4	44 46 -2	0	(aireadores con tratamiento acú)
Perfiles de PVC o de madera de al menos 10 mm de espesor o perfiles metálicos de al menos 10 kg/m ² de	0.75	30 - 0	0	(aireadores sin tratamiento acú)
Sin Ventanas	0	- - 0	0	(techos suspendidos, conductos, pasi)
Sin Ventanas	0	- - 0	0	

L_a (dB) 77,7 Tipo de ruido Automóviles

D_{2m,nT,At} 42 Requisito CTE 42 **CUMPLE**

Sección de Fachada Direct

Superficie S_{ext} 15.19

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R _{ext}	R _a	Forma de la fachada	σ _{ext}	h _{ext}	ΔI _{fs}	Revestimiento interior	ΔR _{ext}
RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15	282	57	62	Balconada C	0	0	1	Solución conjunta	-

Ventanas/Capialzados			S ₀ (m ²)	D _{0,ext}
Doble ventana. DES - OSC Ext 6/ Int 4-6-4	1	44 46 0	0	(aireadores con tratamiento acú)
Perfiles de PVC o de madera de al menos 10 mm de espesor o perfiles metálicos de al menos 10 kg/m ² de	0.64	30 - 0	0	(aireadores sin tratamiento acú)
Sin Ventanas	0	- - 0	0	(techos suspendidos, conductos, pasi)
Sin Ventanas	0	- - 0	0	

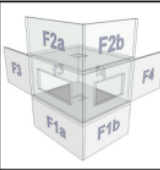
Figura 3.41 Nueva definición de las fachadas directas

Cambiando el material base de la fachada a una solución más pesada (muro de ladrillo), la ventana doble deslizante a una solución con una deslizante exterior y otra oscilobatiente interior y reduciendo las dimensiones de los huecos a las mostradas en la figura anterior (fig. 3.41), se consigue cumplir con los requisitos del DB-HR.

Finalmente, al igual que en el resto de los casos, se generará la ficha justificativa para presentar los resultados de una manera profesional.

CTE Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas. Caso Fachadas en esquina.

Proyecto	Ejemplo 3	
Autor		
Fecha		
Referencia		

Características técnicas del recinto 1				
Tipo de Ruido Exterior		L_e (dB)	77.7	
Forma de la fachada a		$\Delta L_{a,1}$ (dB)		
Forma de la fachada b	Balconada C	$\Delta L_{a,2}$ (dB)		
Soluciones Constructivas				
Sección Separador	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Separador	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Fianco F1	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Fianco F1	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Fianco F2	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Fianco F2	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Fianco F3	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Fianco F4	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15			
Parámetros Acústicos				
	S (m ²)	l (m)	m_v (kg/m ²)	$R_{w,1}$ (dBA)
Sección Separador	18.13		282	57
Sección Separador	15.19		282	57
Sección Fianco F1	18.13	5	282	57
Sección Fianco F1	15.19	5		57
Sección Fianco F2	18.13	5	282	57
Sección Fianco F2	15.19	5		57
Sección Fianco F3	24.15	2.5	282	57
Sección Fianco F4	27.51	2.5	282	57

Características técnicas del recinto 2						
Tipo de Recinto	Residencial y sanitario Estancias	Volumen	60.69			
Soluciones Constructivas						
Sección Separador	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15					
Sección Separador	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15					
Suelo f1	U. EPS moldeada-enrasada 350 mm					
Techo f2	U. EPS moldeada-enrasada 350 mm					
Pared f3	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)					
Pared f4	H 200					
Parámetros Acústicos						
	S (m ²)	l_x (m)	l_y (m)	m_v (kg/m ²)	$R_{w,1}$ (dBA)	$\Delta R_{w,1}$ (dBA)
Sección Separador	18.13			282	57	
Sección Separador	15.19			282	57	
Suelo f1	22.48	5	5	245	47	6
Techo f2	10	5	5	245	47	10
Pared f3	15.19	2.5		50	52	-
Pared f4	18.13	2.5		500	57	-

CTE Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas. Caso Fachadas en esquina.

Huecos en el separador					
Ventanas, puertas y lucernarios Fachada a		S (m ²)	$R_{w,1}$ (dBA)	$R_{w,2}$ (dBA)	$\Delta R_{w,1}$ (dBA)
	Hueco 1	4	44	46	-2
	Hueco 2	0.75	30	-	0
	Hueco 3	0	-	-	0
Ventanas, puertas y lucernarios Fachada b		S (m ²)	$R_{w,1}$ (dBA)	$R_{w,2}$ (dBA)	$\Delta R_{w,1}$ (dBA)
	Hueco 1	1	44	46	0
	Hueco 2	0.64	30	-	0
	Hueco 3	0	-	-	0
Hueco 4	0	-	-	0	

Vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Vías de transmisión aérea Separador 1	transmisión directa	$D_{n,1,2,3}$ (dBA)	0
	transmisión indirecta	$D_{n,1,2,3}$ (dBA)	0
Vías de transmisión aérea Separador 2	transmisión directa	$D_{n,1,2,3}$ (dBA)	0
	transmisión indirecta	$D_{n,1,2,3}$ (dBA)	0

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K_{ct}	K_{cd}	K_{cb}
Fachada a - suelo	forjados y fachadas con hoja interior de entramado (1 y 3)	10.6	10	10.6
Fachada b - suelo	forjados y fachadas con hoja interior de entramado (1 y 3)	10.6	10	10.6
Fachada a - techo	forjados y fachadas con hoja interior de entramado (1 y 3)	10.6	10	10.6
Fachada b - techo	forjados y fachadas con hoja interior de entramado (1 y 3)	10.6	10	10.6
Fachada a - pared	en flexible en T de elementos homogéneos, orientación (juntas elásticas en 2 y 4)	14.9	10.4	14.9
Fachada b - pared	en flexible en T de elementos homogéneos, orientación (juntas elásticas en 1 y 3)	12.1	21.6	12.1

Transmisión de Ruido del exterior				
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{n,1,2,3}$ (dBA)	Cálculo	Requisito	
		42	42	CUMPLE

Figura 3.42 Ficha justificativa de los resultados del caso 3.3.1

3.3.2 Recinto 2: Dormitorio pequeño

En este caso de estudio, se calculará el aislamiento acústico a ruido aéreo proveniente del exterior que tiene el dormitorio pequeño de una de las viviendas. Al estar este recinto situado en la fachada contraria al salón, se determinó que la principal fuente de ruido a la cual está expuesto son los vehículos que circulan por la calle Juglar. El valor de L_D de dicha calle según los datos del Ayuntamiento de Sevilla es de 75 dB, como se puede comprobar en la siguiente imagen:

nom_via	DISTRITO	BARRIO	ASA	LD
JUGLAR	NERVIÓN	LA FLORIDA	a1	75

Figura 3.43 Nivel de ruido diurno L_D en la calle Juglar, Sevilla

Consultando la tabla de los valores límite para ruido exterior (figura, se comprueba que mínimo índice de reducción acústica al que debe llegar la sala es de 42 dB.

3.3.2.1 Definición de la estancia

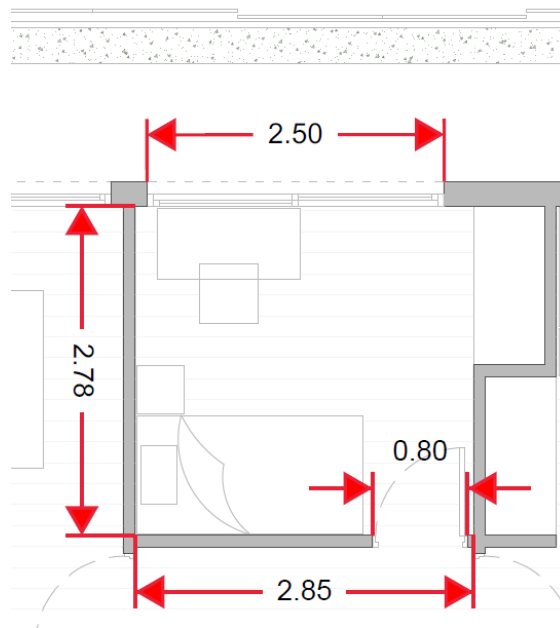


Figura 3.44 Plano del recinto a estudiar en el caso 3.3.2 [11]

- Geometría de ambos dormitorios:
 - ◆ Largo: 2,85 m
 - ◆ Ancho: 2,78 m
 - ◆ Alto: 2,7 m
 - ◆ Volumen: 21,39 m³
 - ◆ Superficie de la fachada vista desde el interior: 7,70 m²
- Uniones:

Arista 1	Unión elemento-pared	Unión en T de forjados y fachada con hoja interior de entramado
Arista 2	Unión elemento-pared	Unión en T de forjados y fachada con hoja interior de entramado
Arista 3	Unión elemento-pared	Unión en T de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo
Arista 4	Unión elemento-pared	Unión en T de elementos de entramado autoportante y elemento homogéneo

Tabla 3.5 Uniones entre los elementos del caso 3.3.2

3.3.2.2 Comprobación de valores límite

A continuación, se muestran los datos de entrada introducidos en la hoja de cálculo del caso de estudio 3.2.2:

Documento básico HR protección fre

Cálculo del aislamiento acústico a ruido aéreo en fachadas

Datos de entrada

Sección de Fachada Direct

Superficie S_{ext}

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	$R_{d,itr}$	R_A	Forma de la fachada	q_{ext}	h_{lim}	Δl_{fs}	Revestimiento interior	$\Delta R_{d,itr}$
PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	49	Balconada C	0	0	1	Sin Trasdosados	-

Ventanas/Capialzados	s (m ²)	$R_{d,itr}$	R_A	ΔR	Transmisión aérea Directa I	S_{01} (m ²)	$D_{n,si,itr}$	(aireadores con tratamiento acú)
Doble ventana. DES - DES Ext 6/ Int 4-6-4	5.25	40	41	-3	0	0	0	(aireadores sin tratamiento acú)
Perfiles de PVC o de madera de al menos 10 mm de espesor o perfiles metálicos de al menos 10 kg/m ² de	0.75	30	-	0	0	0	0	(techos suspendidos, conductos, pas)
Sin Ventanas	0	-	-	0				
Sin Ventanas	0	-	-	0				

$L_{n,T,Ab}$ (dB)

Tipo de ruido
Automóviles

$D_{2m,nT,Ab}$

Requisito CTE
42 **NO CUMPLE**

Secciones de Fachada Flanco

Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	$R_{d,itr}$	S_i (m ²)	l_f (m)
Elemento F1 (Fachada) PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	12.5	2.85
Elemento F2 (Fachada) PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	12.5	2.85
Elemento F3 (Fachada) PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	6.29	2.7
Elemento F4 (Fachada) PS (LM) + C + AT 70 + YL 15	28	42	7.05	2.7

Figura 3.45 Datos de entrada 1 del caso de estudio 3.3.2

Recinto Recepto

Tipo de recinto Volumen V_r (n)

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	$R_{d,itr}$	S_i (m ²)	Como Flanco	m' (kg/m)	$R_{d,itr}$	Revestimiento	$\Delta R_{d,itr}$
Elemento f1 (Suelo) U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	47	7.92	Como Flanco	245	47	AC + M 50 + AR MW 12	6
Elemento f2 (Techo) U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	47	7.92	Como Flanco	245	47	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m <= 350)	10
Elemento f3 (Pared) YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriestrados)	50	52	7.51	Como Flanco	50	52	Sin Trasdosados	-
Elemento f4 (Pared) YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriestrados)	50	52	7.51	Como Flanco	50	52	Sin Trasdosados	-

Uniones de los Elementos Const

Tipo de unión	K_{cr}	$K_{F,d}$	$K_{F,f}$	Vista
Arista A1 (Unión Fachada-Suelo) Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 3)	19.4	28.8	19.4	Vista en sección
Arista A2 (Unión Fachada-Techo) Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 3)	19.4	28.8	19.4	Vista en sección
Arista A3 (Unión Fachada-Pared) Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 2)	12.5	6.9	12.5	Vista en planta
Arista A4 (Unión Fachada-Pared) Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 2)	12.5	6.9	12.5	Vista en planta

Figura 3.46 Datos de entrada 2 del caso de estudio 3.3.2

Si se observa la figura 3.47, se puede observar que este recinto, al igual que el anterior, no cumple los criterios mínimos del DB-HR, por lo que a continuación se realizará un análisis de una solución alternativa para poder alcanzar dichos valores límite.

$D_{2m,nT,At}$	Requisito CTE
38	42 NO CUMPLE

Figura 3.47 Resultados del caso 3.3.2 (Situación inicial)

3.3.2.3 Análisis y propuesta de solución alternativa

Al igual que ocurría en el caso 3.2.1 y como era de esperar, el punto débil del recinto es la solución constructiva usada para el cerramiento de fachada y, además, el gran tamaño de las ventanas. Es por ello que se ha probado a aplicar los mismos cambios que en el caso anterior. Se ha sustituido la fachada ligera por un sistema más pesado, el cual ofrece un mayor índice de reducción acústica. En el caso de las ventanas, se ha cambiado la ventana interior deslizante por una oscilobatiente, y en lugar de tener un hueco de acceso a la terraza con una superficie de 5,25 m², se ha colocado una ventana de 1 m². Por último, el hueco del capialzado (caja de la persiana) se ha reducido de 0,75 m² a 0,5 m². Esto ha conseguido cumplir con el criterio del Código Técnico para recintos protegidos y un L_D de 75 dB. A continuación, se muestran las hojas de cálculo modificadas y el resultado de estas:

Documento básico HR protección fre

Cálculo del aislamiento acústico a ruido aéreo en fachadas

Datos de entrada

Sección de Fachada Direct

Superficie S_{rea}

Elemento constructivo base	m' (kg/m)	R _{a, tr}	R _a	Forma de la fachada	σ _w	h _m	ΔL _{fr}	Revestimiento interior	ΔR _{a, int}
RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15	282	57	62	Balconada C	0	0	1	Sin Trasdosados	-

Ventanas/Capialzados	s (m ²)	R _{a, tr}	R _a	ΔR	S _o (m ²)	D _{o, ext, tr}	
Doble ventana. DES - OSC Ext 6/ Int 4-6-4	1	44	46	0	0	0	(aireadores con tratamiento acú)
Perfiles de PVC o de madera de al menos 10 mm de espesor o perfiles metálicos de al menos 10 kg/m ² de	0.5	30	-	0	0	0	(aireadores sin tratamiento acú)
Sin Ventanas	0	-	-	0	0	0	(techos suspendidos, conductos, pas)
Sin Ventanas	0	-	-	0			

L_d (dB)

Tipo de ruido

D_{2m,nT,At}

Requisito CTE **CUMPLE**

Secciones de Fachada Flanco

	Elemento constructivo base	m' (kg/m ²)	R _{a, tr}	S _i (m ²)	l _r (m)
Elemento F1 (Fachada)	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15	282	57	12.5	2.85
Elemento F2 (Fachada)	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15	282	57	12.5	2.85
Elemento F3 (Fachada)	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15	282	57	6.29	2.7
Elemento F4 (Fachada)	RE + BPAD 250 + SP + AT + YL 15	282	57	7.05	2.7

Figura 3.48 Datos de entrada modificados 1 del caso 3.3.2

Recinto Recepto										
Tipo de recinto		Volumen V _r (m ³)			Como Plano					
Residencial y sanitario Dormitorios		20.78			m' (ka/m)		R _f (dB)		Revestimiento	ΔR _{dir}
Elemento constructivo base		m' (ka/m)	R _f (dB)	S _i (m ²)	Como Plano		Revestimiento		ΔR _{dir}	
		m' (ka/m)	R _f (dB)							
Elemento f1 (Suelo)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	47	7.92	245	47	AC + M 50 + AR MW 12	6		
Elemento f2 (Tech)	U_EPS moldeada-enrasada 350 mm	245	47	7.92	245	47	YL 15 + AT MW 50 + C [100-150] (forjado de m <= 350)	10		
Elemento f3 (Pared)	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	52	7.51	50	52	Sin Trasdosados	-		
Elemento f4 (Pared)	YL 2x12,5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12,5 (perfiles arriostrados)	50	52	7.51	50	52	Sin Trasdosados	-		

Uniones de los Elementos Const									
Tipo de unión		K _{fr}	K _{fd}	K _{ff}					
Arista A1 (Unión Fachada-Suelo)	Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 3)	10.6	10	10.6		Vista en sección			
Arista A2 (Unión Fachada-Techo)	Unión en T de forjados y fachadas con hoja interior de entramado (orientación 3)	10.6	10	10.6		Vista en sección			
Arista A3 (Unión Fachada-Pared)	Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 2)	17.5	-1.1	17.5		Vista en planta			
Arista A4 (Unión Fachada-Pared)	Unión en T de elemento de entramado autoportante y elemento homogéneo (orientación 2)	17.5	-1.3	17.5		Vista en planta			

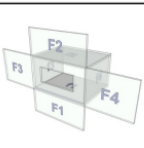
Figura 3.49 Datos de entrada modificados 2 del caso 3.3.2

D _{2m,nT,At}	Requisito CTE
42	42 CUMPLE

Figura 3.50 Resultado de la modificación del caso 3.3.2

En la siguiente imagen se muestra la ficha justificativa de esta modificación:

CTE Documento Básico HR Protección frente al ruido
 Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas
 Caso: fachadas

Proyecto	Ejemplo 6
Autor	
Fecha	
Referencia	

Características técnicas del recinto 1

Soluciones Constructivas				
Sección Separado	RE + BP AD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Flanco F1	RE + BP AD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Flanco F2	RE + BP AD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Flanco F3	RE + BP AD 250 + SP + AT + YL 15			
Sección Flanco F4	RE + BP AD 250 + SP + AT + YL 15			
Parámetros Acústicos				
	S (m²)	l (m)	m (kg/m²)	R _w (dB)
Sección Separado	7.7		282	57
Sección Flanco F1	7.7	2.85	282	57
Sección Flanco F2	7.7	2.85	282	57
Sección Flanco F3	6.29	2.7	282	57
Sección Flanco F4	7.05	2.7	282	57

Características técnicas del recinto 2

Tipo de Recinto	litoral, docente, administrativo y religioso Estand	Volumen	20.78		
Soluciones Constructivas					
Sección Separado	RE + BP AD 250 + SP + AT + YL 15				
Suelo f1	U EPS moldeada-enrasada 350 mm				
Techo f1	U EPS moldeada-enrasada 350 mm				
Pared f3	YL 2x12.5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12.5 (perfiles arriostrados)				
Pared f4	YL 2x12.5 + AT MW 48 + CH 6 + AT MW 48 + YL 2x12.5 (perfiles arriostrados)				
Parámetros Acústicos					
	S (m²)	l (m)	m (kg/m²)	R _w (dB)	ΔR _w (dB)
Sección Separado	7.7		282	57	
Suelo f1	7.92	2.85	245	47	6
Techo f1	7.92	2.85	245	47	10
Pared f3	7.51	2.7	50	52	-
Pared f4	7.51	2.7	50	52	-

Huecos en el separador

	S (m²)	R _w (dB)	R _e (dB)	ΔR _w (dB)
Ventanas, puertas y lucernarios				
Hueco 1	1	44	46	0
Hueco 2	0.5	30	-	0
Hueco 3	0	-	-	0
Hueco 4	0	-	-	0

CTE Documento Básico HR Protección frente al ruido
 Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas
 Caso: fachadas

Vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	D _{0,1,1,0} (dB)	0
	transmisión directa	D _{0,1,2,0} (dB)	0
	transmisión indirecta	D _{0,1,0,0} (dB)	0

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional

Encuentro	Tipo de unión	K _{cr}	K _{ce}	K _{cf}
fachada - suelo	forjados y fachadas con hoja interior de entramado	10.6	10	10.6
fachada - techo	forjados y fachadas con hoja interior de entramado	10.6	10	10.6
fachada - pared	ento de entramado autoportante y elemento homogé	17.5	-1.1	17.5
fachada - pared	ento de entramado autoportante y elemento homogé	17.5	-1.3	17.5

Transmisión de Ruido del exterior

Aislamiento acústico a ruido aéreo	D _{0,1,1,0} (dB)	Cálculo	Requisito	
		42	42	CUMPLE

Figura 3.51 Ficha justificativa del caso 3.3.2

3.4 Tiempo de reverberación

3.4.1 Recinto 1: Sala de reuniones

En este ejemplo se mostrará un caso de cálculo del tiempo de reverberación de una sala de reuniones que, al no tener mobiliario fijo, será modelada como un aula o sala de conferencias vacía. Esto lleva a que, de acuerdo con el CTE, el tiempo de reverberación de la estancia (T_R) no debe superar los 0,7 segundos.

3.4.1.1 Definición de la estancia

- Geometría de la sala:
 - ◆ Largo: 3,8 m
 - ◆ Ancho: 3,58 m
 - ◆ Alto: 3 m
 - ◆ Volumen: 40,81 m³
 - ◆ Ventanas: 10,74 m²
 - ◆ Puerta: 1,68 m²
 - ◆ Suelo/Techo: 13,60 m²

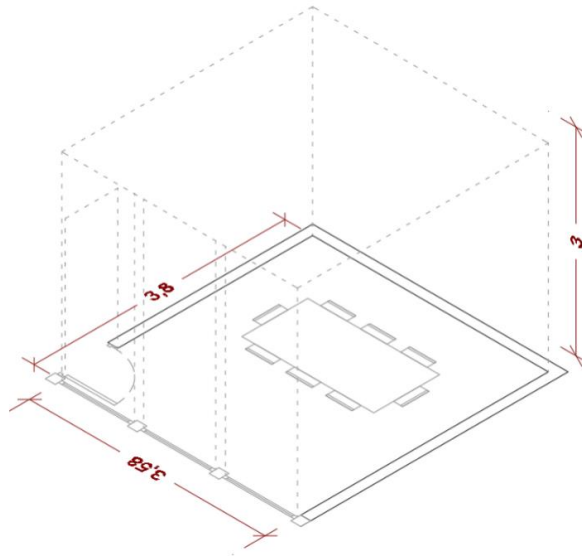


Figura 3.52 Plano de dimensiones de la sala [11]

3.4.1.2 Comprobación de los valores límite

Para el caso del tiempo de reverberación, se creará un nuevo caso de cálculo llamado “Reverberación” y se seleccionará en el menú el método general dentro del apartado de tiempo de reverberación.

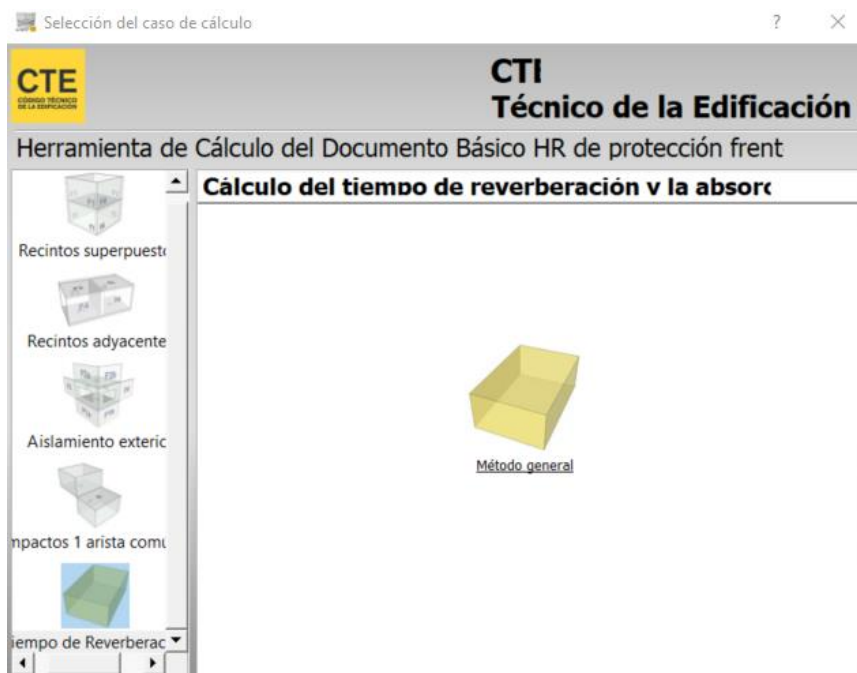


Figura 3.53 Menú de caso de cálculo de tiempo de reverberación

Una vez creado, la herramienta proporcionará una hoja de cálculo nueva, la cual se puede comprobar que, en comparación a las anteriores, es bastante más simple. Como en los casos anteriores, la aplicación nos ofrece una asignación previa de elementos que serán modificados a continuación.



Documento básico HR protección fre

Cálculo del tiempo de reverberación y la absorción acústica. Método general.

Datos de entrada

Volumen del recinto

Volumen V_r (m³)

Tipo de recinto **Aulas y salas de conferencia vac**

Resultado

Área equivalente A 3.6

Resultado Cálculo T_{re} 6.67

Requisito C T_{re} (s) 0.7

6.67 ≤ 0.7 O CUMPL

$$T = \frac{0,16V}{A}$$


Paramentos

	Paramentos	α_{mi}	S_i (m ²)	$\alpha_{mi} \cdot S_i$
1	Hormigón pintado	0.07	0	0
2	Vidrio	0.04	0	0
3	Placa de yeso laminado (PYL)	0.06	0	0
4	Madera y paneles de madera	0.08	0	0
5	YL 15 [0<p<=10] + V + C [>=150]	0.52	0	0
6	Sin Paramento	-	0	0
7	Sin Paramento	-	0	0
8	Sin Paramento	-	0	0
9	Sin Paramento	-	0	0
10	Sin Paramento	-	0	0

Muebles fijos absorbentes

	Muebles	$A_{o,m,j}$
1		0
2		0
3		0
4		0
5		0
6		0
7		0
8		0
9		0
10		0

$$A = \sum_{i=1}^N \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^M A_{o,m,j} + 4\bar{m}_m \cdot V$$



Esta herramienta facilita la aplicación del método de cálculo de la opción general del DB HR protección frente a ruido, del CTE

v 3.0 Diciembre :

Figura 3.54 Hoja de cálculo para el tiempo de reverberación

Se pide introducir primero el volumen y tipo del recinto a estudiar que, mirando los datos, será una aula o sala de conferencia vacía de 40,81 m³. Tras esto, en el apartado de parámetros, se introducirán los datos de los materiales usados en paredes, suelos, ventanas y puertas. En este ejemplo, dichos apartados quedarían completados de la siguiente manera:

Volumen del recinto

Volumen V_r (m³)

Tipo de recinto **Aulas y salas de conferencia vac**

Resultado

Área equivalente A 11.5186

Resultado Cálculo T_{re} 0.57

Requisito C T_{re} (s) 0.7

0.57 ≤ 0.7 CUMPLE

Paramentos

	Paramentos	α_{mi}	S_i (m ²)	$\alpha_{mi} \cdot S_i$
1	Hormigón pintado	0.07	13.6	0.952
2	Vidrio	0.04	10.74	0.4296
3	Placa de yeso laminado (PYL)	0.06	32.52	1.9512
4	Madera y paneles de madera	0.08	1.68	0.1344
5	YL 15 [0<p<=10] + V + C [>=150]	0.52	13.6	7.072
6	Sin Paramento	-	0	0
7	Sin Paramento	-	0	0
8	Sin Paramento	-	0	0
9	Sin Paramento	-	0	0
10	Sin Paramento	-	0	0

Muebles fijos absorbentes

	Muebles	$A_{o,m,j}$
1		0
2		0
3		0
4		0
5		0
6		0
7		0
8		0
9		0
10		0

Figura 3.55 Hoja de cálculo con los datos del caso 3.4.1

La sala resulta que cumple con el requisito mínimo pedido por el CTE. Si uno se fija, se puede comprobar que en este caso de cálculo es posible introducir también los datos correspondientes a los muebles fijos absorbentes, que en este ejemplo no han sido necesarios al haber sido modelado como una sala vacía. Igualmente, por aclarar el uso de ese apartado, en el caso de necesitar usarlo se tendrán que introducir los datos a mano, siendo estos el

nombre del mueble y su absorción acústica total.

Finalmente, en los casos de estudio de tiempo de reverberación o acondicionamiento acústico no se puede generar la ficha justificativa, si se intenta crear, la aplicación dará un error y no generará nada. Por lo que estos resultados tendrán que presentarse tal cual se muestran en la aplicación, o rellenar a mano la ficha justificativa que se puede encontrar en los anexos al final del documento básico [12].

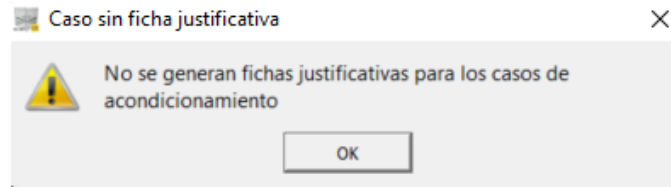


Figura 3.56 Error de generación de la ficha justificativa para el tiempo de reverberación

Tipo de recinto:.....			Volumen, V (m³):				
Elemento	Acabado	S Área, (m²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				Absorción acústica (m²) α _m · S
			500	1000	2000	α _m	
Suelo							
Techo							
Paramentos							
Objetos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{O,m} (m²)				A _{O,m} · N	
		500	1000	2000	A _{O,m}		
Absorción aire ⁽²⁾		Coeficiente de atenuación del aire, m _m (m ⁻¹)				4 · m _m · V	
		500	1000	2000	m _m		
		0,003 0,005 0,01 0,006					
A _i (m²) Absorción acústica del recinto resultante		$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$					
T _r (s) Tiempo de reverberación resultante		$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$					
Absorción acústica resultante de la zona común A (m²)=		Absorción acústica exigida =0,2·V					
Tiempo de reverberación resultante T (s)=		Tiempo de reverberación exigido					

⁽¹⁾ Sólo para salas de conferencias de volumen hasta 350 m³
⁽²⁾ Sólo para volúmenes mayores a 250 m³

Figura 3.57 Ficha justificativa oficial del CTE para el tiempo de reverberación

3.4.2 Recinto 2: Descansillo

En este caso se estudiará el tiempo de reverberación que tiene el descansillo que separa las viviendas del edificio. Al ser una zona común del edificio que comparte puertas con viviendas, el criterio que especifica el DB-HR es que el tiempo de reverberación debe ser menor o igual que 0,8 segundos.

3.4.2.1 Definición del recinto

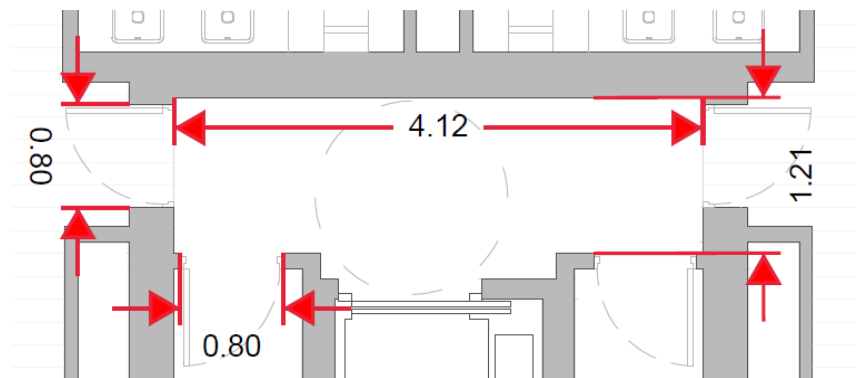



Figura 3.58 Plano del descansillo [11]

- Geometría de la sala:
 - ◆ Largo: 4,12 m
 - ◆ Ancho: 1,21 m
 - ◆ Alto: 3,30 m
 - ◆ Volumen: 16,45 m³
 - ◆ Puertas de madera: 2 x 1,64 m²
 - ◆ Puertas metálicas: 2 x 1,64 m²
 - ◆ Puerta ascensor: 2,24 m²
 - ◆ Suelo/Techo: 4,99 m²
 - ◆ Paredes: 26,38 m²

3.4.2.2 Comprobación de valores límite

En la siguiente figura se muestran los datos introducidos en la hoja de cálculo donde se han asignado los distintos materiales de la sala:



CTE
CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

Documento básico HR protección fre

Cálculo del tiempo de reverberación y la absorción acústica. Método general.

Datos de entrada

Volumen del recinto

Volumen V_r (m³)

Tipo de recintn Zonas comunes de edificios residenciales colindantes con recintos habitables con los que comparten puertas

Resultado

Área equivalente A 2.7496

Resultado Cálculo T_{60}	Requisito T_{60} (s)
0.96	0.8

Tiempo de reverberación 0.96 O CUMPL

Paramentos

	Paramentos	α_{mi}	S_i (m ²)	$\alpha_{mi} \cdot S_i$
1	Placa de yeso laminado (PYL)	0.06	31,37	1.8822
2	Metales	0.02	5,52	0.1104
3	Madera y paneles de madera	0.08	3,28	0.2624
4	Baldosas, plaquetas.	0.02	4,99	0.0998
5	Sin Paramento	-	0	0
6	Sin Paramento	-	0	0
7	Sin Paramento	-	0	0
8	Sin Paramento	-	0	0
9	Sin Paramento	-	0	0
10	Sin Paramento	-	0	0

Muebles fijos absorbentes


	Muebles	$A_{0,mi}$
1		0
2		0
3		0
4		0
5		0
6		0
7		0
8		0
9		0
10		0

Figura 3.59 Datos de entrada para el caso 3.4.2 (situación inicial)

Observando la figura 3.58, se puede comprobar que la estancia no cumple con los requisitos del DB-HR, ya que el tiempo de reverberación es 0,16 segundos mayor que el definido por el Código Técnico.

3.4.2.3 Análisis y propuesta de solución alternativa

Observando la asignación de materiales del recinto, es fácil ver que el elemento con menor absorción es el suelo (Baldosas/plaquetas con un coeficiente α de 0,02). Por otro lado, la absorción del suelo es uno de los problemas más simples de solventar, ya que bastará con añadir una moqueta absorbente a dicha superficie. En la siguiente figura se muestra la nueva asignación de materiales y los resultados que dan:



CTE
CÓDIGO TÉCNICO
DE LA EDIFICACIÓN

Documento básico HR protección fre

Cálculo del tiempo de reverberación y la absorción acústica. Método general.

Datos de entrada

Volumen del recinto

Volumen V_r (m³)

Tipo de recinto Zonas comunes de edificios residenciales colindantes con recintos habitables con los que comparten puertas

Resultado

Área equivalente A 4.1468

Resultado Cálculo T_{60} Requisito C T_{60} (s)

Tiempo de reverberación 0.63 0.63 ≤ 0.8 CUMPLE

Paramentos

	Paramentos	$\alpha_{m,i}$	S_i (m ²)	$\alpha_{m,i} \cdot S_i$
1	Placa de yeso laminado (PYL)	0.06	31.37	1.8822
2	Metales	0.02	5.52	0.1104
3	Madera y paneles de madera	0.08	3,28	0.2624
4	Moqueta, espesor ≥ 10 mm	0.3	4.99	1.497
5	Sin Paramento	-	0	0
6	Sin Paramento	-	0	0
7	Sin Paramento	-	0	0
8	Sin Paramento	-	0	0
9	Sin Paramento	-	0	0
10	Sin Paramento	-	0	0

Muebles fijos absorbentes

	Muebles	$A_{m,i}$
1		0
2		0
3		0
4		0
5		0
6		0
7		0
8		0
9		0
10		0

Figura 3.60 Datos de entrada para la solución alternativa del caso 3.4.2

Se ha elegido colocar una moqueta con un espesor mayor o igual que 10 mm y un coeficiente de absorción de 0,3 para cumplir con el criterio del DB-HR con seguridad. Como puede comprobarse en la figura 3.59, la solución propuesta cumple con el requisito del CTE teniendo un tiempo de reverberación de 0,63 segundos, consiguiendo así un margen de seguridad sobre el valor límite de 0,17 segundos.

3.5 Creación de un nuevo sistema en la base de datos editable

La herramienta dispone de 2 bases de datos locales, una oficial la cual no se permite modificar, y otra no oficial en la que se pueden registrar nuevos materiales. Esto es muy útil, ya que no todas las soluciones constructivas existentes están registradas en el catálogo oficial del CTE, pues hay empresas que crean las suyas propias.

Para ello, en la pantalla de inicio del programa, se accede al menú de la parte superior y, en el apartado de base de datos, se selecciona la opción de “Consulta/Edición de bases de datos”.

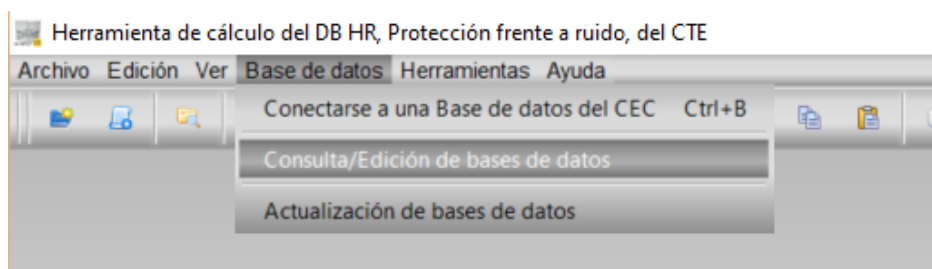


Figura 3.61 Menú desplegable para acceder a la edición de bases de datos

Tras hacer esto, la herramienta abrirá una ventana auxiliar con la misma apariencia que cuando en un caso de cálculo se consultan las bases de datos como se hizo en el primer ejemplo. Cabe aclarar que desde un caso de cálculo también se puede realizar el siguiente procedimiento que se va a exponer, ya que, tanto de la forma que se acaba de explicar como la que se vio en el primer ejemplo, es posible acceder al mismo menú.

Ventana de consulta y edición de bases de datos

Catálogo de elemetos constructivos

Cubiertas

Cultivar leyenda

Cubiertas

Los elementos constructivos están codificados en el descriptor. Cada símbolo indica una capa o un material tras el cual se indica el espesor del mismo en mm. Cuando existe un rango de espesores posibles, las dimensiones de los mismos figuran entre corchetes. Entre paréntesis figura información relevante que completa la definición de los elementos constructivos. En caso de que la cubierta tuviera como soporte resistente un forjado o una losa, se utilizarán los valores de m y R_A de forjados y losas. Si además la cubierta dispone de una capa de formación de pendientes de hormigón con áridos ligeros, el R_A de l cubierta se incrementará en 2 dBA. Si la cubierta dispone de un techo suspendido, el valor de R_A de la cubierta es la suma del valor de R_A del forjado y del valor de ΔR_A del techo suspendido.

CODIFICACIÓN	
AB	Absorbente acústico
AT	aislante
C	Cámara no ventilada
Enl	Guarnecido o enlucido
G	Chapa grecada
GR	Capa de protección de grava
I	Capa de impermeabilización y capas separadoras
MW	Lana mineral
PSM	Panel sandwich con núcleo aislante y láminas metálicas
PSMN	Panel sandwich con núcleo aislante y láminas no metálicas (madera)
T	Capa de protección de tejas, pizarra, placas o perfiles metálicos
TC	Tablero cerámico de 50 mm de espesor y 40 mm de capa niveladora
XPS	poliestireno extruido
R	Rastrel de madera
BA	Barrera contra el agua
TE	Tablero estructural
EE	Elemento estructural de madera

Código	Subtipo	Tipo de protección	Descriptor	R_A	R_{At}	m	Fuente
C6.9	Plana. Tipo deck	autoprotegida	G + AT MW 80 + I	38	31	15	Catálogo de Elementos Constructivos
C.9.5.a	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	Enl 15 + TC + AT + I + T (cubierta convencional)	44	41	182	Catálogo de Elementos Constructivos
C.9.5.b	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	Enl 15 + TC + I + AT + T (cubierta invertida)	44	41	182	Catálogo de Elementos Constructivos
C9.6.a	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	YL 15 mm + AB MW + C + TC + AT + I + T (cubierta convencional)	47	42	178	Catálogo de Elementos Constructivos
C9.6.b	Inclinada. Sobre tablero cerámico	Teja, pizarra, placas y perfiles metálicos	YL 15 mm + AB MW + C + TC + I + AT + T (cubierta invertida)	47	42	178	Catálogo de Elementos Constructivos
C10.5	Inclinada. Sobre tablero cerámico	autoprotegida	Enl 15 + TC + AT + I	41	39	152	Catálogo de Elementos Constructivos
C10.6	Inclinada. Sobre tablero cerámico	autoprotegida	YL 15 mm + AB MW + C+ TC + AT + I	44	40	149	Catálogo de Elementos Constructivos

BD local oficial (no editable) BD local no oficial (editable)

Figura 3.62 Ventana de edición y consulta de las bases de datos

En las pestañas situadas en la parte inferior de la nueva ventana, al seleccionar la titulada “BD local no oficial (editable)” se accederá a la base de datos en la que se permite registrar nuevas soluciones constructivas con las que trabajar en los distintos proyectos. Para ello, en la parte superior de la misma se pulsará el botón de “Añadir nuevo elemento”, pero sin olvidar primero seleccionar el tipo de solución constructiva que se quiere añadir en el menú desplegable situado junto a este botón.

Ventana de consulta y edición de bases de datos

Catálogo de elementos constructivos

Cubiertas

Añadir nuevo elemento **Cubiertas**

Los elementos constructivos están codificados en el descriptor. Cada símbolo indica una capa o un material tras el cual se indica el espesor del mismo en mm.
 Cuando existe un rango de espesores posibles, las dimensiones de los mismos figuran entre corchetes.
 Entre paréntesis figura información relevante que completa la definición de los elementos constructivos
 En caso de que la cubierta tuviera como soporte resistente un forjado o una losa, se utilizarán los valores de m y R_A de forjados y losas.
 Si además la cubierta dispone de una capa de formación de pendientes de hormigón con áridos ligeros, el R_A de la cubierta se incrementará en 2 dBA
 Si la cubierta dispone de un techo suspendido, el valor de R_A de la cubierta es la suma del valor de R_A del forjado y del valor de ΔR_A del techo suspendido

CODIFICACIÓN	
AB	Absorbente acústico
AT	aislante
C	Cámara no ventilada
Enl	Guarnecido o enlucido
G	Chapa grecada
GR	Capa de protección de grava
I	Capa de impermeabilización y capas separadoras
MW	Lana mineral
PSM	Panel sandwich con núcleo aislante y láminas metálicas
PSMN	Panel sandwich con núcleo aislante y láminas no metálicas (madera)
T	Capa de protección de tejas, pizarra, placas o perfiles metálicos
TC	Tablero cerámico de 50 mm de espesor y 40 mm de capa niveladora
XPS	poliestireno extruido
R	Rastrel de madera
BA	Barrera contra el agua
TE	Tablero estructural
EE	Elemento estructural de madera

Código	Subtipo	Tipo de protección	Descriptor	R_A	R_{str}	m	Fuente
--------	---------	--------------------	------------	-------	-----------	-----	--------

BD local oficial (no editable) | BD local no oficial (editable)

Figura 3.63 Ventana de la base de datos editable

En este ejemplo se incorporará un material ficticio del tipo fachada a la base de datos. Una vez pulsado el botón aparecerá la ventana de inserción de elementos la cual, según el tipo de elemento a añadir, variará un poco. A pesar de esto, el uso es muy parecido entre ellas, puesto que la diferencia básica son las características que pide definir para cada tipo de elemento, pero, como se ha dicho, el uso es esencialmente el mismo.

Inserción de elementos en la base de datos

Nuevos elementos constructivos

Nueva fachada

Código identifi[ca]do: Tipo de fachada:

Aislamiento: Tipo de cámara:

Tipo de hoja principal: Tipo de hoja interior:

Descriptor:

	Conjunt	Hoja principal	Hoja interior
Masa de los distintos elementos que componen la fachada	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Índice global de reducción acústica, ponderado	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Índice global de reducción acústica a ruido de automóvil	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Mejora del índice global de reducción acústica de la hoja interior de la fachada, ponderado	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Mejora del índice global de reducción acústica a ruido de automóviles (ponderado)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fuente:

Guardar Cancelar

Figura 3.64 Menú de inserción de elementos nuevos en la base de datos

Se procederá a introducir los datos indicados para registrar la nueva solución constructiva. En el campo de descriptor es recomendable utilizar la codificación usada en el catálogo de materiales del CTE, la cual es posible consultar en la ventana de la misma base de datos dentro de la herramienta.

Los datos introducidos en este ejemplo serán los siguientes:

Nuevos elementos constructivos
Nueva fachada

Código identificador: Tipo de fachada:

Aislamiento: Tipo de cámara:

Tipo de hoja principal: Tipo de hoja interior:

Descriptor:

	Conjun	Hoja principal	Hoja interior
Masa de los distintos elementos que componen la fachada	150	140	-
Índice global de reducción acústica, ponderado	50	45	-
Índice global de reducción acústica a ruido de automóvil	46	42	-
Mejora del índice global de reducción acústica de la hoja interior de la fachada, ponderada			5
Mejora del índice global de reducción acústica a ruido de automóviles (ponderada)			4

Fuente:

Figura 3.65 Ficha de material nuevo con datos

Una vez rellenos los campos correspondientes, se pulsará botón de guardar, que hará que el nuevo material se incluya a la base de datos personal, la cual, si se vuelve a consultar, contará ahora con nuestra solución constructiva en su lista de elementos.

Código	Subtipo	Aislamiento	Tipo de cámara	Tipo de hoja principal	Tipo de hoja interior	Descriptor
Fach...	Fábrica vista	Por el interior	No ventilada (con/sin cámara)	Cerámica	De entramado	LHD 115 + RM + AT + YL 15

Conjunto			Hoja principal			Hoja interior			Fuentes	
R _a	R _{at}	m	R _a	R _{at}	m	R _a	R _{at}	m	ΔR _a	ΔR _{at}
50	46	150	45	42	140	-	-	-	5	4

Fuente: Ensayo XXX - Fecha DD/MM/AAAA

Figura 3.66 Base de datos no oficial con nuestro nuevo elemento registrado

A partir de ahora, cuando se trabaje en un nuevo caso de cálculo, el material creado estará disponible en la misma lista que los demás materiales cuando vaya a asignarse a algún elemento constructivo del recinto.

Selección de elementos constructivos

Fachadas

Inicio [Página anterior](#) **3** [Página siguiente](#) Final

F1.1.a1	LP 115 + RM + AT + LH 70 + Enl 15 (valores mínimos)	LP 115 + RM...	LP 115 + RM...	LP 115 + RM...	LP 115 + RM...	LP 115 + RM...	LP 115 + RM...	LP 115 + RM...
Fach...	LHD 115 + RM + AT + YL 15	50	46	150	45	42	140	-

Figura 3.67 Menú de asignación de materiales con el nuevo material incluido

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este capítulo se hará una revisión de los resultados que se han obtenido tras la realización de este trabajo, sacando las conclusiones pertinentes sobre las capacidades y usabilidad de la herramienta de cálculo y comparándola con otros software que se pueden encontrar en el mercado.

Tras dicha discusión se realizará un breve análisis sobre las posibles líneas futuras de desarrollo que puedan tomar base en este proyecto o incluso ampliarlo.

4.1 Conclusiones

Tras la realización de este trabajo, se ha podido realizar un buen análisis de las distintas posibilidades que ofrece la herramienta, su facilidad de uso, su accesibilidad y de los distintos puntos débiles que presenta y podrían mejorarse.

Respecto a la funcionalidad de la herramienta de cálculo, las conclusiones sacadas son bastante positivas:

- La gran cantidad de casos distintos, en lo que a la distribución de los recintos se refiere, que pueden estudiarse es muy conveniente. Esto hace que la herramienta sea escalable a una gran cantidad de proyectos diferentes que pueden encontrarse en el mundo de la construcción.
- La base de datos, al usar el propio catálogo de soluciones constructivas del Código Técnico de Edificación, ofrece muchos sistemas de uso generalizado con el que realizar el diseño de los recintos. Además, que permita al mismo usuario crear y alimentar una base de datos propia deja la posibilidad de usar elementos concretos del extenso mercado de la construcción para así poder estudiar las edificaciones con mayor exactitud.
- La herramienta también es bastante transparente con los cálculos que realiza. Esta transparencia deja al usuario la posibilidad de hacer una comprobación paso a paso de los cálculos realizados y su respectivo análisis si así lo desea.
- En términos generales y si el usuario posee los conocimientos básicos y necesarios sobre construcción y acústica, la herramienta no resulta nada complicada de aprender y utilizar.

Por otro lado, es una realidad que en lo que a accesibilidad se refiere, la herramienta del CTE no es la mejor optimizada. Sobre este aspecto podrían destacar las siguientes observaciones:

- Las opciones de accesibilidad del programa brillan por su ausencia. El ajuste de tamaño de las ventanas, en general, no funciona correctamente, gran parte de los menús no se ajustan al tamaño de la ventana y hay casos en los que el texto también está desajustado. En muchos casos, estos defectos son simplemente visuales, por lo que no afecta al correcto funcionamiento de la herramienta, pero una interfaz visualmente incómoda puede llegar a tener efectos negativos en el flujo de trabajo del usuario.
- Durante el desarrollo de este proyecto, se han dado casos en los que la aplicación se cerraba sola y sin previo aviso, por lo que en varias ocasiones se perdió parte del progreso realizado. Al volver a iniciarla, tampoco daba ningún mensaje sobre lo ocurrido, por lo que para el usuario podía llegar a resultar frustrante, tanto por tener que repetir parte del trabajo como por no saber cómo arreglar el problema. Estas situaciones llevan a que guardar el progreso constantemente se convierta en una parte fundamental del uso de la herramienta. Posiblemente, la solución más simple para este problema consista en introducir una opción de autoguardado o, en su defecto, que el software realice copias de seguridad en segundo plano para así poder recuperar el progreso perdido.

En el mercado existen otra serie de programas que también simulan y hacen un estudio del rendimiento acústico de los edificios, el principal software a destacar es SONarchitect, desarrollado por Sound of Numbers. Esta herramienta permite al usuario generar un modelo 3D del edificio y asignar soluciones constructivas a los paramentos de una base de datos con más de 300 sistemas genéricos y 900 comerciales, que se va actualizando constantemente, y con una interfaz bastante más pulida que la del objeto de estudio de este trabajo. Tras esto, el

programa realiza los cálculos necesarios para conocer el rendimiento acústico del edificio completo y generar el informe correspondiente. En el caso de SONarchitect, los cálculos se basan en la Norma UNE-EN ISO 12354 [13] [14] [15] [16] y no en el DB-HR [12] pero, como se comentó anteriormente, el código técnico se basa en dicha norma, por lo que los resultados deberían ser igualmente aplicable.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que SONarchitect es un software de uso profesional desarrollado por una empresa privada, por lo que es esperable que el producto final sea más que decente, ya que para usarlo se deben pagar licencias que requieren un desembolso considerable. Esto lleva a pensar que la herramienta del CTE, para ser de acceso libre, fácil instalación y desarrollada por un organismo público, es una opción perfectamente viable para su uso en un proyecto real.

Analizando los comentarios anteriores, se puede llegar a la conclusión final de que la herramienta realiza su función de forma correcta, pero que sería conveniente plantear un proyecto de optimización.

4.2 Líneas futuras

El presente documento ha consistido en un estudio acústico de una vivienda haciendo uso de la herramienta de cálculo del DB-HR (CTE) para el posterior análisis de dicho software. Es fácil comprobar que el trabajo es bastante autocontenido, y no deja mucho espacio para futuras ampliaciones de este.

Por otro lado, tras la lectura del documento, se pueden sacar dos ideas principales para proyectos de desarrollo para el futuro:

- Se podría hacer un trabajo de mejora para el software abordando los defectos comentados en el apartado anterior, optimizando así el flujo de trabajo de la herramienta.
- Otra posibilidad, sería desarrollar un sistema de bases de datos editables, que incluya tanto las opciones genéricas del catálogo del Código Técnico como las principales soluciones del mercado. Este sistema también podría incluir la posibilidad de ser actualizado por la misma comunidad de usuarios.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, Guidelines for community noise, Ginebra, 1999.
- [2] Organización Mundial de la Salud, «Deafness and hearing loss,» 27 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>. [Último acceso: 3 Julio 2023].
- [3] Comisión de las Comunidades Europeas, Política futura de lucha contra el ruido : Libro verde de la Comisión Europea / Comisión de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 1996.
- [4] R. Barti Domingo, Acústica medioambiental : volumen I, San Vicente Alicante : ECU, 2013.
- [5] A. García Rodríguez, La contaminación acústica, Valencia: Universitat de València, 0214.
- [6] H. Jariwala, H. Syed, M. Pandya y Y. Gajera, Noise Pollution & Human Health: A Review, 2017.
- [7] Granada contra el Ruido, «Efectos del ruido sobre la salud, la sociedad y la economía,» [En línea]. Available: https://ruidos.org/Referencias/Ruido_efectos.html. [Último acceso: 7 Julio 2023].
- [8] Organización Mundial de la Salud, A handbook on how to implement mSafeListening, 2022.
- [9] Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido., 2006.
- [10] Ministerio de Fomento, «CTE. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido. DA DB-HR/2. Procedimiento de cálculo de transmisiones indirectas,» marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HR/DA-DBHR-2.pdf>. [Último acceso: 2 Julio 2023].
- [11] E. R. Sánchez, *De Parque de Artillería a Parque de Artesanía : viviendas ligadas a espacios de trabajo*, Sevilla: La autora, 2021.
- [12] Ministerio de Fomento, «CTE. Documento Básico Protección Frente a Ruido,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HR/DBHR.pdf>. [Último acceso: 8 Julio 2023].
- [13] Asociación Española de Normalización y Certificación., *Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. UNE-EN ISO 12354-1*, 2018.
- [14] Asociación Española de Normalización y Certificación., *Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del procedimiento de los elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos. UNE-EN ISO 12354-2*, 2018.
- [15] Asociación Española de Normalización y Certificación., *Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo frente al ruido exterior. UNE-EN ISO 12354-3*, 2018.

- [16] Asociación Española de Normalización y Certificación,, *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 6: Absorción sonora en espacio cerrados. UNE-EN 12354-6*, 2004.
- [17] A. L. Giani, *Acústica arquitectónica*, Buenos Aires: Nobuko, 2012.
- [18] M. Möser y J. L. Barros, *Ingeniería acústica : teoría y aplicaciones*, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [19] A. Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
- [20] J. Llinares Galiana, A. Llopis Reyna y F. J. Sancho Vendrell, *Acústica arquitectónica y urbanística*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [21] C. Hopkins, *Sound Insulation*, Elsevier, 2007.
- [22] R. Díaz Ramírez, *Muestreo temporal para la evaluación del ruido ambiental*, Madrid, 2012.
- [23] G. Ballou, *Handbook for sound engineers*, Nueva York: Taylor & Francis, 2015.
- [24] Asociación Española de Normalización y Certificación, *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. UNE-EN ISO 717-1*, 2021.
- [25] Asociación Española de Normalización y Certificación, *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos. UNE-EN ISO 717-2*, 2021.
- [26] Organización Mundial de la Salud, «Media brief on #safelistening,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.who.int/publications/m/item/media-brief-on-safelistening>. [Último acceso: 7 Julio 2023].

GLOSARIO

OMS	Organización Mundial de la Salud
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
TTS	Temporal Threshold Shift (Desplazamiento Temporal del Umbral)
PTS	Permanent Threshold Shift (Desplazamiento Permanente del Umbral)
Hz	Hercios
A.M.A	American Medical Association (Asociación Médica Americana)
dB	Decibelios
dBA	Decibelios ponderados A
dBHL	Decibel Hearing Loss (Decibelios de Pérdida Auditiva)
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CTE	Código Técnico de la Edificación
DB-HR	Documento Básico Protección frente al ruido
PFC	Proyecto de Fin de Curso
UNE	Una Norma Española
EN	European Standard (Norma Europea)
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
SPL	Sound Pressure Level (Nivel de Presión Sonora)